



Hydrologie in Hessen, Heft 14

Gewässerkundlicher Jahresbericht 2015



Hydrologie in Hessen, Heft 14

Gewässerkundlicher Jahresbericht 2015

Wiesbaden, 2016

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie

Impressum

Hydrologie in Hessen, Heft 14

ISSN 1438-7859
ISBN 978-3-89026-714-2

Gewässerkundlicher Jahresbericht 2015

Redaktion: Cornelia Löns-Hanna

Layout: Martina Schaffner

Titelbild: Flächenhafte Verteilung des Niederschlags 2015, Lahn

Herausgeber, © und Vertrieb:

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie
Postfach 3209, 65022 Wiesbaden

Telefon: 0611 6939-111

Telefax: 0611 6939-113

E-Mail: vertrieb@hlnug.hessen.de

www.hlnug.de

Inhalt

1	Vorwort	4
2	Witterung	6
	CORNELIA LÖNS-HANNA	
2.1	Lufttemperatur	6
2.2	Sonnenschein	7
2.3	Niederschlag	8
3	Oberflächengewässer	15
3.1	Wasserstand und Durchfluss	15
	CORNELIA LÖNS-HANNA	
3.2	Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken	21
	CORNELIA LÖNS-HANNA	
3.3	Physikalisch-chemische Beschaffenheit oberirdischer Gewässer	24
	DR. CHRISTINA KLEIN	
3.4	Untersuchungen zur Fauna und Flora der Fließgewässer	33
	ELISABETH SCHLAG	
3.5	Strukturkartierung der Fließgewässer	38
	THOMAS OTT	
3.6	Seen – Trophische Untersuchungen	40
	MICHAEL HÄCKL	
3.7	Seen – Faunistische Untersuchungen	44
	ANDREAS GRÜNDEL	
4	Grundwasser	48
4.1	Grundwasserneubildung	48
	MARIO HERGESELL	
4.2	Grundwasserstände und Quellschüttungen	50
	WOLF-PETER VON PAPE	
4.3	Grundwasserbeschaffenheit – Per- und polyfluorierte Chemikalien (PFC)	56
	HARALD RÜCKERT	
4.4	Grundwasserbeschaffenheit – Nitrat	62
	HARALD RÜCKERT	
5	Zusammenfassung	71

1 Vorwort



Mit der Veröffentlichung des Bewirtschaftungsplans und Maßnahmenprogramms 2015 bis 2016 hat die zweite Phase der Gewässerbewirtschaftung auf Grundlage der europäischen Wasserrahmenrichtlinie begonnen. Grundlage war eine gründliche Bestandsaufnahme des Gewässerzustands

durch die hessische Wasserwirtschaftsverwaltung. Hierbei zeigten sich einerseits Fortschritte, andererseits aber auch Ernüchterung, weil an das erste Maßnahmenprogramm Erwartungen geknüpft worden waren, die nicht erfüllt werden konnten. Durch das erweiterte Monitoring der Gewässer hat sich auch der Kenntnisstand verbessert und führte teilweise zur Rückstufung ehemals positiver Einschätzungen des Gewässerzustands. Das nun vorliegende Maßnahmenprogramm setzt konkretere Schwerpunkte und greift Erfahrungen aus dem ersten Planungsabschnitt auf.

Die Durchführung und Auswertung gewässerkundlicher Messungen in Hessen ist eine zentrale Aufgabe des Hessischen Landesamtes für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG). Zur laufenden Überwachung des Gewässerzustandes verfügt das Land über eine Vielzahl gewässerkundlicher Messstellen (Abbildung 1) an denen vom HLNUG oder von den Regierungspräsidien Messungen und Untersuchungen durchgeführt werden. Aus diesen Messnetzen, aus Sondermessprogrammen, Messungen für die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) sowie aus den Daten Dritter (Nachbarländer, Bundeswasserstraßenverwaltung (WSV), Deutscher Wetterdienst (DWD), Wasserversorgungsunternehmen u. a.) wird ein gewässerkundlicher Datenpool aufbereitet und in Datenbanken ständig aktualisiert. Einige Ergebnisse des Jahres 2015 werden in diesem Bericht präsentiert.

Prof. Dr. Thomas Schmid

Präsident des Hessischen Landesamtes für Naturschutz, Umwelt und Geologie

A handwritten signature in black ink that reads "Thomas Schmid". The signature is written in a cursive, flowing style.



Abb. 1: Gewässerkundliche Messstellen.

2 Witterung

CORNELIA LÖNS-HANNA

2.1 Lufttemperatur

Lufttemperaturmessnetz, Zielsetzung und Aufgabe

Lufttemperaturwerte werden im Rahmen der Gewässerkunde benötigt:

- für die mengenmäßige Betrachtung von Grund- und Oberflächenwasser,
- für die Beurteilung der chemisch-physikalischen Gewässerbeschaffenheit,
- für die Beurteilung der biologischen Gewässerbeschaffenheit,
- als Eingangswerte für Hochwasservorhersagemodelle und
- als Eingangswerte für Wärmemodelle der Gewässer.

Messwerte der Lufttemperatur stehen von mehr als 100 Messstellen zur Verfügung. Die Lufttemperatur wird dabei an hesseneigenen Messstellen des Luftmessnetzes und des wasserwirtschaftlichen Niederschlagsmessnetzes erhoben, der größte Teil der Werte wird von Messstationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) bezogen.

Ergebnisse 2015

Im Folgenden wird die Temperaturentwicklung im Jahr 2015 für Gesamthessen betrachtet. Die mittlere Lufttemperatur betrug 9,9 °C und lag damit um 1,4 Grad über dem langjährigen Jahresmittel der Jahre 1971 bis 2000 von 8,5 °C. Laut DWD [1] war 2015 gemeinsam mit den Jahren 2000 und 2007 deutschlandweit das zweitwärmste Jahr seit Beginn der Wet-

teraufzeichnungen 1881. Zehn von zwölf Monaten waren wärmer als im Mittel.

Bereits im Januar war es mit 1,9 °C gegenüber dem Normalwert von 0,3 °C zu warm. Normale Temperaturen herrschten dann im Februar (0,8 °C). Abgesehen vom Mai, der mit 12,5 °C nur um 0,1 Grad wärmer als im Durchschnitt war, folgten ein mit 5,0 °C (Vergleichswert: 4,4 °C) etwas zu warmer März, ein zu warmer April mit 8,7 °C gegenüber 7,6 °C und ein etwas zu warmer Juni mit 15,9 °C (Vergleichswert: 15,2 °C). Viel zu warm waren die Monate Juli und August. Im Juli wurden die Normaltemperaturen von 17,3 °C mit 19,7 °C um 2,4

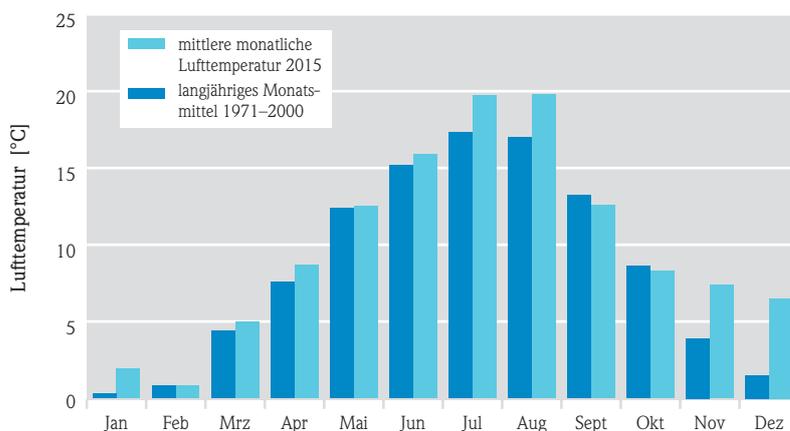


Abb. 2: Monatliche Lufttemperatur in Hessen (Datenquelle: Deutscher Wetterdienst).

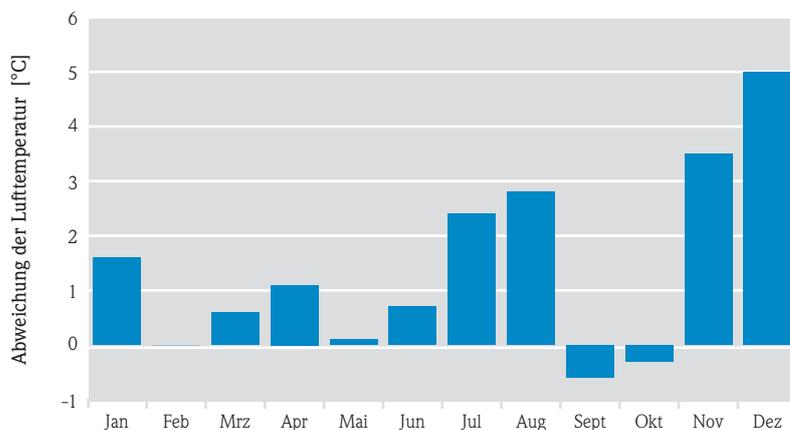


Abb. 3: Abweichung der monatlichen Lufttemperatur 2015 vom langjährigen monatlichen Mittel 1971-2000 (Datenquelle: Deutscher Wetterdienst).

Grad überschritten, im August mit 19,8 °C lagen die Temperaturen um 2,8 Grad über dem langjährigen Mittel (17,0 °C). Am 7. August meldete die DWD-Station Frankfurt-Westend einen neuen Temperaturrekord für Hessen von 39,6 °C. Auf die heißen Sommermonate folgten mit einem September mit 12,6 °C (0,6 Grad unter dem Vergleichswert von 13,2 °C) und einem Oktober mit 8,3 °C (0,3 Grad kälter als im Mittel) zwei etwas zu kalte Monate. Das Jahr endete mit dem wärmsten Novem-

ber und dem wärmsten Dezember seit Beginn der Wetteraufzeichnungen [1]. Der November übertraf die Mittel mit einer Durchschnittstemperatur von 7,4 °C um 3,5 Grad und war damit viel zu warm. Ein Mittelwert von 6,5 °C wurde im Dezember registriert, der Monat lag damit um 5,0 Grad über den Mittelwerten und war erheblich zu warm (siehe Abbildungen 2 und 3).

2.2 Sonnenschein

Sonnenscheinmessungen, Zielsetzung und Aufgabe

Angaben über die Sonnenscheindauer werden im Rahmen der Gewässerkunde benötigt:

- für die mengenmäßige Betrachtung der Gewässer,
- für die Beurteilung der chemisch-physikalischen Gewässerbeschaffenheit,
- für die Beurteilung der biologischen Gewässerbeschaffenheit,
- als Eingangswerte für Hochwasservorhersagemodelle und
- als Eingangswerte für Wärmemodelle der Gewässer.

Angaben über die Sonnenscheindauer stehen von ca. 50 Messstellen zur Verfügung. Überwiegend werden Werte von Messstationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) verwendet.

Ergebnisse 2015

Im Jahr 2015 schien die Sonne in Hessen 1652 Stunden, damit lag die Sonnenscheindauer um 12 % über dem Durchschnittswert. Im Januar war es zunächst trübe, hier schien die Sonne mit 28 Stunden 10 Stun-

den (27 %) weniger als im Normalfall. In den folgenden Monaten schien die Sonne mehr als im Mittel, im Februar mit 75 Stunden um 7 % mehr, im März mit 135 Stunden um 26 % mehr. Besonders sonnenscheinreich war der April, hier stand die Sonne mit 235 Stunden 76 Stunden länger

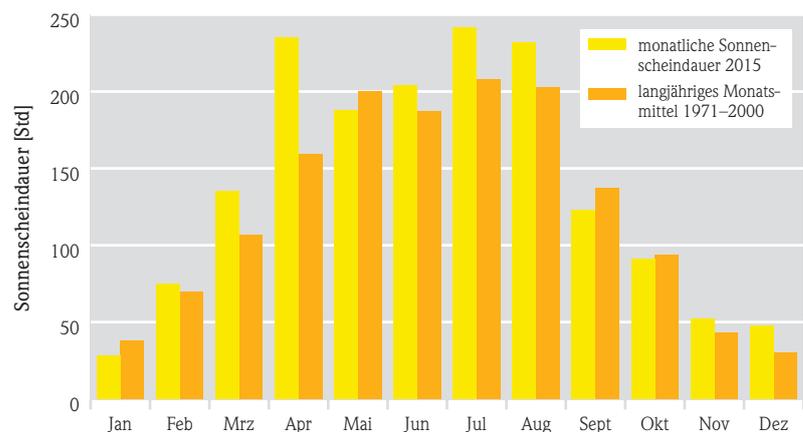


Abb. 4: Monatliche Sonnenscheindauer in Hessen (Datenquelle: Deutscher Wetterdienst).

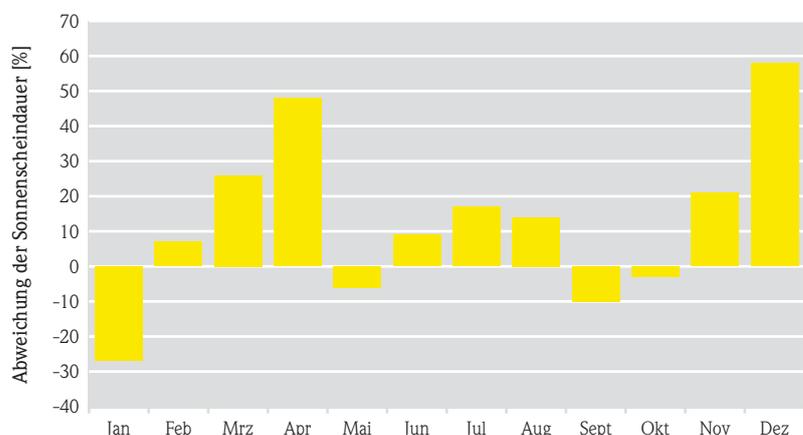


Abb. 5: Abweichung der Sonnenscheindauer 2015 vom langjährigen monatlichen Mittel 1971-2000 (Datenquelle: Deutscher Wetterdienst).

(48 % mehr) als im Durchschnitt am Himmel. Mit 187 Sonnenstunden schien die Sonne im Mai 6 % weniger als im Mittel. Sonnenscheinreich waren der Juni mit 204 Sonnenstunden (9 % mehr als der Referenzwert), der Juli mit 242 Stunden (17 % mehr als der Referenzwert) und der August mit 232 Stunden (14 % mehr als der Referenzwert). Verhältnismäßig trübe hingegen waren die folgenden Monate. So schien die Sonne im September 123 Stunden (10 % weniger als im Mittel) und im Oktober 91 Stunden (3 % weniger als im Mittel). Im November wurde der Referenzwert mit 52 Stunden um 21 % überschritten. Der Dezember fiel mit 48 Stunden gegenüber dem Mittelwert von 30 Stunden überdurchschnittlich sonnenscheinreich (57 % mehr) aus (Abbildungen 4 und 5).

[1] DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD) (Dezember 2015): WitterungsReport Express, Jahreskurz-übersicht 2015, Offenbach.



Abb. 6: Sonntag im März 2015.

2.3 Niederschlag

Niederschlagsmessnetz, Zielsetzung und Aufgabe

Kenntnisse über Menge und Verteilung des Niederschlags sind eine wesentliche Voraussetzung für die hydrologische Arbeit und deren Umsetzung in die wasserwirtschaftliche Praxis. Diese hydrologischen Werte

- bilden die Grundlage zur Bemessung wasserwirtschaftlicher Anlagen (Kanalnetze, Kläranlagen, Wasserversorgungseinrichtungen),
- sind fundierte Anhaltswerte für den Hochwasserwarndienst,
- sind wesentliche Eingangsdaten für Hochwasservorhersagesimulationen,
- sind Eingangsdaten für den Betrieb hydrologischer Modelle,
- sind bedeutsam für die Landwirtschaft und
- bieten die Grundlage für langfristige Betrachtungen im Hinblick auf Veränderungen der hydrologischen Situation.



Abb. 7: Niederschlagsmessstelle Freiensteinau.

Das hessische Niederschlagsmessnetz umfasst 70 Messstellen im Rahmen des landeseigenen, hydrologisch ausgerichteten Messnetzes. (siehe Abbildung 8). An den meisten Messstellen (Abbildung 7) stehen sowohl ein Pluvio mit Datenfernübertragung (DFÜ) als auch ein Niederschlagsmessgerät nach Hellmann. Andere sind nur mit einem Pluvio (mit DFÜ) ausgestattet, da hier eine tägliche Ablesung durch einen Beobachter, wie sie bei Hellmann-Messgeräten erforderlich ist, nicht durchgeführt werden kann. Insgesamt sind 57 Messstellen mit DFÜ ausgerüstet. Daneben gibt

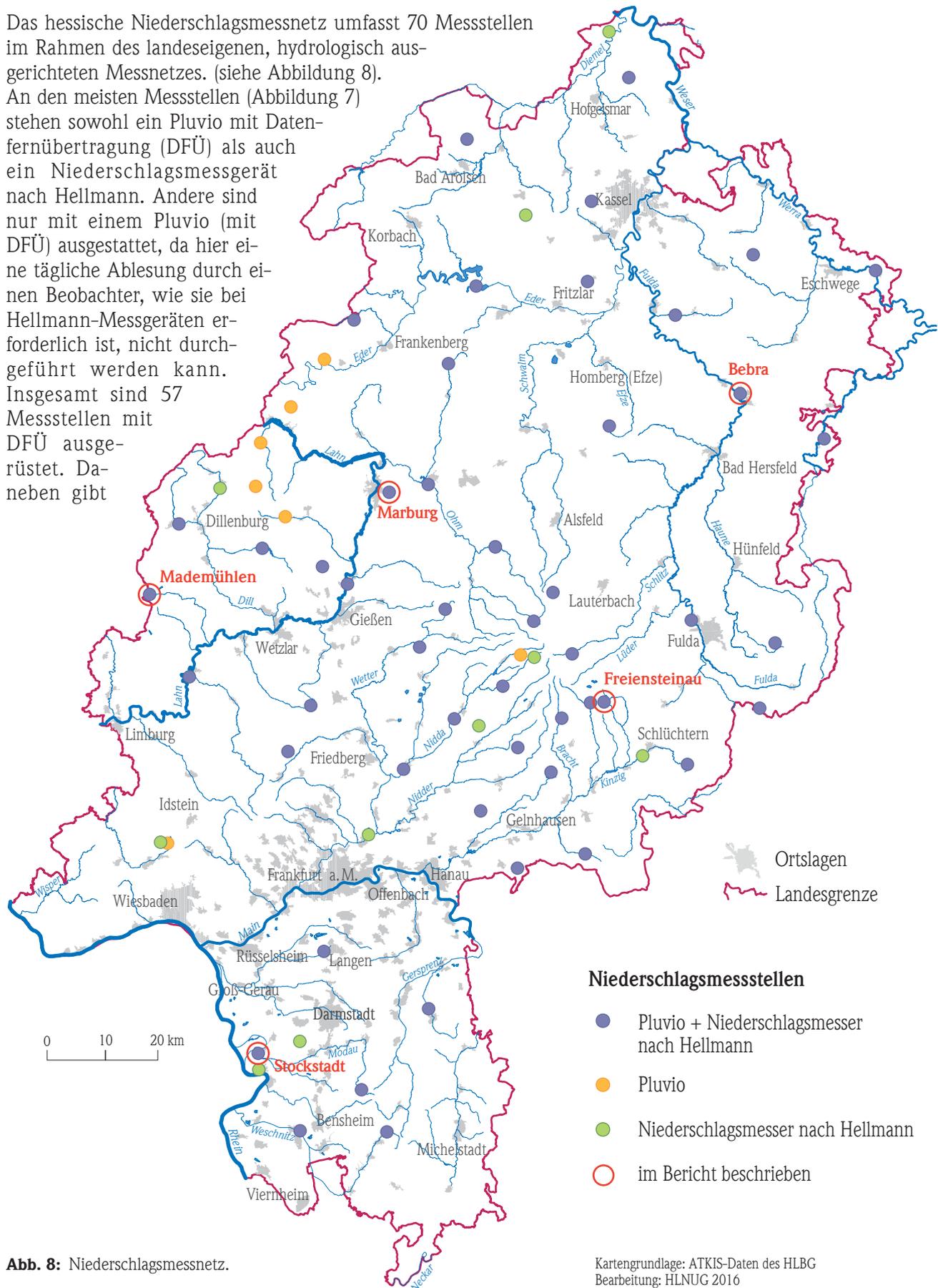


Abb. 8: Niederschlagsmessnetz.

es noch Messstellen, an denen nur einmal täglich mit einem Hellmann-Messgerät gemessen wird. Betrieb und Unterhaltung der Niederschlagsmessgeräte erfolgt durch die Regierungspräsidien.

Zusätzlich zu den Landesmessstellen werden in Hessen Messergebnisse von 75 Niederschlagsmessstellen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) im Rahmen des Datenaustausches dem HLNUG zur Verfügung gestellt.

Die aktuellen Messwerte sind im Internet auf der HLNUG-Website <http://www.hlnug.de/static/pegel/wiski-web2/> zu finden.

Ergebnisse 2015

2015 war zu trocken. Im Mittel fielen in Hessen 612 l/m^2 Niederschlag, dies entspricht ca. 79 % des langjährigen Mittelwertes der Jahre 1971 bis 2000, der bei 777 l/m^2 liegt.

Im Januar fiel im Mittel mit 78 l/m^2 20 % mehr Regen, als im Mittel zu erwarten ist. Die darauf folgenden Monate Februar bis Juli waren unterdurchschnittlich trocken. Erheblich zu trocken war es im Mai, hier fiel mit 22 l/m^2 nur ein Drittel der sonst üblichen Menge. Viel zu trocken war auch der darauf folgende Juni, in dem mit 45 l/m^2 61 % des zu erwartenden Niederschlags registriert wurde. Erst der August brachte mit 72 l/m^2 ergiebige Niederschläge, die um 20 % über dem Mittelwert lagen. Im September entsprach das Niederschlagsgeschehen in etwa dem Durchschnitt. Erheblich zu trocken mit gerade mal 31 l/m^2 (47 % des Durchschnittswertes) war der Oktober. Im November hingegen regnete es wieder reichlicher, hier wurde mit 93 l/m^2 das langjährige Monatsmittel um 35 % überschritten. Viel zu trocken war dann der Dezember. Es fielen nur 40 l/m^2 , dies entspricht 52 % des Referenzwertes (Abbildungen 9 und 10).

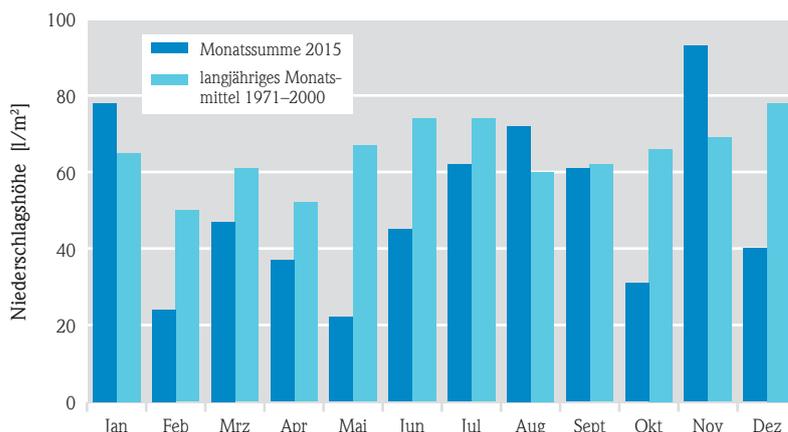


Abb. 9: Monatlicher Niederschlag in Hessen (Datenquelle: Deutscher Wetterdienst).

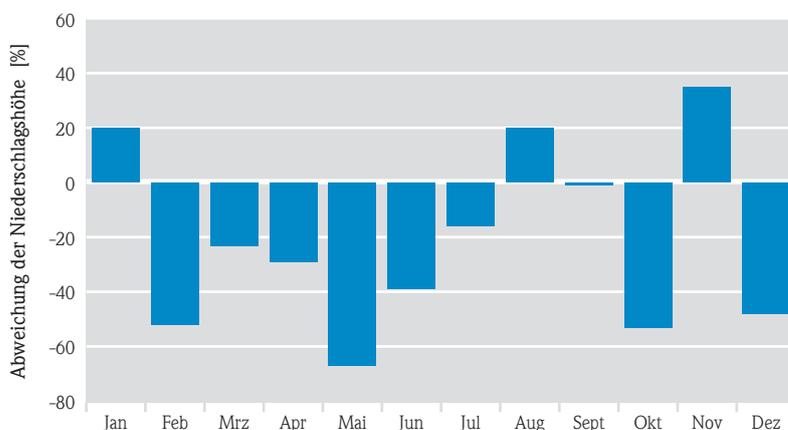


Abb. 10: Abweichung des monatlichen Niederschlags 2015 vom langjährigen Monatsmittel 1971-2000 (Datenquelle: Deutscher Wetterdienst).

Abbildung 11 zeigt die regionale Verteilung der Niederschläge. Wie in jedem Jahr fielen höhere Niederschlagsmengen mit Werten zwischen 800 und 1300 Millimetern im Jahr in den Hochlagen der Gebirge Odenwald im Süden, im Westen im Westerwald und Rothaargebirge, im Osten in der Rhön, im Vogelsberggebiet und den nordhessischen Gebirgen. In den übrigen Teilen Hessens wurden Jahresniederschläge mit weniger als 700 mm/Jahr verzeichnet. Besonders trocken war es im Rhein-Maingebiet, hier lagen die Jahresniederschläge meist unter 500 mm/Jahr.

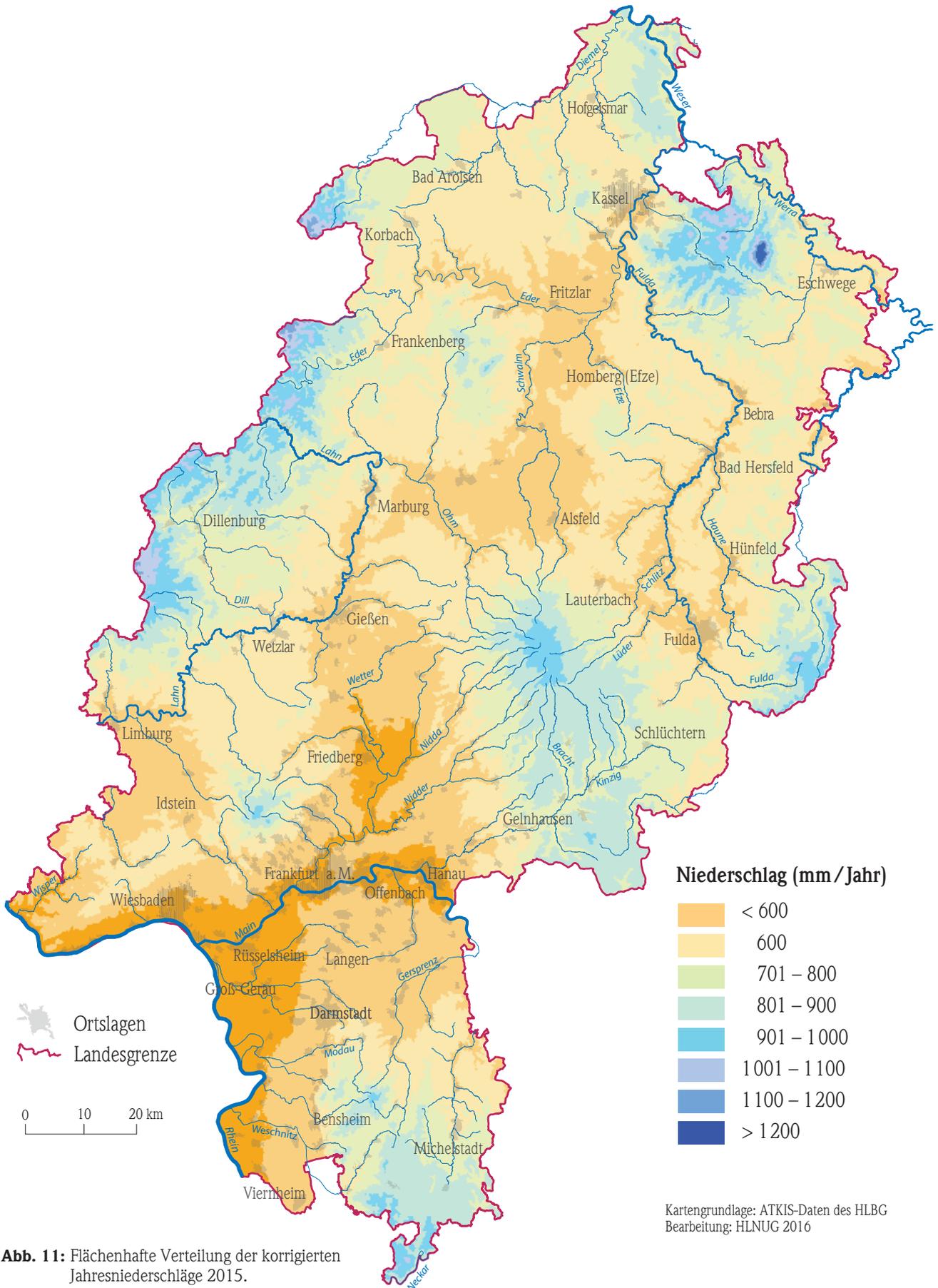


Abb. 11: Flächenhafte Verteilung der korrigierten Jahresniederschläge 2015.

Tab. 1: Niederschlagswerte ausgewählter Messstellen.

Monat	Niederschlagssumme [l/m ²]									
	Bebra		Marburg		Mademühlen		Freiensteinau		Stockstadt	
	2015	Mittel 1981–2014	2015	Mittel 1981–2014	2015	Mittel 1981–2014	2015	Mittel 1981–2014	2015	Mittel 2001–2014
Jan	66,62	47,80	60,88	62,05	103,99	116,79	123,24	110,98	73,74	29,87
Feb	16,53	35,61	19,42	45,18	45,53	85,14	31,82	77,46	23,51	34,34
Mrz	38,17	43,34	53,82	49,86	74,25	94,38	89,94	84,31	16,74	38,06
Apr	27,31	37,86	32,88	43,61	54,2	61,49	39,71	59,45	18,44	35,18
Mai	14	60,56	15,75	69,52	32,75	73,93	22,54	77,84	11,88	64,21
Jun	34,97	61,22	24,68	64,89	53,56	77,51	53,3	72,94	45,23	55,00
Jul	68,84	63,89	57,13	70,30	99,94	91,51	76,71	86,98	16,07	62,93
Aug	79,08	52,52	76,61	60,44	62,92	79,76	119,22	77,13	39,28	73,80
Sep	60,12	47,97	65,22	58,56	83,96	87,57	69,27	80,89	55,94	34,85
Okt	37,6	46,53	34,83	59,83	40,09	98,97	38,39	95,92	26,01	47,46
Nov	74,34	50,68	89,93	54,44	173,72	99,47	167,7	92,56	57,79	41,57
Dez	22,75	52,30	30,51	67,28	66,61	126,75	85,21	119,79	24,86	44,06
Jahres- summe	540,33	600,29	561,66	705,96	891,52	1093,25	917,05	1036,27	409,49	561,32
Überschreitung des langj. Mittelwertes										

In Tabelle 1 sowie in den Abbildungen 12 und 13 wird das Niederschlagsgeschehen an fünf hessischen Messstationen dargestellt. Die für Hessen dargestellte Niederschlagssituation zeigt sich weitestgehend auch an den einzelnen Stationen, jedoch mengenmäßig mit erheblichen Unterschieden. An allen betrachteten Stationen lagen die gemessenen Niederschläge unter den langjährigen Jahresmittelwerten, überdurchschnittlich hohe Regenmengen fielen überall im November. Die Einzelheiten werden im Folgenden kurz erläutert.

An der **Messstation Bebra**, gelegen in Nordhessen, fielen mit 540 l/m² 90 % des Jahresmittels von 600 l/m². Überdurchschnittlich viel regnete es in den Monaten Januar, Juli, August, September und im November. Die Jahresniederschlagsmenge der Station Bebra liegt im unteren mittleren Bereich.

An der **Messstation Marburg** in Mittelhessen wurden überdurchschnittliche Niederschlagsmengen in den Monaten März, August, September und November registriert. Im Jahr 2015 fielen insgesamt 562 l/m², dies entspricht 80 % vom Durchschnittswert. Damit war 2015 in Marburg das dritt-trockenste Jahr seit 1981.

892 l/m² Jahressumme fielen an der **Messstation Mademühlen** im Westerwald. Dies entspricht etwa 80 % des Durchschnittswertes von 1093 l/m². An der Station Mademühlen trat das viert-trockenste Jahr seit 1981 auf.

Die **Messstation Freiensteinau** liegt im Vogelsberggebiet, hier fallen in der Regel hohe Niederschläge. Die mittlere Jahresniederschlagssumme der letzten 34 Jahre beträgt 1036 l/m². Im Jahr 2015 wurden an vier Monaten Niederschlagssummen registriert, die über den Mittelwerten der Jahre 1981 bis 2014 liegen, insgesamt wurden mit einer Jahresniederschlagssumme von 917 l/m² 89 % des Durchschnitts erreicht.

Die **Messstation Stockstadt** liegt in Südhessen im Hessischen Ried. Hier fallen eher geringe Niederschlagsmengen. Im Jahr 2015 betrug die Jahressumme mit 409 l/m² 73 % des mittleren Niederschlags der Jahre 2001 bis 2014. In diesem Zeitraum war es das zweit-trockenste Jahr nach 2003.

