



Hydrologie in Hessen, Heft 24

Gewässerkundlicher Jahresbericht 2021



Für eine lebenswerte Zukunft

Hydrologie in Hessen, Heft 24

Gewässerkundlicher Jahresbericht 2021

Wiesbaden, 2022

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie

Impressum

Hydrologie in Hessen, Heft 24

ISSN 1438-7859
ISBN 978-3-89026-724-1

Gewässerkundlicher Jahresbericht 2021

Redaktion: Cornelia Löns-Hanna

Layout: Nadine Senkpiel

Titelbild: Flächenhafte Verteilung des Niederschlags 2021, Rhein bei Biebrich, Februar 2021 © HLNUG

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

Das HLNUG auf Twitter:

https://twitter.com/hlnug_hessen

Diese Broschüre wurde mit FSC-Zertifizierung gedruckt.

Nachdruck – auch auszugsweise – nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers.

Inhalt

1	Vorwort	4
2	Witterung	6
	CORNELIA LÖNS-HANNA	
2.1	Allgemeines	6
2.2	Lufttemperatur	7
2.3	Sonnenscheindauer	9
2.4	Niederschlag	10
3	Oberflächengewässer	18
3.1	Wasserstand und Durchfluss	18
	MONIKA SPICKER	
3.2	Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken	26
	MONIKA SPICKER	
3.3	Hochwasserereignisse 2021	30
	CORNELIA LÖNS-HANNA	
3.4	Physikalisch-chemische Beschaffenheit oberirdischer Gewässer	37
	DR. CHRISTINA KLEIN, JANA SEMSEI, ANDREAS BURMEISTER	
3.5	Untersuchungen zur Fauna und Flora der Fließgewässer	52
	ELISABETH SCHLAG	
3.6	Gewässerstruktur	56
	JOACHIM WEDEL, ANN KATRIN THOMAS & HEIKO TRIER	
3.7	Seen – Trophische Untersuchungen	59
	MICHAEL HÄCKL, ANN KATRIN THOMAS	
4	Grundwasser	64
4.1	Grundwasserneubildung	64
	MARIO HERGESELL	
4.2	Grundwasserstände und Quellschüttungen	67
	MARIO HERGESELL	
4.3	Grundwasserbeschaffenheit: Isotopenhydrogeologische Untersuchungen in Hessen	71
	TILL OEHLER	
5	Zusammenfassung 2021	77
6	Übersicht Berichte	79

1 Vorwort



Hochwasser und Sturzfluten, aber auch Trockenheit und Dürre bestimmten die wasserwirtschaftliche Situation in den vergangenen Jahren. Im Zuge des Klimawandels scheinen sie häufiger und heftiger zu werden. Dazu stellt sich vielen Menschen die Frage, ob die Wasservorräte immer knapper werden oder zukünftig gar ein Trinkwassermangel herrschen wird.

Um einen Überblick über die wasserwirtschaftliche Situation in Hessen und die Entwicklung der Wassermengen in Grund- und Oberflächengewässern zu erhalten, sind umfangreiche Messungen und Untersuchungen von Niederschlag, Grund- und Oberflächenwasser erforderlich. Dazu betreibt das Land Hessen eine Vielzahl gewässerkundlicher Messstellen (Abbildung 1). An ihnen werden vom HLNUG und von den Regierungspräsidien Messungen und Untersuchungen durchgeführt. Ergänzt werden die hier erhaltenen Messergebnisse durch Daten aus Sondermessprogrammen, aus Erhebungen für die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) sowie aus den Daten Dritter (Nachbarländer, Bundeswasser-

straßenverwaltung (WSV), Deutscher Wetterdienst (DWD), Wasserversorgungsunternehmen u. a.). Diese Messdaten werden in einem gewässerkundlichen Datenpool aufbereitet und in Datenbanken ständig aktualisiert. Sie dienen der Beurteilung der wasserwirtschaftlichen Situation und bieten die Grundlage für Planungen und Bauten der Wasserwirtschaft, damit auch zukünftig Wasser an den benötigten Orten in der richtigen Menge zur Verfügung steht. Die Daten werden in verschiedenen Portalen und Anwendungen auf den Webseiten des HLNUG der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt.

In Monats- und Jahresberichten werden die Daten ausgewertet und zusammengefasst. Im hier vorliegenden Gewässerkundlichen Jahresbericht 2021 wird die wasserwirtschaftliche Situation des Jahres 2021 beschrieben. Dieser Bericht ist bereits der 15. seiner Art, sodass seit 2007 die wasserwirtschaftliche Situation Hessens dokumentiert und nachlesbar ist.

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.

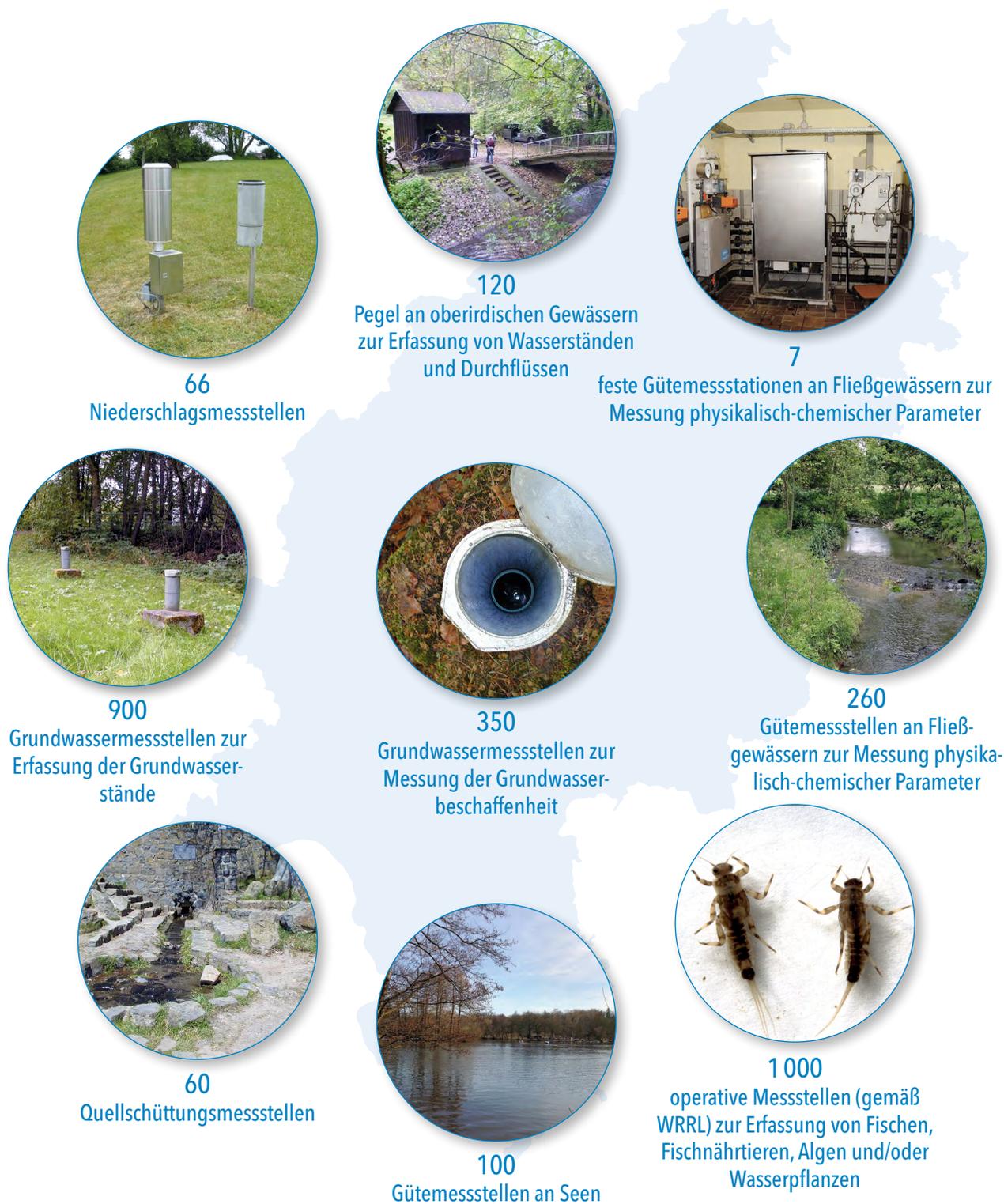


Abb. 1: Gewässerkundliche Messstellen des Landes Hessen © HLNUG

2 Witterung

CORNELIA LÖNS-HANNA



Abb. 2: Frühlingshimmel über Wiesbaden 2021 © HLNUG

2.1 Allgemeines

Neue Referenzperiode 1991–2020 eingeführt

Zur Einordnung und Bewertung der aktuellen Klimadaten werden sogenannte Klimareferenzperioden verwendet. Klimatologische Referenzperioden umfassen in der Regel Mittelwerte über einen Zeitraum von 30 Jahren, um den Einfluss der natürlichen Variabilität aus der statistischen Betrachtung des Klimas auszuklammern (Quelle: Deutscher Wetterdienst, Wetterlexikon).

In dieser Publikation werden aktuelle Umweltdaten dargestellt, die zur **Referenzperiode 1991–2020** in Bezug gesetzt werden, um Einordnungen und Vergleiche zu den derzeit herrschenden Verhältnissen zu erlauben. Um Effekte des Klimawandels zu berücksichtigen, müsste dagegen die Referenzperiode 1961–1990 verwendet werden (Empfehlung der Weltorganisation für Meteorologie, WMO).

Teilweise werden abweichende Referenzperioden zum Vergleich herangezogen, da die Vergleichdaten für die Periode 1991–2020 noch nicht ermittelt wurden. So wird beispielsweise bei Niedrigwasserbetrachtungen (Kap. 3.1) auf Werte der Periode 1981–2010 zurückgegriffen, für die Beurteilung der Grundwasserneubildung (Kap. 4.1) werden die Werte der Referenzreihe 1971–2000 verwendet.

Jahr 2021

Das Wetterjahr 2021 war in Deutschland laut Deutschem Wetterdienst (DWD) insgesamt recht durchschnittlich: so gab es keine neuen Temperaturrekorde und die Niederschlagsmenge war insgesamt ausreichend, sodass sich die Wälder von der Trockenheit der drei vorangegangenen Jahre etwas erholen konnten.

In Hessen herrschten im Jahr 2021 mit einer Jahresmitteltemperatur von 9,0 °C, einer Jahresniederschlagssumme von 745 mm und 1 554 Sonnenstunden annähernd mittlere Verhältnisse. Auch wenn Hessen von der Flutkatastrophe Mitte Juli weitgehend verschont war, gab es einige Wetterextreme mit entsprechenden Auswirkungen:

Regenfälle und Tauwetter verwandelten Ende Januar Teile der Wetterau in eine Seenlandschaft. Besonders betroffen vom Hochwasser war die Stadt Büdingen. Im Februar traten besonders in den nördlichen Regionen Hessens sehr strenge Fröste auf. So wurden am 10.02. vielerorts Frühtemperaturen von unter –20 °C erfasst. In Sontra gab es mit –25,6 °C sogar einen neuen Stationsrekord. Auf ein kurzes Sommergastspiel Ende März mit Höchstwerten von 25 °C folgte mit einem sehr kalten April der kälteste Ostermonat seit 1977. Der Sommer begann mit

dem drittwärmsten Juni seit Beginn der Wetteraufzeichnungen. Er war geprägt durch zahlreiche Gewitter mit Starkregenfällen. Am 04.07. setzte eine Gewitterzelle den Wetterpark in Offenbach unter Wasser, als innerhalb kürzester Zeit 46,4 mm vom Himmel fielen. Sonnig und ungewöhnlich trocken verlief der September. Am 21.10. rauschte mit Tief

„Hendrik“ ein schweres Sturmfeld über die Region hinweg. Frankfurt am Main meldete dabei eine Spitzengeschwindigkeit von 105,5 km/h. Nach einer sehr sonnigen Wintersonnenwende und einem trüben Weihnachtsfest gab es an den letzten Tagen des Jahres ungewöhnlich milde Lufttemperaturen. [Pressemitteilung des DWD vom 30.12.2021]

2.2 Lufttemperatur



Abb. 3: Schnee im Taunus Januar 2021 © HLNUG

Lufttemperaturmessnetz, Zielsetzung und Aufgabe

Die Lufttemperatur wird an hesseneigenen Messstellen des Luftmessnetzes erhoben. Außerdem kann für den internen Gebrauch auf Werte von Messstationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) zugegriffen werden. Lufttemperaturwerte werden im Rahmen der Gewässerkunde für verschiedene Fragestellungen benötigt:

- als Eingangswerte für Wärmemodelle der Gewässer,
- für die Beurteilung der physikalisch-chemischen Gewässerbeschaffenheit,
- für die Beurteilung der biologischen Gewässerbeschaffenheit,
- als Eingangswerte für Hochwasservorhersagemodelle,
- für die Betrachtung langfristiger Klimaänderungen und
- für Modellrechnungen zur Grundwasserneubildung.

Lufttemperatur im Jahr 2021

In Abbildung 5 sind die Jahresmittelwerte von Hessen seit 1881 dargestellt. Die mittlere Jahrestemperatur betrug im Jahr 2021 in Hessen 9,0 °C. Damit lag sie ungefähr im Bereich der langjährigen mittleren Temperatur des Vergleichszeitraums von 1991–2020 von 9,3 °C. Nach drei Jahren mit Temperaturen über 10 °C ist 2021 als normal warmes Jahr anzusehen. Verglichen mit dem Wert der Referenzperiode 1961–1990 von 8,2 °C, deren Werte für Erkenntnisse über langjährige Klimaänderungen betrachtet werden, war 2021 jedoch 0,8 Grad wärmer.

Die Temperaturentwicklung im Berichtsjahr ist in Abbildung 4 dargestellt. Die mittleren Temperaturen in den Monaten Januar, Februar und März lagen im mittleren Bereich der Referenzwerte. Erheblich zu kalt war der April. Mit 5,9 °C lag die Mitteltemperatur 3,8 Grad unter dem Vergleichswert von 9,7 °C. Es war der kälteste April seit 1977 und seit 1938 sogar der frostreichste. Auch der Mai war mit 10,5 °C viel zu kalt. Mit einem Wert von 2,5 Grad unter dem Vergleichswert von 13,0 °C war es der kälteste Mai seit 2010.

Der Juni war vergleichsweise zu warm. Mit 19,0 °C war er 2,7 Grad wärmer als im Durchschnitt. Die darauffolgenden Sommermonate Juli und August waren wiederum vergleichsweise zu kalt. Der Juli war mit 17,7 °C 0,5 Grad kälter als der Mittelwert, der August lag mit 16,1 °C sogar 1,7 Grad unter dem Vergleichswert. Auf den kühlen Sommer folgte ein warmer Herbst. Im September war es mit 15,0 °C zu warm (1,4 Grad über dem Mittelwert). Der Oktober war ausgeglichen. Auf einen leicht zu kühlen November mit 4,4 °C (–0,4 Grad) folgte ein überdurchschnittlich warmer Dezember. Mit 3,0 °C war er 1,2 Grad wärmer als im Vergleichszeitraum.

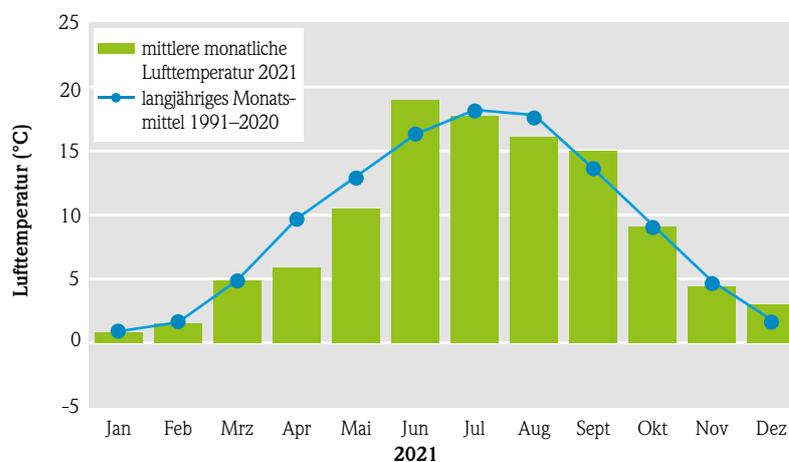


Abb. 4: Monatliche Lufttemperatur 2021 im Vergleich zum langjährigen monatlichen Mittel 1991–2020 (Daten: DWD)