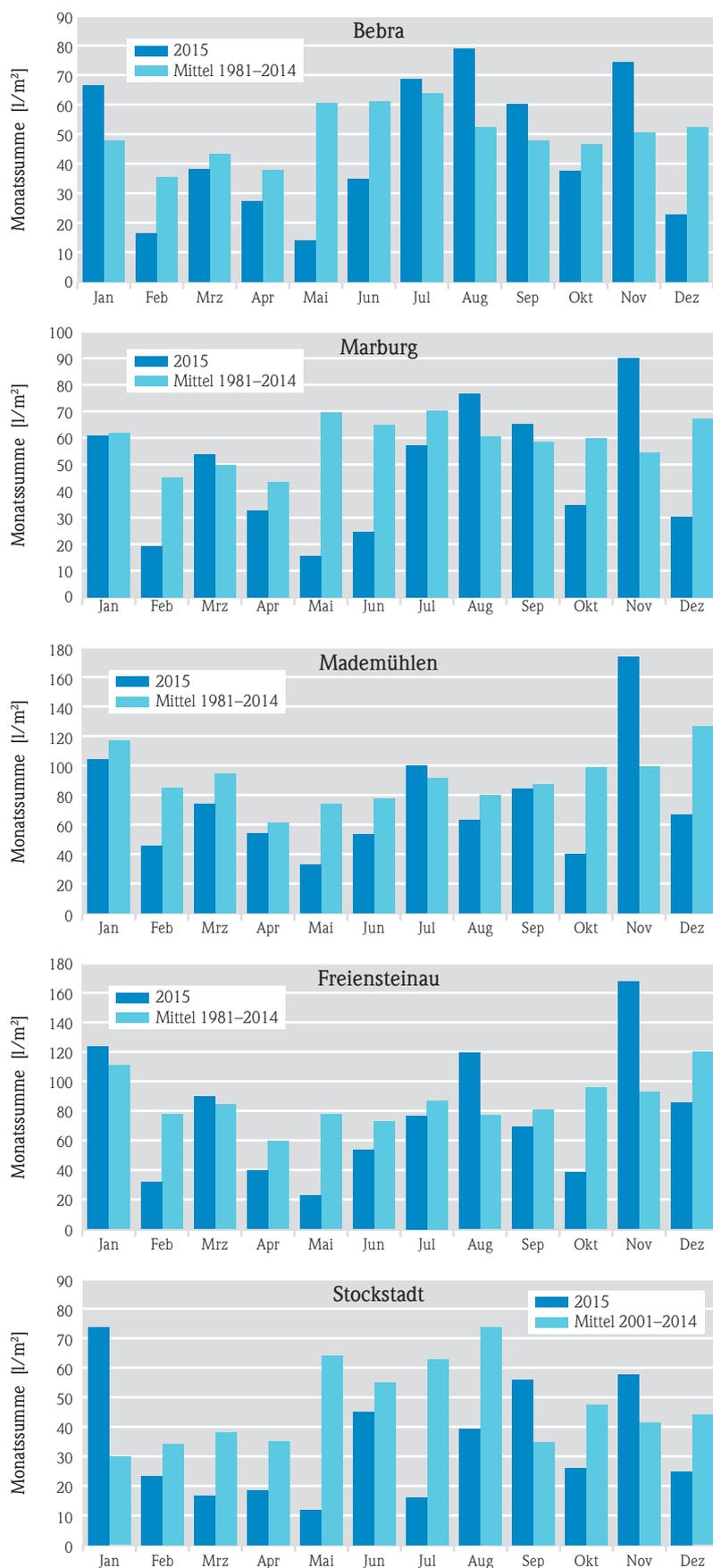


Abb. 12: Monatliche Niederschlagsmengen an fünf hessischen Niederschlagsmessstationen.

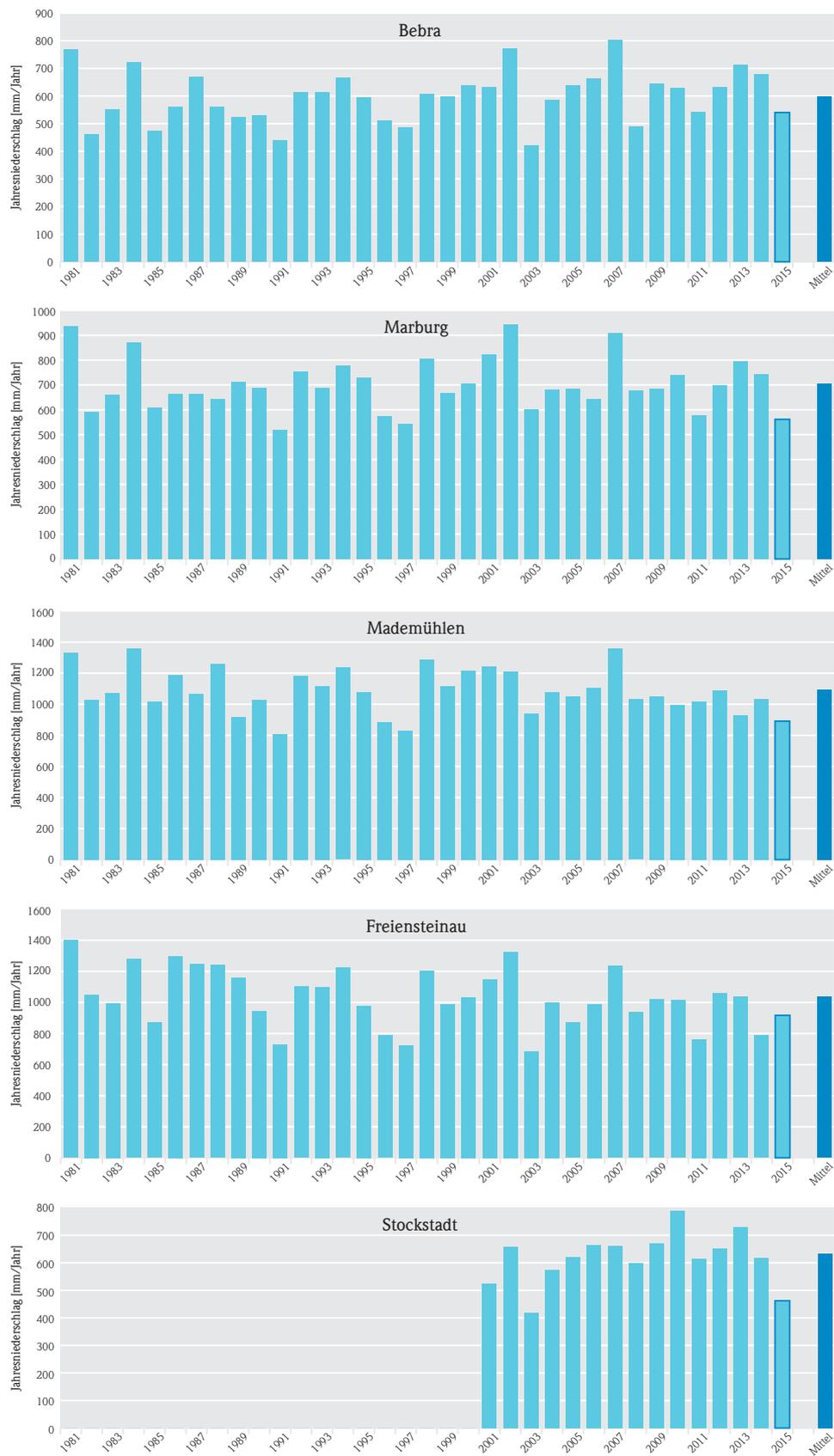


Abb. 13: Jahresniederschlagsmengen an fünf hessischen Messstationen.

3 Oberflächengewässer

3.1 Wasserstand und Durchfluss

CORNELIA LÖNS-HANNA

Pegelmessnetz, Zielsetzung und Aufgabe

Kenntnisse der Wasserstände und der Durchflüsse in den Gewässern sind Voraussetzung für nahezu jede hydrologische Arbeit und deren Umsetzung in die wasserwirtschaftliche Praxis. Diese hydrologischen Werte

- bilden die Grundlage zur Bemessung wasserwirtschaftlicher Anlagen,
- bilden die Grundlage für die Bewirtschaftung der Gewässer,
- sind fundierte Anhaltswerte für den Hochwasserwarndienst,
- sind wesentliche Eingangsdaten für Hochwasservorhersagesimulationen,
- sind Eingangsdaten für den Betrieb hydrologischer Modelle und
- bieten die Grundlage für langfristige Betrachtungen

im Hinblick auf Veränderungen der hydrologischen und klimatologischen Situation.

Zur Ermittlung der Wasserstands- und Durchflusswerte betreibt das Land Hessen ca. 120 Pegel (Abbildungen 14, 15 und 16). Betrieb und Unterhaltung der Pegel sowie der Durchflussmessungen obliegen den Regierungspräsidien. Das landeseigene Pegelmessnetz wird ergänzt durch mehr als 40 Pegel von Verbänden und sonstigen Betreibern, die meist der Steuerung von Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken dienen. Die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) betreibt an den Bundeswasserstraßen in Hessen weitere 20 Pegel. Diese erfassen und dokumentieren den Istzustand der Gewässer.

Die aktuellen Messwerte dieser Pegel sowie weitere Informationen sind im Internet auf der HLNUG-Webseite dargestellt: <http://www.hlnug.de/static/pegel/wiskiweb2/>.

Das Pegelmessnetz muss die Entwicklung der Abflüsse entlang der Gewässer abbilden. Die einzelnen Pegel sind je nach Funktion ausgestattet mit ein oder



Abb. 14: Pegel Bad Vilbel (außen).



Abb. 15: Pegel Bad Vilbel (innen).

mehreren Geräten zur Erfassung der Wasserstände, zur Datenregistrierung und Datenfernübertragung und teilweise ergänzend mit Anlagen zur Durchflussermittlung. Zur Verbesserung der Datensicherheit sind diese Systeme bei den meisten Pegeln redundant ausgestaltet.

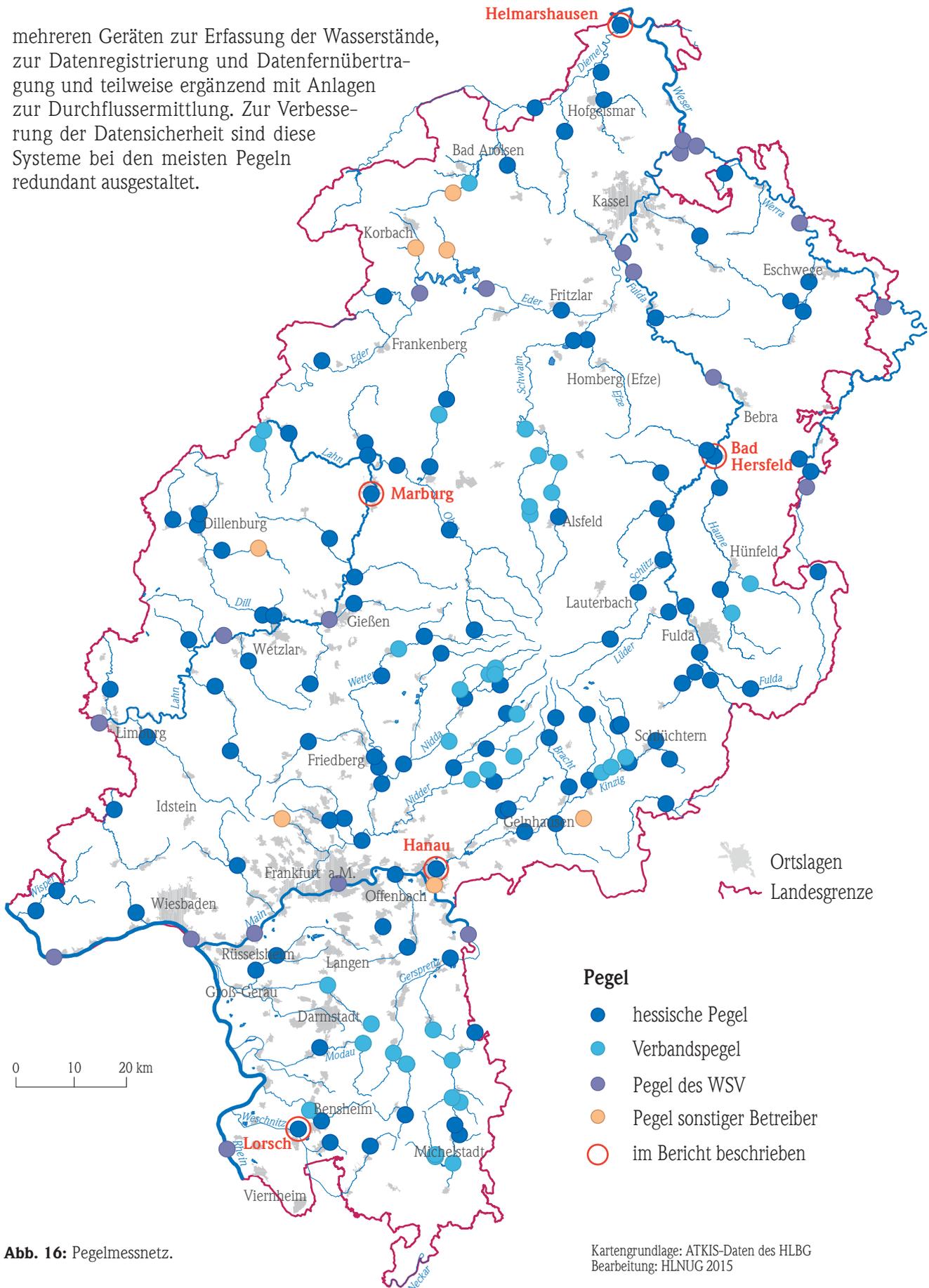


Abb. 16: Pegelmessnetz.

Ergebnisse 2015

Das Durchflussverhalten der hessischen Gewässer wird zusammenfassend für das Jahr 2015 in den Abbildungen 17 und 18 dargestellt. Hierfür wurden die Durchflüsse repräsentativer hessischer Gewässer ausgewertet.

Die geringen Niederschläge spiegelten sich in den Durchflüssen der Gewässer wider. Abgesehen vom Januar wiesen alle Monate für Hessen insgesamt unterdurchschnittliche Wassermengen auf. Besonders trocken waren die Gewässer im Mai und im Oktober. Die überdurchschnittlichen Niederschläge im August führten zwar zum Ansteigen der Wassermengen, insgesamt gesehen waren die mittleren Abflüsse dennoch unterdurchschnittlich. In den ersten zwei Novemberwochen lagen die Durchflüsse deutlich unterhalb der langjährigen mittleren Werte, sodass hessenweit von einer Niedrigwassersituation gesprochen wurde. Die ergiebigen Niederschläge in der zweiten Novemberhälfte führten zum Ansteigen der Wassermengen und Wasserstände, sodass es Anfang Dezember zu Hochwassermeldestufenüberschreitungen kam. Dennoch blieben auch in den Monaten November und Dezember die monatlichen Abflüsse unter den langjährigen Mittelwerten.

Beispielhaft für die hessischen Gewässer im Jahr 2015 werden die Durchflüsse der Diemel (Pegel Helmarshausen) für Nordhessen, der Fulda (Bad Hersfeld) für Osthessen, der Lahn (Pegel Marburg) für Mittelhessen, der Kinzig (Pegel Hanau) für das Maingebiet und der Weschnitz (Pegel Lorsch) für Südhessen betrachtet (siehe Tabelle 2 und Abbildungen 20 und 21).

An allen fünf Pegeln wurden für die überwiegende Mehrzahl der Monate unterdurchschnittliche Durchflüsse gemessen.

Am **Pegel Helmarshausen an der Diemel** lag 2015 nur im April der monatliche Durchfluss über dem langjährigen Mittelwert. Ende November, Anfang Dezember führten die Regenfälle zum Ansteigen der Diemel, die langjährigen monatlichen Mittelwerte wurden jedoch nicht überschritten.

An den anderen vier betrachteten **Pegeln Bad Hersfeld 1 an der Fulda, Marburg an der Lahn, Hanau an der Kinzig und Lorsch an der Weschnitz** führten die ergiebigen Niederschläge im Januar zu überdurchschnittlichen Durchflüssen. An der Fulda und deren Nebengewässern sowie vereinzelt an Gewässern in Südhessen wurden Anfang des Monats Hochwassermeldestufen überschritten.

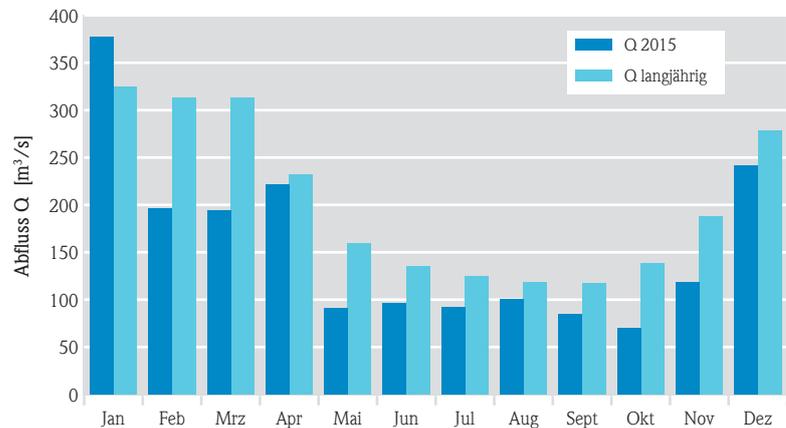


Abb. 17: Vergleich des mittleren repräsentativen Abflusses mit dem langjährigen mittleren Abfluss hessischer Gewässer.

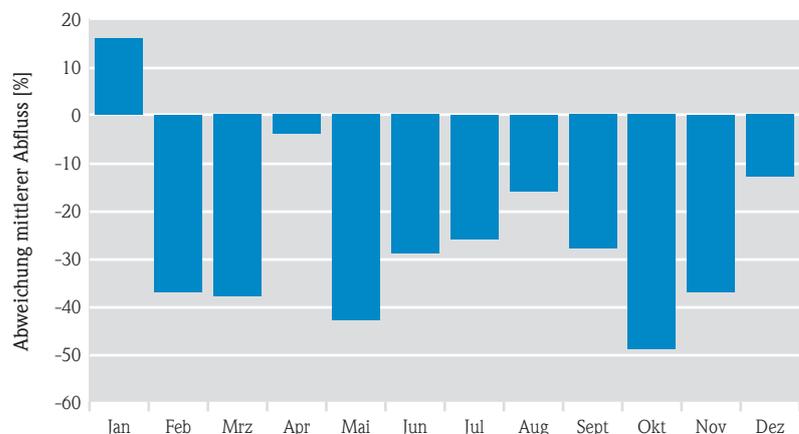


Abb. 18: Abweichung des mittleren monatlichen Abflusses (MO) vom langjährigen Monatsmittel (MO_{Reihe}) für repräsentative hessische Gewässer.

Ende März fielen in einigen Regionen in Nord- und Mittelhessen überdurchschnittliche Regenmengen. Diese brachten im April größere Durchflussmengen für die Gewässer dieser Regionen wie am Beispiel der Auswertungen der **Pegel Helmarshausen, Bad Hersfeld 1** und **Marburg** dargestellt ist. Die Trockenheit der Vormonate war jedoch so erheblich, dass die Monatsmittel, abgesehen vom Pegel Helmarshausen, unterdurchschnittlich blieben.

Die lange niederschlagsarme Zeit von April bis Juli führte in allen hier betrachteten Gewässern zu stark unterdurchschnittlichen Durchflüssen. Durch die ergiebigeren Niederschläge im August stiegen die Wassermengen in den Gewässern an, jedoch nur an der Lahn am **Pegel Marburg** wurden im August und September die Referenzwerte überschritten.

Besonders trocken war es im Oktober und in der ersten Novemberhälfte, die Durchflüsse lagen unterhalb der langjährigen Mittelwerte (Abb. 19). Die Regenfälle Ende November ließen die Gewässer ansteigen. In Nordhessen im Fulda- und Edergebiet, an der Lahn in Mittelhessen und in Südhessen an der Kinzig kam es zur Hochwassersituation mit der Überschreitung

von Hochwassermeldestufen. Am **Pegel Marburg** und am **Pegel Hanau** wurden im Dezember die mittleren Monatsdurchflüsse überschritten.



Abb. 19: Niedrigwasser im Rhein im Oktober 2015.

Tab. 2: Durchflüsse (Monatsmittelwerte an fünf hessischen Flüssen [Auswertestand: Februar 2016]).

Monat	Durchfluss Monatsmittel Q [m³/s]									
	Helmarshausen (Diemel)		Bad Hersfeld (Fulda)		Marburg (Lahn)		Hanau (Kinzig)		Lorsch (Weschnitz)	
	2015	1971/2010	2015	1971/2010	2015	1971/2010	2015	1971/2010	2015	1971/2010
Jan	19	20,9	41,9	33,2	31,2	28,9	22,3	14,4	6,26	3,8
Feb	16,4	21,4	18,5	31,5	13,7	25,7	11,2	16,5	3,15	4,43
Mrz	15,1	23	19,5	32,8	16,2	26,4	8,96	15,9	2,41	4,55
Apr	25	17,6	19	23,8	19,1	16,5	8,38	11,2	2,3	3,71
Mai	9,93	12,7	7,07	16,1	6,01	11,2	3,88	7,17	2	3,25
Jun	6,96	11,1	5,84	13	4,93	8,74	3,23	5,94	2,29	2,7
Jul	6,86	9,2	5,28	10,5	6,17	7,16	2,32	4,99	1,95	2,49
Aug	6,52	8,34	5,76	8,69	7,58	6,51	2,57	4,49	1,64	2,01
Sep	6,3	8,77	5,98	8,27	9,56	6,55	2,82	4,42	1,2	1,94
Okt	6,25	12,2	5,04	11,7	9,51	9,99	2,88	6,21	0,843	2,23
Nov	7,93	13,1	10,2	18,7	17,1	16,2	5,88	10	1,26	2,77
Dez	13,5	17	25,2	28,2	27,3	25,2	16,3	14,4	0,999	3,69
Jahresmittel	11,7	14,6	14,1	19,7	14,0	15,8	7,56	9,64	2,19	3,13

Überschreitung des langj. Mittelwertes

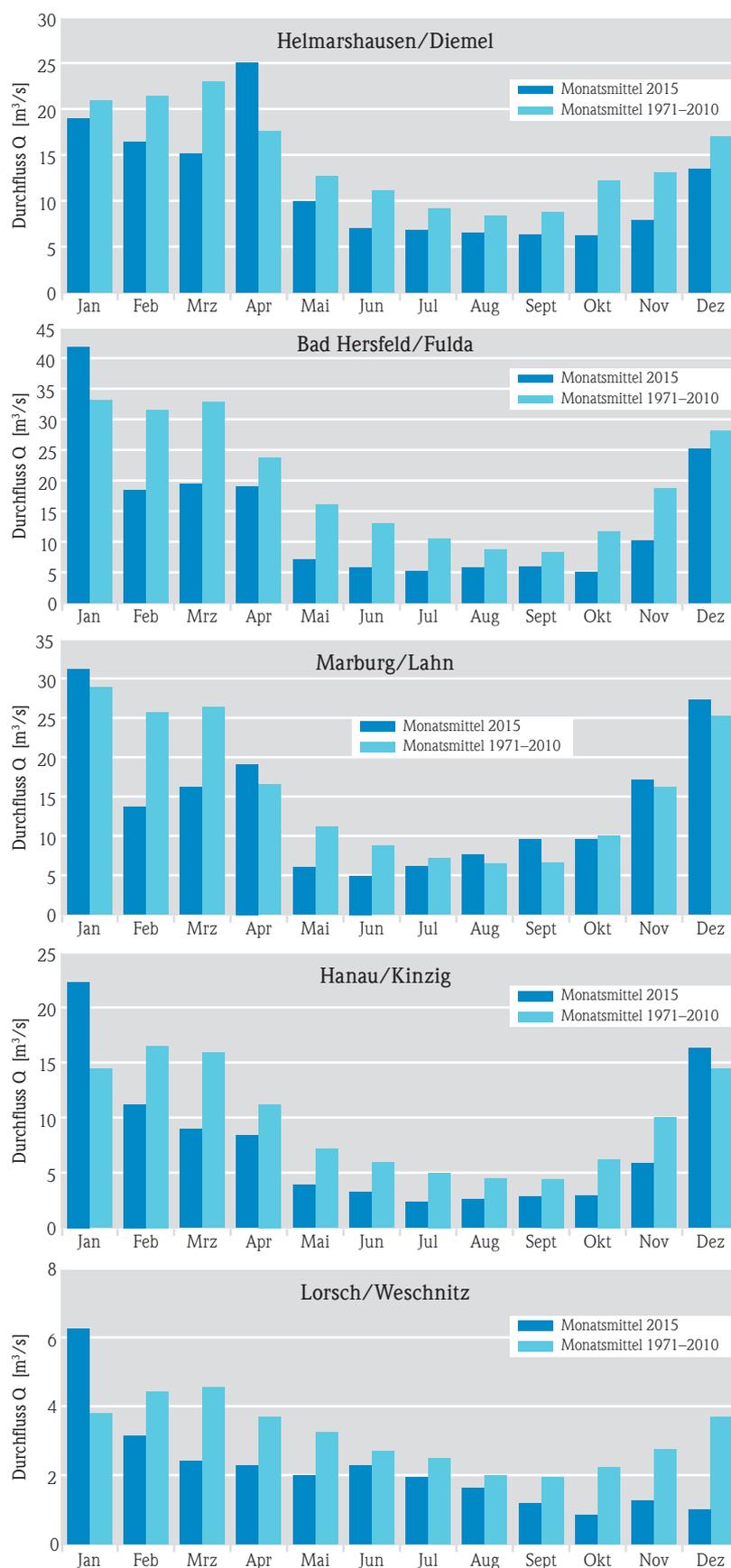


Abb. 20: Monatliche Durchflüsse an fünf hessischen Pegeln.

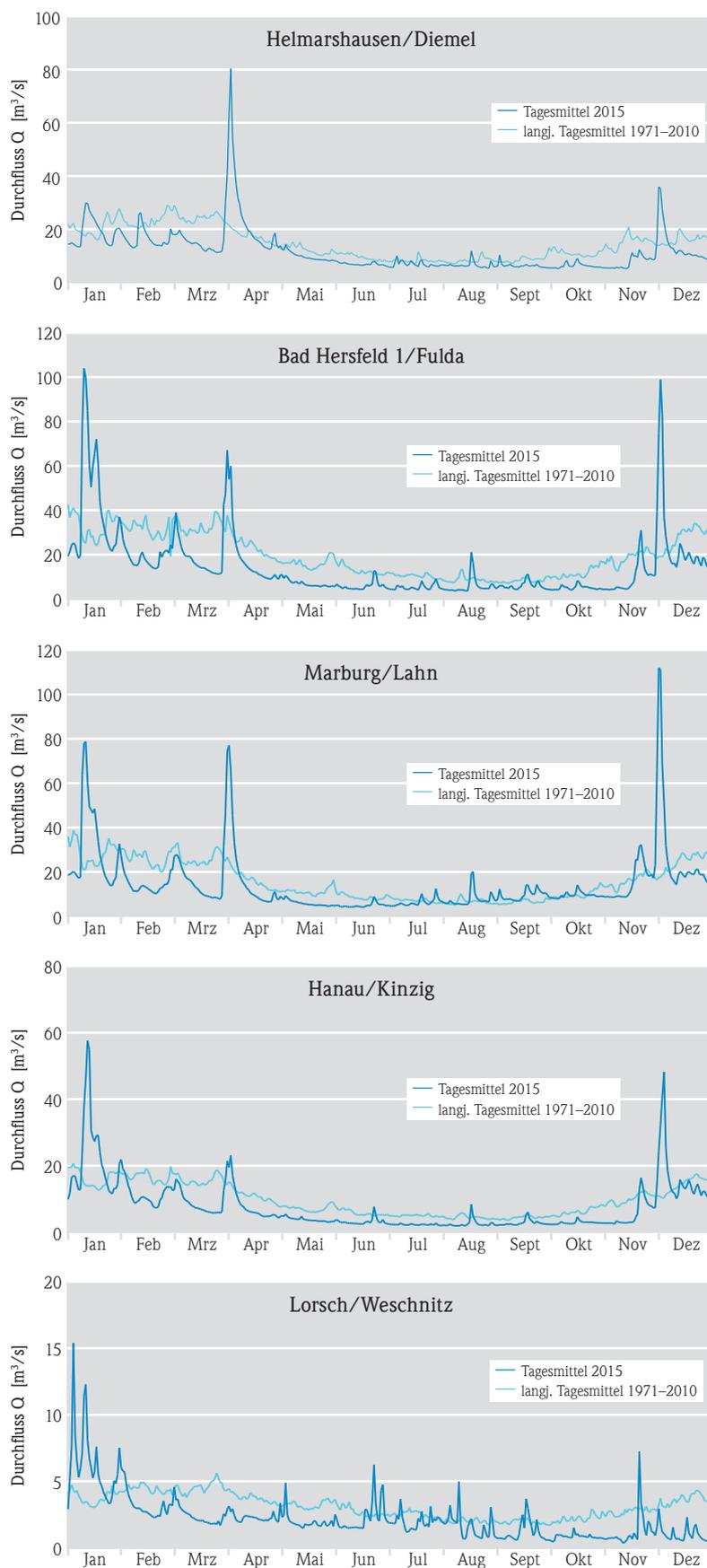


Abb. 21: Durchflüsse an fünf hessischen Pegeln.

3.2 Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken

CORNELIA LÖNS-HANNA

Übersicht

In Hessen gibt es 15 Talsperren und 30 Hochwasserrückhaltebecken. Diese dienen:

- dem Hochwasserschutz,
- der Niedrigwasseraufhöhung,
- der Energieerzeugung und
- Freizeit- und Sportaktivitäten.



Abb. 22: Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken.

Kartengrundlage: ATKIS-Daten des HLBG
 Bearbeitung: HLNUG 2015

In Hochwasserrückhaltebecken wird vordringlich Wasser zum Hochwasserschutz der Unterlieger zurückgehalten. Wenn kein Hochwasserfall vorliegt, sind die Hochwasserrückhaltebecken nur teilweise (Becken mit Dauerstau) oder nicht gefüllt (sog. grüne Becken).

Eine Übersicht über die Lage der für den Hochwasserschutz wichtigsten Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken ist Abbildung 22 zu entnehmen.



Abb. 23: Edertalsperre.

Ergebnisse 2015

Im Folgenden wird exemplarisch die Situation in den Talsperren im Jahr 2015 anhand der großen Talsperren in Hessen, Edertalsperre und Diemeltalsperre, und anhand zweier kleinerer Talsperren beschrieben.

Edertalsperre (Edersee)

Die größte Talsperre in Hessen (die drittgrößte in Deutschland) ist die Edertalsperre (Abbildung 23) mit 199,3 Mio. m³ Stauraum. Ursprünglich wurde sie in den Jahren 1908 bis 1914 für die Wasserbereitstellung der Schifffahrt bei Niedrigwasser für die Oberweser und den Mittellandkanal und den Hochwasserschutz im Unterlauf der Eder errichtet. In den letzten Jahrzehnten wird die Edertalsperre intensiv für Freizeit und Erholung genutzt und stellt somit einen wesentlichen Faktor für den Tourismus in der Region dar. Weiterhin spielt die Wasserkraftnutzung eine wichtige Rolle.

Beckenfüllungen der Talsperren werden einerseits durch die Witterungsverhältnisse wie Temperatur und Niederschläge und andererseits durch die Talsperrensteuerung bestimmt.

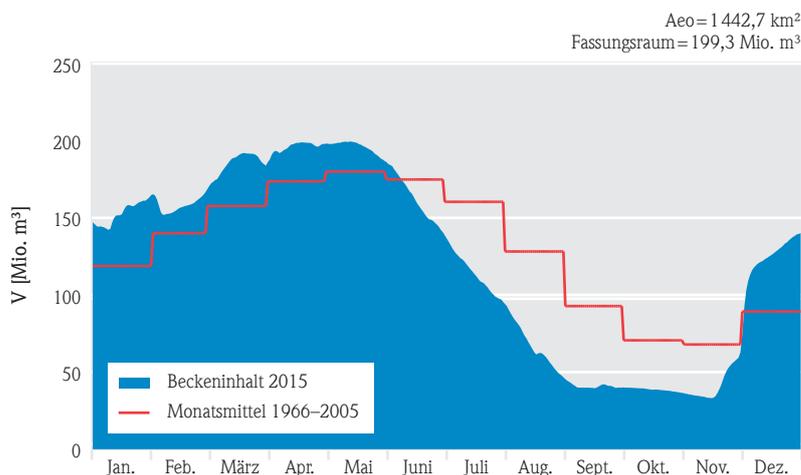


Abb. 24: Beckenfüllung der Edertalsperre 2015.

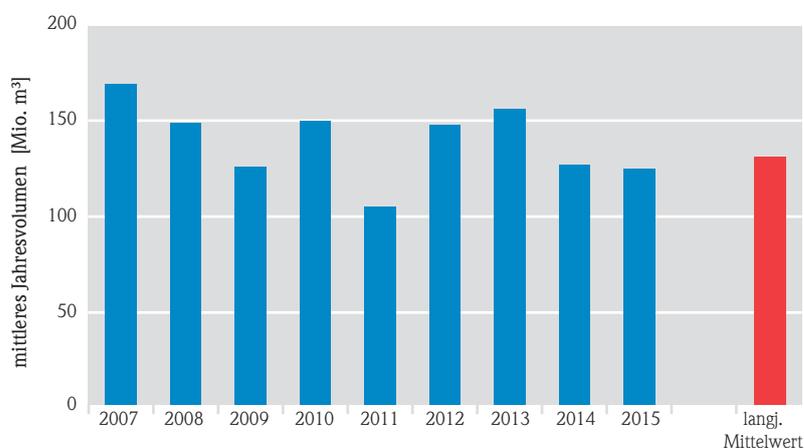


Abb. 25: Mittleres Jahresvolumen der Edertalsperre.

Im Jahr 2015 lag die Beckenfüllung (Abbildung 24, Abbildung 25) der Edertalsperre mit im Mittel 123 Mio. m³ bei 95 % des langjährigen Werts (129 Mio. m³). Bis Mitte Mai nahm die Füllmenge zu, bis sie am 13.05.2015 mit 199,5 Mio. m³ den Maximalwert erreichte. Damit war der Fassungsraum von 199,3 Mio. m³ sogar leicht überschritten.

In den folgenden Monaten bis Mitte November reduzierte sich die Wassermenge, sie lag jeweils unter den langjährigen Mittelwerten. Mitte November wurde das Jahresminimum mit 33,138 Mio. m³ erreicht. Das Füllvolumen lag bei 49 % des für diesen Monat üblichen Werts von 67,9 Mio. m³.

Zum Ende des Jahres nahm die Wassermenge bis auf 140 Mio. m³ zu und lag damit 59 % über den Durchschnittswerten.

Diemeltalsperre (Diemelsee)

Wie die Edertalsperre dient die Diemeltalsperre der Niedrigwasseraufhöhung von Oberweser und Mittellandkanal, dem Hochwasserschutz, der Wasserkraftnutzung und zu Erholungszwecken. Das Füllvolumen entspricht ca. 10 % des Volumens der Edertalsperre. Die Entwicklung der Füllmengen im Laufe des Jahres verlief ähnlich dem der Edertalsperre, jedoch wurden die monatlichen Mittelwerte im Großen und Ganzen nicht unterschritten. Das maximale Füllvolumen wurde Mitte April mit 18,89 Mio. m³ erreicht. Damit war der Fassungsraum voll ausgefüllt. Im Mittel war die Talsperre mit 14,9 Mio. m³ gefüllt, dieser Wert liegt um 16 % über dem langjährigen Mittelwert (Abbildung 26).

Weitere Talsperren in Hessen

Beispielhaft für weitere Talsperren in Hessen werden Nidda- und Kinzigtalsperre dargestellt. Die Niddatalsperre (Niddastausee) und die Kinzigtalsperre dienen, wie die anderen hessischen Talsperren, vorrangig dem Hochwasserschutz und der Niedrigwasseranreicherung der Gewässer Nidda bzw. Kinzig während der abflussarmen Zeiten, sowie der Stromerzeugung. Weiterhin werden die Talsperren für verschiedene Freizeitaktivitäten genutzt.

Die Füllmengen von Kinzig- und Niddatalsperre sind den Abbildungen 27 und 28 zu entnehmen. Diese wurden durch die Witterung sowie durch die Talsperrensteuerung beeinflusst. Die Steuerung orientiert sich an den Stauzielen, die jahreszeitlich sowie

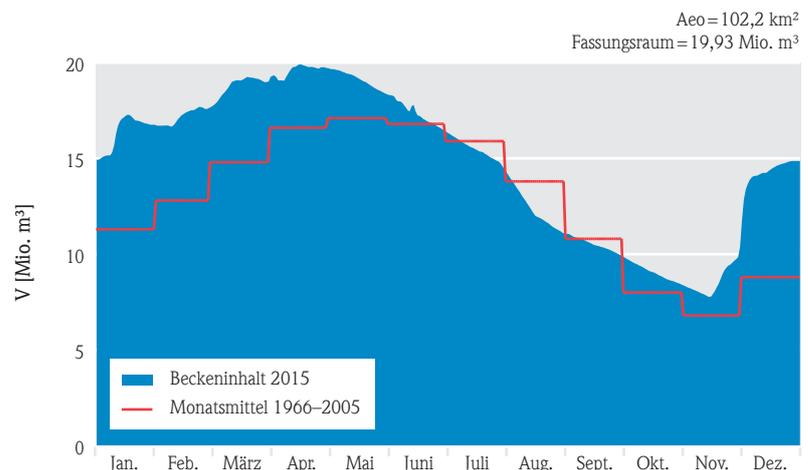


Abb. 26: Beckenfüllung der Diemeltalsperre 2015.

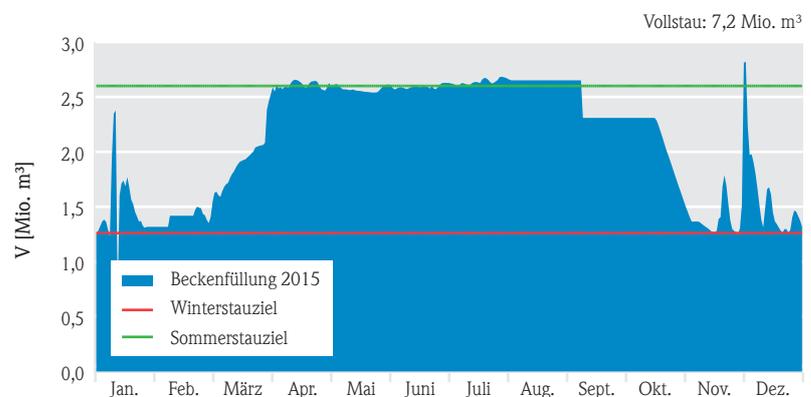


Abb. 27: Beckenfüllung der Kinzigtalsperre 2015.

nach Nutzung, wie z.B. Freizeitnutzung und Niedrigwasseraufhöhung im Gewässer, variieren können.

Auch wenn es im Jahr 2016 nur kleinere Hochwasser gab, zeigen sich ihre Auswirkungen deutlich bei der Entwicklung der Füllvolumen. In der Grafik der Niddatalsperre ist erkennbar, wie die höheren Wassermengen im Januar die Beckenfüllung vom Winterstauziel bis auf die Höhe des Sommerstauziels anwuchs. Auch in der Kinzigtalsperre wurden die höheren Wassermengen kurzzeitig zurückgehalten, erkennbar durch die Spitze im Januar.

Beide Talsperren wurden im Frühjahr auf die Höhe des Sommerstauziels eingestaut. Während die Füllmenge der Niddatalsperre bis November kontinuierlich reduziert wurde, wurde das Sommerstauziel in der Kinzigtalsperre bis September eingehalten und

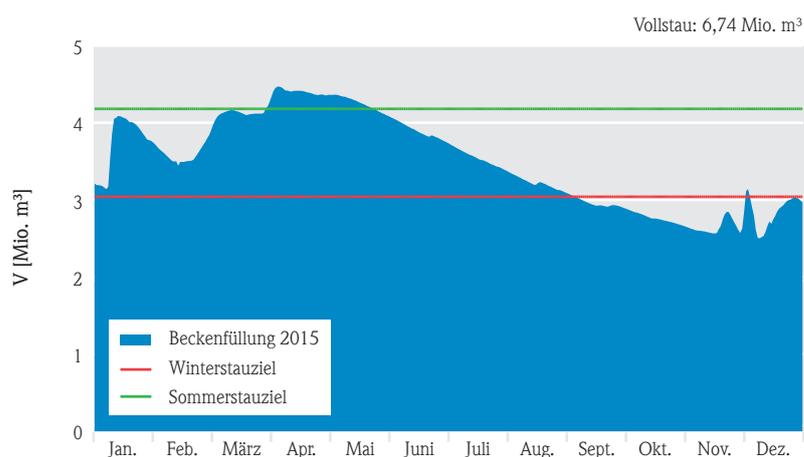


Abb. 28: Beckenfüllung der Niddatalsperre 2015.

dann in zwei Schritten abgelassen. Die Regenfälle im November wurden in den Talsperren kurzzeitig zurückgehalten, was sich im Ansteigen der Füllmengen zeigte. Ende des Jahres entsprachen in beiden Talsperren die Füllmengen dem jeweiligen Winterstauziel.

3.3 Physikalisch-chemische Beschaffenheit oberirdischer Gewässer

Dr. CHRISTINA KLEIN

Die physikalisch-chemischen Kennwerte Wassertemperatur, Leitfähigkeit, pH-Wert und Sauerstoffgehalt stellen eine Momentaufnahme der Wasserbeschaffenheit dar und unterliegen starken tageszeitlichen und saisonalen Schwankungen, so dass die besonderen meteorologischen Verhältnisse bei der Bewertung eines Jahresverlaufs mit berücksichtigt werden müssen. Sie steuern die chemischen und biologischen Prozesse im Gewässer und dienen deshalb zusammen mit den Nährstoff- und Salzgehalten als Hilfsgrößen zur Beurteilung des ökologischen Zustands der Fließgewässer. Eine entscheidende Rolle spielt neben der absoluten Intensität die Dauer von schädlichen Einwirkungen, die nur mit Hilfe kontinuierlicher Messungen erfasst werden kann.



Abb. 29: Messstation und Entnahmeverrichtung am Schwarzbach in Ginsheim.

Das Land Hessen betreibt derzeit sieben ortsfeste Messstationen, in denen diese Kenngrößen ununterbrochen überwacht werden. Die Standorte liegen am Gebietsauslass großer, stark belasteter Einzugsgebiete oder an hessischen Landesgrenzen:

- am Main in Bischofsheim
- am Schwarzbach in Ginsheim
- an der Nidda und am Main in Nied
- an der Kinzig in Hanau
- an der Lahn in Oberbiel
- an der Werra in Witzzenhausen
- an der Fulda in Wahnhausen.

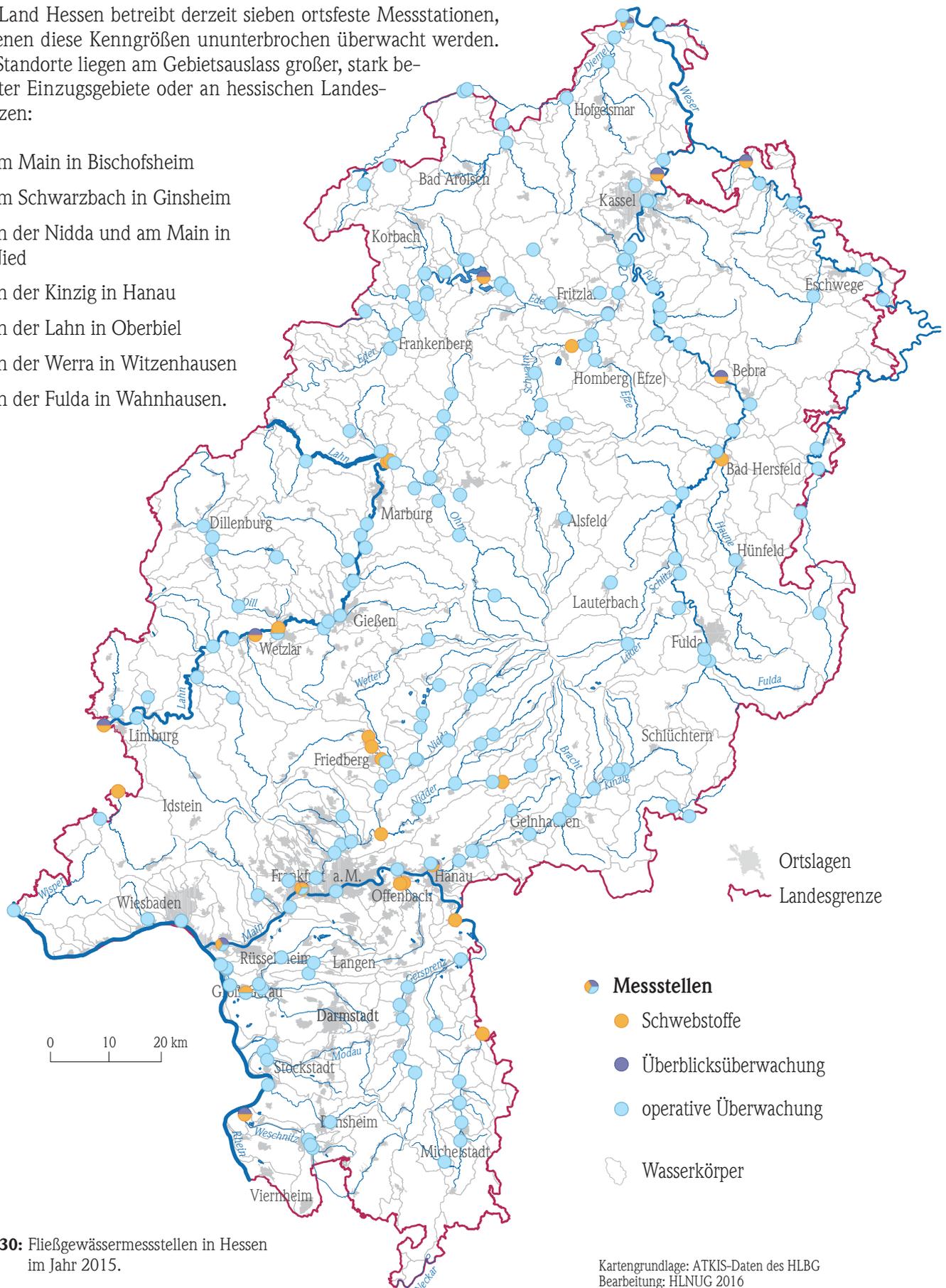


Abb. 30: Fließgewässermessstellen in Hessen im Jahr 2015.

Kartengrundlage: ATKIS-Daten des HLBG
 Bearbeitung: HLNUG 2016

Die Messstationen sind Bestandteil eines ausgedehnten Messnetzes (Abb. 30) und zählen zu den insgesamt 13 Überblicksüberwachungsstellen nach Wasserrahmenrichtlinie. Die Überwachung umfasst sowohl Online-Messungen mit Hilfe direkt im Probestrom installierter Sonden als auch Misch- und Stichprobenentnahmen mit anschließender Analyse im Labor. Die Ergebnisse der kontinuierlichen Messungen werden zu Halbstundenmittelwerten aggregiert und mehrmals täglich an einen zentralen Rechner im Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie übertragen. Die so erfassten Rohdaten können aktuell auf der Internetseite <http://www.hlnug.de/popups/wassermessdaten.html> eingesehen und herunter geladen werden. Die Ergebnisse der Labormessungen an allen hessischen Messstellen sind über den Link <http://www.hlnug.de/themen/wasser/fliessgewaesser/fliessgewaesser-chemie/hauptparameter/landesweite-messungen.html> abrufbar. Die Datenbestände der meisten Parameter und Standorte gehen zurück bis in die 1990er Jahre, so dass diese Daten auch zur Trendermittlung verwendet werden können.

Derzeit werden die folgenden Parameter kontinuierlich gemessen:

- Sauerstoff
- pH-Wert
- Wassertemperatur
- Leitfähigkeit
- Trübung
- gelöstes Phosphat (Ortho-P) (außer in der Werra)

in der Werra in Witzenhausen zusätzlich

- Nitrat
- Chlorid

im Schwarzbach in Ginsheim (Abb. 29) außerdem

- Gesamt-Phosphat
- Chlorophyll.

Die Karte (Abb. 30) gibt einen Überblick über alle Messstellen des Jahresmessprogramms 2015 im Bereich der Fließgewässer.

In der folgenden Grafik (Abb. 31) ist der Jahresgang der Wassertemperatur in Wochenmittelwerten für die Messstationen an den großen Flüssen Main, Lahn, Fulda und Werra wiedergegeben. Die Verläufe folgen in erster Linie dem Gang der mittleren Lufttemperatur (vgl. Kapitel 2.1, Abb. 2) und sind somit für alle vier Gewässer ähnlich. Die gemittelten Temperaturwerte liegen insbesondere in den Wintermonaten sehr dicht beieinander. Ab Mitte März (12. Kalenderwoche) zeigt der Main jedoch aufgrund von Wärmeeinleitungen anliegender Kraftwerke und Industriebetriebe und fehlender Beschattung deutlich höhere Temperaturen.

In den Sommermonaten Juli und August kommt es deshalb am Main zu mehrmaligen Überschreitungen des Sommer-Orientierungswertes von 25 °C. Bezogen auf die Halbstundenmittelwerte (s. Abb. 32 a-d) beträgt das Maximum am 05.07.2015 auf der linken Seite des Mains 27,3 °C (Abb. 32a). Vom 04.07. bis zum 10.7. 2015 (28. Kalenderwoche) liegen die Temperaturwerte auch in der Nacht oberhalb der 25 °C-Marke. An der Lahn und der Werra (Abb. 32b und 32c) kommt es vom 04.07. bis zum 07.07. ebenfalls zu Überschreitungen der Maximaltemperatur. Lediglich die Temperaturwerte der Fulda liegen ganzjährig unterhalb des Orientierungswertes. In den Wintermonaten¹ wird die Maximaltemperatur von 10 °C lediglich im Main kurzzeitig erreicht.

Die Jahresganglinien der minimalen Sauerstoffgehalte (Wochenmittelwerte der Tagesminima, Abb. 33) zeigen starke Einbrüche ab der 20. Kalenderwoche. Diese Sauerstoffeinbrüche sind jedes Jahr im Frühjahr und Sommer zu beobachten und je nach Witterungsbedingungen mehr oder weniger stark ausgeprägt. Sie treten dann auf, wenn die Photosyntheseaktivität der Wasserpflanzen aufgrund der zunehmenden Phytoplanktonentwicklung ein Maximum erreicht hat. Wird die Sauerstoffproduktion in dieser Situation durch fehlende Sonneneinstrahlung oder durch den Eintrag von Trübstoffen unterbunden, kommt es verstärkt zur biologischen Sauerstoffzehrung und Veratmung verbunden mit einem steilen Abfall der Sauerstoffkonzentration. In der Fulda ist die Konzentrationsabnahme sehr deutlich ausgeprägt. Während die Gehalte in der Werra, der Lahn und dem Main während der Sommermonate

¹ von Januar bis März und im Dezember

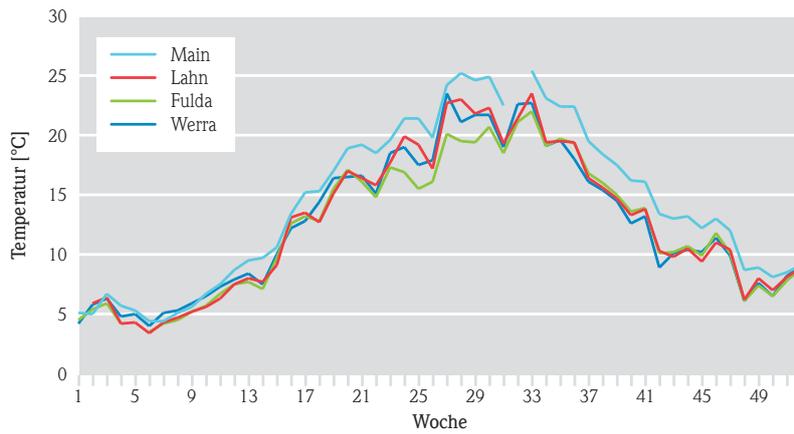


Abb. 31: Jahresganglinien der Temperaturmittelwerte an den vier Messstationen. Für den Main in Bischofsheim wurden die Mittelwerte der Temperaturmaxima aus rechtem und linkem Ufer berechnet und dargestellt.

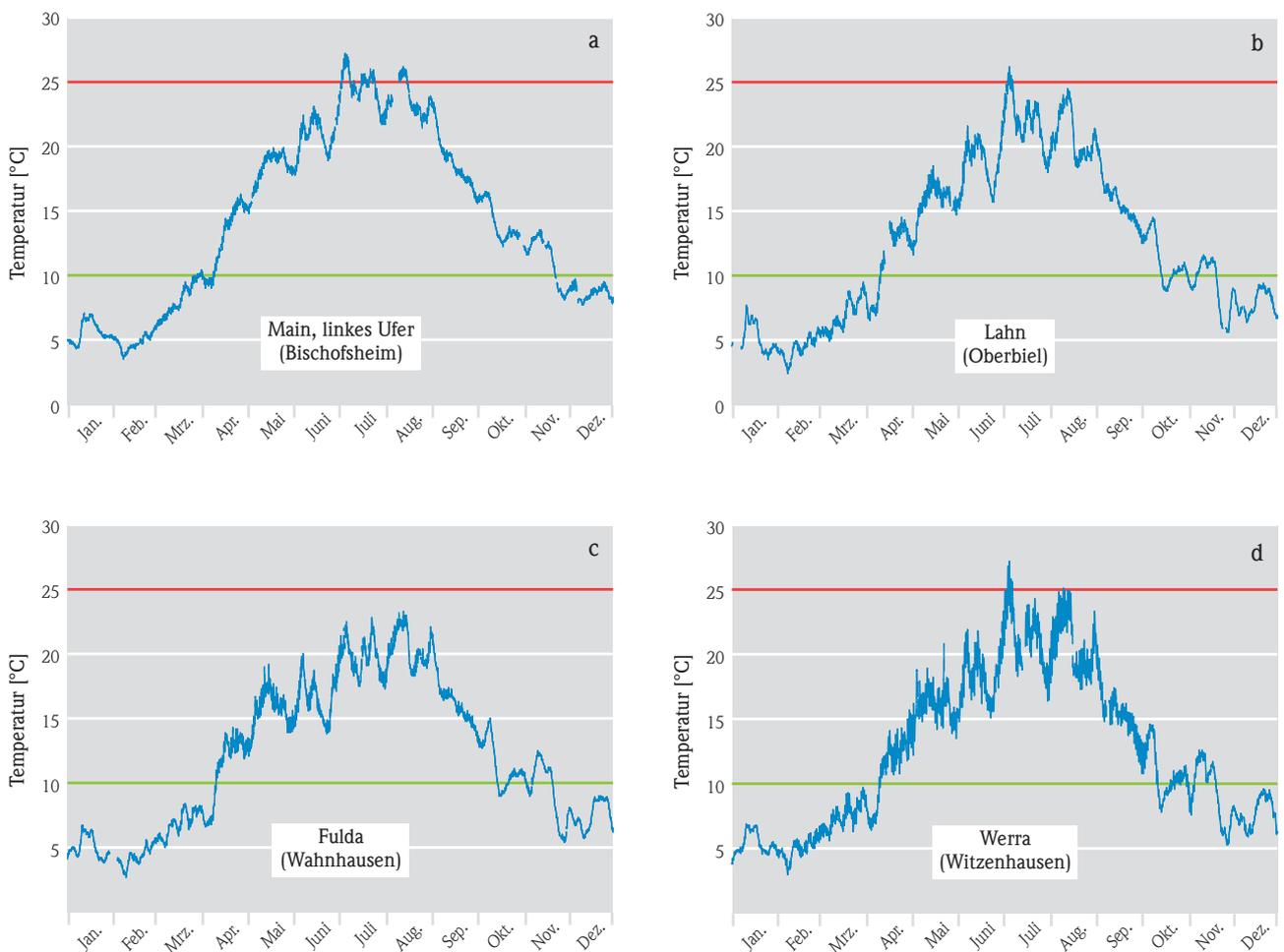


Abb. 32: Wassertemperatur als Halbstundenmittelwerte an den vier Messstationen und Orientierungswerte (T_{\max} (Sommer) 25 °C und T_{\max} (Winter) 10 °C).



Abb. 33: Jahresganglinien der Wochenmittelwerte bezogen auf Tagesminima des Sauerstoffgehaltes an den vier Messstationen an Main, Lahn, Fulda und Werra.

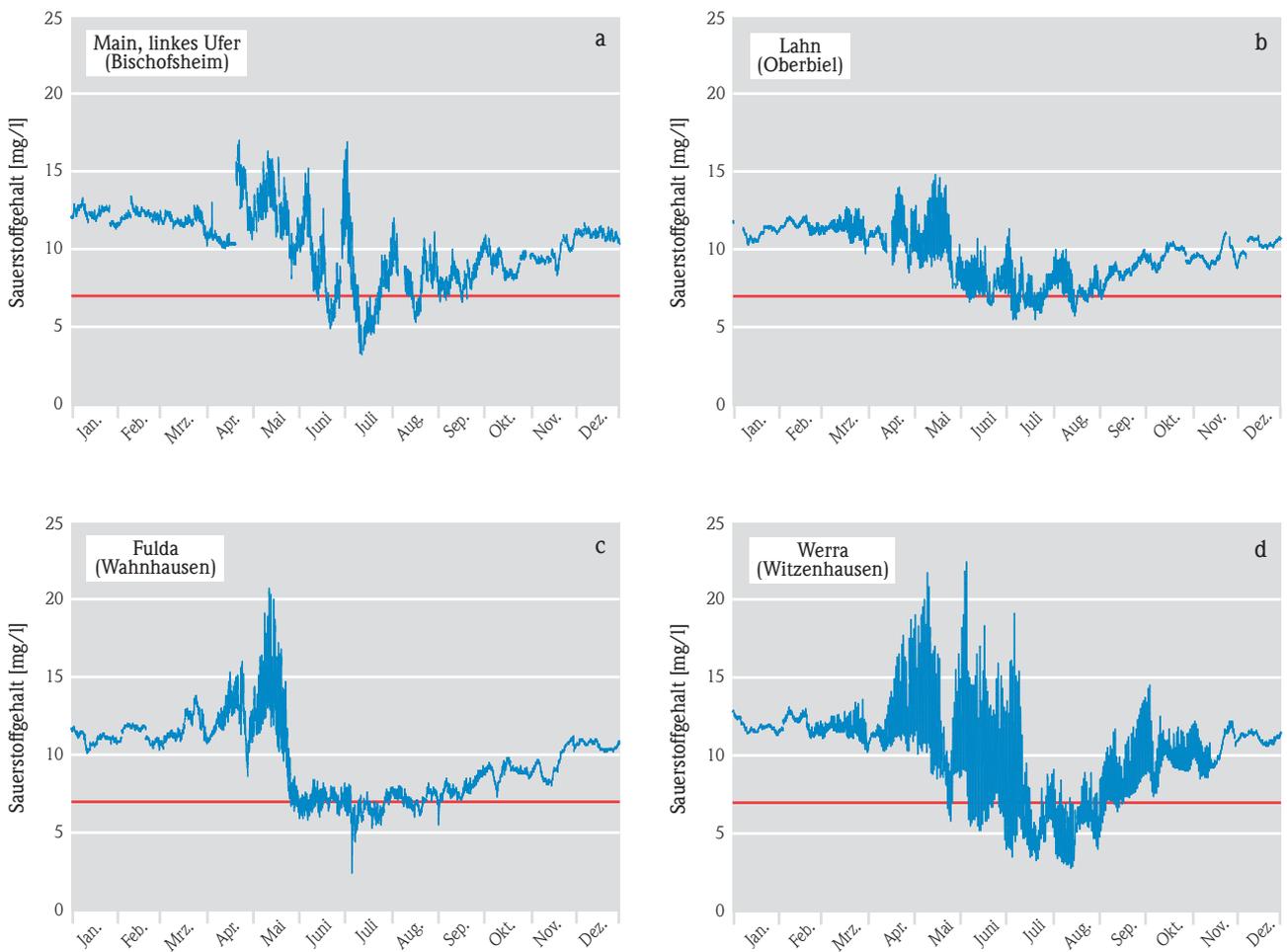


Abb. 34: Sauerstoffgehalte als Halbstundenmittelwerte an den vier Messstationen und Orientierungswerte im Minimum.

in den Tagesverläufen immer wieder auf sehr hohe Sauerstoffgehalte ansteigen, bewegen sich die Werte in der Fulda um den Orientierungswert für das Minimum von 7 mg/l (Abb. 34c). Am 06.07.2015 kommt es in der Fulda zusätzlich zu einem Trübungsanstieg und einem damit einhergehenden starken Abfall der Sauerstoffkonzentration auf ein absolutes Minimum von 2,7 mg/l. Die Werra unterschreitet den Orientierungswert über den Zeitraum von drei Monaten nahezu täglich und zeigt mit 4,8 mg/l in der 34. Kalenderwoche die geringste Sauerstoffkonzentration.

In den nachfolgenden Diagrammen (Abb. 35a–d) sind die Konzentrationsverläufe des gelösten Phosphats (Ortho-P) und des Gesamtposphats (Gesamt-P) wiedergegeben. Die Jahresganglinien des gelösten Anteils zeigen in den Sommermonaten an allen Standorten deutlich höhere Werte als im Winter. Besonders groß ist diese Differenz in der Lahn und in der Werra. Die minimalen Konzentrationen werden nahezu gleichzeitig mit den Sauerstoffmaxima in der 17. und 18. Kalenderwoche gemessen. Zu dieser Zeit wird das pflanzenverfügbare gelöste Phosphat in die Biomasse eingebaut. Dadurch geht die Konzentration dieses Phosphatanteils im Gewässer zurück. An der Werra liegen die Konzentrationen sogar unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,005 mg/l (Tab. 3). Der Jahresgang der Konzentration von Gesamtposphor verläuft hingegen etwas gleichmäßiger. Hohe Konzentrationsspitzen treten vor allem nach starken Regenfällen auf. Der Anteil an gebundenem Phosphat (Differenz aus Gesamt-P und Ortho-P) ist in den Frühjahrs- und Wintermonaten groß. In der 49. KW werden an der Lahn und an der Werra besonders hohe Gesamt-P-Werte beobachtet, die auf Einträge durch Regenereignisse

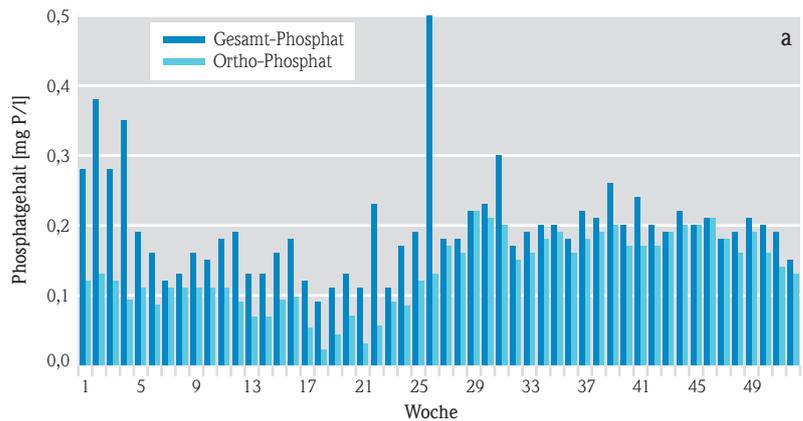


Abb. 35a: Konzentration von gelöstem Phosphat (Ortho-P) und Gesamt-Phosphat in den Wochenstichproben 2015 in der Messstation Bischofsheim/Main.

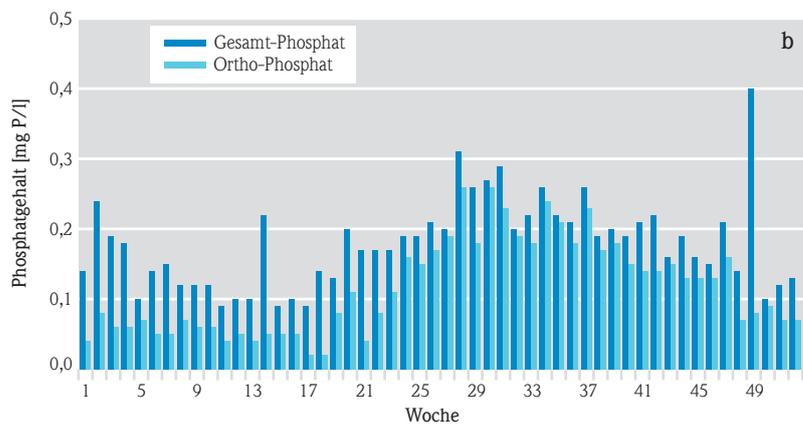


Abb. 35b: Konzentration von gelöstem Phosphat (Ortho-P) und Gesamt-Phosphat in den Wochenstichproben 2015 der Messstation Oberbiel/Lahn.

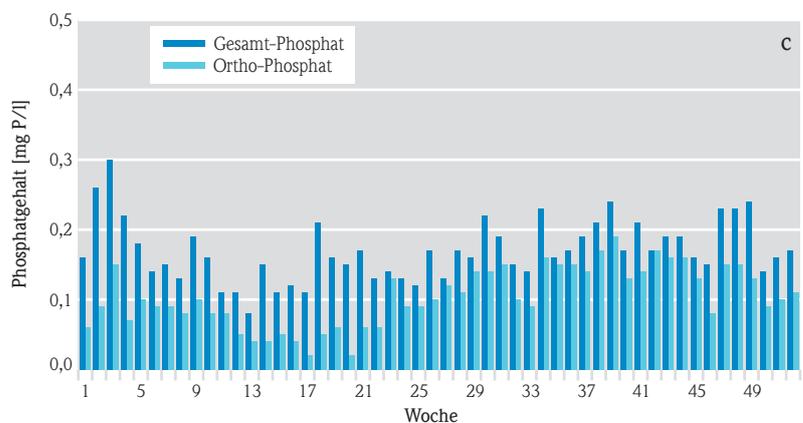


Abb. 35c: Konzentration von gelöstem Phosphat (Ortho-P) und Gesamt-P in den Wochenstichproben 2015 der Messstation Wahnhausen/Fulda.