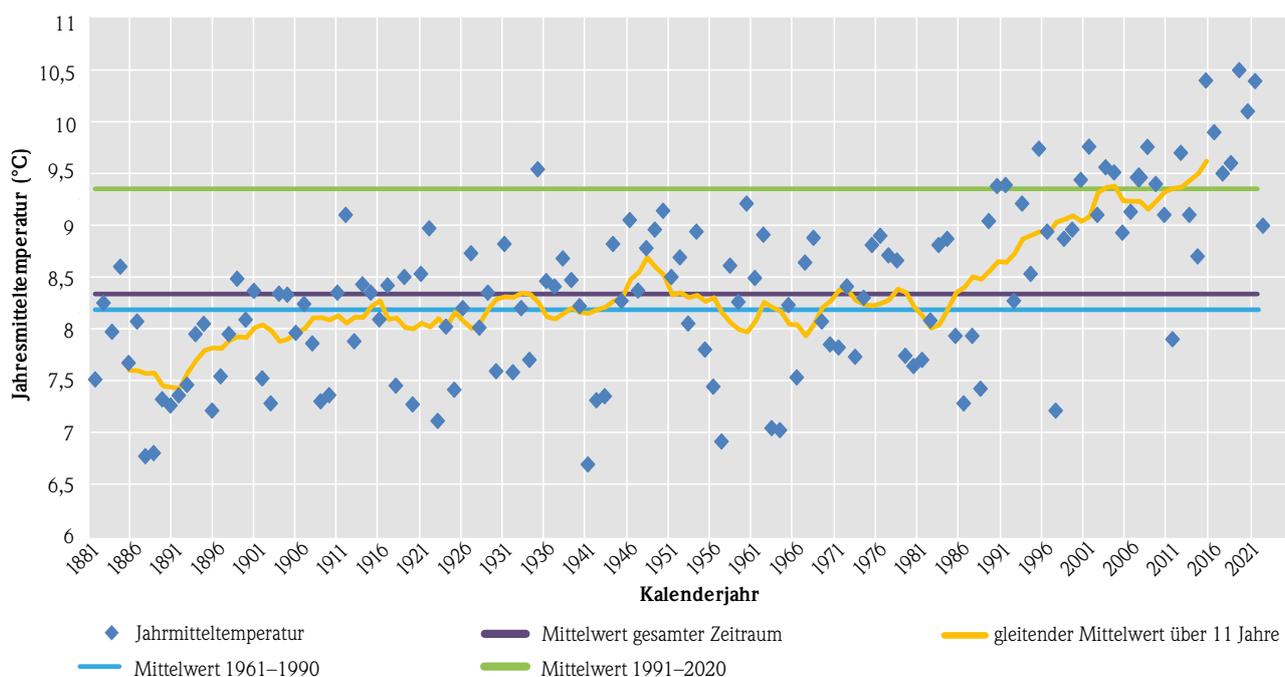


Abb. 5: Jahresmitteltemperaturen in Hessen (Daten: DWD)

2.3 Sonnenscheindauer

Sonnenscheinmessungen, Zielsetzung und Aufgabe

Angaben über die Sonnenscheindauer werden im Rahmen der Gewässerkunde ebenso wie die Lufttemperatur benötigt:

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

Sonnenscheindauer im Jahr 2021

Insgesamt schien die Sonne in Hessen 1 554 Stunden und damit 40 Stunden weniger als im langjährigen Mittel. Die monatlichen Sonnenstunden im Vergleich zum langjährigen Mittelwert können Abbildung 6 entnommen werden. Der Januar war mit weniger als der Hälfte der üblichen Sonnenstunden zu trüb. Auf die sonnigen Monate Februar und März und einen April mit durchschnittlichem Sonnenschein folgte ein trüber Mai. Mit 148 Sonnenstunden lag er um 23 % unter dem Mittel von 210 Stunden. Überdurchschnittlich sonnig war der Juni mit 244 Stunden (+16 %), gefolgt von den trüben Monaten Juli und August. Sehr sonnig war der September mit 183 Sonnenstunden (+32 %). Im langjährigen mittleren Bereich lag die Anzahl der Sonnenstunden im Oktober. 2021 endete schließlich mit zwei trüben Monaten November und Dezember.

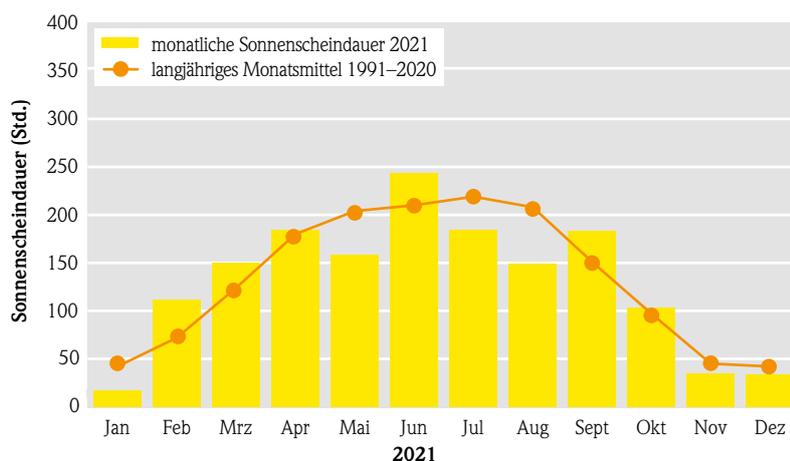


Abb. 6: Monatliche Sonnenscheindauer in Hessen 2021 im Vergleich zum langjährigen monatlichen Mittel 1991–2020 (Daten: DWD)

2.4 Niederschlag



Abb. 7: Niederschlagsmessstelle Freiensteinau (links: Pluviometer, rechts: Hellmann-Messgerät) © HLNUG

Niederschlagsmessnetz, Zielsetzung und Aufgabe

Kenntnisse über die Menge und die 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 (z. B. Kanalnetze, Kläranlagen, Wasserversorgungseinrichtungen),
- sind fundierte Anhaltswerte für den Hochwasserwarndienst,
- sind wesentliche Eingangsdaten für Hochwasservorhersagesimulationen,
- sind Eingangsdaten für den Betrieb hydrologischer Modelle,
- liefern Hinweise bei der Ermittlung stofflicher Eintragspfade,
- sind bedeutsam für die Landwirtschaft und
- bieten die Grundlage für langfristige Betrachtungen im Hinblick auf Veränderungen der hydrologischen Situation und des Klimas.

Das hessische Niederschlagsmessnetz umfasst derzeit 69 Messstellen im Rahmen des landeseigenen, hydrologisch ausgerichteten Messnetzes (siehe Abbildungen 7 und 8). An den meisten Messstellen stehen sowohl ein Pluviometer (Messung von Minutenwerten mit Datenfernübertragung (DFÜ)) als auch ein Niederschlagsmessgerät nach Hellmann. Andere sind nur mit einem Pluviometer ausgestattet, da hier eine tägliche Ablesung durch einen Beobachter, wie sie bei Hellmann-Messgeräten erforderlich ist, nicht durchgeführt werden kann. Insgesamt gibt es 58 Messstellen, an denen hochaufgelöste Niederschlagsdaten registriert werden und deren Daten mittels Datenfernübertragung (DFÜ) in eine zentrale Datenbank übertragen werden. An weiteren 11 Messstationen wird dagegen einmal täglich mit einem Hellmann-Messgerät durch einen Beobachter gemessen. Betrieb und Unterhaltung der Niederschlagsmessgeräte erfolgt größtenteils durch die Regierungspräsidien. Einzelne Niederschlagsmessstellen werden von Dritten betrieben, beispielsweise von Wasserverbänden. Zuständig für die Datenfernübertragung, den Betrieb der Datenbank, Prüfung und Veröffentlichung der Daten im Internet sowie die Datenweitergabe und die Datenauswertung ist das HLNUG.