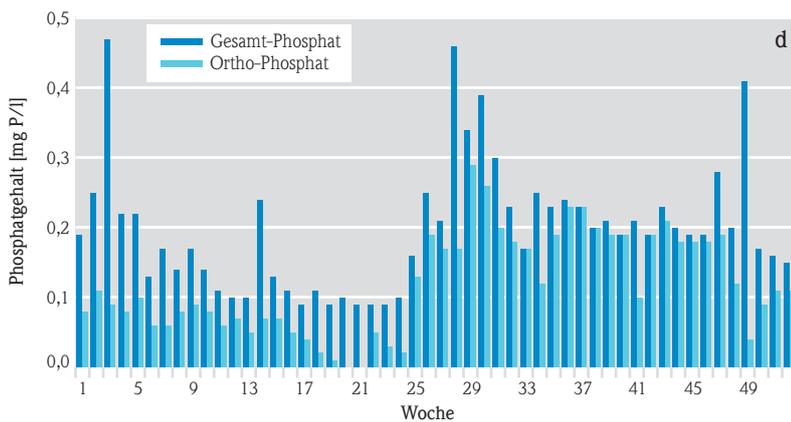


Abb. 35d: Konzentration von gelöstem Phosphat (Ortho-P) und Gesamt-P in den Wochenstichproben 2015 der Messstation Witzzenhausen/Werra.

(erhöhte Einträge durch Kläranlagenabläufe, Mischwasserentlastungen und diffuse Einträge) zurückgeführt werden können, gleichzeitig werden auch deutliche Einbrüche der Leitfähigkeit gemessen (Abb. 36).

Die elektrische Leitfähigkeit ist ein Maß für den Gehalt an gelösten Salzen. Sie ist einerseits abhängig von den geogenen Bedingungen des Fließgewässers, andererseits aber auch ein Indikator für anthropogene Salzbelastungen. Die hier betrachteten Gewässer sollten aufgrund ihrer geogenen Voraussetzungen Leitfähigkeiten unterhalb von 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aufweisen. Aufgrund der Einleitungen aus dem Salzbergbau zeigt die Werra jedoch sehr hohe Leitfähigkeiten, die

um den Faktor 5 bis 10 höher liegen als die der anderen Gewässer. In Abbildung 36 zeigt sich auch, dass der Main gegenüber den Flüssen Lahn und Fulda ganzjährig über höhere Leitfähigkeiten verfügt, was auf die regelmäßigen Einleitungen der anliegenden großen Industriebetriebe und kommunalen Kläranlagen zurückzuführen ist. In den abflussreichen Wintermonaten ist die Leitfähigkeit an allen Standorten aufgrund der erhöhten Verdünnung durch Regenwasserinträge geringer als in den restlichen Monaten. Darüber hinaus erkennt man im Jahresverlauf aufgrund der

Trockenheit einen leicht ansteigenden Trend, der an der Werra am stärksten ausgeprägt ist. Erst mit den Niederschlägen in der 49. Kalenderwoche kommt es an allen betrachteten Gewässern zu einem Einbruch und Rückgang der Leitfähigkeit.

In den nachfolgenden Tabellen 3 und 4 sind für die beiden Messstationen an der Werra in Witzzenhausen und am Main in Bischofsheim beispielhaft die Ergebnisse der Sondenmessung aggregiert auf Wochenmittelwerte bzw. Wochenextremwerte und die Ergebnisse der Labormessungen aus den Wochenmischproben für ausgewählte Kohlenstoff-, Stickstoff und Phosphorparameter dargestellt. Zusätzlich ist der Abfluss als Wochenmittelwert angegeben.

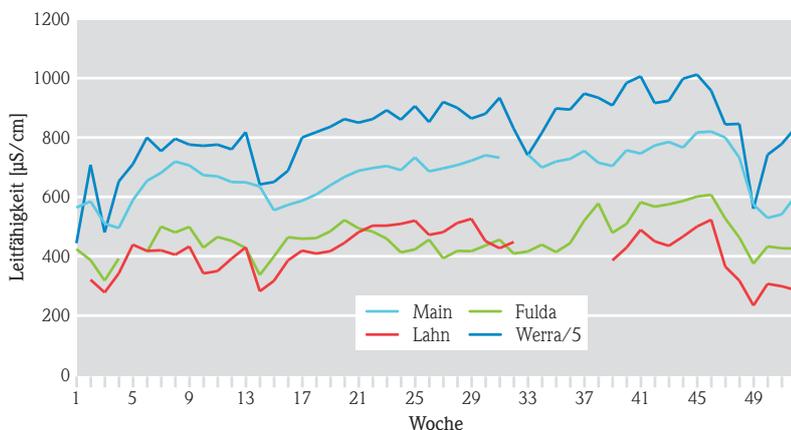


Abb. 36: Jahresganglinien der elektrischen Leitfähigkeit im Main (Bischofsheim), in der Lahn (Oberbiel), in der Fulda (Wahnhausen) und in der Werra (Witzzenhausen).

Tab. 3: Messergebnisse 2015 der Messstation Witzenhausen/Werra.

Periode	Abfluss Q*	Tempera- tur	Gelöster Sauerstoff O ₂ min	pH-Wert	Elektri- sche Leit- fähigkeit	Gesamt- Stickstoff	Gesamt org. Kohlenstoff TOC	Ortho- Phosphat- Phosphor	Gesamt- Phosphor
Woche	[m ³ /s]	[°C]	[mg/l]		[µS/cm]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
1	81,3	4,2	12,6	8,1	2,22	3,9	4,3	0,08	0,19
2	124,0	5,8	11,7	8,1	3,54	4,7	11,0	0,11	0,25
3	90,1	6,3	11,6	8,1	2,40	4,1	5,6	0,09	0,47
4	71,8	4,8	11,8	8,1	3,26	4,9	6,8	0,08	0,22
5	58,1	5,0	11,5	8,1	3,55	4,9	4,4	0,10	0,22
6	56,1	4,0	12,3	8,1	4,00	4,7	2,7	0,06	0,13
7	48,8	5,1	12,2	8,1	3,77	5,3	3,8	0,06	0,17
8	48,1	5,3	11,7	8,2	3,98	5,3	2,7	0,08	0,14
9	58,5	5,9	11,3	8,2	3,88	5,0	3,5	0,09	0,17
10	53,7	6,5	11,6	8,2	3,86	4,5	3,8	0,08	0,14
11	48,8	7,3	11,5	8,2	3,88	4,3	3,3	0,06	0,11
12	44,0	7,9	11,2	8,3	3,80	4,1	3,7	0,07	0,10
13	97,6	8,4	10,9	8,3	4,09	4,1	3,1	0,05	0,10
14	70,8	7,5	10,9	8,1	3,21	5,1	7,2	0,07	0,24
15	52,5	10,0	10,7	8,3	3,25	4,5	3,6	0,07	0,13
16	40,1	12,2	10,8	8,5	3,44	3,5	4,0	0,05	0,11
17	37,6	12,8	11,0	8,8	4,00	4,1	5,1	0,04	0,09
18	32,4	14,4	10,9	8,7	4,09	4,2	4,1	0,02	0,11
19	28,2	16,4	10,6	9,1	4,18	3,4	6,1	0,01	0,09
20	22,9	16,5	9,2	8,9	4,31	3,1	6,0	< 0,005	0,10
21	21,4	16,6	7,9	8,7	4,25	3,2	4,3	< 0,005	0,09
22	19,6	15,1	8,1	8,6	4,31	3,5	4,3	0,05	0,09
23	17,6	18,5	7,8	8,8	4,46	2,2	3,3	0,03	0,09
24	17,9	19,0	5,6	8,5	4,30	3,2	2,7	0,02	0,10
25	21,6	17,5	6,2	8,3	4,53	3,2	4,7	0,13	0,16
26	17,0	17,9	6,9	8,2	4,26	2,9	4,8	0,19	0,25
27	17,6	23,5	4,3	8,2	4,60	2,5	5,9	0,17	0,21
28	15,8	21,1	5,2	8,3	4,50	3,1	10,0	0,17	0,46
29	18,4	21,7	4,1	7,9	4,32	3,2	5,8	0,29	0,34
30	16,6	21,7	4,1	7,9	4,40	3,4	6,0	0,26	0,39
31	13,0	19,0	5,4	8,1	4,67	3,4	4,5	0,20	0,30
32	14,1	22,6	3,4	8,1	4,15	3,3	4,7	0,18	0,23
33	22,8	22,7	3,3	7,8	3,70	2,9	6,0	0,17	0,17
34	16,9	19,1	5,5	7,9	4,08	4,3	11,0	0,12	0,25
35	15,9	19,6	5,1	8,1	4,49	3,6	5,8	0,19	0,23
36	15,9	18,0	5,6	8,0	4,47	4,5	4,6	0,23	0,24
37	17,7	16,1	6,9	8,2	4,74	4,0	4,0	0,23	0,23
38	17,2	15,4	7,1	8,2	4,67	3,9	4,6	0,20	0,20
39	14,7	14,5	7,7	8,2	4,54	3,8	4,1	0,19	0,21
40	17,8	12,6	8,7	8,4	4,92	3,3	3,9	0,19	0,19
41	18,8	13,2	8,0	8,2	5,03	3,5	3,4	0,10	0,21
42	18,7	8,9	9,8	8,2	4,58	3,3	4,1	0,19	0,19
43	16,7	10,1	9,2	8,1	4,62	4,0	3,3	0,21	0,23
44	15,4	10,4	9,1	8,2	4,99	3,4	4,0	0,18	0,20
45	15,5	10,2	9,3	8,1	5,06	3,3	3,5	0,18	0,19
46	37,3	11,4	8,9	8,1	4,79	3,4	4,9	0,18	0,19
47	36,4	9,9	9,8	8,1	4,22	3,5	4,3	0,19	0,28
48	81,9	6,1	11,4	8,1	4,23	3,8	4,7	0,12	0,20
49	50,5	7,6	11,0	8,0	2,80	3,7	3,9	0,04	0,41
50	44,6	6,5	11,3	8,1	3,71	4,1	3,9	0,09	0,17
51	40,4	8,2	10,9	8,1	3,89	4,2	4,1	0,11	0,16
52	32,1	9,0	10,7	8,1	4,17	4,3	3,7	0,11	0,15

* Datenquelle: Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV), bereitgestellt durch die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)

Tab. 4: Messergebnisse 2015 der Messstation Bischofsheim/Main.

Periode	Abfluss Q*	Tempera- tur	Gelöster Sauerstoff O ₂ min	pH-Wert	Elektri- sche Leit- fähigkeit	Gesamt- Stickstoff	Gesamt org. Kohlenstoff TOC	Ortho- Phosphat- Phosphor	Gesamt- Phosphor
Woche	[m ³ /s]	[°C]	[mg/l]		[µS/cm]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
1	382	5,1	12,0	7,8	564	4,7	5,4	0,12	0,28
2	550	5,0	12,3	7,9	585	5,3	7,1	0,13	0,38
3	349	6,7	12,0	7,9	510	4,8	9,3	0,12	0,28
4	309	5,7	12,2	7,9	495	5,2	6,2	0,09	0,35
5	257	5,3	11,5	8,0	589	5,5	4,6	0,11	0,19
6	208	4,4	11,9	8,1	654	5,4	4,3	0,09	0,16
7	184	4,4	12,2	8,0	681	5,5	4,5	0,11	0,12
8	207	5,1	12,0	8,0	719	6,1	3,8	0,11	0,13
9	255	5,6	11,8	7,9	706	6,2	3,4	0,11	0,16
10	204	6,7	11,9	8,0	673	6,0	4,0	0,11	0,15
11	176	7,5	11,5	8,1	669	6,0	4,6	0,11	0,18
12	161	8,7	11,5	8,1	650	5,5	4,0	0,09	0,19
13	326	9,5	11,7	8,3	649	5,5	4,1	0,07	0,13
14	223	9,7	10,6	8,1	635	5,6	5,7	0,07	0,13
15	157	10,6	10,4	7,9	555	5,5	5,1	0,09	0,16
16	130	13,4	10,2	8,0	573	4,8	5,8	0,10	0,18
17	135	15,2	13,3	8,6	587	4,9	6,1	0,05	0,12
18	136	15,3	10,7	8,2	608	4,6	5,3	0,02	0,09
19	118	17,0	11,4	8,4	639	4,6	6,6	0,04	0,11
20	106	18,9	12,4	8,4	667	4,8	6,7	0,07	0,13
21	109	19,2	11,0	8,5	688	4,5	7,5	0,03	0,11
22	102	18,5	8,8	8,4	697	3,8	6,0	0,06	0,23
23	103	19,6	10,6	8,4	704	3,9	7,3	0,09	0,11
24	98	21,4	8,1	8,0	690	4,0	5,9	0,09	0,17
25	127	21,4	6,9	8,1	733	4,2	5,9	0,12	0,19
26	94	19,8	5,7	7,8	686	3,5	4,8	0,13	0,50
27	84	24,2	9,6	8,4	696	3,1	5,5	0,17	0,18
28	79	25,2	5,2	8,1	707	3,0	5,1	0,16	0,18
29	88	24,6	4,0	7,6	722	3,2	4,2	0,22	0,22
30	80	24,9	5,3	7,8	740	3,4	4,7	0,21	0,23
31	71	22,5	8,5	8,4	732	3,5	5,8	0,20	0,30
32	67					3,6	6,0	0,15	0,17
33	96	25,4	6,7	8,3	743	3,1	5,1	0,16	0,19
34	86	23,1	5,9	7,9	699	3,3	5,6	0,18	0,20
35	76	22,4	7,8	8,2	719	3,5	5,7	0,19	0,20
36	79	22,4	7,2	8,3	728	3,6	6,8	0,16	0,18
37	101	19,5	7,4	8,2	755	3,6	4,7	0,18	0,22
38	83	18,4	7,1	8,0	715	4,2	6,5	0,19	0,21
39	72	17,5	7,8	7,9	704	3,6	4,7	0,20	0,26
40	90	16,2	9,4	8,1	757	4,6	5,6	0,17	0,20
41	83	16,1	8,9	8,1	746	3,6	4,8	0,17	0,24
42	81	13,4	8,5	8,0	773	4,0	4,8	0,17	0,20
43	76	13,0	8,0	7,9	785	3,9	4,0	0,19	0,19
44	76	13,2	9,2	8,0	766	3,8	4,2	0,20	0,22
45	72	12,2	9,2	7,9	817	4,3	4,2	0,20	0,20
46	152	13,0	9,1	7,9	820	4,1	4,4	0,21	0,21
47	169	12,0	9,0	8,0	800	4,2	4,5	0,18	0,18
48	328	8,7	9,9	8,0	732	4,3	4,2	0,16	0,19
49	191	8,9	10,2	7,9	574	4,4	4,7	0,19	0,21
50	181	8,1	10,3	7,9	529	5,0	6,4	0,16	0,20
51	165	8,5	10,2	7,9	541	5,0	5,2	0,14	0,19
52	136	9,1	10,0	7,9	604	5,1	4,5	0,13	0,15

* Datenquelle: Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV), bereitgestellt durch die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)

3.4 Untersuchungen zur Fauna und Flora der Fließgewässer

ELISABETH SCHLAG

Zielsetzung und Aufgabe

Am 22. Dezember 2000 trat die Europäische Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL 2000/60/EG) [1] in Kraft. Kernziel der Richtlinie ist die Sicherung bzw. die Erreichung eines sehr guten bis guten ökologischen Zustands der europäischen Gewässer.

Zur Ermittlung des ökologischen Zustands werden Fauna und Flora der Gewässer untersucht. Die biologischen Qualitätskomponenten unterscheiden sich dabei in ihrer Empfindlichkeit gegenüber stofflichen, strukturellen und thermischen Belastungen und sind damit im Hinblick auf das Anzeigen möglicher De-

fizite unterschiedlich gute Indikatoren. Untersucht werden Fische, Makrozoobenthos (Fischnährtiere), Makrophyten (Wasserpflanzen), Diatomeen (am Boden wachsende Kieselalgen), Phytobenthos (restliche am Boden wachsende Algen) und Phytoplankton (frei im Wasser schwebende Algen) (Abbildungen 37–40 und 45).

Dabei weisen Störungen im Fischbestand meist auf Beeinträchtigungen in der Durchwanderbarkeit und der Struktur der Gewässer hin. Die Fischnährtiere zeigen u.a. auch die Qualität der Gewässerstruktur an. Seit langer Zeit ist diese Tiergruppe als guter In-



Abb. 37: Fische: Nase, *Chondrostoma nasus*. Foto: © Dr. Egbert Korte, Institut für Gewässer- und Auenökologie (INGA), Riedstadt.



Abb. 38: Makrozoobenthos: Köcherfliegenlarven *Brachycentrus subnubilus*. Foto: © Dr. Mechthild Banning, HLNUG, Wiesbaden.



Abb. 39: Makrophyten: Sumpf-Teichfaden *Zannichellia palustris*. Foto: © Dr. Klaus van de Weyer, Büro lanaplan, Nettetal.



Abb. 40: Diatomeen: *Cyclotella radiosa*. Foto: © Dr. Marcus Werum, Büro AGLHH, Frankfurt.

dikator für den Grad der organischen Belastung bekannt. Wasserpflanzen, Kieselalgen, andere am Boden wachsende Algen (restliches Phyto-benthos) und Phytoplankton sind besonders geeignete Organismen, um die trophischen Belastungen, d.h. zu hohe Nährstoffkonzentrationen anzuzeigen.

Bei allen Qualitätskomponenten werden die Artenzusammensetzung und -häufigkeit erfasst; bei den Fischen auch die Altersstruktur.

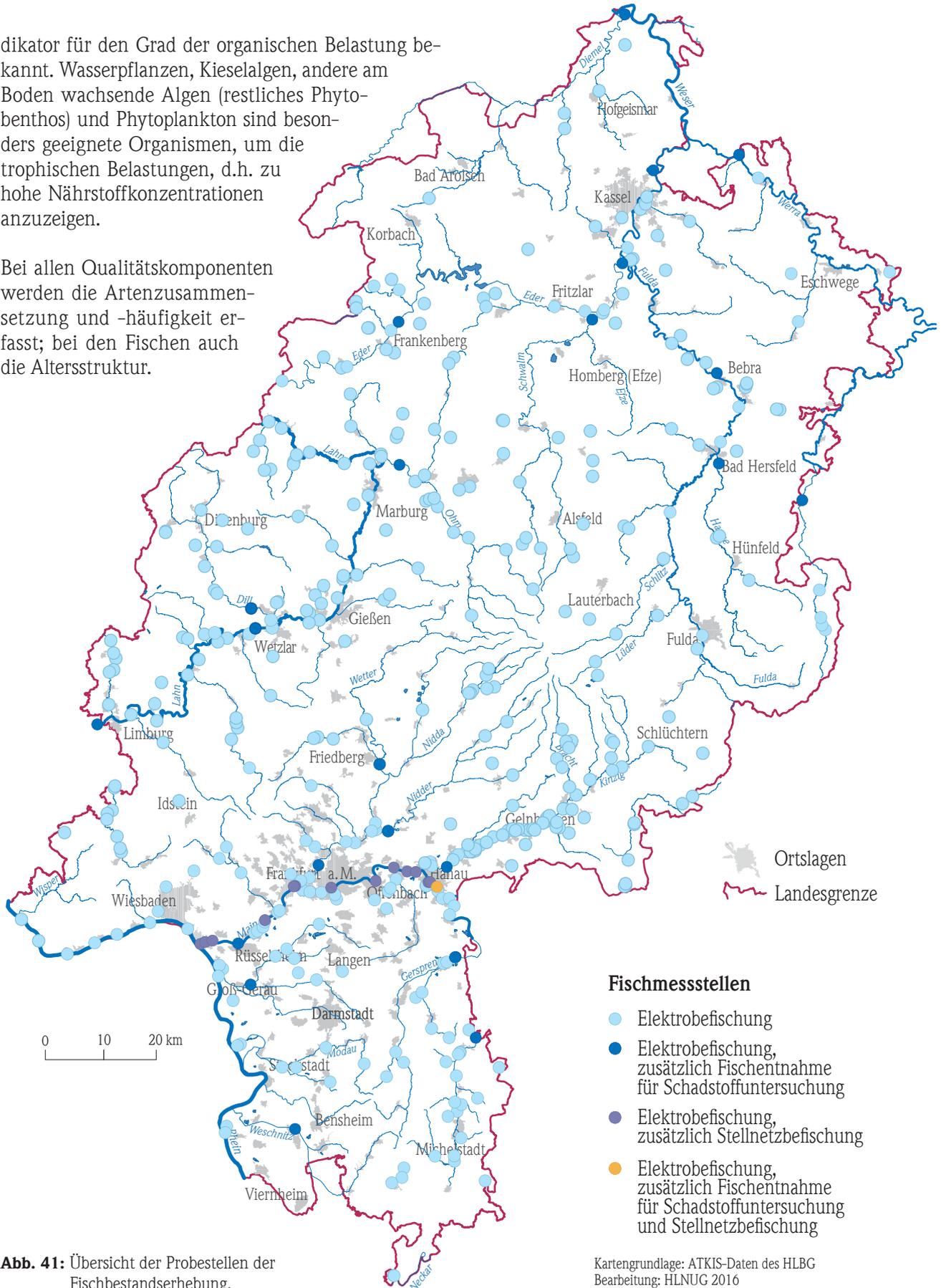


Abb. 41: Übersicht der Probestellen der Fischbestandserhebung.

Anhand des vorgefundenen Tier- und Pflanzenbestands wird geprüft, wie stark dieser von der eines vergleichbaren, von menschlichen Einflüssen (nahezu) unbelasteten Gewässers, abweicht. Weiterhin berücksichtigt die EG-WRRL die Variabilität der Gewässer und deren Lebensgemeinschaften. Deshalb wurde zunächst allen Gewässern ein entsprechender Gewässertyp zugeordnet (z.B. silikatischer grobmaterialreicher Mittelgebirgsbach oder silikatische Mittelgebirgsflüsse). Die ökologische Bewertung erfolgt dann für die verschiedenen Typen entsprechend unterschiedlich. Dabei werden die Gewässer in fünf ökologische Zustandsklassen von sehr gut bis schlecht eingestuft. Bei einer festgestellten Zustandsklasse von mäßig oder schlechter unterscheidet sich die Lebensgemeinschaft zu stark von der einer natürlichen oder naturnahen Biozönose und es besteht Handlungsbedarf.

Um den von der EG-WRRL geforderten hinreichenden Grad an Zuverlässigkeit und Genauigkeit bei der Bewertung des Zustands zu erreichen und auch langfristige Veränderungen erkennen zu können, wird für die operative Überwachung anhand der biologischen Qualitätskomponenten ein Überwachungsintervall von jeweils drei Jahren empfohlen.

Untersuchungen und Ergebnisse

Entsprechend des o.g. Untersuchungsintervalls wurden in 2015 folgende Untersuchungen seitens des HLNUG beauftragt:

Fische

Es wurde in 188 Wasserkörpern an 414 Probestellen (PS) der Fischbestand erfasst (Abbildung 41). Die Untersuchung erfolgte mittels Elektrofischfang (Abbildung 42). Bei 3,6 % (15 PS) der Probestellen wurde ein sehr guter und bei

22,5 % (93 PS) ein guter ökologischer Zustand festgestellt. Eine mäßige Zustandsklasse erreichten 32,4 % (134 PS), eine unbefriedigende Zustandsklasse 27,8 % (115 PS). Bei 13,8 % (57 PS) wurde ein schlechter ökologischer Zustand festgestellt (Abbildung 43). Damit erreichen nur 26 % der untersuchten Gewässerabschnitte den von der EG-WRRL geforderten mindestens guten ökologischen Zustand. Bei den verbleibenden 74 % wird das Ziel verfehlt und es besteht hier weiterer Handlungsbedarf.



Abb. 42: Auftragnehmer bei der Elektrofischfang. Foto: © Dr. Egbert Korte, Institut für Gewässer- und Auenökologie (INGA), Riedstadt:

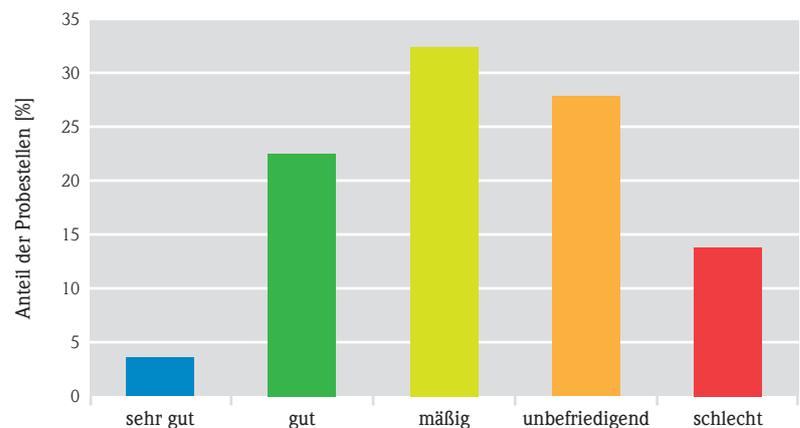


Abb. 43: Ergebnis der Fischbestandserhebung mit prozentualem Anteil der Probestellen in der erreichten ökologischen Zustandsklasse.

Makrozoobenthos

Das Makrozoobenthos wurde in 341 Wasserkörpern an 408 Probestellen (PS) im Hinblick auf noch bestehende organische Belastungen (Saprobie) untersucht. Im Wesentlichen handelte es sich um Gewässerabschnitte, bei denen letztmalig 1999 die Gewässergüte erfasst und eine saprobielle Belastung festgestellt wurde und deren Ergebnisse noch für die Gewässergütekarte 2010 verwendet wurden. Ziel der erneuten Erhebung war, dass zur Erstellung der nächsten Gewässergütekarte - voraussichtlich 2016 - auf die alten und oft ungenauen Ergebnisse verzichtet werden kann.

In einem sehr guten saprobiellen Zustand befanden sich 3,9 % der Probestellen (13 PS). Eine gute Zustandsklasse zeigten 61,9 % (252 PS). 31,7 % (129 PS) der Probestellen wurden in die Zustandsklasse mäßig und 2,5 % (10 PS) in die Zustandsklasse unbefriedigend eingestuft (Abbildung 44). Damit besteht hinsichtlich der organischen Belastung bei rund zwei Drittel (65,8 %) der Gewässerabschnitte kein Hand-

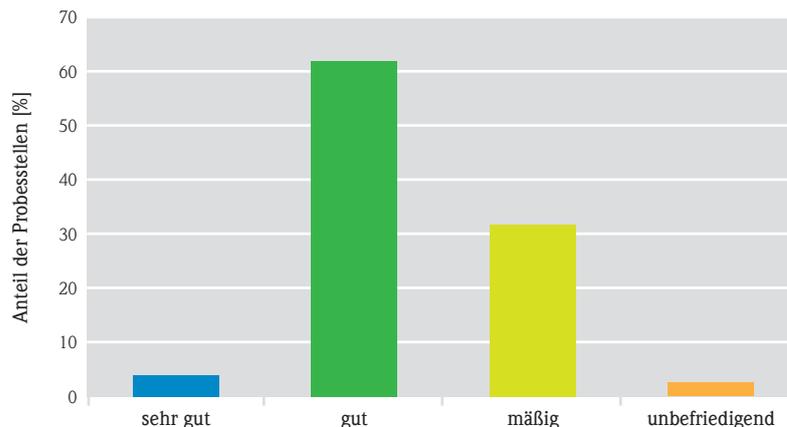


Abb. 44: Ergebnis der Makrozoobenthoserhebung mit prozentualem Anteil der Probestellen in der erreichten ökologischen Zustandsklasse.

lungsbedarf mehr. Bei gut einem Drittel (34,2 %) müssen noch Maßnahmen zur Reduzierung dieser Belastung ergriffen werden. Die vergleichsweise hohe Zahl der noch mit organisch leicht abbaubarem Material belasteten Stellen, die den guten Zustand noch nicht erreichen, ist jedoch u.a. auch damit begründet, dass das HLNUG in 2015 schwerpunktmäßig organisch belastete Abschnitte untersuchen ließ.



Abb. 45: Makrophyten im Rhein. Foto: © Dr. Egbert Korte, Institut für Gewässer- und Auenökologie (INGA), Riedstadt.

Makrophyten

Im Rahmen der o.g. Fischbestandserhebung wurde am Rhein an 16 Probestellen ebenfalls das Makrophytenvorkommen untersucht.

Es wurde ein hoher Pflanzenbestand festgestellt. Dieser Befund lässt sich vermutlich mit den sommerlichen niedrigen Wasserständen erklären.

Ausblick

Für 2016 beabsichtigt das HLNUG die Vergabe einer hessenweiten Diatomeenuntersuchung an ca. 430 Probestellen. An ca. 35 Probestellen soll zudem das restliche Phytobenthos erhoben werden.

Das Makrozoobenthos wird an 20 ausgewählten Probestellen erfasst. Hierbei werden 14 Probestellen im Zuge des Kooperationsvorhabens KLIWA „Klima-Veränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft“ untersucht. Die Untersuchung der 14 Makrozoobenthos-Messstellen dient der Klärung, ob diese geeignete Referenzmessstellen für ein langfristiges gewässerökologisches Klimamonitoring Fließgewässer sind. Die Untersuchung der restlichen 6 Probestellen erfolgt im Rahmen des NiddaMan-Projektes unter Leitung der Universität Frankfurt; das HLNUG ist hier assoziierter Partner.

Informationen zur Biologie der Fließgewässer finden Sie unter <http://www.hlnug.de/themen/wasser/fliessgewaesser/fliessgewaesser-biologie.html>. Hier sind neben Erläuterungen zu den biologischen Qualitätskomponenten und den angewendeten Bewertungsverfahren auch die Ergebnisse der seit 2004 durchgeführten Untersuchungen dargestellt. Darüber hinaus werden dort auch vom HLNUG beauf-

tragte Gutachten bzw. begleitete wissenschaftliche Arbeiten zu speziellen Fragestellungen der Fließgewässerbiologie sowie die seit 1970 erstellten Gewässergütekarten veröffentlicht.

Über den Stand der Umsetzung der EG-WRRL informiert das HMUKLV in Form des Bewirtschaftungsplans 2016–2021 [2] und Maßnahmenprogramms 2015–2021 [3] unter dem Link: <http://flussgebiete.hessen.de>.

Literatur

- [1] EG – EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFTEN (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (WRRL).
- [2] HMUKLV; Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in Hessen – Maßnahmenprogramm 2015–2021 (www.flussgebiete.hessen.de -> Bewirtschaftungsplanung).
- [3] HMUKLV; Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in Hessen – Bewirtschaftungsplan Hessen 2015–2021 (www.flussgebiete.hessen.de -> Bewirtschaftungsplanung).

3.5 Strukturkartierung der Fließgewässer

THOMAS OTT

Zielsetzung und Aufgabe

Die Gewässerstruktur beeinflusst die ökologische Funktionsfähigkeit der Fließgewässer in einem ganz erheblichen Maße. Um den von der **Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)** geforderten guten ökologischen Zustand erreichen zu können, muss daher auch die Gewässerstruktur gewisse Mindestanforderungen erfüllen. Deshalb ist die Kenntnis der aktuellen Gewässerstruktur erforderlich, um notwendige Maßnahmen zur Gewässerrenaturierung vorsehen zu können.

Da die Erstkartierung der Gewässerstruktur aller hessischen Gewässer (ca. 24.000 km) bereits Ende der 1990er Jahre erfolgte, war im Vorfeld der 2014 anstehenden Fortschreibung des WRRL-Bewirtschaftungsplans mit Maßnahmenprogramm eine Neukartierung erforderlich. Diese wurde von Herbst 2012 bis Frühjahr 2013 durch vier ausgewählte Fachbüros mit insgesamt 60 Kartierern durchgeführt. Dabei wurden aber nur die gut 8.000 km wasserrahmenrichtlinienrelevanten hessischen Fließgewässer (allerdings ohne die großen Ströme Rhein, Main, Neckar und Weser) kartiert.



Abb. 46: Kartierer bei der Geländearbeit.

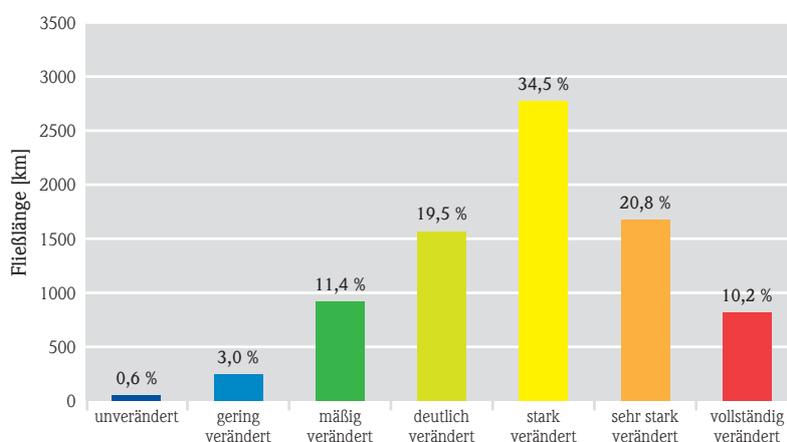


Abb. 47: Verteilung der Gewässerstrukturklassen 1–7 (von links nach rechts) in Hessen (Datengrundlage: Kartierung 2012/2013, HLUg 2014).



Abb. 48: Ergebnis der neuen Gewässerstrukturkartierung (Gesamtbewertung).
 (Datengrundlage: Kartierung 2012/2013, HLUg 2014).

Kartengrundlage: ATKIS-Daten des HLBG
 Bearbeitung: HLUg 2014

Ergebnisse

Das Ergebnis der Kartierung ist in den Abbildungen 47 und 48 dargestellt. Insgesamt weisen nur noch knapp 300 km der neu kartierten Gewässerabschnitte der Wasserrahmenrichtliniegewässer eine „unveränderte bis gering veränderte“ Gewässerstruktur (Klasse 1 und 2) auf. Der Anteil der mäßig oder deutlich veränderten Gewässerabschnitte liegt bei 31 %. Die Strukturgüteklassen 4 und 5 (stark verändert und sehr stark verändert) liegt bei 55 %.

Das Projekt der Neukartierung ist im HLOG-Jahresbericht 2014 ausführlicher beschrieben. Der Jahresbericht ist auf der HLOG-Homepage zu finden

(<http://www.hlnug.de/ueber-uns/jahresberichte/jahresbericht-2014.html>).

Ergebnisse der Kartierung sind für jeden 100-m-Abschnitt in dem bereits Anfang 2015 in einer neuen Version zur Verfügung gestellten WRRL-Viewer zu finden: <http://wrrl.hessen.de/>. Die dortige Darstellung ersetzt das Gewässerstrukturgüteinformationssystem GESIS, das bis 2014 vom Hessischen Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz unter [gesis.hessen.de](http://www.gesis.hessen.de) bereitgestellt wurde.

3.6 Seen - Trophische Untersuchungen

MICHAEL HÄCKL

Seenmessprogramm, Zielsetzung und Aufgabe

In Hessen gibt es insgesamt 773 Seen und Talsperren mit einer Fläche von größer als einem Hektar, davon 81 mit einer Fläche von mehr als zehn Hektar. Die Seen sind nicht natürlichen Ursprungs; die meisten entstanden durch Abgrabungen von Kies (Baggerseen) oder durch Ausbeutung von Braunkohle (Tagebauseen). Desweiteren wurden Fließgewässer aus wasserwirtschaftlichen Gründen zu Talsperren oder Weihern aufgestaut oder sie wurden begründet, wobei seenähnliche Altwässer (Altarme) übrigblieben. Auch wenn es sich bei den hessischen Seen um künstliche Gewässer oder um Talsperren handelt, so bilden sie heute einerseits wertvolle Lebensräume mit vielfältigen Lebensgemeinschaften, andererseits auch begehrte Ziele in der Freizeit.

Ziel der trophischen Güteuntersuchungen der Seen ist es, durch die Beurteilung des trophischen und des allgemeinen Zustandes des Sees eventuelle Defizite zu erkennen und ggf. Handlungsempfehlungen zur möglichen Sanierung des Sees zu geben. Dabei sind die Anforderungen des Naturschutzes und der Nutzungen durch den Menschen zu berücksichtigen.

Für die Trophieklassifikation von Seen nach LAWA werden vom HLOG ca. 120 Seen in unterschiedlichen Abständen regelmäßig untersucht (Abbildung 49). Der Turnus wird je nach Bedeutung des Sees und weiteren Aspekten auf jährlich oder alle drei, sechs oder zwölf Jahre festgelegt.

Für diejenigen Seen und Talsperren, die auch als Badegewässer genutzt werden, stehen die hygienischen Kriterien im Vordergrund, um bei den Badegästen eine Übertragung von Krankheiten auszuschließen. Nach der Badegewässerverordnung werden die Badegewässer von den Gesundheitsämtern auf Intestinale Enterokokken und Escherichia coli als Indikatorkeime für fäkale Verunreinigungen, in denen Krankheitserreger vorkommen können, untersucht und bewertet. Jedoch sind auch hier die trophischen Untersuchungen für die Bewirtschaftung und für die Erstellung der erforderlichen sogenannten Badegewässerprofile notwendig. So lässt sich hierdurch z.B. die Wahrscheinlichkeit einer Cyanobakterienmassenvermehrung (Blualgenblüte) einschätzen.

Seen mit einer Fläche größer 50 Hektar müssen zusätzlich den Qualitätsansprüchen der EG-Wasserrahmenrichtlinie entsprechen, deren Ziel es ist,

langfristig in Europa einen einheitlichen Standard der Bewertung der oberirdischen Gewässer und mit einem Gewässergütemanagement ein gemeinsames Güteziel zu erreichen.

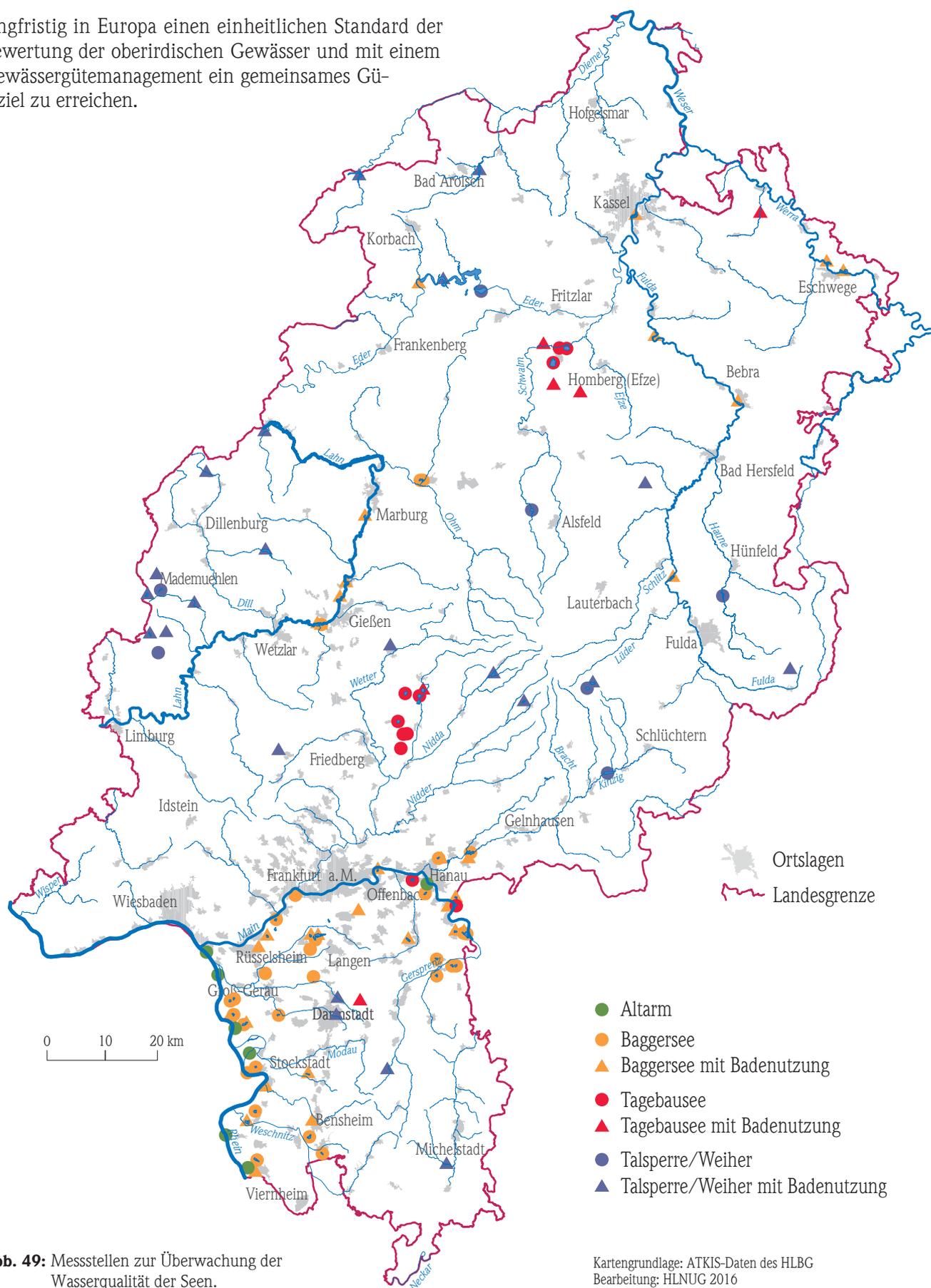


Abb. 49: Messstellen zur Überwachung der Wasserqualität der Seen.

Trophie in der Tradition

Die klassische Bewertung der Seen orientiert sich an der Biomasse der Algen in der Freiwasserzone – dem sogenannten Phytoplankton. Hierfür spielt das Phosphat eine große Rolle, da dieser Nährstoff meist der Minimumstoff ist, der das Algenwachstum begrenzt. Gemäß den Kenngrößen des Phytoplanktons (Chlorophyllgehalt und Sichttiefe), sowie dem Gesamt-Phosphorgehalt wird der See nach seiner Trophie klassifiziert [1]. Weitere aus den Wasserproben ermittelte physikalische, chemische und biologische Daten dienen zur Gesamtbeurteilung der Belastungssituation und als Grundlage bei möglichen Sanierungsmaßnahmen. Der Begriff Eutrophierung steht für eine starke Zunahme der Biomasse infolge einer hohen Nährstoffbelastung – viele Seen weisen eine hohe Trophieklasse auf.

Das im November 2013 veröffentlichte LAWA-Handbuch zur Trophieklassifikation von Seen behandelt die Seen differenziert je nach Seegruppe. In Hessen wurden die zu untersuchenden Seen folgenden Seegruppen zugeteilt:

ca. 5	geschichtete Alpenvorland- und Alpen-/Mittelgebirgs-Seen (ohne Talsperren, >5 Hektar)	AVAMgesch
ca. 5	geschichtete Talsperren (nur Talsperren, >5 Hektar)	geschTS
ca. 50	geschichtete Tieflandseen (ohne Talsperren, >5 Hektar)	TLgesch
ca. 5	geschichtete Kleinseen (ohne Talsperren, ≤5 Hektar)	geschklein
ca. 18	polymiktische (ungeschichtete) Seen mit mittlerer Tiefe >3 m	polygr3m
ca. 38	polymiktische (ungeschichtete) Seen mit mittlerer Tiefe ≤3 m	polykl3m



Abb. 50: Raunheimer Waldsee – oligotroph.

Die neue LAWA-Klassifizierung wurde in den Jahren 2014 und 2015 umgehend angewendet und führte zu folgenden Ergebnissen für die hessischen Seen (Tabelle 5):

- **5 x oligotroph** – Trophieindex $\leq 1,50$
- **6 x mesotroph 1** – Trophieindex 1,51–2,00
- **20 x mesotroph 2** – Trophieindex 2,01–2,50
- **15 x eutroph 1** – Trophieindex 2,51–3,00
- **20 x eutroph 2** – Trophieindex 3,01–3,50
- **10 x polytroph 1** – Trophieindex 3,51–4,00
- **2 x polytroph 2** – Trophieindex 4,01–4,50
- **0 x hypertroph** – Trophieindex $> 4,50$

Zu berücksichtigen ist hierbei, dass es sich um eine Klassifizierung und nicht um eine Bewertung hinsichtlich des erreichbaren Seezustandes handelt. Es sind einige Seen enthalten, die aufgrund ihrer hydro-morphologischen Eigenschaften wie Volumen, Tiefe, Uferlänge auch unter natürlichen Bedingungen (d.h. ohne menschlichen Einfluss) keinen besseren Trophiezustand als eutroph 2 erreichen können.



Abb. 51: Lampertheimer Altrhein, km 5 – polytroph 2.

Literatur

- [1] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) (2014): Trophieklassifikation von Seen – Richt-

linie zur Ermittlung des Trophie-Index nach LAWA für natürliche Seen, Baggerseen, Talsperren und Speicherseen, Kiel.

Tab. 5: Auszug der Messwerte und Trophie-Klassifizierung 2015.

See, Gewässer	Landkreis	Fläche [ha]	LAWA Trophie-Typ	MW Pges-Zirkul. (Frühjahr) [mg/l]	MW Pges [mg/l]	Sichttiefe-Saison-MW [m]	MW Chlorophyll [µg/l]	Ges-Trophie-Index	Trophieklasse (*= ohne Sichttiefe)
Antrifftalsperre	Vogelsbergkreis	28,4	polygr3m	0,120	0,062	0,92	42,29	3,67	polytroph 1
Badesee Klein Krotzenburg	Offenbach	6,1	polygr3m	0,015	0,023	2,14	8,26	2,20	mesotroph 2
Badesee Walldorf	Groß-Gerau	17,3	Tlgesch	0,017	0,021	3,25	4,78	1,91	mesotroph 1
Dutenhofener See	Lahn-Dill-Kreis	29,4	Tlgesch	0,038	0,060	1,42	48,10	3,28	eutroph 2
Edertalsperre - Waldecker Bucht	Waldeck-Frankenberg	1050	geschTS	0,039	0,042	1,93	18,73	2,94	eutroph 1
Edertalsperre - Banfebucht	Waldeck-Frankenberg	1050	geschTS	0,045	0,077	1,03	23,50	3,38	eutroph 2
Fuldasee Beiseförth	Schwalm-Eder-Kreis	2,0	polykl3m	0,027	0,071	1,23	10,29	2,80	eutroph 1
Fuldasee Breitenbach	Hersfeld-Rotenburg	6,6	polykl3m	0,019	0,094	1,73	39,16	3,14	eutroph 2
Gederner See	Wetteraukreis	12,7	polykl3m	0,057	0,081	0,60	44,00	3,65	polytroph 1
Groß Rohrheim Baggersee	Bergstraße	36,0	Tlgesch	0,005	0,007	3,90	1,50	0,97 *	oligotroph*
Grosser Woog	Darmstadt	6,0	polykl3m	0,014	0,035	0,71	40,86	3,01	eutroph 2
Grube Prinz von Hessen	Darmstadt	6,3	Tlgesch	0,031	0,028	1,80	10,94	2,54	eutroph 1
Guckaisee	Fulda	0,49	polykl3m	0,018	0,059	1,17	35,66	3,07	eutroph 2
Heuchelheimer See (Badesee)	Gießen	8,8	Tlgesch	0,020	0,028	4,86	4,32	1,87	mesotroph 1
Kinzigtalsperre	Main-Kinzig-Kreis	65,2	polykl3m	0,043	0,114	0,95	143,29	3,96	polytroph 1
Krombachtalsperre	Lahn-Dill-Kreis	63,3	polygr3m	0,018	0,027	1,93	5,15	2,15	mesotroph 2
Lamperthim gr. nördl. Baggersee	Bergstraße	19,9	Tlgesch	0,005	0,014	3,35 *	1,82	1,04 *	oligotroph*
Lamperth. Altrhein - Fretter Loch	Bergstraße	15,9	Tlgesch	0,049	0,065	0,82	58,00	3,58	polytroph 1
Lamperth. Altrhein - km 3	Bergstraße	81,2	polykl3m	0,079	0,084	0,70	56,99	3,80	polytroph 1
Lamperth. Altrhein - km 5	Bergstraße	81,2	polykl3m	0,062	0,117	0,58	143,28	4,15	polytroph 2
Lamperth. Altrhein - Welsches Loch	Bergstraße	24,0	polykl3m	0,085	0,103	0,45	21,05	3,63	polytroph 1
Langener Waldsee	Offenbach	89,1	Tlgesch	0,029	0,022	2,00 *	3,45	1,92 *	mesotroph 1*
Launsbacher See	Gießen	5,4	polygr3m	0,023	0,025	2,86	13,00	2,41	mesotroph 2
Meinhardsee	Werra-Meißner-Kreis	12,2	polykl3m	0,140	0,050	2,27	13,77	3,13	eutroph 2
Raunheimer Waldsee	Groß-Gerau	12,6	polygr3m	0,016	0,018	1,15 *	1,50	1,41 *	oligotroph*
Schmitt'sche Grube in Schwanheimer Düne	Frankfurt am Main	6,0	Tlgesch	0,020	0,020	3,28	9,62	2,13	mesotroph 2
Silbersee, Breitenbach am Herzberg	Hersfeld-Rotenburg	6,6	polykl3m	0,040	0,086	0,70	66,49	3,67	polytroph 1
Silbersee, Frielendorf-Allendorf	Schwalm-Eder-Kreis	8,2	AVAMG-gesch	0,012	0,022	2,70	8,04	2,14	mesotroph 2
Stauweiher Ewersbach	Lahn-Dill-Kreis	1,9	polykl3m	0,022	0,031	1,79	6,70	2,32	mesotroph 2
Steinrodsee	Darmstadt-Dieburg	7,4	polykl3m	0,035	0,060	0,64	46,40	3,45	eutroph 2
Vogel See	Groß-Gerau	3,5	polygr3m	0,015	0,016	2,14	6,55	2,02	mesotroph 2
Waldschwimmbad Lich	Gießen	4,0	polykl3m	0,590	0,311	1,51	6,50	3,79	polytroph 1
Waldschwimmbad Rüsselsheim	Groß-Gerau	3,1	polygr3m	0,013	0,027	3,21	8,32	2,14	mesotroph 2
Waldsee Winkels	Limburg-Weilburg	2,1	geschklein	0,040	0,045	0,95 *	20,38	2,97 *	eutroph 1*
Werratalsee - Ostteil	Werra-Meißner-Kreis	117,0	polygr3m	0,040	0,115	2,47	16,56	3,07	eutroph 2
Werratalsee - Westteil	Werra-Meißner-Kreis	117,0	polygr3m	0,029	0,111	2,12	17,54	3,03	eutroph 2
Wölfersheim See	Wetteraukreis	38,6	Tlgesch	0,260	0,116	0,86	38,00	3,98	polytroph 1

* Beeinträchtigung der Sichttiefe durch mineralische Trübung, deshalb Bewertung ohne Sichttiefe

3.7 Seen - Faunistische Untersuchungen

ANDREAS GRÜNDEL

Wirbellose - eine neue Komponente für Seen

Die Europäische Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) erfordert für die Seen mit einer Fläche von > 50 ha die Bewertung nach biologischen Qualitätskomponenten, darunter auch das Makrozoobenthos, die wirbellosen Tiere. Diese Biokomponente hat bei der Bewertung der Fließgewässer eine lange Tradition. Die indikativen Tierarten (Abbildung 52) von Bächen und Flüssen spiegeln in der Abhängigkeit der organischen Belastung und des Sauerstoffhaushaltes den saprobiellen Gütezustand wider, der die Einteilung in eine entsprechende Güteklasse erlaubt.

Für die Bewertung der Seen anhand der wirbellosen Tiere nach den Kriterien der WRRL wurden zunächst umfangreiche Untersuchungen vorgenommen, um ein Bewertungsverfahren zu etablieren. Das sogenannte AESHNA-Verfahren [1] wurde von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) und dem Umweltbundesamt finanziert und vom LAWA-Expertenkreis Seen fachlich begleitet. Innerhalb der EU wurde das Bewertungsverfahren mit anderen nationalen Seebewertungsmethoden interkalibriert. Im Vordergrund der neuen Bewertung der Seen steht die hydromorphologische Beeinträchtigung der Seeufer. Uferverbau, Steganlagen oder aber auch Badestrände stellen eine Degradation dar und wirken sich nachteilig auf die faunistische Besiedlung aus. Dazu gehören auch Wasserstandsschwankungen, die anthropogen – Wellenschlag durch die Schifffahrt – bedingt sind. Der neue Bewertungsansatz soll die ökologischen Effekte der morphologischen Veränderungen von Seeufern anhand der Wirbellosen darstellen.

Auch wenn das AESHNA-Bewertungsverfahren vorrangig für die natürlichen Seen entwickelt worden ist, so kann dies auch auf Baggerseen und Tagebauseen angewendet werden. Aus dem Befund der Tierarten aus der eulitoralischen Mischprobe (Uferbereich zwischen dem höchsten und niedrigsten Wasserstand) werden ein multimetrischer Index aus funktionalen Metrics und ein Faunaindex errechnet, der eine Zuweisung in eine ökologische Qualitätsklasse erlaubt.

Untersuchungen und Ergebnisse

In Hessen wurde das neue Bewertungsverfahren im April 2015 auf die Tagebauseen Borkener See (Abbildung 54) und Singliser See (Abbildung 55) sowie auf die Baggerseen Bong'sche Grube (NSG Mainflingen) (Abbildung 53) und Werratalsee (Abbildung 56) erstmalig angewendet [2]. Alle Seen sind dem LAWA-Typ 6 – polymiktische, calciumreiche Mittelgebirgsseen – zugeordnet und wurden als Makrozoobenthos-Subtyp **Baggersee-West** bewertet.

Gemäß der Verfahrensvorschrift [3] wurden die vorhandenen Uferstrukturtypen im Verhältnis zur Gesamtlänge des Ufers abgeschätzt und 6 bzw. 7 Probestellen pro See festgelegt. Dabei gingen alle repräsentativen Uferstrukturtypen ein, die über 10 % der Uferlängen aufweisen. Da der relative Anteil der Badestellen unterhalb dieser Prozentzahl lag, blieben diese unberücksichtigt. An jedem Standort wurde eine Mischprobe des Makrozoobenthos entnommen und ein Feldprotokoll mit den Uferstrukturmerkmalen dokumentiert.



Abb. 52: Wasserassel, Dreikantmuscheln, Strudelwurm und Eintagsfliege für die Bewertung von Seen.

Bong'sche Grube (NSG Mainflingen)

Das Substrat des Kiessees bestand überwiegend aus Steinen und Sand, vereinzelt waren auch Wasserpflanzen, Wurzeln und organisches Feinsubstrat vorhanden.

Die Besiedlung der Wirbellosen war hinsichtlich der Arten relativ gleichförmig – es wurden durchschnittlich 22 Taxa gefunden. Dabei waren die Gattungen individuenreich vertreten: Wasserasseln, (Asellus) Eintagsfliegenlarven (Caenis), Bachflohkrebse (Gammarus), Köcherfliegenlarven (Limnephilus), Schlammröhrenwurm (Tubifex) sowie Zuckmückenlarven (Chironomiden). Die Lebensgemeinschaft bestand überwiegend aus anspruchslosen Arten mit einer erhöhten Toleranz gegenüber organischer Belastung des Wassers. Einige Arten zeigten einen eutrophen Charakter des Kiessees.

Der gemittelte multimetrische Index (MMI) ergab einen Wert von 0,81, der für die Bong'sche Grube einen hydromorphologischen Zustand von gut und besser bedeutet. Dabei erreichten drei Standorte eine ökologische Potenzialklasse von 2, drei weitere Standorte sogar die Klasse 1.

Borkener See

Das Ufer des neutralen Tagebausees war sehr differenziert: den Hauptanteil stellten Steine, Lehm, Sand und feines organisches Material. Einzelne Bereiche waren mit Schilf besiedelt.

Mit durchschnittlich 32 Taxa war die faunistische Lebensgemeinschaft der Uferzone artenreich. Zu den vorherrschenden Gruppen gehörten die Eintagsfliegen- und die Köcherfliegenlarven. Zu den individuenreichen Gattungen zählten Eintagsfliegenlarven (Caenis), Zwergdeckelschnecken (Potamopyrgus) sowie Wenigborster (Oligochaeta) und Zweiflügler (Diptera). Die in der Uferzone vorgefunde-



Abb. 53: Artenreicher Standort am Kiessee Bong'sche Grube.
© Foto: Dr. Jürgen Bäche.

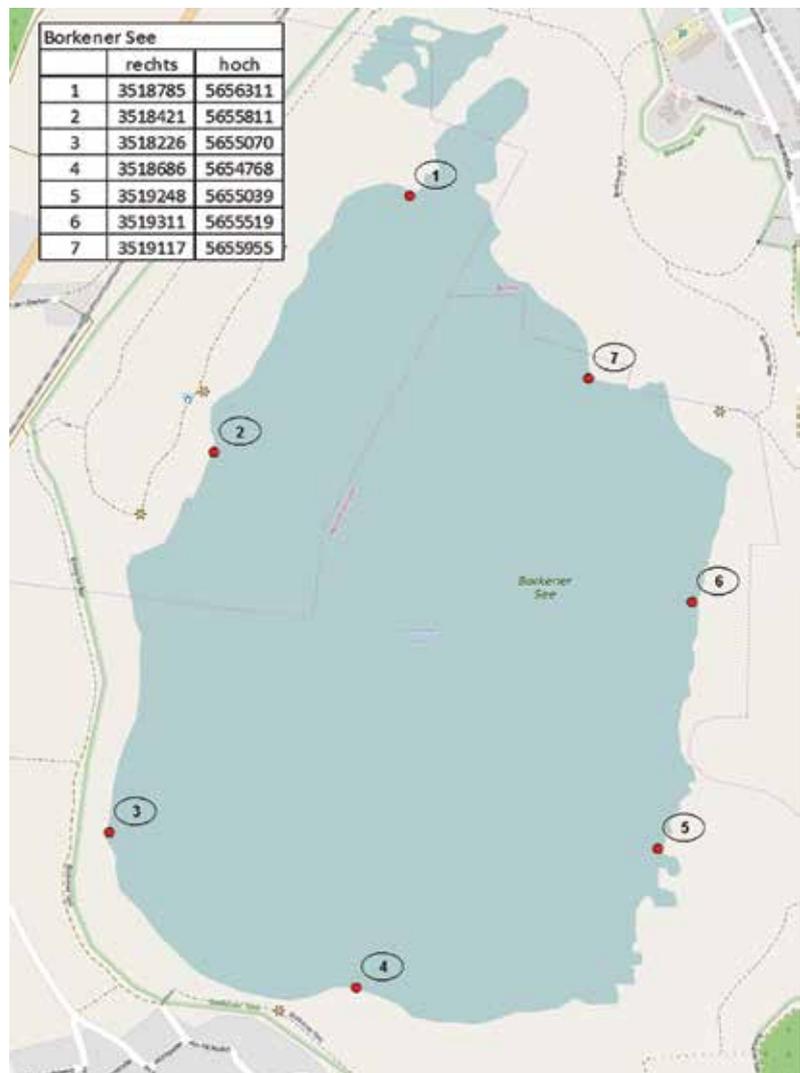


Abb. 54: Lage der ausgewählten Messstellen der Uferstellen des Borkener Sees.
© Skizze: Dr. Jürgen Bäche.

nen Organismen ergaben einen mittleren multimetrischen Index (MMI) von 0,73. Damit lag eine gute ökologische Qualitätsklasse nach den hydromorphologischen Kriterien vor. Die Messstellen schwankten zwischen der Qualitätsklasse 1 und 3. Die im Borkener See vorhandene Uferstruktur war günstig für die Entwicklung einer reichhaltigen faunistischen Lebensgemeinschaft.

Singliser See

Der Singliser Tagebausee war geogen sauer. Das Ufer des Singliser Sees bestand vorwiegend aus Steinen und Sand und war gut mit Schilf besiedelt. Bei einer Messstelle war das Substrat auch von Lehm geprägt. Die Untersuchungsbereiche waren vergleichsweise gering mit Wirbellosen besiedelt.

Durchschnittlich waren lediglich 14 Taxa vorhanden, der Tagebausee war somit artenarm. Wenigborster und Zweiflügler besiedelten artenarme Standorte, bei günstigeren Standorten kamen noch Köcherfliegenlarven und Zuckmücken hinzu. Diese Lebensgemeinschaft ist anspruchslos und tolerant gegenüber Belastungen. Das Vorkommen von Schlammröhrenwürmern zeigte eutrophe Bedingungen an.

Der Singliser See ergab einen mittleren multimetrischen Index (MMI) von 0,18. Damit lag eine schlechte ökologische Zustandsklasse nach dem AESHNA-Verfahren vor. Diese Bewertung stimmt nicht mit

dem vorhandenen hydromorphologischen Zustand der Uferzone überein. Es wird davon ausgegangen, dass das aquatische Milieu mit dem geringen pH-Wert und dem erhöhten Salzgehalt für die geringe faunistische Besiedlung und somit auch für die schlechte Bewertung verantwortlich ist.

Werratalsee

Der Werratalsee wies eine hohe anthropogene Salzbelastung infolge der benachbarten Werra auf. Gemäß einem Baggersee bestand das Substrat der Uferzone des Werratalsees aus Steinen und aus Sand nebst einem feinen organischen Material. Drei von sechs Messstellen waren mit Wasserpflanzen besiedelt.

Die faunistische Besiedlung der Uferzone war mit durchschnittlichen 17 Taxa artenarm ausgeprägt. Die salztolerante Bachflohkrebsart (*Gammarus tigrinus*), verschiedene Zuckmücken und Köcherfliegenlarven (*Limnodrilus*) waren individuenreich vertreten, an „guten Standorten“ waren auch Wenigborster, Weichtiere und Zweiflügler vorhanden. Viele vorgefundene Tierarten sind gegenüber organischer Belastung und gegenüber Salzbelastung tolerant. Zudem waren die Neozoen – eingeschleppte Tierarten – sehr dominant.

Die vorgefundene wirbellose Tiere des Werratalsees ergaben in der Auswertung einen MMI von



Abb. 55: Guter Schilfbestand am Singliser See. © Foto: Dr. Jürgen Bäche



Abb. 56: Guter Schilfbestand am Werratalsee. © Foto: Dr. Jürgen Bäche

0,25. Somit hat der Baggersee nach dem AESHNA-Verfahren eine unbefriedigende Potenzialklasse bzw. hydromorphologische Zustandsklasse. Diese Bewertung stimmt nicht mit dem tatsächlichen hydromorphologischen Zustand des Werratalseeufers überein. Die Lebensgemeinschaft wurde vom aquatischen Milieu geprägt, das durch hohe Chlorid- und Kaliumkonzentrationen bestimmt war. Das Wasser war unter diesen stofflichen Bedingungen kein Lebensraum für zahlreiche Arten des Makrozoobenthos.

Diskussion

Die erste Anwendung des neuen AESHNA-Verfahrens auf die künstlichen Seen in Hessen anhand der Wirbellosen zeigt im Endergebnis zwei gute (Bong'sche Grube und Borkener See) und zwei schlechte Bewertungen (Singliser See und Werratalsee). Belastungskenngröße der neuen biologischen Qualitätskomponente ist der hydromorphologische Zustand der Uferzone. Ein Vergleich der Bewertungsergebnisse mit den vor Ort vorgefundenen Uferstrukturen, dem Makrophytenbestand und der Sedimentbeschaffenheit führt bei den beiden schlecht bewerteten Seen zu der Feststellung, dass hier keine Übereinstimmung vorliegt. Sowohl der Werratalsee als auch der Singliser See hatten ein gutes hydromorphologisches Potenzial. Allerdings lagen bei diesen

Seen stoffliche Belastungen vor, die auf viele Makrozoobenthosarten besiedlungsfeindlich wirkten. Beim Werratalsee war dies die hohe Salzbelastung und beim Singliser See war dies der saure Charakter. Offensichtlich wurde in diesen beiden Fällen die strukturelle Qualität von der stofflichen Belastung überlagert.

Das AESHNA-Bewertungsverfahren für eine strukturgütegestützte Gesamtbewertung ist in seiner Entwicklung noch nicht ganz abgeschlossen, daher sind noch weitere Anpassungen zu erwarten.

Literatur

- [1] OLIVER MILLER et. al.(2011): IGB: Endbericht „Feinabstimmung des Bewertungsverfahrens von Seen mittels Makrozoobenthos“ LAWA-Projekt O 5.10/2011, Berlin
- [2] Dr. JÜRGEN BÄTKE et. al.(Juli 2015: ECORING Bericht zum Untersuchungsauftrag „Untersuchung des Makrozoobenthos in hessischen Stillgewässern 2015“ Hardeggen/Uslar
- [3] OLIVER MILLER et. al., IGB (2001): Vorschrift für die standardisierte Probenahme des biologischen Qualitätselementes „Makrozoobenthos“ im Lithoral von Seen, Berlin

4. Grundwasser

4.1 Grundwasserneubildung

MARIO HERGESELL

Grundwasser entsteht überwiegend aus dem Teil des Niederschlags, der in den Untergrund versickert und dem Grundwasser zufließt. Eine weitere Komponente der Grundwasserneubildung ist die Versickerung von Wasser aus oberirdischen Gewässern. In Hessen wird Grundwasser in der Regel im Winterhalbjahr neu gebildet, wenn wegen ruhender Vegetation und niedriger Temperatur die Verdunstung zurückgeht und ein Teil des Niederschlags dem Grundwasser zusickern kann.

Grundwasser nimmt am Wasserkreislauf teil, daher ist in Hessen allgemein davon auszugehen, dass ein ausgeglichener Wasserhaushalt gegeben ist. Voraussetzung dafür ist, dass die Grundwasserförderung für die Trink- und Brauchwassernutzung durch die Grundwasserneubildung wieder kompensiert, eine Übernutzung also vermieden wird. In Hessen wird rd. 95 % des Trinkwassers aus dem Grundwasser gewonnen, angereichertes Grundwasser (< 4 %), Uferfiltrat (< 1 %) und oberirdische Gewässer (0 %) sind diesbezüglich vernachlässigbar. Neben der Beobachtung der Grundwasserspiegel ist die Kenntnis der regional unterschiedlichen Grundwasserneubildung entscheidend für die Beurteilung des mengenmäßigen Grundwasserzustands.