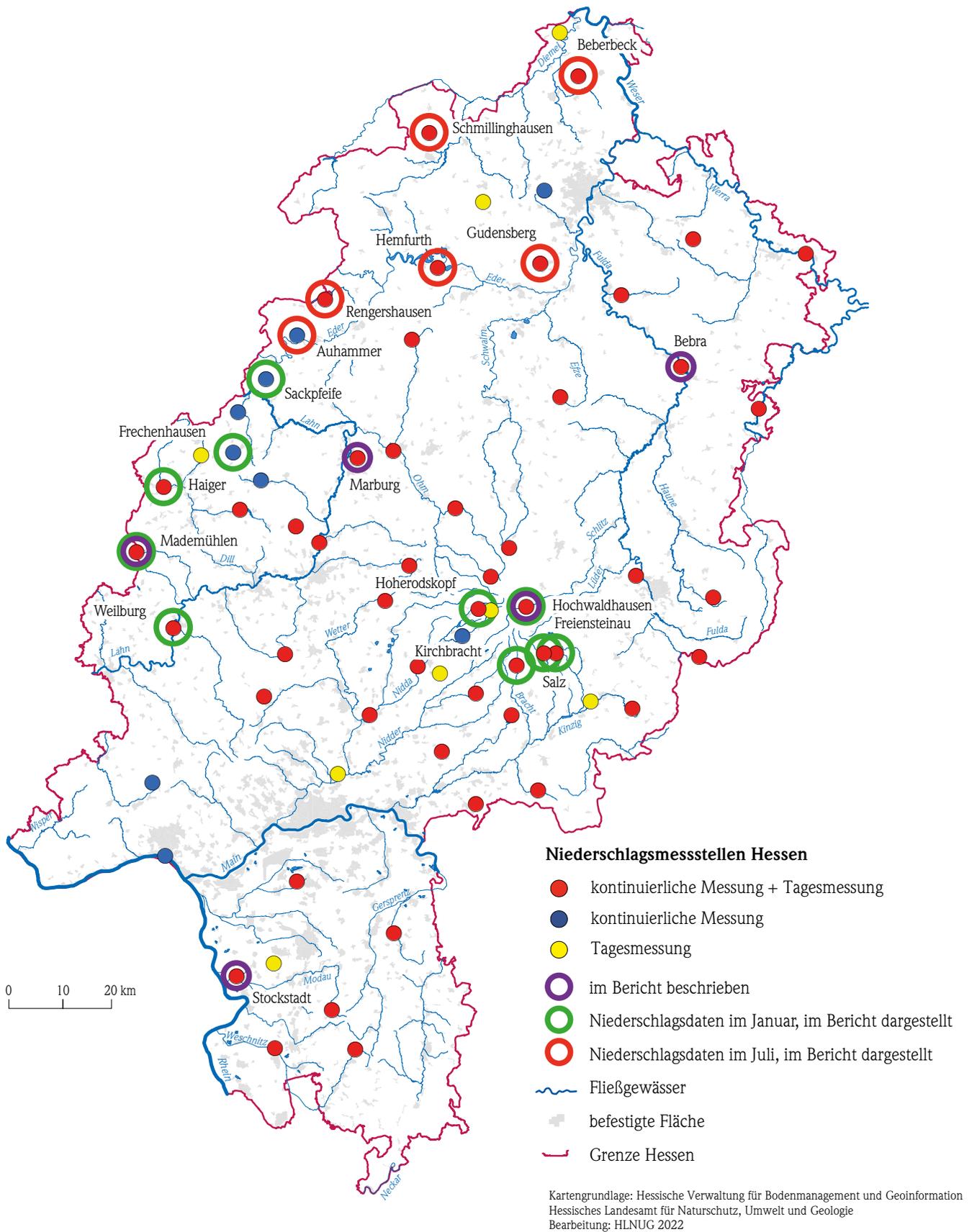


Abb. 8: Hydrologisches Niederschlagsmessnetz landeseigener Niederschlagsmessstellen

Zusätzlich zu den Daten der hydrologischen Landesmessstellen werden Ergebnisse anderer Messnetze in Hessen verwendet. Dies sind Daten von 75 Niederschlagsmessstellen des Deutschen Wetterdienstes (DWD), die im Rahmen des Datenaustausches genutzt werden können sowie Daten Dritter (Nachbarländer, Wasserverbände usw.), die ebenfalls dem HLNUG zur Verfügung stehen. Verwendung finden sie alle für interne Anwendungen, hauptsächlich für den Betrieb wasserwirtschaftlicher Modelle.

Die Ergebnisse der Niederschlagsmessungen des Landesmessnetzes werden im Internet auf der Homepage des HLNUG <https://www.hlnug.de/static/pegel/wikiweb3/webpublic/> zeitnah veröffentlicht.

Niederschlag im Jahr 2021

Im Jahr 2021 fielen hessenweit im Mittel 745 mm. Im Vergleich zum Wert der Referenzperiode 1991–2020 von 758 mm sind dies 98 %. Die Differenz beträgt –13 mm (–2 %). Die Niederschlagssumme des Jahres 2021 lag somit im normalen Bereich. Verglichen mit dem Wert der Klimareferenzperiode 1961–1990 von 793 mm war es mit 94 % des mittleren Wertes etwas zu trocken.

Die monatlichen Niederschlagssummen im Jahr 2021 sind Abbildung 9 zu entnehmen. Die Abweichungen gegenüber den langjährigen Monatsmittelwerten zeigt Abbildung 10.

Nachdem das Jahr 2021 in den ersten zwei Wochen relativ trocken war, zog ab der dritten Woche eine Serie von Tiefdruckgebieten über Hessen, die Ende Januar und Anfang Februar erhebliche Niederschläge brachten. Im

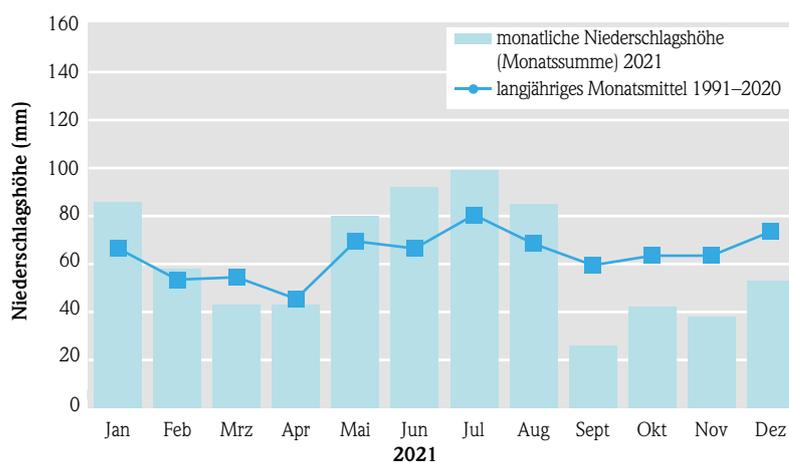


Abb. 9: Monatliche Niederschlagssummen in Hessen (Daten: DWD)

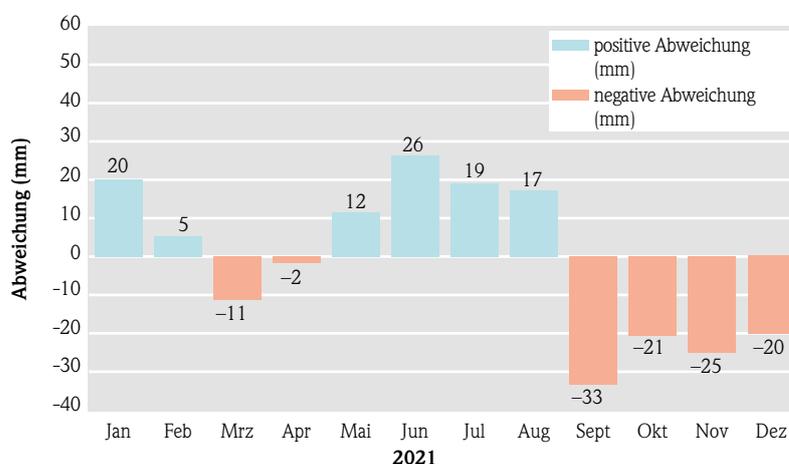


Abb. 10: Abweichung des monatlichen Niederschlags 2021 vom langjährigen Mittel 1991–2020 (Daten: DWD)