Die Grundwasserneubildung lässt sich mittels hydrogeologischer Modelle errechnen. In Hessen kommt ein zweistufiges GIS-gestütztes Verfahren zum Einsatz, bei dem ein Bodenwasserhaushaltsmodell mit einem speziell für Hessen entwickelten Regressionsmodell gekoppelt wurde. Mit diesem Modell errechnet sich für die Referenzperiode 1971–2000 ein langjähriges Flächenmittel von 101 mm/a, das heißt, pro Quadratmeter Landesfläche werden jährlich im Mittel 101 mm (entspricht 101 Liter) Grundwasser aus dem Niederschlag neu gebildet.

Umgerechnet auf die Fläche Hessens werden somit im langjährigen Mittel (1971–2000) jährlich rd. 2,13 Mrd. m³ Grundwasser neu gebildet. Demgegenüber werden jährlich rd. 407 Mio. m³ Grundwasser entnommen. Der Vergleich zeigt, dass hessenweit jährlich rd. 5-fach mehr Grundwasser neu gebildet als gefördert wird. Nicht genutztes Grundwasser strömt über die Vorflut als grundwasserbürtiger Abflussanteil wieder ab.

Das zuvor genannte Verfahren zur Ermittlung der Grundwasserneubildung aus Niederschlag ist ursprünglich für die Ermittlung langjähriger Mittelwerte der Grundwasserneubildung entwickelt worden. Unter Inkaufnahme gewisser Modellunsicherheiten wird das Verfahren im HLNUG auch für die Ermittlung von jährlichen Grundwasserneubildungsraten eingesetzt. Die folgende Karte (Abbildung 57) ist eine Übersichtsdarstellung der modellierten Grundwasserneubildung aus dem Niederschlag für das Jahr 2015. Die flächenhafte Verteilung der Grundwasserneubildung folgt in etwa dem Niederschlag, wobei in Gebieten mit hohen Direktabflussanteilen (z.B. Rheinisches Schiefergebirge) und hohen Verdunstungsraten (z.B. Rhein-Main Gebiet und Wetterau) die Grundwasserneubildung aus Niederschlag geringer ausfällt.

Das Flächenmittel der Grundwasserneubildung betrug für das Jahr 2015 für Hessen 71 mm und lag damit rd. 30 % unter dem langjährigen Mittelwert der Referenzperiode 1971–2000. Die deutlich niedrigere Grundwasserneubildung im Jahr 2015 ist auf die gegenüber den langjährigen Mittelwerten teilweise deutlich zu niedrigen Monatssummen des Niederschlags und der daraus resultierenden Sickerwasserrate zurück zu führen. Die Sickerwasserrate aus dem Boden ergibt sich aus der Differenz von Niederschlag minus Verdunstung und Oberflächenabfluss. Das Sickerwasser bewegt sich der Schwerkraft folgend nach unten zur Grundwasseroberfläche und

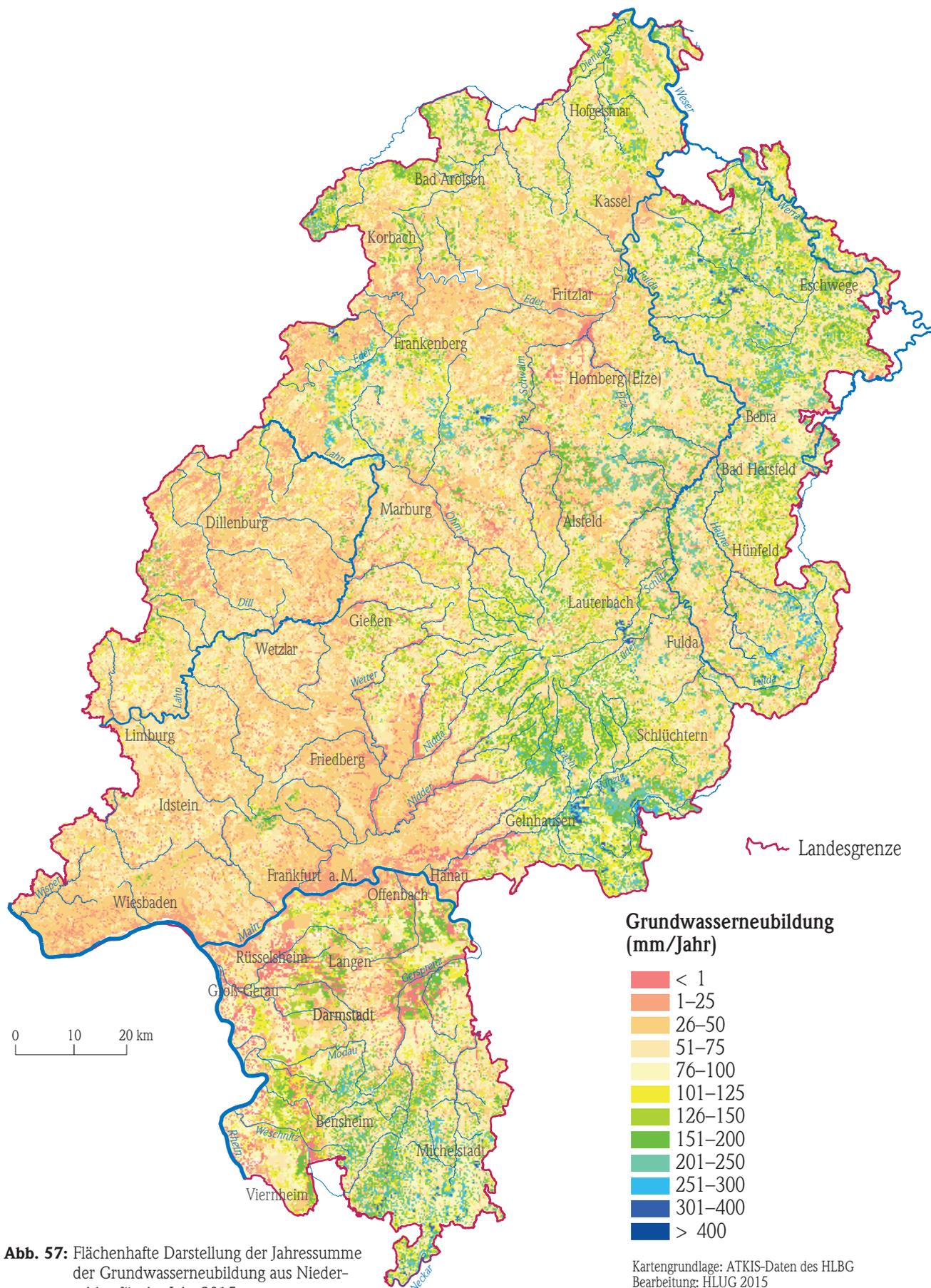


Abb. 57: Flächenhafte Darstellung der Jahressumme der Grundwasserneubildung aus Niederschlag für das Jahr 2015.

trägt maßgeblich zur Grundwasserneubildung bei. Ein Teil des Sickerwassers kann auch lateral als Zwischenabfluss abfließen.

In Abbildung 58 ist der Verlauf der monatlichen Sickerwasserrate im Jahr 2015 im Vergleich zu den langjährigen Mittelwerten dargestellt. In insgesamt acht Monaten fiel die Sickerwasserrate geringer als das langjährige Mittel aus. Nur in den beiden niederschlagsreichen Monaten Januar und November

fiel auch die Sickerwasserrate höher aus. Besonders deutlich waren die Defizite in den Monaten Februar, März, April, Oktober und Dezember, wobei in den Monaten Februar, April, Oktober und Dezember nicht mal die Hälfte des langjährigen Mittels der Sickerwasserrate erreicht wurde. In den zu trocken ausgefallenen Monaten Mai bis Juli fand infolge hoher Verdunstung und dadurch bedingtem kapillaren Aufstieg eine Grundwasserzehrung statt.

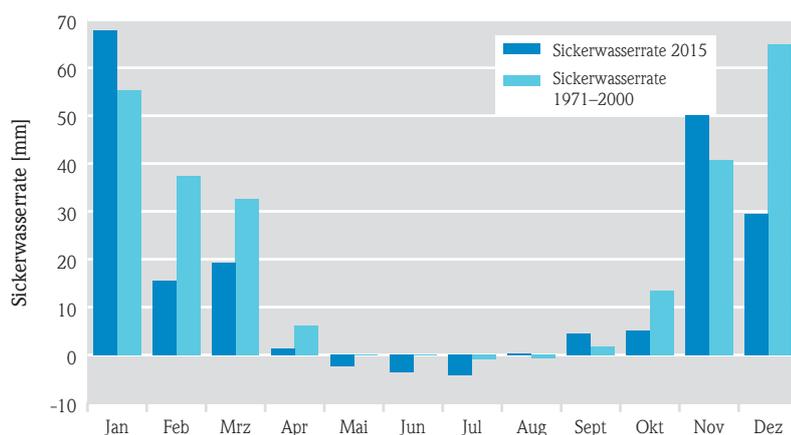


Abb. 58: Monatliche Sickerwasserraten in Hessen.

4.2 Grundwasserstände und Quellschüttungen

WOLF-PETER VON PAPE

Grundwassermessnetz, Zielsetzung und Aufgabe

Das Grundwasser ist Teil des Wasserkreislaufs. Die Schwankungen der Grundwasserstände und der Quellschüttungen sind ein sicht- und messbarer Ausdruck für die Vorratsänderungen in den Grundwasserstockwerken. Im Rahmen des Landesgrundwasserdienstes wird ein flächendeckendes Messnetz (Abbildung 59) unterhalten, das für Grundwasserstände und Quellschüttungen repräsentative Werte liefert.

Pumptest, auch Pumpversuch genannt, an Grundwassermessstellen

Nach dem Bau einer Grundwassermessstelle wird das Grundwasser abgepumpt. Zuerst ist das Wasser meist durch feines Bohrgut und Sedimente getrübt, weshalb das Reinigungspumpen bis zur Klärung des Wassers dauert. Der Wasserzulauf nimmt hierbei meist zu, der Brunnen „entwickelt“ sich. Während des Pumpens wird ständig der Grundwasserspiegel abgelotet. Nach Abschalten der Pumpe wird der Wiederanstieg des Wassers abgelotet, und die Messwerte werden grafisch dokumentiert. Diese Wiederanstiegskurve ist charakteristisch für jede Grundwassermessstelle (Abbildungen 60–62).

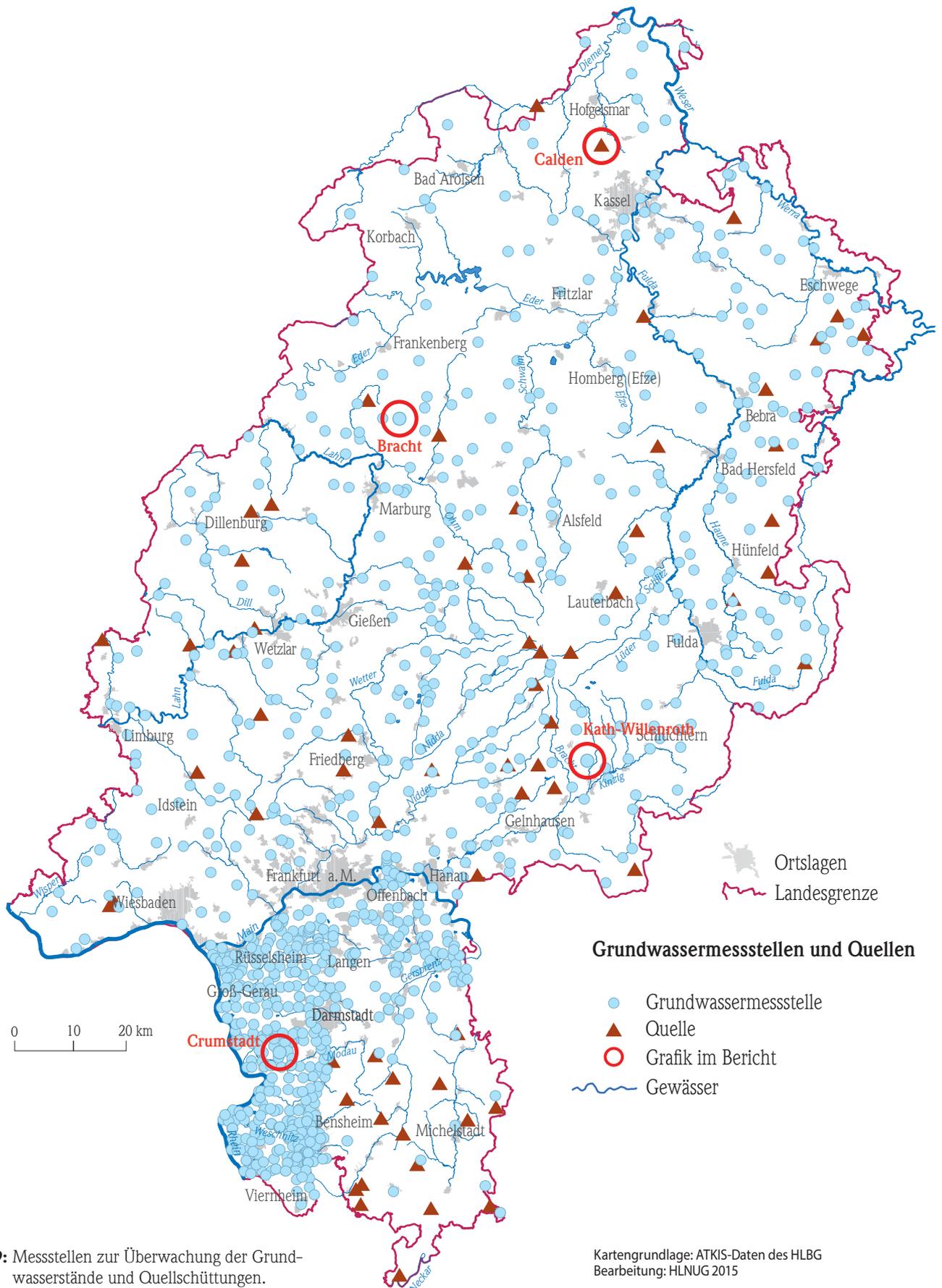


Abb. 59: Messstellen zur Überwachung der Grundwasserstände und Quellschüttungen.

Kartengrundlage: ATKIS-Daten des HLBG
Bearbeitung: HLNUG 2015



Abb. 60: Einbau einer Unterwassermotorpumpe in eine Grundwassermessstelle.



Abb. 61: Grundwasserauslauf beim Pumpversuch einer Grundwassermessstelle (15 m³/h).



Abb. 62: Pumpversuch einer Grundwassermessstelle.

Mit langfristigen Beobachtungen von Grundwasserständen und Quellschüttungen sind Entwicklungen zu erkennen, die als Grundlage für wasserwirtschaftliche Planungen dienen. Die Extremwerte, höchste und niedrigste Grundwasserstände und Quellschüttungen, und deren Häufigkeit werden herangezogen, wenn z.B. Eingriffe in das Grundwasser zu beurteilen sind, u.a. für die Planung von Bauwerken.

Ergebnisse 2015

Die zeitliche Entwicklung der Grundwasserstände und Quellschüttungen wird als Gangliniengrafik dargestellt. Typische Ganglinien haben großräumig einen ähnlichen Verlauf, oft unabhängig von Art und Lage des Grundwasserleiters. Die Schwankungen sind im Wesentlichen geprägt durch die Höhe der Grundwasserneubildung und die hydraulische Durchlässigkeit des Grundwasserleiters. Die Lagepunkte der Messstellen, deren Messwerte als Ganglinien nachfolgend dargestellt werden, sind in der Übersichtskarte (Abbildung 59) mit roten Ringen markiert. Zum Vergleich werden die Ganglinien des Jahres 2015 zusammen mit dem Verlauf von Jahren mit besonders niedrigen und hohen Grundwasserständen dargestellt (Abbildungen 63–66).

Die Schüttung der Quelle Calden nördlich von Kassel (Abbildung 63) hatte im Jahr 2015 einen deutlich ausgeprägten jahrestypischen Verlauf. Am Jahresbeginn nahm sie zu, und sie ging ab März bis November zurück, und zum Jahresende nahm sie wieder zu. Die Schüttung lag am Ende der trockenen Jahreszeit noch über einer Niedrigwassersituation.

Die Grundwasserstandsganglinie der Messstelle Bracht im Burgwald (Abbildung 64) zeigt langfristig einen ausgeglichenen jahreszeitlichen Verlauf, der von Trocken- und Nassperioden überprägt ist. Die Ganglinie des letzten Jahrzehnts gleicht der einer Trockenperiode. Anfang 2015 stieg das Grundwasser von einem mittleren Niveau bis April leicht an und sank bis zum Jahresende ab. Der trockene Sommer hatte keine besondere Auswirkung auf die Grundwasserstände in dem Gebiet.

Die Grundwasserstände der Messstelle Katholisch-Willenroth im Büdinger Wald (Abbildung 65) lagen im Jahr 2015 auf leicht unterdurchschnittlichem Ni-

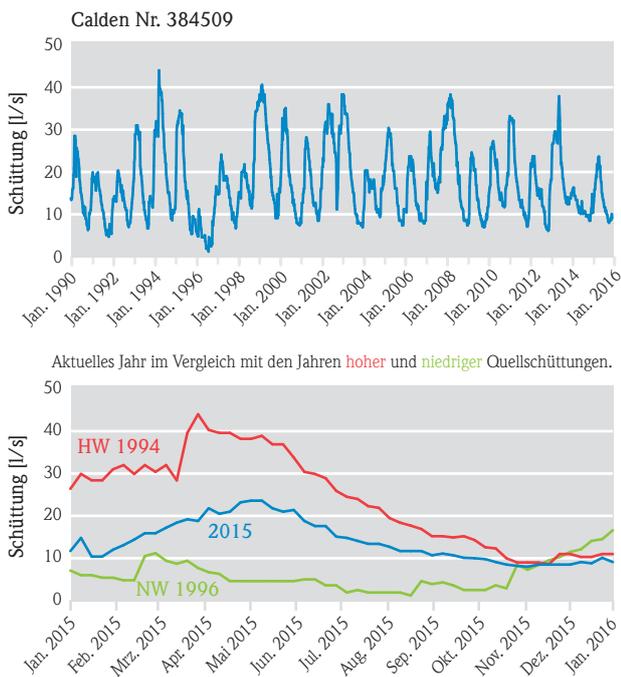


Abb. 63: Schüttungsganglinie der Quelle Calden.

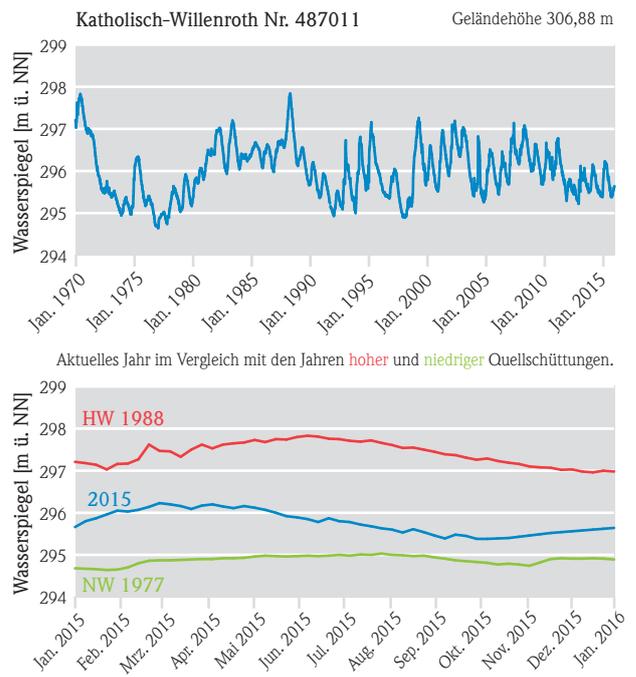


Abb. 65: Grundwasserstandsganglinie der Messstelle Katholisch-Willenroth.

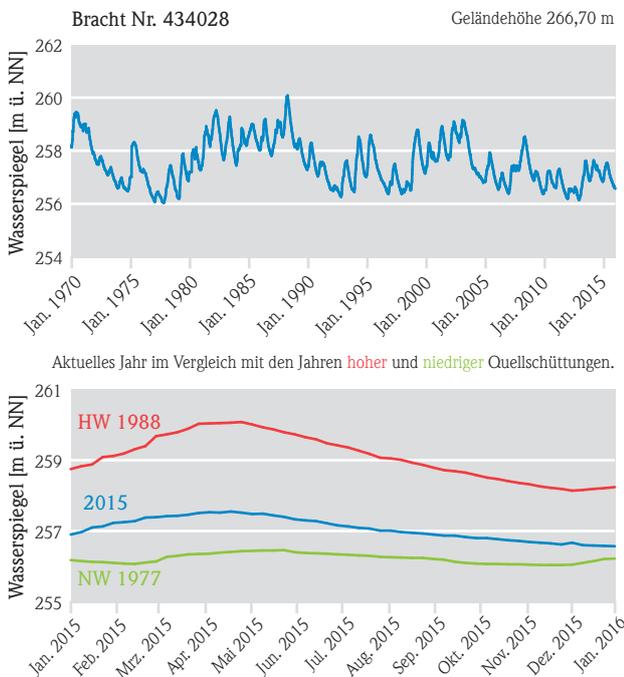


Abb. 64: Grundwasserstandsganglinie der Messstelle Bracht.

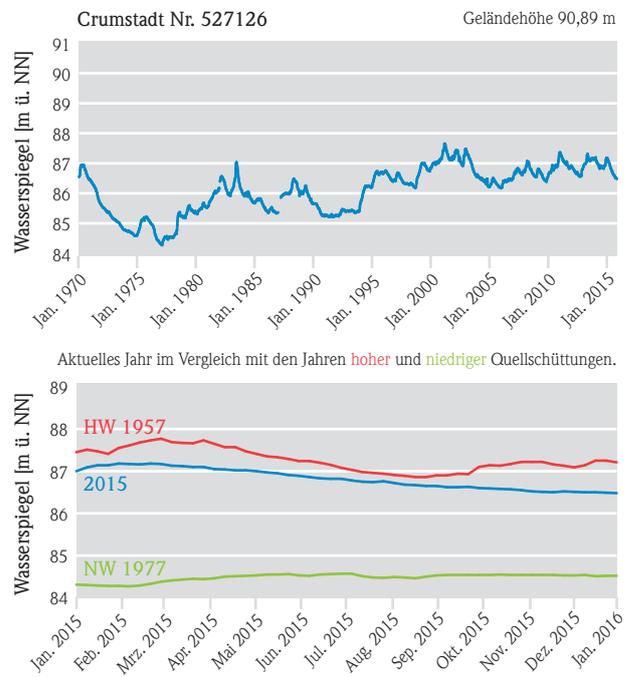


Abb. 66: Grundwasserstandsganglinie der Messstelle Crumstadt.

veau. Es gab einen ausgeprägten jahreszeitlichen Verlauf mit einem Anstieg des Grundwassers bis April, einem Sinken bis Oktober, zum Jahresende hin stieg das Grundwasser wieder an. Die Trockenheit im Jahr 2015 hatte zu keiner besonderen Reaktion der Grundwasserstände geführt.

Die langjährige Grundwasserstandsganglinie der Messstelle Crumstadt im Hessischen Ried (Abbildung 66) zeigt ein starkes Absinken Anfang der 1970er Jahre, herbeigeführt von einer hohen Grundwasserentnahme und einer zeitgleichen Trockenperiode. Durch Anreicherung des Grundwassers mit aufbereitetem Wasser aus dem Rhein und einer etwas erhöhten Grundwasserneubildung stieg die Grundwasseroberfläche in den 1990er Jahren wieder auf ein höheres Niveau. Am Jahresbeginn 2015 stand das Grundwasser hoch an und stieg bis Februar noch etwas an. Ab März sank es bis zum Jahresende kontinuierlich auf ein mittleres Niveau ab. Die Trockenheit im Jahr 2015 hatte an dieser Messstelle und auch im ganzen hessischen Ried zu keinen niedrigen Grundwasserständen geführt.

Grundwasserkarten Hessisches Ried und Mainebene

Das HLNUG veröffentlicht Grundwasserkarten des Hessischen Rieds und der Mainebene. Die Karten bieten flächendeckende Informationen über die Grundwasserstände, die Tiefe des Grundwassers unter Gelände und die Fließrichtung. Sie werden z.B. für Planungen von Bauwerken benötigt und dienen der Überwachung von Eingriffen in den Grundwasserhaushalt. Es gibt Karten für extreme Situationen wie die hohen Grundwasserstände im Frühjahr der Jahre 1988 und 2001 und niedrige Grundwas-

serstände in den Jahren 1976 und 1993. Eine Karte der Situation des Jahres 1957 steht für frühere hohe Grundwasserstände als die Grundwasserentnahmen noch relativ gering waren und viele Brunnen noch nicht existierten. Die Karten stehen kostenfrei auf der Internetseite des HLNUG zur Verfügung: <http://www.hlnug.de/themen/wasser/grundwasser/grundwasserkarten.html>.

Grundlage für die Karten Oktober 2015 sind 2800 Messwerte von Grundwasserständen des oberen Grundwasserleiters, der in den quartären Sedimenten des Oberrheingrabs und der Untermainsenke einen zusammenhängenden Grundwasserleiter bildet.

In der **Grundwasserflurabstandskarte** (Abbildung 67) wird der Grundwasserstand unter der Geländehöhe dargestellt. Die Karte Oktober 2015 basiert auf einem neuen Geländehöhenmodell, das mit modernster Geländevermessung (Laserscanning) aufgenommen wurde. Gegenüber früheren Werken ist diese Karte genauer und feiner strukturiert.

In der **Grundwasserhöhengleichenkarte** von Oktober 2015 (Abbildung 68) sind die Grundwasserstände des oberen Grundwasserleiters als Linien gleicher Höhen bezogen auf die Meereshöhe Normal Null [m+NN] dargestellt. Zusätzlich sind die Standorte von Brunnen und Grundwassermessstellen eingetragen. Das Grundwasser strömt senkrecht zu den Höhenlinien bei Trebur zum Rhein hin. Nördlich ist die Fließrichtung hin zu den Brunnen „Hof Schönau“ gerichtet. Die ovalen Linien im Nordosten des Kartenausschnitts zeigen den „Bauschheimer Grundwasserberg“, der wegen eines Grundwasserstauers in 6 bis 10 m unter Gelände entsteht.

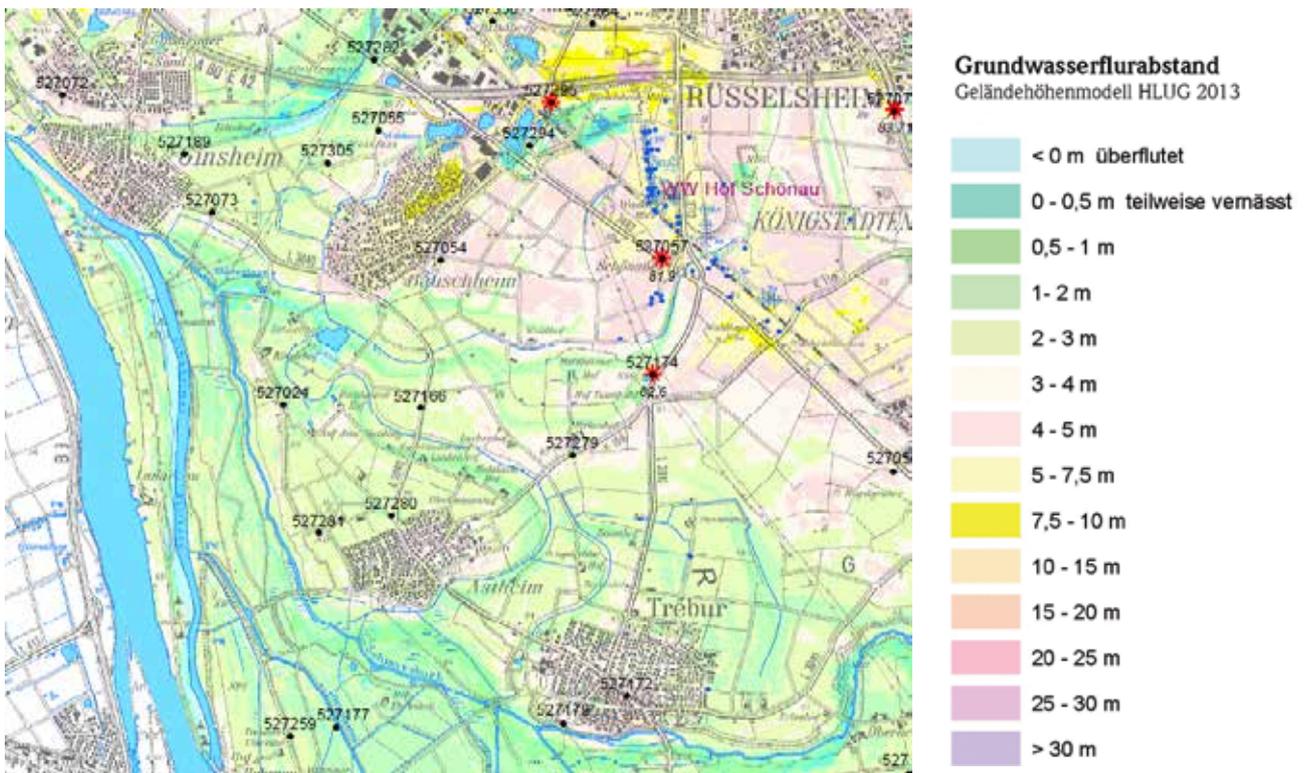


Abb. 67: Kartenausschnitt nördliche Rheinebene – Grundwasserflurabstand.

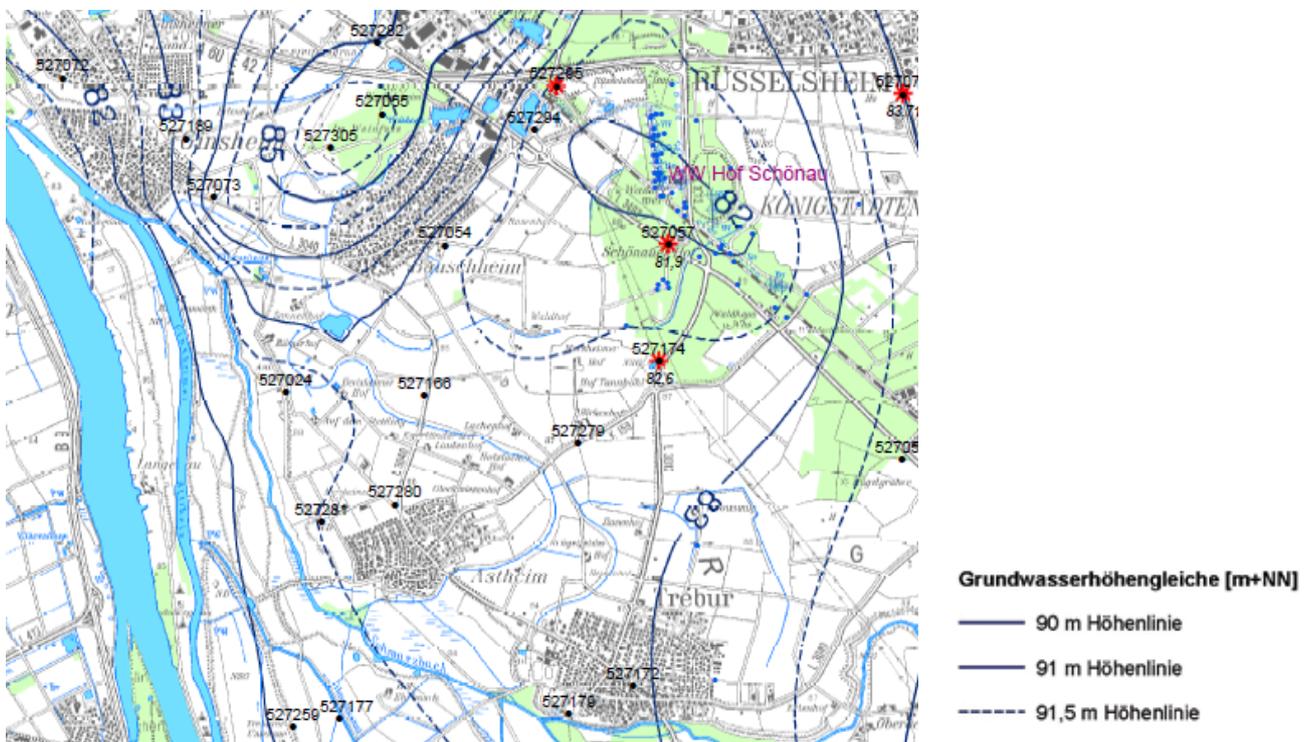


Abb. 68: Kartenausschnitt nördliche Rheinebene – Grundwasserhöhengleichen.

4.3 Grundwasserbeschaffenheit - Per- und polyfluorierte Chemikalien (PFC)

HARALD RÜCKERT

Grundwasserbeschaffenheitsmessnetz, Zielsetzung und Aufgabe

In Hessen ist das Grundwasser die wichtigste Ressource für die Trinkwasserversorgung von Bevölkerung und Wirtschaft. Mehr als 95 % der Trinkwasserversorgung wird durch das Grundwasser sichergestellt. Deshalb kommt der Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit eine hohe Bedeutung zu.