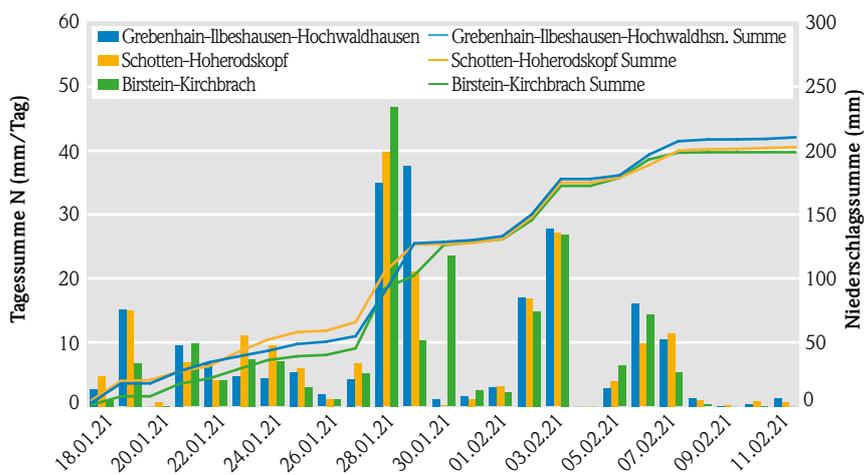


Abb. 11: Tagesniederschläge an Niederschlagsmessstationen im Vogelsberggebiet vom 18.01 bis zum 11.02.2021

Tab. 1: Niederschlagssummen an hessischen Niederschlagsmessstationen Ende Januar/Anfang Februar 2021

Niederschlagsmessstation	Niederschlagssumme [mm]		
	18.01 bis 31.01.2021	01.02 bis 04.03.2021	05.02. bis 11.02.2021
Grebenhain-Ilbeshausen-Hochwaldhausen	129,9	47,7	32,6
Schotten-Hoherodskopf	127,6	47,1	27,8
Birstein-Kirchbracht	99,3	43,9	26,3
Freiensteinau	100,7	52,8	31,6
Freiensteinau-Salz	70,7	42,4	23,4
Driedorf-Mademühlen	114,6	34,0	17,6
Haiger	85,2	16,6	25,1
Weilburg KA	100,0	24,6	24,9
Angelburg-Frechenhausen	86,8	21,3	24,8
Biedenkopf-Sackpfeife	70,8	31,9	31,9

Januar sind diese mit 86 mm 31 % über dem Normalwert, im Februar waren sie mit 58 mm 10 % höher. Besonders hohe Niederschläge fielen im Vogelsberggebiet und im Westerwald. Insgesamt können drei Niederschlagsphasen unterschiedlicher Länge ausgemacht werden, wie an den Auswertungen von drei Messstationen im Vogelsberg zu sehen ist (Abbildung 11 und Tabelle 1).

Der ergiebige Dauerregen führte zusammen mit der Schneeschmelze im Januar gebietsweise zu Hochwasser, insbesondere in den Oberläufen der Gewässer im Vogelsberg. Näheres zum Hochwasser im Januar und Februar 2021 kann dem Kapitel 3.3 und ausführlicher dem Bericht https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/wasser/hochwasserberichte/Hochwasserbericht_2021.pdf entnommen werden.

Der März 2021 war im Gegensatz zu den Vormonaten viel zu trocken. Mit 43 mm fielen 21 % weni-

ger Regen als im Mittel (54 mm). Auf einen nahezu ausgeglichenen April folgten vier niederschlagsreiche Monate. Im Mai fielen hessenweit mit 80 mm 17 % mehr Regen als im Vergleichszeitraum, im Juni lag der Monatsniederschlag mit 92 mm 40 % über dem langjährigen Wert von 66 mm. Ende Juni und im Juli dominierten Tiefdruckgebiete den Witterungsverlauf. Sie brachten schauerartige Niederschläge und zeitweise Gewitter mit Starkregen, Hagel und Sturmböen. Hervorzuheben ist Tief „Bernd“, das sich Mitte Juli über Deutschland bewegte und zunächst im Westen und Südwesten, später im Osten und Südosten enorme Niederschlagsmengen ablud, die lokal in den westlichen Nachbarländern Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen zu Flutkatastrophen mit zahlreichen Toten führten. Hessen kam glimpflich davon, hohe Pegelstände und regionale Überflutungen traten lediglich an einigen nordhessischen Flüssen und Bächen auf. Die mittlere Niederschlagssumme in Hessen betrug im Juli 99 mm, das waren 19 mm (24 %) mehr als der Monatsmittelwert von 80 mm.

Tab. 2: Niederschlagssummen Mitte Juli an nordhessischen Stationen

Datum	13.07.2021	14.07.2021	13.07. bis 14.07.2021	Jährlichkeit
Niederschlagsmessstation	Niederschlagssumme [mm]	Niederschlagssumme [mm]	Niederschlagssumme [mm]	
Bad Aarolsen-Schmillinghausen	6,8	81,1	87,9	30 bis 50
Auhammer	54,7	22,5	77,2	30 bis 50
Hofgeismar-Beberbeck	0,1	68,4	68,5	30 bis 50
Frankenberg-Eder-Rengershausen	31,0	18,8	49,8	1 bis 2
Edertal-Hemfurt	40,0	8,1	48,1	5 bis 10
Gudensberg	31,7	6,2	37,9	3 bis 5

Die höchsten im Juli gefallenen Niederschläge infolge des Tiefs „Bernd“ sind mit den Wiederkehrwahrscheinlichkeiten nach KOSTRA in Tabelle 2 zusammengestellt.

Die letzten vier Monate des Jahres 2021 waren vergleichsweise niederschlagsarm. Im September war es erheblich zu trocken. Es fielen mit 26 mm weniger als die Hälfte des langjährigen Monatsmittels. Im Oktober lagen die Regenmengen mit 42 mm um ein Drittel unter dem Monatswert, im November betrugen sie 38 mm (-40 %). Im Dezember regnete es mit 53 mm 20 mm (28 %) weniger als im Durchschnitt.

Eine Übersicht über die Anzahl der in den Jahren 2006–2021 an hessischen Niederschlagsstationen aufgezeichneten Starkregen, registriert als Summe des in einer Stunde gefallenen Niederschlags (gemäß DWD-Klassifikation) im Vergleich zu den Vorjahren, gibt die Abbildung 12. Den Auswertungen ist zu entnehmen, dass 2021 ein Jahr mit relativ häufigen Starkregenereignissen war. Heftige und extrem heftige Ereignisse mit hohen Stundenwerten wurden jedoch im Vergleich zu den Jahren 2006, 2014 und 2018 weniger registriert.

Eine Auswertung über Dauerregen verschiedener Intensitäten, gemessen als Tagessummen seit 2002 an hessischen Niederschlagsstationen kann der Abbildung 13 entnommen werden. Vergleichsweise wur-

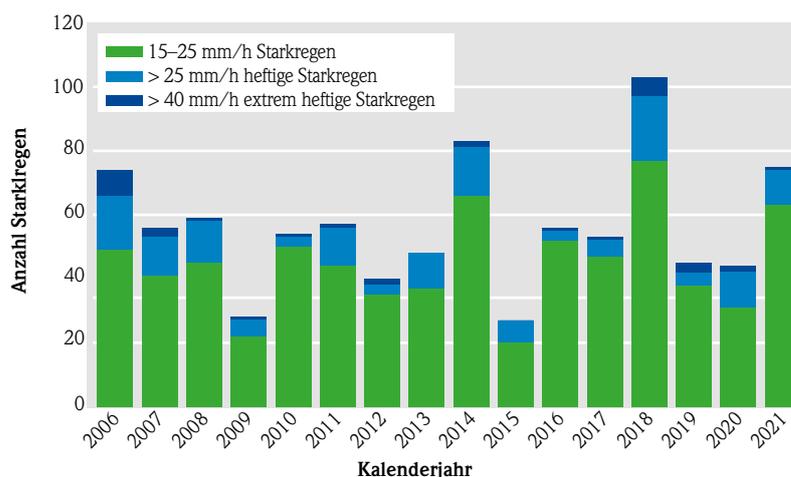


Abb. 12: Anzahl Starkregen, heftige und extrem heftige Starkregen in Hessen 2006–2021, Basis: Stundensummen hessischer Niederschlagsstationen

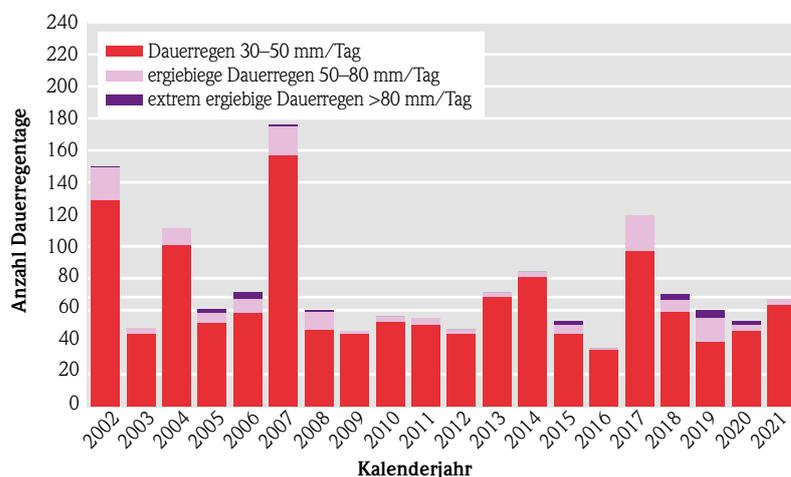


Abb. 13: Anzahl der Regenereignisse unterschiedlicher Intensität in Hessen 2002–2021, Basis: Tagessummen hessischer Niederschlagsstationen

den 2021 nur wenige Dauerregentage festgestellt, wobei ergiebige Dauerregen und extrem ergiebige Dauerregen mit Tageswerten von mehr als 50 mm nur an einer hessischen Station gemessen wurden.