Der geogene bzw. natürliche Stoffinhalt des Grundwassers muss bekannt sein, um anthropogene Beeinflussungen erkennen zu können. Welche Bestandteile in welcher Konzentration im Grundwasser zu finden sind, wird vornehmlich durch die hydrogeologischen Verhältnisse, die Landnutzung sowie durch die Höhe der Grundwasserneubildung bestimmt.

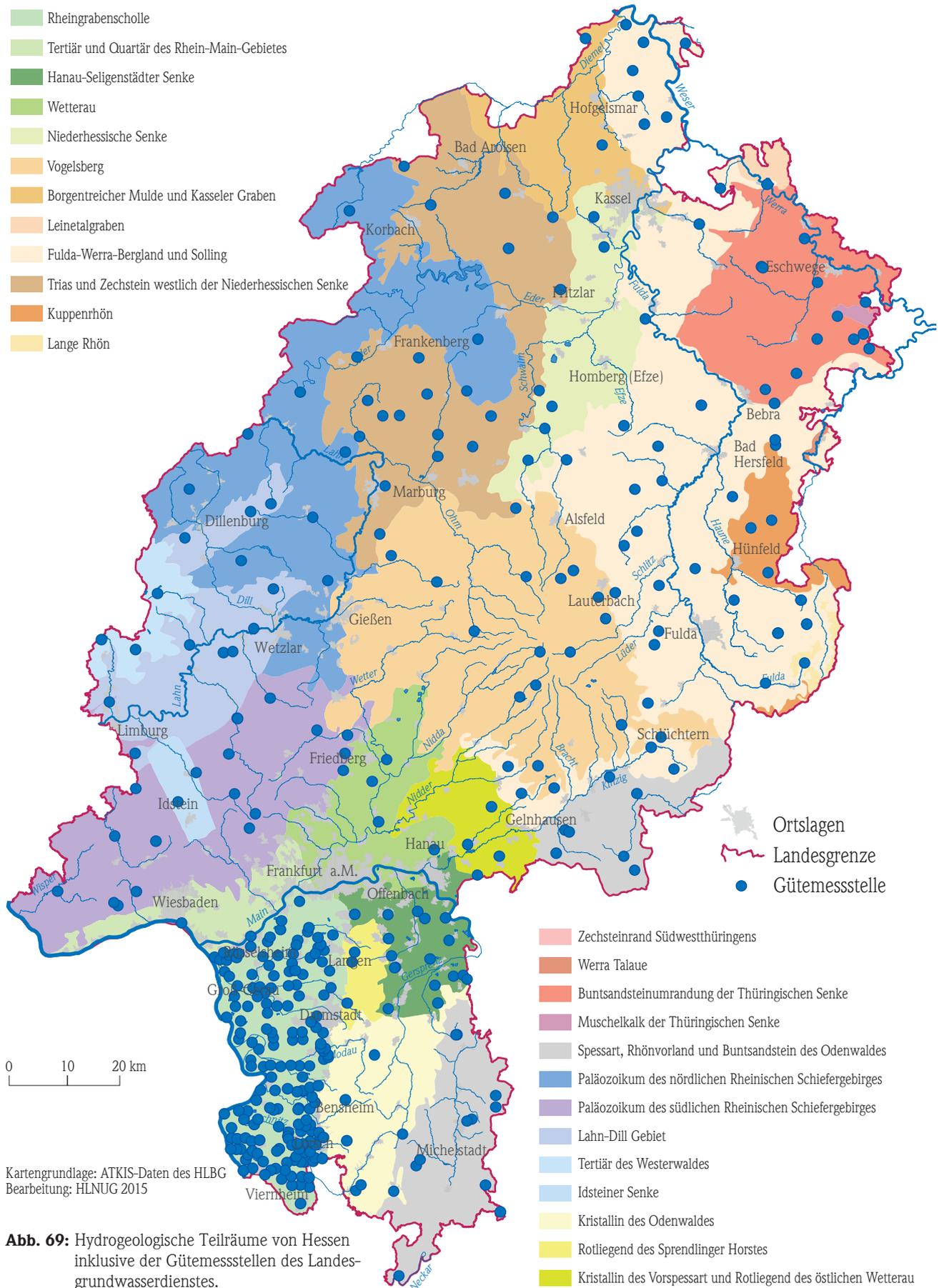
Die mineralische Zusammensetzung der Gesteine und ihre Wassergängigkeit ist verantwortlich für die Verweilzeit des Grundwassers (von Wochen bis Jahrtausende) sowie für die chemische Beschaffenheit der Grundwässer.

Die Beschaffenheit des oberflächennahen Grundwassers wird hauptsächlich vom Niederschlag und der daraus resultierenden Grundwasserneubildung sowie der Landnutzung beeinflusst. So wird vor allem bei Quellen der Einfluss der Witterung auf die Grundwasserneubildung deutlich. Beim tieferen Grundwasser hat die aktuelle Witterung nur eine abgeschwächte Wirkung auf die Beschaffenheit. Mit zunehmender Verweildauer des Wassers im Untergrund nimmt der Einfluss der aktuellen Witterung immer mehr ab. Die Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit in Hessen basiert auf Messnetzen mit unterschiedlichen Schwerpunkten.

Die Wässer der rund 390 Messstellen des staatlichen Landesgrundwasserdienstes spiegeln überwiegend die natürliche Grundwasserbeschaffenheit der unterschiedlichen hydrogeologischen Verhältnisse von Hessen wider. Auf der Basis der sog. Rohwasseruntersuchungsverordnung vom Mai 1991 sind die Wasserversorgungsunternehmen gehalten, in ihren Gewinnungsanlagen gewonnenes Grundwasser auf bestimmte Inhaltsstoffe untersuchen zu lassen (ca. 3500 Messstellen).

Die Übersichtskarte (Abbildung 69) zeigt die hydrogeologischen Teilräume von Hessen. Gleichfalls geht aus dieser Abbildung die Lage und Verteilung des Beschaffenheitsmessnetzes „Landesgrundwasserdienst“ hervor. Wie ersichtlich, ist die Messstellendichte im Hessischen Ried hoch, wodurch dessen wasserwirtschaftliche Bedeutung zum Ausdruck kommt.

Beide Messnetze, Grundwasser- und Rohwassermessnetz, liefern einen umfangreichen Datenpool hinsichtlich der Grundwasserbeschaffenheit, der vom Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie zentral gesammelt und bewertet wird. Es wird eine Vielzahl von Parametern untersucht, um die Grundwasserbeschaffenheit zu überwachen. Ergebnisse für die verschiedenen Beschaffenheitsparameter können den Berichten der vergangenen Jahre entnommen werden <http://www.hlnug.de/themen/wasser/messwerteberichte/jahresberichte.html>. In diesem Bericht werden die Per- und polyfluorierten Chemikalien (PFC) näher betrachtet.



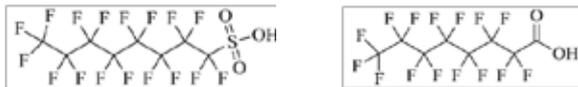
Kartengrundlage: ATKIS-Daten des HLBG
 Bearbeitung: HLNUG 2015

Abb. 69: Hydrogeologische Teilräume von Hessen inklusive der Gütemessstellen des Landesgrundwasserdienstes.

Ausgewählte Beschaffenheitsparameter Per- und polyfluorierte Chemikalien (PFC)

Die folgenden Ausführungen basieren auf Analysen von Grundwasserproben aus Messstellen des Landesgrundwasserdienstes (rd. 390 Messstellen).

Zu den organischen Spurenstoffen gehört die Stoffgruppe der PFC und umfasst mehr als 800 Stoffe. Chemisch gesehen bestehen PFC aus Kohlenstoffketten verschiedener Längen, bei denen die Wasserstoffatome vollständig (perfluoriert) oder teilweise (polyfluoriert) durch Fluoratome ersetzt sind. Die am häufigsten untersuchten und im Grundwasser gefundenen Vertreter sind die Perfluoroktansulfonsäure (PFOS) und die Perfluoroktansäure (PFOA) (UBA 2016) (Abbildung 70). Diese beiden Stoffe werden auch als sogenannte Leitparameter herangezogen.



Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) Perfluorooctansäure (PFOA)

Abb. 70: Strukturformeln von Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) und Perfluorooctansäure (PFOA).

PFC kommen nicht natürlich vor, sondern haben einen anthropogenen Ursprung. Sie können z.B. aus Imprägnierungsmitteln, Feuerlöschschäumen, Lacken, Pfannenbeschichtungen, Antistatika, Rei-

nigungsmitteln und fotografischen Prozessen stammen.

PFC sind sehr persistente Stoffe. Weder biotische Prozesse (Bakterien) noch abiotische Prozesse (Wasser, Luft, Licht) führen zum Abbau dieser Stoffe. Dadurch können sie auch kaum in Kläranlagen abgebaut werden. Vielmehr entstehen in Kläranlagen durch verschiedene Umwandlungsprozesse aus den Vorläuferverbindungen weitere perfluorierte Chemikalien. Die wasserlöslichen PFC können über Flüsse und Meere global verteilt und damit auch in entlegenen Gebieten wie der Arktis gefunden werden. D.h., es findet eine Akkumulation und ubiquitäre Verteilung der PFC in der Umwelt statt. Andere PFC können sich in Klärschlämmen anreichern. Wird dieser Klärschlamm z.B. als „Bodenmischgut“ in der Landwirtschaft genutzt, können Pflanzen die PFC aus dem verunreinigten Boden aufnehmen oder die Chemikalien versickern in das Grundwasser (UBA 2016).

Bewertungskriterien

Bisher gibt es noch keine gesetzlich geregelten Grenzwerte für PFC im Trinkwasser. Jedoch wurden Richtwerte durch eine Stellungnahme der Trinkwasserkommission des Bundesministeriums für Gesundheit (BMG) beim Umweltbundesamt heraus gegeben. Die Richtwerte orientieren sich an den Ergebnissen von toxikologischen Untersuchungen des Umweltbundesamtes (UBA) [1].

Tab. 6: Bewertungskriterien für Per- und polyfluorierte Chemikalien (PFC).

Lebenslang duldbarer Trinkwasserleitwert (LW)	Allgemeiner Vorsorgewert bzw. langfristiges Mindestqualitätsziel. Gesundheitlicher Orientierungswert (GOW)	Vorsorglicher Maßnahmenwert für Säuglinge (VMW)	Maßnahmenwert für Erwachsene (MW)
≤ 0,3 µg/l ¹	≤ 0,1 µg/l ²	0,5 µg/l ¹	5 µg/l ³

¹ Summe PFOA und PFOS

² Summe PFOA und PFOS und evtl. weitere PFC

³ Summe aller PFC

Ergebnisse

2010–2015 wurden jährlich rd. 390 Grundwasser-messstellen auf folgende PFC untersucht:

Tab. 7: Untersuchte Parameter.

Parametername	Kurzbezeichnung
1H,1H,2H,2H-Perfluorooctansulfonat	H4PFOS
Perfluorbutansulfonat	PFBS
Perfluordecanoat	PFDA
Perfluordodecanoat	PFDoA
Perfluorheptanoat	PFHpA
Perfluorhexanoat	PFHxA
Perfluorhexansulfonat	PFHxS
Perfluornonanoat	PFNA
Perfluorooctanoat	PFOA
Perfluorooctansulfonat	PFOS
Perfluorooctansulfonsäureamid	PFOSA
Perfluortetradecanoat	PFTA
Perfluorundecanoat	PFUA
Perfluorbutanoat	PFBA
Perfluorpentanoat	PFPA
Perfluordecansulfonat	PFDS

Zum Gesamtüberblick wurden die PFC als Summenparameter ausgewertet und in den Abbildungen 71 und 72 dargestellt.

Nachweise von PFC im Grundwasser treten am häufigsten im Hessischen Ried auf. Dies liegt an der Einleitung von nach aktuellem Stand der Technik geklärten Abwässern in die Vorfluter und der Interak-

tion von Oberflächengewässern mit dem Grundwasser. Weiterhin weisen die überwiegend sandig und kiesig aufgebauten Grundwasserleiter im Hessischen Ried eine gute bis sehr gute hydraulische Durchlässigkeit auf, die zu einer Ausbreitung von in das Grundwasser eingetragenen Stoffen beiträgt. Ob ein Eintrag über das Aufbringen von „Bodenmischgut“ auf landwirtschaftlichen Flächen ebenfalls eine Ursache sein könnte, kann nicht abschließend festgestellt werden.

Im Norden Hessens wurde in den Jahren 2003–2006 auf einigen landwirtschaftlichen Flächen mit PFC belastetes „Bodenmischgut“ aufgebracht [2].

Literatur

- [1] UMWELTBUNDESAMT (UBA) (2016): Per- und polyfluorierte Chemikalien (PFC). Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/chemikalien/chemikalien-reach/stoffgruppen/per-polyfluorierte-chemikalien-pfc>.
- [2] UMWELTBUNDESAMT (UBA) (2006): Stellungnahme der Trinkwasserkommission des Bundesministeriums für Gesundheit (BMG) beim Umweltbundesamt vom 21.06.06 überarbeitet am 13.7.06 <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/419/dokumente/pft-im-trinkwasser.pdf>.
- [3] HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (HLUG) (2010): Perfluorierte Chemikalien (PFC) in Hessen Untersuchungsprogramm des HLUG, Wiesbaden.

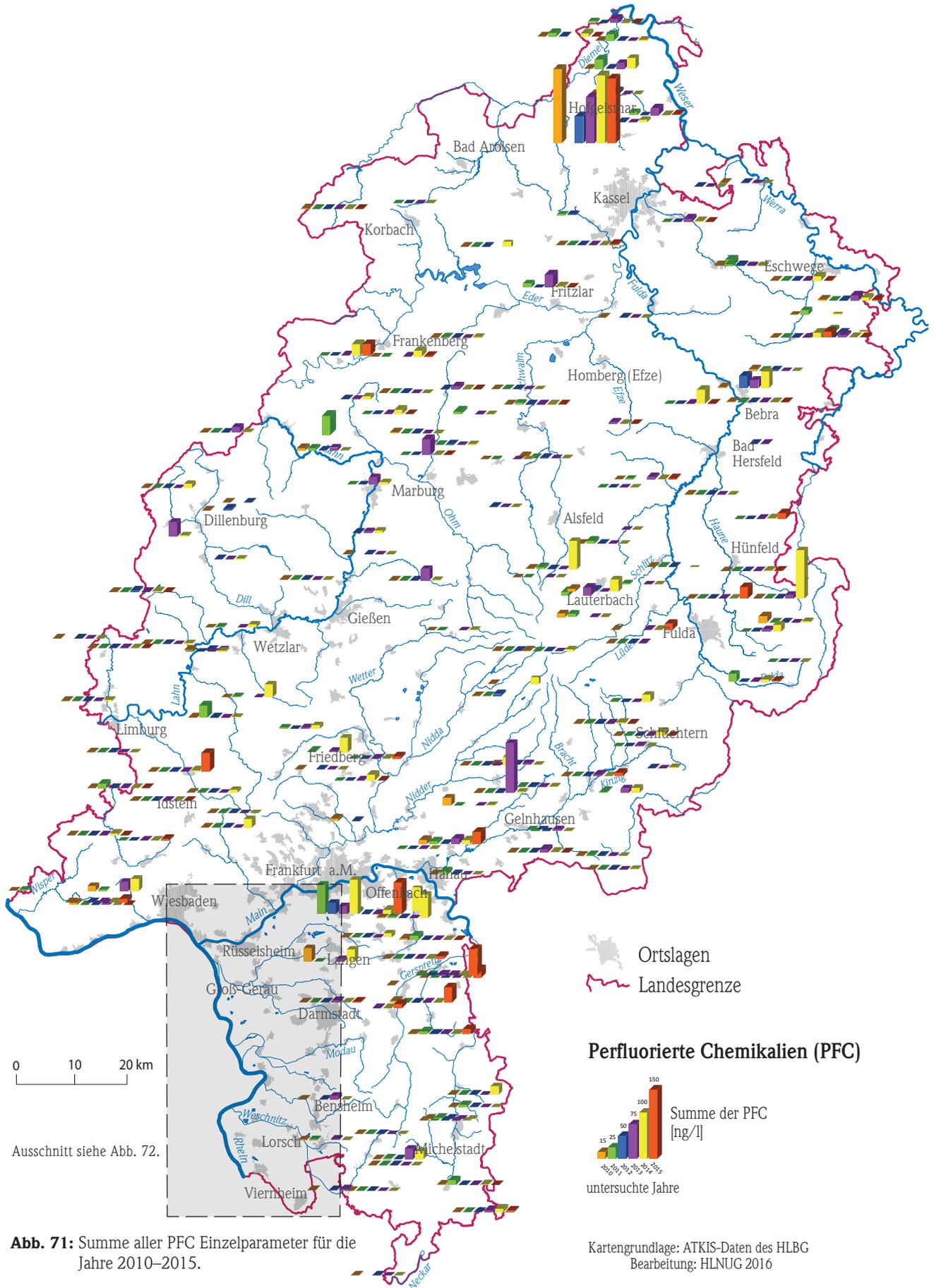
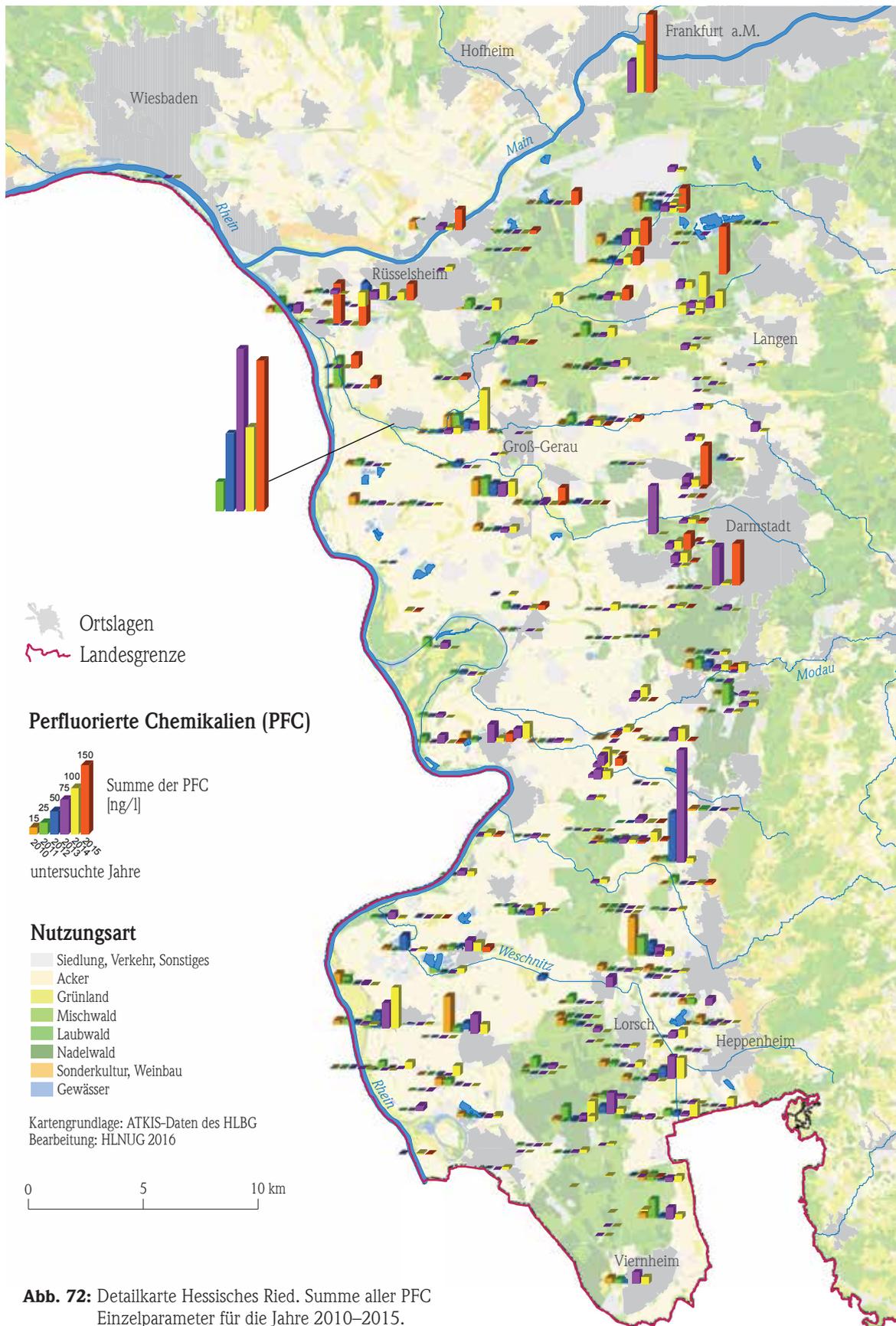


Abb. 71: Summe aller PFC Einzelparameter für die Jahre 2010–2015.



4.4 Grundwasserbeschaffenheit - Nitrat

HARALD RÜCKERT

Allgemeines

Die wichtigsten Ursachen für erhöhte Nitratkonzentrationen im Grundwasser sind diffuse Stickstoffeinträge aus der landwirtschaftlichen Flächennutzung, sowie atmosphärische Stickstoffeinträge, die ihre Ursachen im Kraftfahrzeugverkehr, der Industrie, der Hausfeuerung und der Landwirtschaft haben. Eine weitere Quelle können undichte Abwasserkanäle sein. Nitrat ist im oberflächennahen Grundwasser landesweit verbreitet.

Der durch die Düngung oder durch den atmosphärischen Eintrag auf die Fläche gelangte Stickstoff wird dabei im Boden angereichert. Durch Regenereignisse und dem damit verbundenen Sickerwasser kann der Stickstoff gelöst und als Nitrat (NO_3^-) oder Ammonium (NH_4^+) in das Grundwasser verlagert werden.

Der Grenzwert für Trinkwasser beträgt nach der TRINKWV (2001) 50 mg/l. In einigen Gebieten sind die Nitratkonzentrationen im Grundwasser so hoch, dass hierdurch Probleme für die dort vorhandene Trinkwasserversorgung bestehen. Im Körper kann aus Nitrat Nitrit gebildet werden, das bei Kleinkindern zu einer lebensbedrohlichen Methämoglobinämie führen kann. Außerdem kann Nitrat in kanzerogene Nitrosamine und Nitrosamide umgebildet werden.

Nitratuntersuchungen der Grund- und Rohwässer

Auf Grundlage der Rohwasseruntersuchungsverordnung (RUV) sind Betreiber von Wasserversorgungsanlagen verpflichtet, das geförderte Grundwasser nach den Bestimmungen der RUV untersuchen zu lassen. Zusammen mit dem Messnetz des Landesgrundwasserdienstes kann daher auf ein dichtes und weitgehend konsistentes Messstellennetz zugegriffen werden. Für die Zeit vor 1991 ergibt sich eine größere Varianz der Messwerte, da die Anzahl der Messstellen öfters variiert und insgesamt geringer war.

Um eine allgemeine Aussage über die Entwicklung der Nitratkonzentrationen in hessischen Grund- und Rohwässern zu bekommen, wurde aus den Nitrat-Langzeitmessreihen Messwerte selektiert, regionalisiert und flächenhaft dargestellt.

Flächenhafte Darstellung der Nitratkonzentrationen

Die Grundwasserbeschaffenheit und damit auch die Nitratkonzentrationen können kleinräumig sehr unterschiedlich sein. Für einen landesweiten Überblick ist es deshalb von Nutzen, die punktuellen Messungen zu regionalisieren, um einen flächenhaften Überblick der Nitratkonzentrationen und damit Belastungsschwerpunkte zu erhalten. Zu beachten ist jedoch, dass hiermit nur das großräumige Belastungsniveau dargestellt werden kann, nicht aber kleinräumige Belastungszustände oder Einzelmesswerte.

Um die Daten zu regionalisieren und flächenhaft darzustellen wurde das SIMIK+-Verfahren angewandt (Simple Updating and Indicator Kriging based on additional Information). Das Verfahren SIMIK+ ist ein geostatistisches Verfahren, das von der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz in Baden-Württemberg entwickelt wurde (BÁRDOSSY, GIESE, GRIMM-STRELE 2003). Hierzu wurden die Nitratkonzentrationen der Grundwässer, die Landnutzung und die hydrogeologischen Teilräume datentechnisch so aufbereitet, dass sie mit SIMIK+ eingelesen und mit Hilfe des räumlichen Interpolationsverfahrens flächig berechnet werden konnten.

In weiten Flächen der mittelhessischen Gebiete liegen die regionalisierten Nitratkonzentrationen bei rd. 5–20 mg/l. Überwiegend in Nord- und Südhessen gab es zwischen 1973–1975 einzelne Regionen mit Nitratkonzentrationen zwischen 20–30 mg/l.

Im weiteren zeitlichen Verlauf nahmen die Nitratkonzentrationen erheblich zu, so dass es in den Jahren 1993–1995 zu einer flächigen Nitratverteilung kam, die in einigen Gebieten Konzentrationen über 50 mg/l aufzeigte.

Im Vergleich zur Karte für den Zeitraum 1993–1995 ist im weiteren zeitlichen Verlauf bis zum Jahr 2011 die flächige Verbreitung erhöhter Nitratkonzentrationen weiter vorangeschritten. Das bedeutet, Flächen mit niedrigen Nitratkonzentrationen (bis 15 mg/l) sind den Flächen mit Konzentrationen über 20 mg/l gewichen. Gleichmaßen haben die Gebiete mit Nitratkonzentrationen über 50 mg/l in den mittel- und nordhessischen Regionen zugenommen. Insgesamt haben sich die Belastungsgebiete weiterhin erhärtet.

In den aktuellen Analysen sind weniger Extremwerte (> 100 mg/l) vorhanden, da insbesondere in landwirtschaftlichen Flächen erste Maßnahmen ergriffen worden sind, um hohe Nitratreinträge zu reduzieren (z.B. Kooperationen, Beratung der Landwirte). Auch sind einige Wassergewinnungsanlagen mit hohen Nitratbelastungen im Grundwasser vom Versorgungsnetz genommen worden und waren dadurch nicht mehr in Rahmen der RUV untersuchungspflichtig.

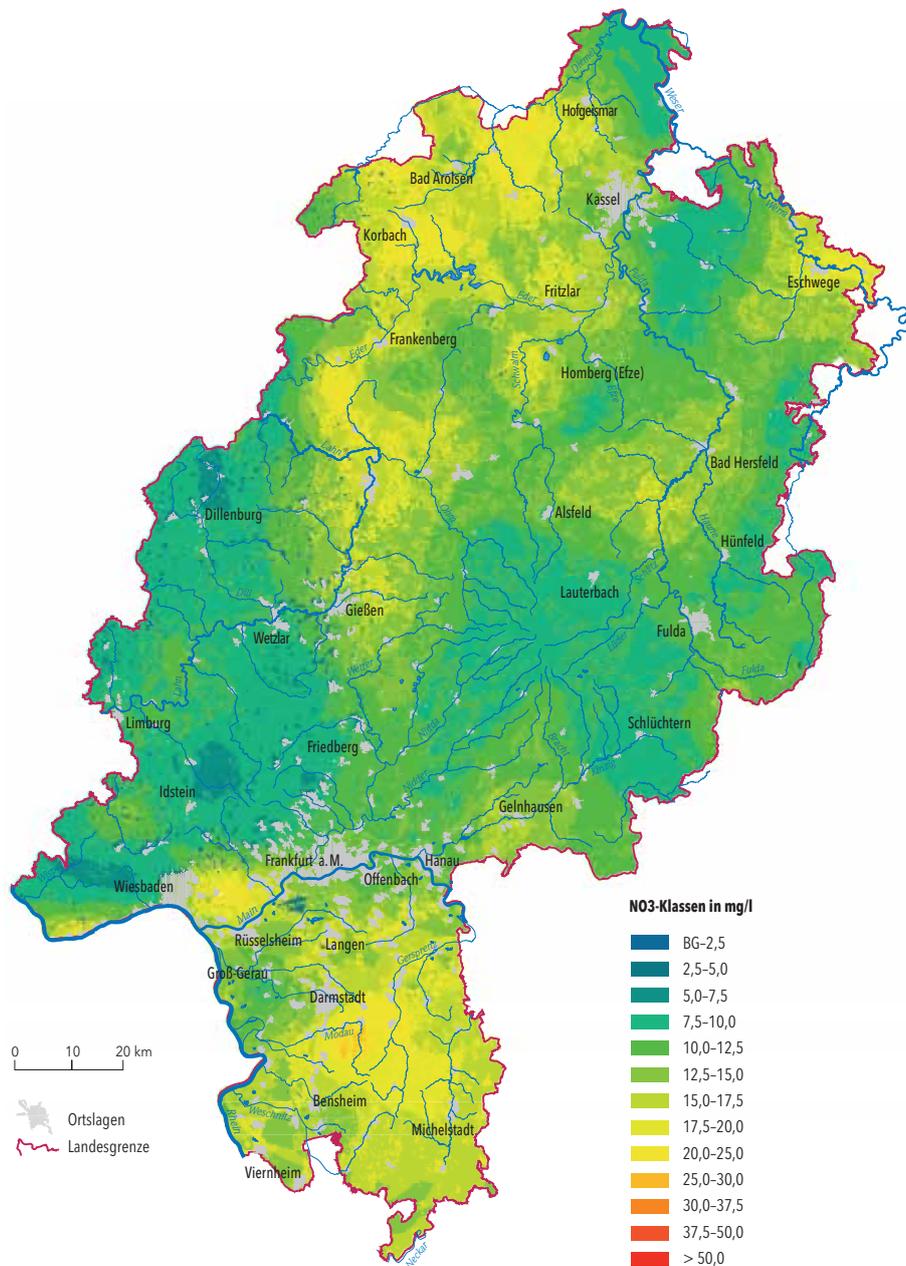


Abb. 73: Regionalisierte Nitratkonzentrationen im Zeitraum 1973–1975.

Weiterhin sind einige Gebiete mit reduzierenden Grundwasserverhältnissen erkennbar, bei denen, trotz der vorhandenen hohen Stickstoffeinträge aus der landwirtschaftlichen Flächennutzung, Nitratkonzentrationen $< 5 \text{ mg/l}$ analysiert werden (z.B. im Hessischen Ried, Abb. 75) Durch das reduzierende Milieu im Grundwasserleiter sind zwar die Nitratkonzentrationen gering, allerdings sind dadurch erhöhte Ammoniumkonzentrationen vorhanden.

Der Rheingau, Teile des Hessischen Rieds, die Hanau-Seligenstädter Senke, der Vorspessart, die Wetterau und die westliche Niederhessische Senke sind Gebiete, in denen verbreitet hohe Nitratkonzentrationen anzutreffen sind. In den meisten dieser Gebiete sind zugleich intensive landwirtschaftliche Einflüsse zu beobachten, die einen erhöhten Stickstoffeintrag in die Böden und Grundwässer mit sich bringen. Besonders in den Gebieten mit Sonderkulturanbau sind sehr hohe Konzentrationen zu verzeichnen.

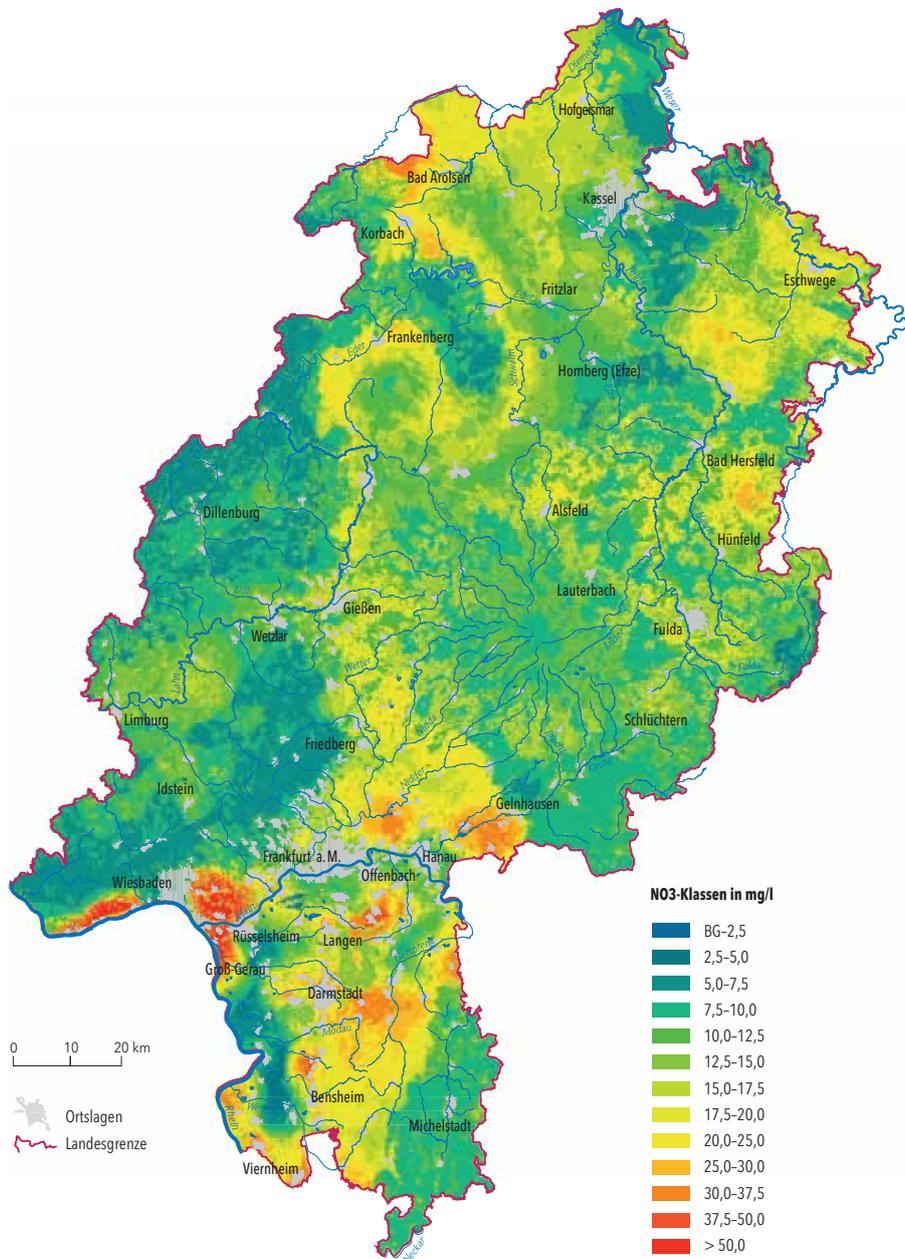


Abb. 74: Regionalisierte Nitratkonzentrationen im Zeitraum 1993–1995.