Regionale Verteilung der Niederschläge

Die regionale Verteilung der Niederschläge kann Abbildung 14 entnommen werden. Höhere Niederschlagsmengen fielen in den Mittelgebirgen, vor allem im Vogelsberggebiet und in der Rhön, aber auch in den westhessischen Gebieten Westerwald und Rothaargebirge, im Taunus und in den nordhessischen Mittelgebirgen. Trockener hingegen war es im übrigen Hessen,

insbesondere im Rheingau und im hessischen Ried sowie im Norden von Hessen.

In Tabelle 3 und den Grafiken der folgenden Abbildung 15 wird das Niederschlagsgeschehen an einzelnen, in verschiedenen Regionen Hessens liegenden Niederschlagsmessstationen anhand der Monatssum-

men dargestellt und mit denen der vorangegangenen Jahre verglichen. Diese Auswertungen zeigen, dass das Niederschlagsgeschehen in Hessen regional unterschiedlich verlaufen ist. Hessenweit einheitlich war dieses jedoch Ende des Jahres in den Monaten September bis Dezember, in denen es in allen Regionen zu trocken war.

An der Messstation **Bebra in Nordhessen** lag die Jahresniederschlagssumme mit 631 mm 30 mm (5 %) über dem Durchschnittswert von 601 mm. Die größten Regenmengen fielen hier in den Sommermonaten. Im Juni 2021 waren sie mit 122 mm mehr als doppelt so hoch wie im langjährigen Mittel. Aber auch im Juli und im August regnete es viel mehr als im Durchschnitt. Verhältnismäßig niedrig waren die Niederschläge am Jahresbeginn, abgesehen vom Februar mit überdurchschnittlichen Mengen, wurden hier bis Mai Werte im Bereich der Durchschnittsmengen registriert. Die letzten vier Monate entsprachen mit weit unterdurchschnittlichen Regenmengen dem hessenweiten Trend.

An der **mittelhessischen Station Marburg** fiel im Referenzmittel mit 652 mm 5 % weniger Regen als im Mittel 690 mm. Im Januar lagen die Niederschläge im mittleren Bereich, im Februar waren sie über-

durchschnittlich. Besonders viel regnete es hier von April bis August, ausgenommen des Junis, der relativ trocken war. In den Monaten September bis Dezember lagen die Niederschlagssummen dann weit unter den langjährigen Mittelwerten.

An der Messstation **Mademühlen** fielen die höchsten Niederschlagsmengen im Januar, teils als Schnee. Überdurchschnittliche Niederschläge gab es noch im Mai und im August, im Juli lag die Monatssumme im mittleren Bereich. Alle übrigen Monate zu Beginn des Jahres, Februar bis April, Mitte des Jahres der Juni und die Monate September bis Dezember wiesen hier unterdurchschnittliche Messwerte auf. Insgesamt wurden im Jahr 2021 940 mm gemessen, dies ist 116 mm (11 %) unter dem langjährigen Wert von 1 056 mm.

Unterdurchschnittliche Jahresniederschlagsmengen wurden im Vogelsberg an der Messstation **Hochwaldhausen** registriert. Hier fielen im Jahr 2021 mit 1 088 mm 170 mm (14 %) weniger Regen als im Mittel (1 258 mm). Die höchsten Niederschläge gab es hier im Januar mit 178 mm, 27 mm (18 %) mehr als im Mittel. Aufgrund der Höhenlage der Messstation fiel der Niederschlag teilweise als Schnee. In den Monaten Februar, März und April waren die

Tab. 3: Niederschlagswerte (mm) ausgewählter hessischer Niederschlagsmessstellen 2021

Messstation	Bebra		Marburg		Mademühlen		Hochwaldhausen		Stockstadt	
Höhenlage (m über NN)	192		325		548		475		89	
Niederschlag Monatssumme (mm/Monat)										
Monat	Mittel 1991–2020	2021	Mittel 2001–2019	2021						
Jan	49	49	61	62	112	153	151	178	36	51
Feb	37	57	45	57	87	65	115	97	35	36
Mrz	42	39	45	34	87	42	109	51	33	22
Apr	35	35	41	62	58	48	68	51	32	22
Mai	60	63	65	81	69	115	86	123	64	43
Jun	58	122	64	42	72	63	73	85	53	175
Jul	70	87	71	107	94	90	100	143	61	75
Aug	57	86	61	83	85	109	84	84	66	52
Sep	47	7	55	20	80	35	93	34	38	24
Okt	45	35	55	31	90	53	109	57	47	46
Nov	50	24	56	29	96	65	111	79	40	26
Dez	50	28	69	44	126	103	161	107	50	38
Jahressumme	601	631	690	652	1 056	940	1 258	1 088	555	607

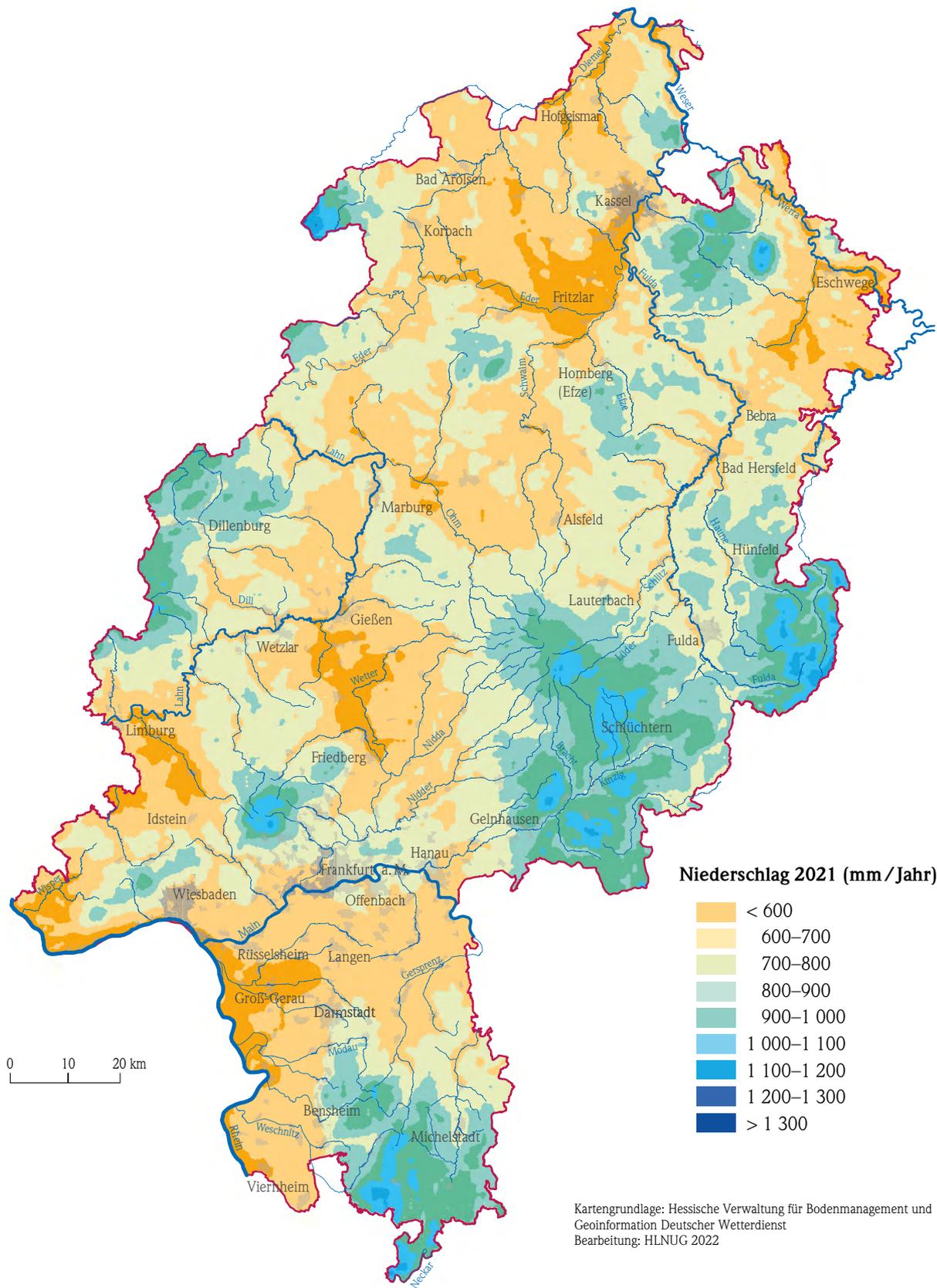


Abb. 14: Niederschlagsverteilung in Hessen 2021

Regenmengen hier unterdurchschnittlich, erst im Mai wurden überdurchschnittliche Mengen mit 123 mm, 37 mm mehr als im Durchschnitt, registriert. Die folgenden Monate Juni und August waren ausgeglichen, im Juli war es vergleichsweise nass. Die letzten vier Monate waren dann wieder viel zu trocken.

In Südhessen an der Messstation **Stockstadt** werden erst seit 2002 Niederschlagsdaten erfasst. Die Referenzdaten werden daher aus den Mittelwerten des Zeitraums 2002–2020 errechnet. An der Messstation Stockstadt wurden als Jahressumme 607 mm gemessen. Damit lag die Jahressumme um 52 mm (9 %) über dem Durchschnitt. Wie die Grafik in Abbildung 15 zeigt, war die Niederschlagsverteilung im Jahr sehr unterschiedlich. Fast ein Drittel des Jahresniederschlags gab es im Juni, hier fiel mit 175 mm mehr als das Dreifache des Referenzwertes von 53 mm. Leichte Niederschlagsüberschüsse gab es noch im Januar mit 51 mm, 15 mm (40 %) mehr als im Mittel und im Juli mit 75 mm (Mittelwerte 61 mm). Ausgeglichen war es im Februar und im Oktober. Die übrigen sechs Monate waren teils zu trocken. Durchschnittlich fielen hier nur 60 bis 70 % der üblichen Niederschläge.

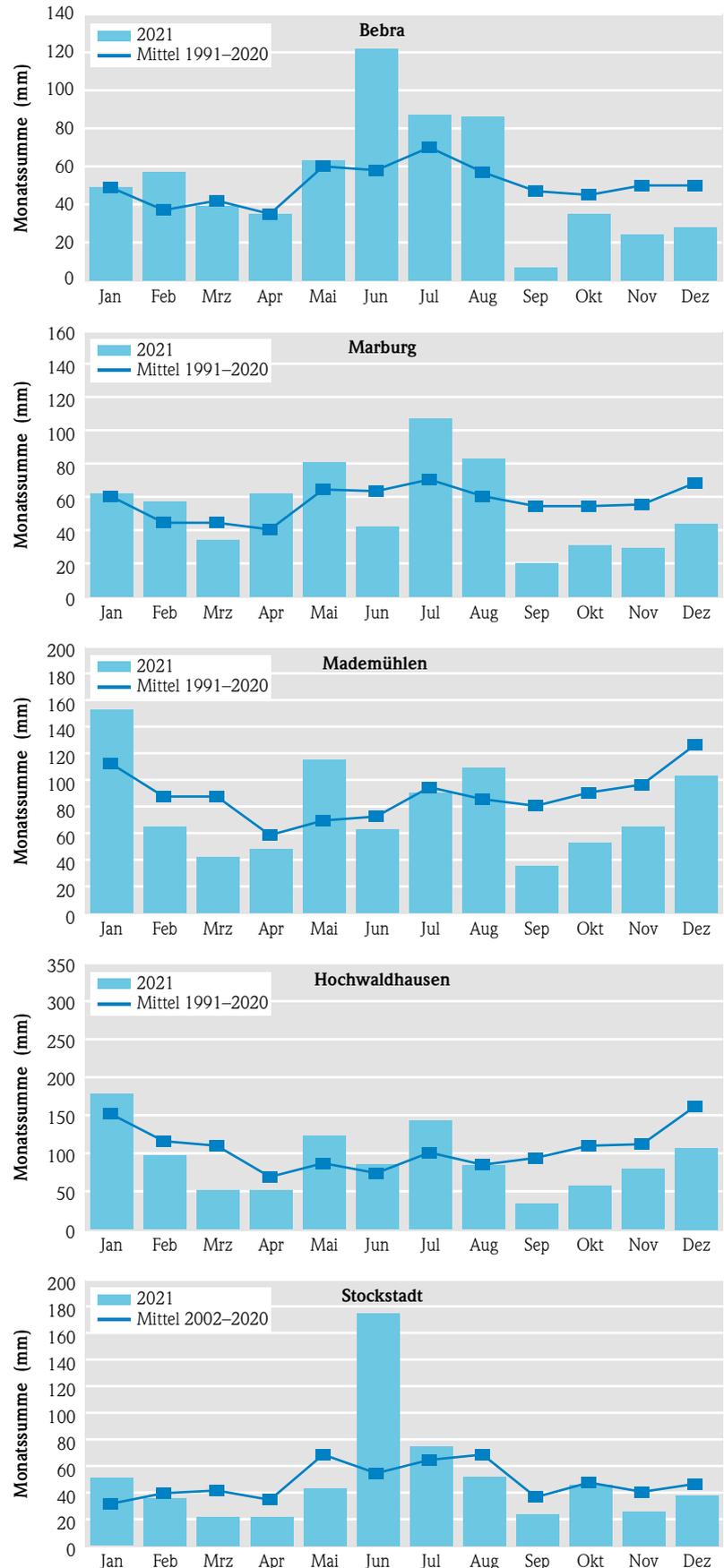


Abb. 15: Monatsniederschläge an fünf hessischen Niederschlagsstationen (Datenbasis: ungeprüfte Rohdaten)

3 Oberflächengewässer

3.1 Wasserstand und Durchfluss

MONIKA SPICKER

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 für die Bewirtschaftung der Gewässer,
- stellen die Basis zur Bemessung wasserwirtschaftlicher Anlagen dar,
- sind fundierte Anhaltswerte für den Hochwasserwarndienst,
- sind wesentliche Eingangsdaten für Hochwasservorhersagesimulationen,
- dienen zur Berechnung von Stofffrachten in den Gewässern,

- sind Eingangsdaten für den Betrieb hydrologischer Modelle und
- bieten den Ausgangspunkt 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 16, 17 und 18). Diese erfassen und dokumentieren den Istzustand der Gewässer. Betrieb und Unterhaltung der Pegel sowie die Durchführung 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 Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) betreibt an den Bundeswasserstraßen in Hessen weitere 20 Pegel.



Abb. 16: Pegel Helsa an der Losse, Februar 2021 © RP Kassel (Andreas Grzywotz)



Abb. 17: Pegel Adelshausen an der Pfieffe, Februar 2021 © RP Kassel (Andreas Grzywotz)