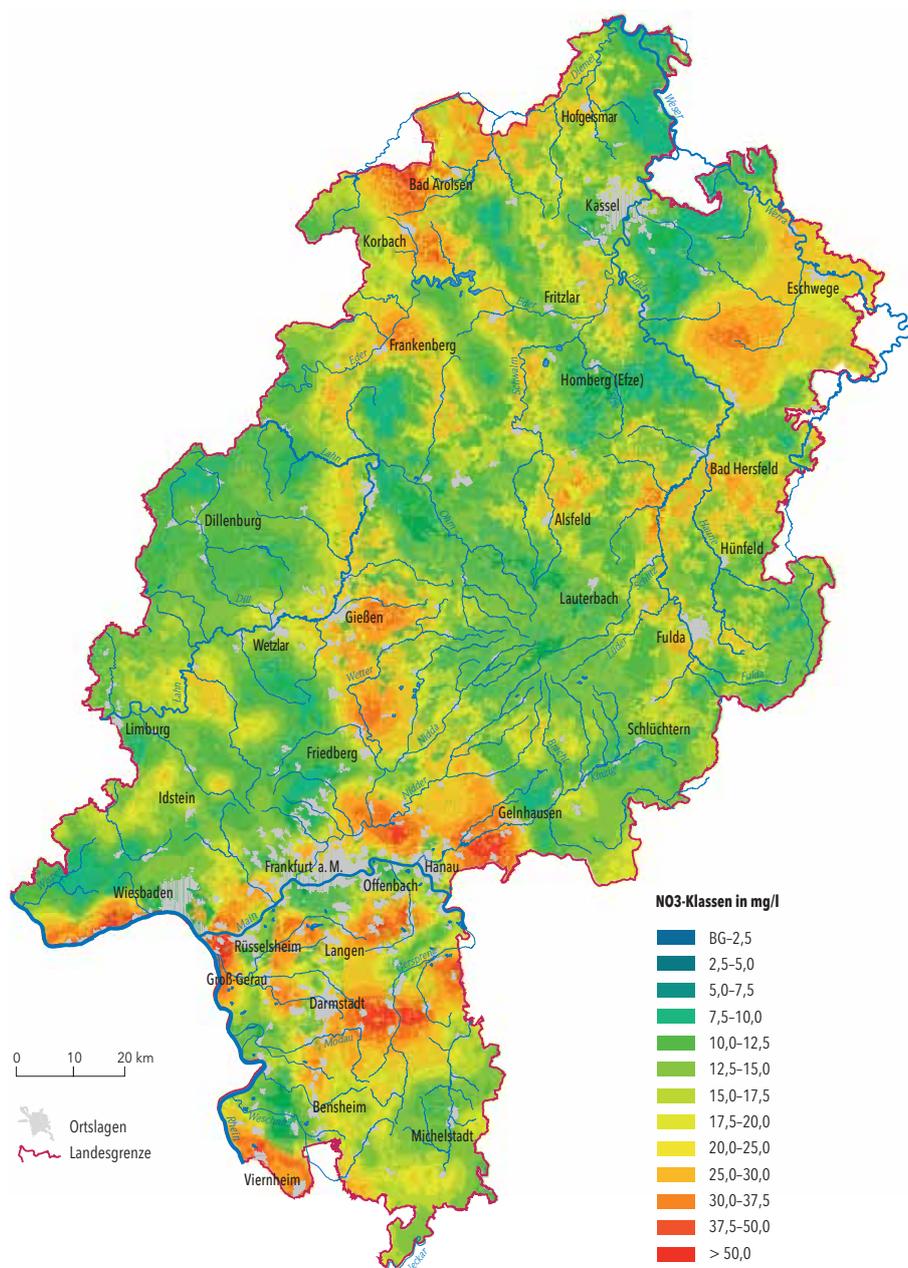


Abb. 75: Regionalisierte Nitratkonzentrationen im Zeitraum 2009–2011.

Nitratkonzentrationen im Grundwasser differenziert nach der Landnutzung.

Um den Verlauf der Nitratkonzentrationen differenziert nach der Landnutzung darstellen zu können, wurde den Einzugsgebieten der jeweiligen Grundwassermessstellen eine dominierende Landnutzung zugeordnet. Dazu wurde der prozentuale Anteil der

Landnutzungen im Einzugsgebiet berechnet und den Grundwassermessstellen zugeordnet (Abb. 76). Die Berechnung der Flächenanteile sowie deren Zuordnung erfolgten durch eine Verschneidung der Landnutzungsdaten mit den Einzugsgebieten. Dabei wurden die Landnutzungsdaten von ATKIS (Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem) und InVeKoS (Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem) verwendet.

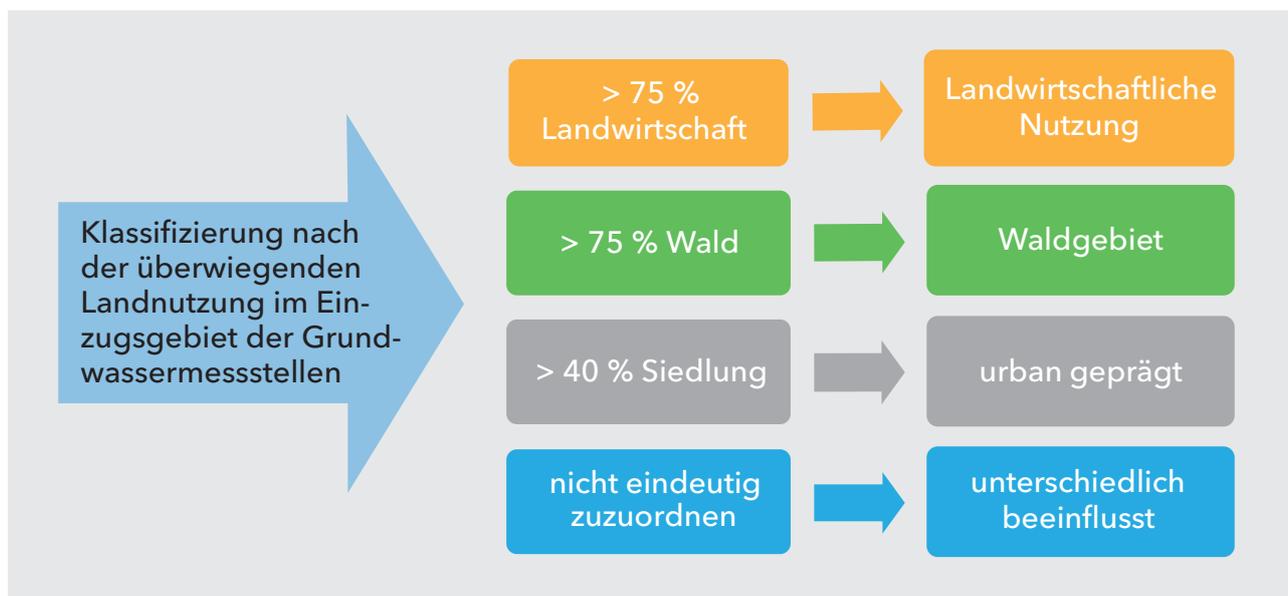


Abb. 76: Klassifizierung der Messstellen nach den Flächenanteilen der Landnutzung im Einzugsgebiet.

Die Anzahl der ausgewählten Grundwassermessstellen, klassifiziert nach der überwiegenden Landnutzung im Einzugsgebiet, variiert stark. Insbesondere bei den urban geprägten Einzugsgebieten stehen nur verhältnismäßig wenige Grundwassermessstellen zur Verfügung. Lediglich rd. 15 % der Landesfläche wird von Siedlungen eingenommen. Weiterhin stehen kaum Grundwassermessstellen mit einem annähernd ausschließlichen urbanen Einzugsgebiet zur Verfügung. Der ganz überwiegende Teil der Messstellen hat auch andere Landnutzungen im Einzugsgebiet. Um überhaupt angenäherte Aussagen machen zu können, wurde daher die Zuordnung in die Klasse „urban geprägtes Einzugsgebiet“ bereits bei einem Siedlungsflächenanteil von 40 % getroffen. Folge ist eine stärkere Varianz der Nitratkonzentrationen bzw. der sich daraus ergebenden Mittelwerte für den Siedlungsbereich.

Tab. 8: Anzahl der ausgewerteten Messstellen nach der Landnutzung.

Klasse	Anzahl der ausgewerteten Messstellen
Landwirtschaftliche Nutzung	408
Waldgebiet	749
urban geprägte Gebiete	98
unterschiedlich beeinflusste Gebiete	860

Landwirtschaftliche Flächennutzung

In Einzugsgebieten mit überwiegend landwirtschaftlicher Flächennutzung sind die Nitratkonzentrationen am höchsten. Der Anstieg der Nitratkonzentrationen in den 1980er Jahren ist auf die Intensivierung der landwirtschaftlichen Flächennutzung zurückzuführen. Die Stickstoffbilanzüberschüsse lagen bundesweit zu Beginn der 1950er Jahre bei weniger als 30 kgN/(ha/a). Aufgrund steigender landwirtschaftlicher Produktion stiegen sie bis Ende der 1980er Jahre auf 130 kgN/(ha/a). Dies verursachte gerade unter den landwirtschaftlichen Nutzflächen erhöhte Nitratkonzentrationen im Grundwasser. In den 1990er Jahren waren die Stickstoffbilanzüberschüsse bundesweit bis auf 80 kgN/(ha/a) rückläufig (LUWG 2007, BMU 2004).

Im Mittel nahmen die Nitratkonzentrationen im Grundwasser bis in die 1990er Jahre zu. Dabei wurden bei einigen Messstellen Höchstwerte über 200

mg/l analysiert. Sehr hohe Nitratkonzentrationen sind vor allem in den landwirtschaftlich intensiv genutzten Flächen mit Sonderkulturanbau, wie z.B. dem Weinbau zu finden. Seit 1995 haben sich die Werte auf hohem Niveau gehalten (Abb. 77). Dabei muss berücksichtigt werden, dass viele Wassergewinnungsanlagen mit Nitratkonzentrationen über dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) von 50 mg/l von den jeweiligen Wasserversorgern außer Betrieb genommen wurden. Von diesen Anlagen werden nach der Außerbetriebnahme keine Proben mehr genommen. Wäre dieses der Fall, könnte eine weiterhin leicht steigende Tendenz nicht vollständig ausgeschlossen werden.

Zusätzlich ist von einer Stabilisierung der Nitratkonzentrationen durch die zahlreichen Kooperationen in Wasserschutzgebieten auszugehen. Eine bedarfsorientierte und gleichzeitig grundwasserschonende landwirtschaftliche Flächennutzung ist hierbei das Ziel.

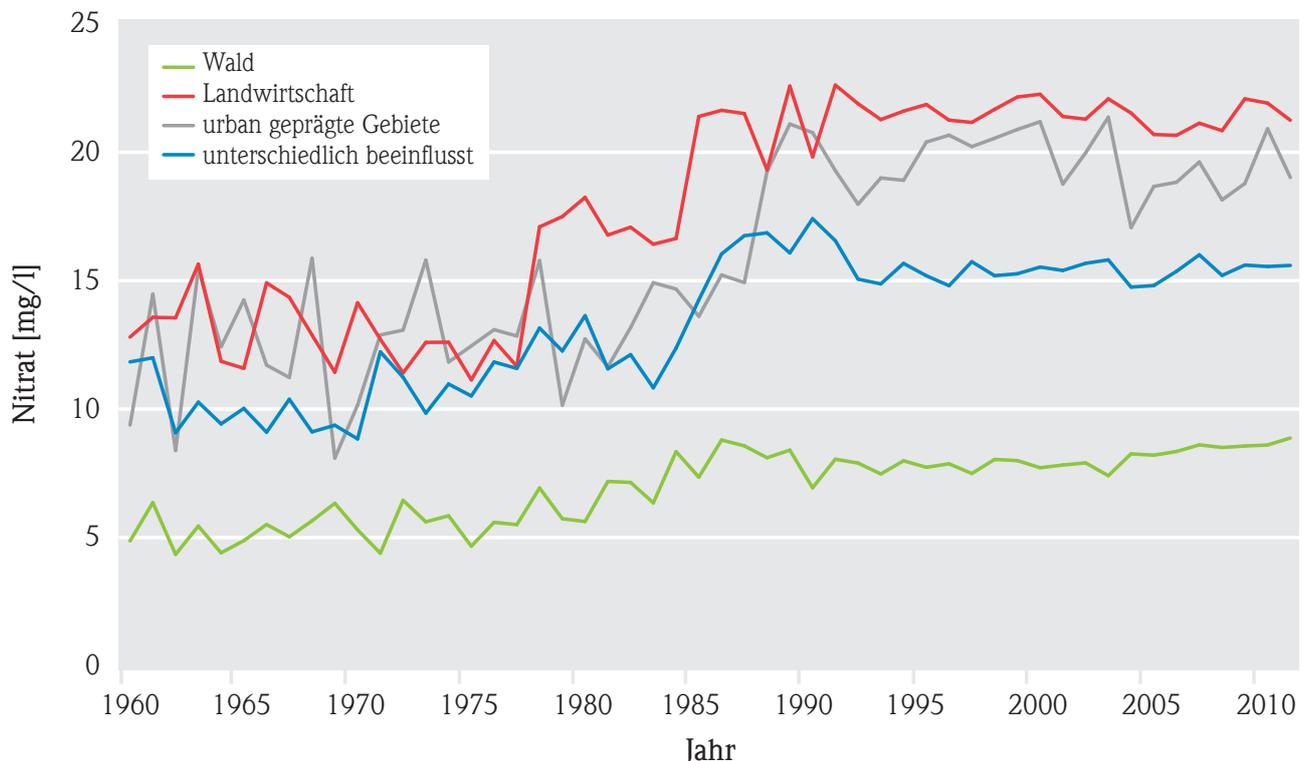


Abb. 77: Mittelwert der Nitratkonzentrationen differenziert nach Landnutzungen.

Waldgebiete

Bei den Grundwässern aus Grundwassermessstellen, deren Einzugsgebiete überwiegend im Wald liegen, sind die Nitratkonzentrationen deutlich niedriger als bei anderen Landnutzungen. Der Mittelwert liegt unter 10 mg/l. Der steigende Trend ist durch anhaltend hohe atmosphärische Stickstoffeinträge erklärbar. Dabei „kämmen“ die Bäume den Stickstoff aus der Luft, wobei feste Partikel oder im Nebel gelöste Stoffe durch die Oberflächenrauigkeit der Baumkronen verstärkt aufgenommen werden und auf diesem Weg in das Ökosystem Wald gelangen.

Bei den hessischen Baumbeständen betrug der Stickstoffeintrag ($\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$) im Jahr 2009 im Mittel unter Fichten 23,6 kg/ha und unter Buchen 17,1 kg/ha. Im Freiland waren es dagegen lediglich 8,8 kg/ha. Unter Fichten und Buchen wurde mehr anorganischer Stickstoff mit dem Niederschlag in den Wald eingetragen, als die Bäume und die Waldbodenpflanzen für ihr Wachstum benötigen (HMUELV, WALDZUSTANDSBERICHT 2010). Hierdurch ergibt sich ein Überschuss, der zu dem leicht steigenden Trend von Nitrat im Grundwasser unter Waldbeständen führt.

Urban geprägte Gebiete

Insgesamt ist bei den Grundwässern mit einem urban geprägten Einzugsgebiet zu beachten, dass der Flächenanteil der Siedlungen in Hessen bei lediglich rd. 15 % liegt und daher deutlich geringer ist als bei den anderen aufgeführten Landnutzungen. Die Anzahl der verwendeten Grundwassermessstellen und damit auch der Grundwasserwerte ist dadurch geringer. Hieraus ergeben sich größere Schwankungen des Mittelwertes. Die Aussagekraft der Ganglinie ist daher gegenüber den anderen Landnutzungen niedriger.

Die Klasse mit Grundwässern, die ein urban geprägtes Einzugsgebiet hat, zeigt einen ähnlichen Verlauf wie die Grundwässer mit einem überwiegend landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebiet. Auch hier findet ein deutlicher Sprung, wenn auch leicht verzögert, in den 1980er Jahren statt (Abb. 77). Daraus kann der Schluss gezogen werden, dass sich das Düngeverhalten im innerstädtischen Bereich dem

der Landwirtschaft angeglichen hat. Plausibel wäre dieses insbesondere für Haus- und Kleingärten. Andererseits liegen Siedlungen häufig in Regionen, die landwirtschaftlich genutzt werden. Der Einfluss der Grundwässer, die aus den Gebieten mit einer überwiegenden landwirtschaftlichen Flächennutzung in den Siedlungsbereich fließen, scheint größer zu sein, als der Einfluss der urbanen Flächennutzung auf das Grundwasser.

Gleichfalls besteht in Siedlungsgebieten die Gefahr eines Stickstoffeintrags durch defekte Abwasserleitungen. Hierdurch lässt sich jedoch der sprunghafte Anstieg in den 1980er Jahren nicht erklären.

Unterschiedlich beeinflusste Gebiete

In dieser Klasse sind die Einzugsgebiete der Grundwassermessstellen keiner bestimmten Landnutzung zuzuordnen. Der Verlauf der Ganglinie korreliert mit dem Kurvenverlauf der landwirtschaftlich beeinflussten Grundwässer. Das deutet darauf hin, dass viele Messstellen dieser Kategorie überwiegend durch die landwirtschaftlichen Flächennutzungen beeinflusst werden (Abb. 77).

Untersuchung des Trends bei den Nitratkonzentrationen

Um langfristige und signifikante Trends bei den Nitratkonzentrationen im Grundwasser zu untersuchen, wurden aus dem Datenpool gezielt entsprechende Grundwassermessstellen selektiert. Dabei wurden in einem ersten Schritt die Grundwassermessstellen ermittelt, die den folgenden statistischen Kriterien entsprachen:

- Anzahl (n) der Proben an einer Messstelle, $n > 20$
- Mittlerer, linearer Trend der Nitratkonzentrationsentwicklung pro Jahr, für steigende Konzentrationen $> 0 \text{ mg}/(l \cdot a)$, für fallende Konzentrationen $< 0 \text{ mg}/(l \cdot a)$
- das Bestimmtheitsmaß R^2 (Güte) für den Trend, mindestens $R^2 > 0,5$
- keine größeren Streuungen der Werte, Standardabweichung $S < 20$

Bei insgesamt 5 608 Messstellen zeigten die Grundwässer aus 238 Messstellen einen signifikant steigenden bzw. aus 113 Messstellen einen signifikant fallenden Trend der Nitratkonzentrationen.

In Abb. 79 sind die ausgewählten Trend-Messstellen dargestellt. Ein steigendes oder fallendes Pfeilsymbol bedeutet nicht, dass dort eine Messstelle mit hohen bzw. niedrigen Nitratkonzentrationen vorhanden ist. Es besagt ausschließlich, dass diese Messstelle einen linearen signifikanten Trend im Grundwasser über einen bestimmten Beobachtungszeitraum aufweist. Der Trend kann z.B. über viele Jahre hinweg von niedrigen zu höheren Konzentrationen verlaufen, ohne dass dabei ein Grenz- oder Schwellenwert überschritten wird. Gleichfalls werden Grundwassermessstellen mit beständig hohen oder niedrigen Nitratkonzentrationen im Grundwasser bei dieser Auswertung nicht angezeigt, wenn sie keinen fallenden bzw. steigenden Trend aufweisen. Gleichfalls gilt es zu beachten, dass ein bestimmter Trend keinen Rückschluss auf die aktuelle Nitrat-Situation im Grundwasser zulässt.

In einem weiteren Schritt wurde untersucht, welche Landnutzung bzw. Anbaufrucht die Ursache für den Trend sein könnte. Dazu wurden die Flächenanteile der Landnutzungen in den abgeschätzten Grundwassereinzugsgebieten der Messstellen berechnet.

Als Ergebnis für die beiden Datenkollektive (fallender bzw. steigender Nitrat-Trend) ist zu beobachten, dass über alle Einzugsgebiete der beiden Trend-Messstellengruppen die Wald- und Siedlungsflächen annähernd gleich groß sind (Abb. 78a, 78b). Unterschiedlich ist jedoch der Flächenanteil von Dauergrünland und verschiedener Feldfrüchte (z.B. Winterweizen, Wintergerste, Winterraps). Für das Datenkollektiv mit steigendem Nitrat-Trend ergibt sich ein geringerer Anteil von Dauergrünland und damit ein höherer

Anteil bei den angebauten Feldfrüchten. Diese Kombination im Einzugsgebiet der Messstellen scheint sich ungünstig auf das Trendverhalten auszuwirken. Der positive Effekt von Dauergrünland auf die Nitratkonzentrationen im Grundwasser ist dadurch verringert, denn eine ganzjährig geschlossene Grasnarbe sorgt kontinuierlich für Stickstoffentzug. Der hier bestehende höhere Anteil an Feldfrüchten scheint das nicht in gleicher Weise zu leisten. Sollte in Zukunft der Anteil an „Rohstoffpflanzen“ (z.B. Mais) für z.B.

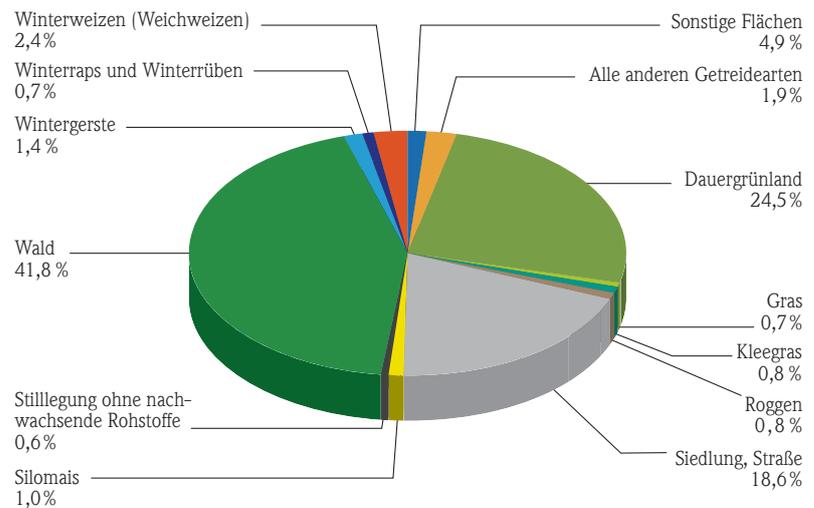


Abb. 78a: Mittlere berechnete Flächenanteile der Landnutzungen in den Einzugsgebieten der Messstellen mit fallendem Nitrat-Trend im Grundwasser.

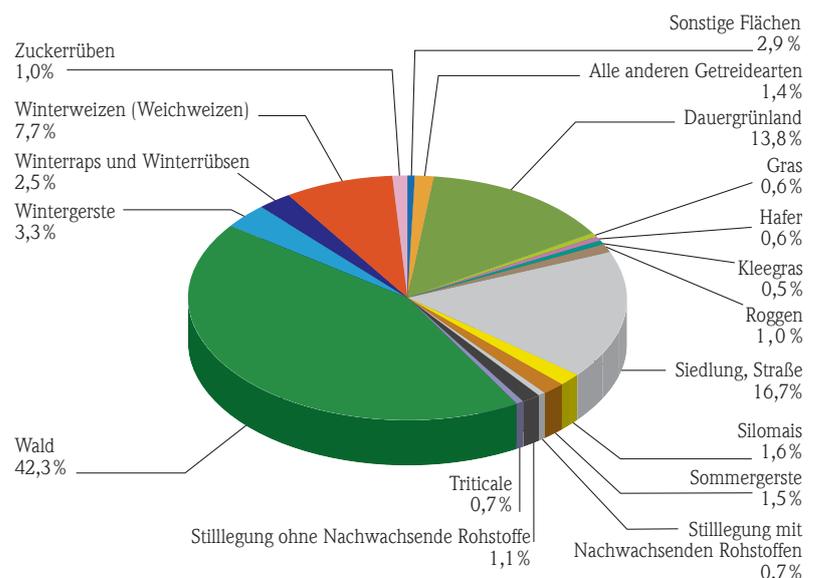


Abb. 78b: Mittlere berechnete Flächenanteile der Landnutzungen in den Einzugsgebieten der Messstellen mit steigendem Nitrat-Trend im Grundwasser.

Biogasanlagen zunehmen und dadurch der Anteil an Grünland abnehmen, wären negative Auswirkungen auf die Entwicklung der Nitratkonzentrationen im Grundwasser zu besorgen.

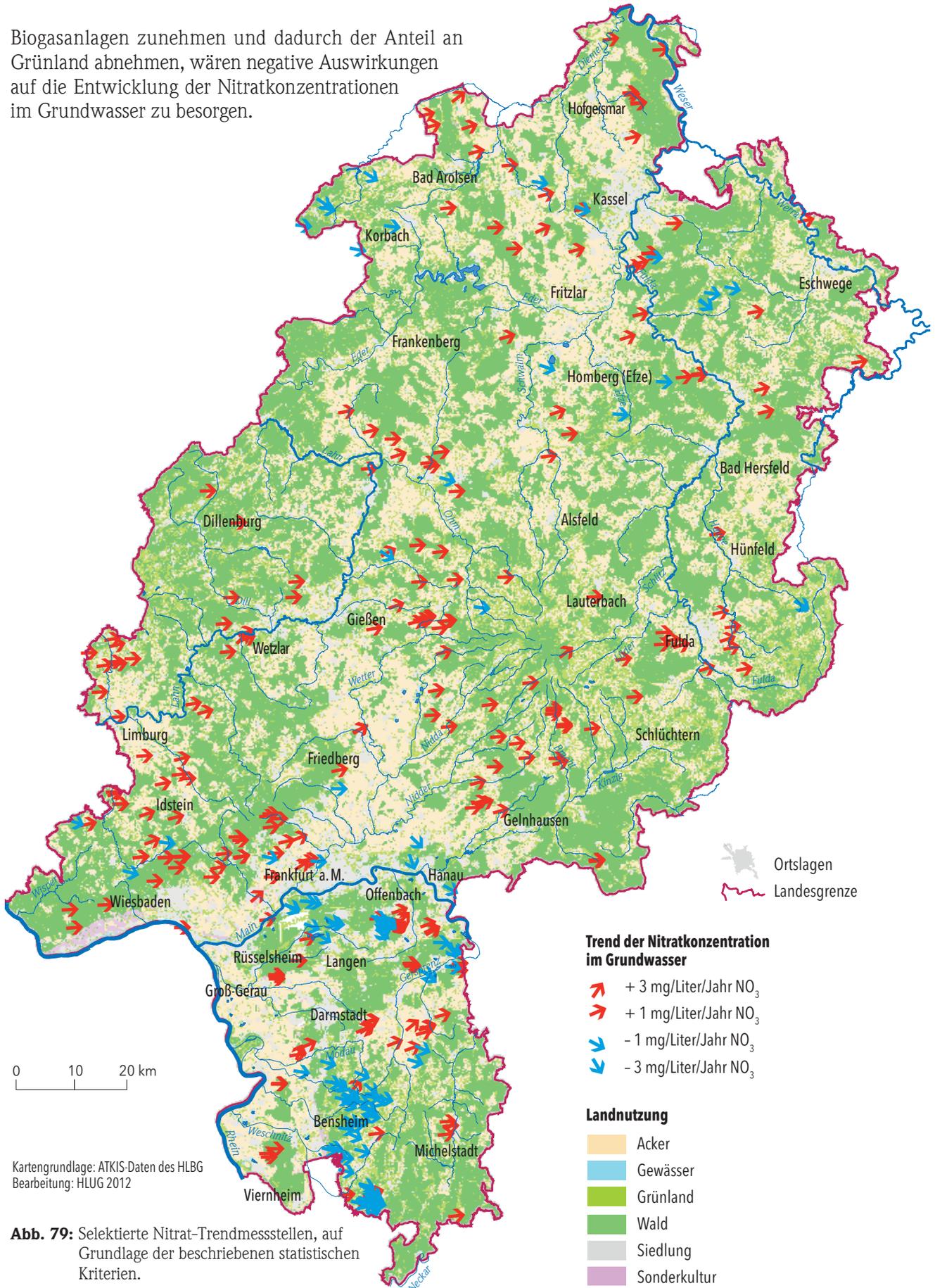


Abb. 79: Selektierte Nitrat-Trendmessstellen, auf Grundlage der beschriebenen statistischen Kriterien.

5 Zusammenfassung

2015 betrug die mittlere Temperatur in Hessen 9,9 °C und lag damit 1,4 Grad über dem langjährigen Mittelwert. Zusammen mit den Jahren 2000 und 2007 war es das zweitwärmste Jahr seit Beginn der Wetteraufzeichnungen im Jahr 1881. Im Jahresdurchschnitt fielen 612 Liter pro Quadratmeter, damit wurde das langjährige Jahressoll nur zu 79 % erreicht. Neun Monate war es zu trocken, nur in den Monaten Januar, August und November wurden die Monatsmittel übertroffen.

Abgesehen vom Januar wiesen die hessischen Gewässer insgesamt gesehen in allen Monaten unterdurchschnittliche Abflüsse auf. Im November konnte hessenweit von einer Niedrigwassersituation gesprochen werden. Die ergiebigen Regenfälle Ende November führten in einigen Gewässern zu kurzfristigen Hochwassermeldestufenüberschreitungen. Eine längerdauernde Hochwasserphase trat 2015 nicht auf.

Zur Ermittlung des ökologischen Zustands im Zuge der Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie wurden in 2015 Untersuchungen zum Fischbestand, zum Makrozoobenthos sowie zum Makrophytenvorkommen seitens des HLNUGs beauftragt. Bei ca. drei Viertel der hinsichtlich des Fischbestandes untersuchten Gewässerabschnitte wird der gute ökologische Zustand noch nicht erreicht. Das Makrozoobenthos zeigt bei gut einem Drittel der Untersuchungen noch einen Handlungsbedarf bei der Gewässergüte. Bei den Makrophyten wurde ein hoher Pflanzenbestand festgestellt.

Die beschriebenen ökologischen Defizite in Fließgewässern und Talsperren sind zum Teil auf die immer noch deutlich zu hohen Phosphorkonzentrationen in den Gewässern zurückzuführen, die zu einer übermäßigen Algenentwicklung führen. Als indirekte Folge sinken im Sommer die Sauerstoffgehalte auf für empfindliche Organismen kritische Werte ab. Eine Verbesserung ist erst zu erwarten, wenn die Phosphoreinträge aus kommunalen und industriellen Kläranlagen gemäß des Maßnahmenprogrammes des Landes Hessen erheblich reduziert sind.

Infolge der zahlreichen Monate mit unterdurchschnittlichem Niederschlag fiel auch die Grundwasserneubildung deutlich niedriger aus. Das Flächenmittel der Grundwasserneubildung betrug für das Jahr 2015 für Hessen 71 mm und lag damit rd. 30 % unter dem langjährigen Mittelwert der Referenzperiode 1971–2000.

Nach einem Anstieg des Grundwassers auf überdurchschnittliche Wasserstände bis zum März führte die anschließende Trockenheit zu einem stetigen Absinken des Grundwassers. Es wurden meist unterdurchschnittliche, aber nur wenige niedrige Grundwasserstände erreicht. Zu einem Absinken auf niedrige Grundwasserstände müssen mehrere Trockenjahre hintereinander folgen.

Perfluorierte Chemikalien (PFC) sind sehr persistente Stoffe, die weder durch biotische noch abiotische Prozesse abgebaut werden können. Daher findet eine Akkumulation und ubiquitäre Verteilung der PFC in der Umwelt statt. Im Grundwasser ist eine zunehmende Fundhäufigkeit mit Tendenz zu steigenden Konzentrationen der PFC festzustellen.

Die Nitratkonzentrationen haben sich seit den vorgestellten Daten aus dem Grundwasserbeschaffenheitsbericht 2012 nur unwesentlich verändert, so dass im landesweiten Überblick keine Reduzierung festzustellen ist. Die Nitratkonzentrationen stagnieren insbesondere unter den landwirtschaftlich genutzten Flächen auf hohem Niveau. Eine Reduzierung zeigt sich dann, wenn im Einzugsgebiet der Grundwassermessstellen überwiegend Dauergrünlandflächen bestehen.