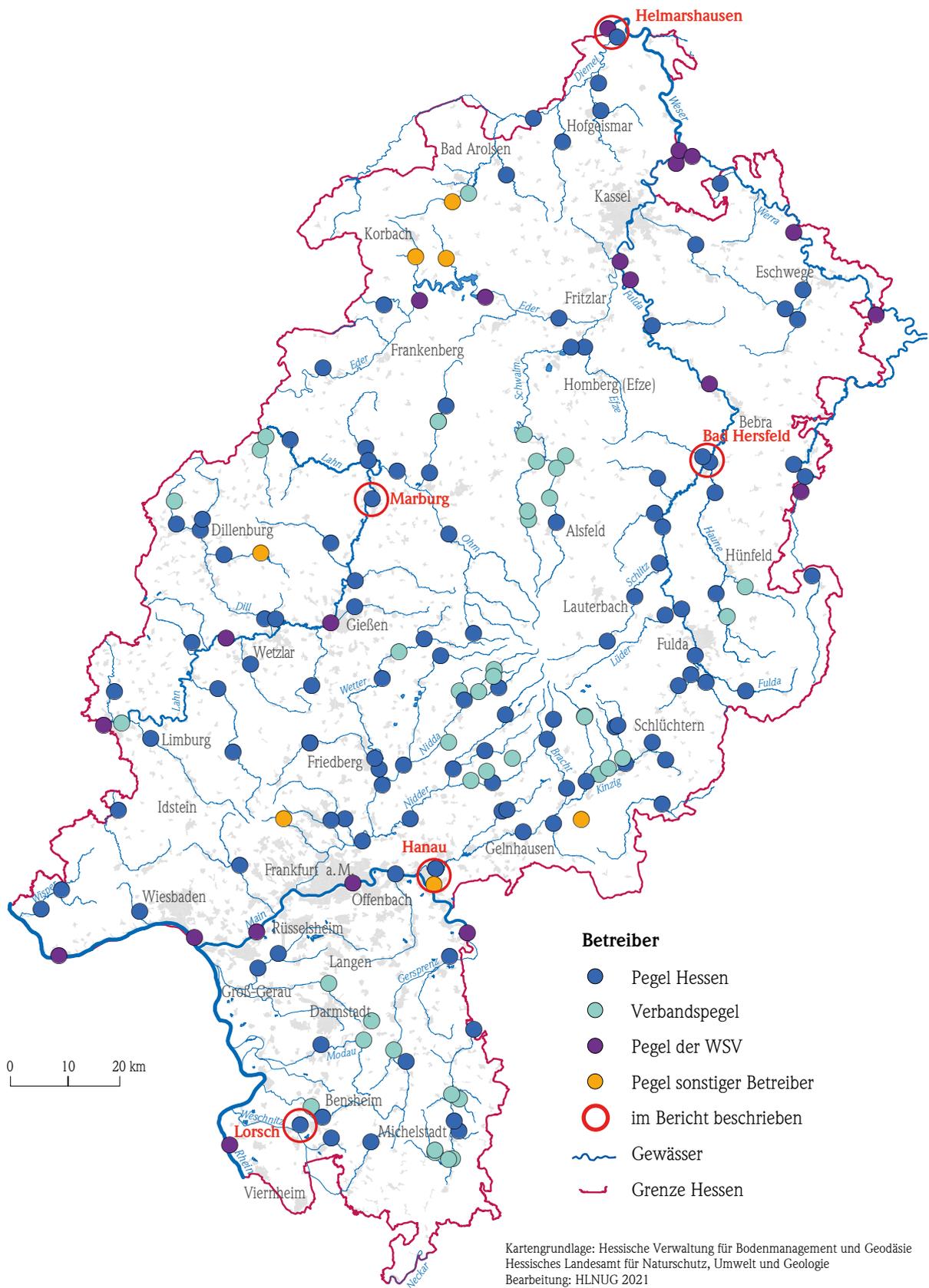


Abb. 18: Pegelmessnetz

Die aktuellen Messwerte der Pegel sowie weitere Informationen sind im Internet auf der HLNUG-Webseite <https://www.hlnug.de/static/pegel/wiski-web3/webpublic/> dargestellt.

Das Pegelmessnetz muss die Entwicklung der Abflüsse entlang der Gewässer und das Abflussgeschehen in den verschiedenen Einzugsgebieten erfassen. Die einzelnen Pegel sind je nach Funktion mit Geräten zur Erfassung der Wasserstände, zur Datenregistrierung und zur Datenfernübertragung sowie teilweise ergänzend mit Anlagen zur Durchflussermittlung ausgestattet. Zur Verbesserung der Datensicherheit sind diese Systeme bei den meisten Pegeln redundant ausgerüstet.

Ergebnisse 2021

Das Durchflussverhalten der hessischen Gewässer wird zusammenfassend in den Abbildungen 19 und 20 dargestellt. Hierfür wurden die Durchflüsse 16 repräsentativer hessischer Gewässer ausgewertet und auf die ganze Fläche Hessens hochgerechnet. Stand der Auswertung ist März 2022.

Als neue Referenzperiode gilt ab dem Jahr 2021 der Zeitraum von 1991–2020. Geprüfte Daten liegen jedoch noch nicht bis zum Ende dieser Reihe vor, sodass die letzten 3 Jahre zwar plausibilisiert, aber nicht abschließend geprüft wurden.

Auch in diesem Jahr weisen lediglich zwei Monate, Februar und Juli, deutlich mehr Abfluss auf, als im Vergleich mit der langjährigen Reihe, im Juni und August waren die Abflüsse ausgeglichen.

Der Monat mit der größten negativen Differenz zum langjährigen Mittel war, wie bereits im vergangenen Jahr, der November. Mit nur etwas mehr als einem Drittel des langjährigen Mittels floss in dieser Zeit am wenigsten durch hessische Gewässer. Der hohe Abfluss im Februar stand im Zusammenhang mit dem Hochwasserereignis im Januar. Die höchsten Scheitel wurden am Monatsende verzeichnet, sodass die abfließenden Wellen und damit der größere Volumenanteil in den Folgemonat fielen. Der Juli war u. a. aufgrund der zahlreichen Gewitter überdurchschnittlich abflussstark, glücklicherweise kam es in Hessen nicht, wie in den Nachbarbundesländern, zu katastrophalem Hochwasser.

Meldestufenüberschreitungen gab es hauptsächlich in den drei Monaten Januar, Februar und Juli. Ende Januar begann ein Hochwasser, welches v. a. einen Streifen nördlich des Mains bis zur Linie Marburg–Bad Hersfeld betraf. Südlich und nördlich dieses Bandes kam es, den Rhein ausgenommen, zu keinen Meldestufenüberschreitungen. Grund für das starke Ansteigen der Gewässer waren warme Luftmassen,

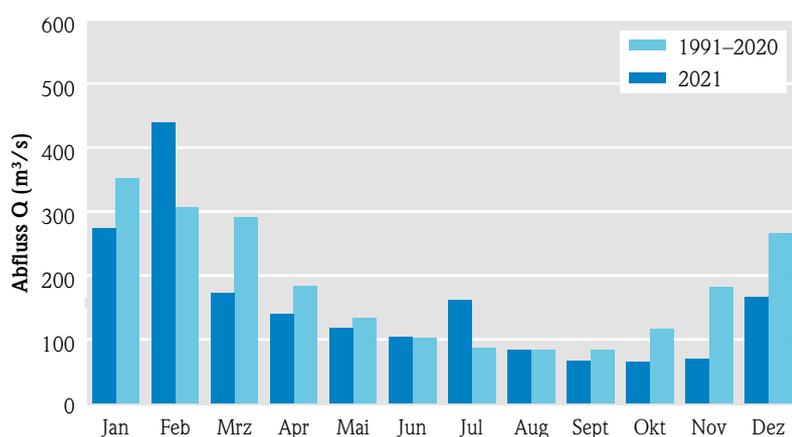


Abb. 19: Vergleich des mittleren monatlichen Abflusses (MQ) mit dem langjährigen mittleren Monatsabfluss (MQ_{Reihe 1991-2020}) in Hessen

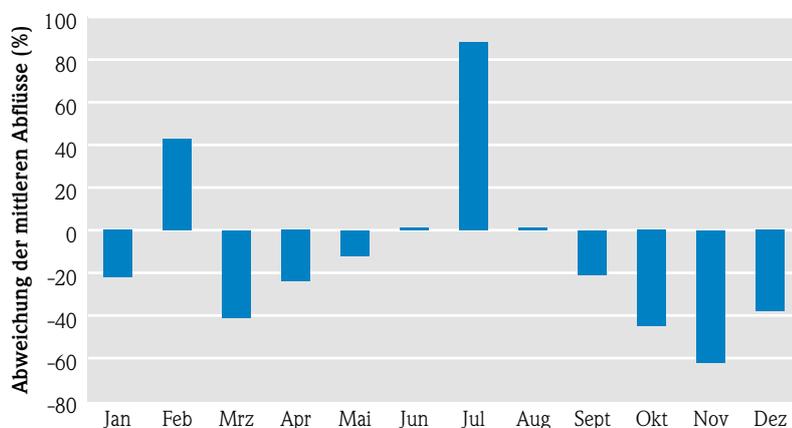


Abb. 20: Abweichung des mittleren monatlichen Abflusses (MQ) vom langjährigen Monatsmittel (MQ_{Reihe 1991-2020}) in Hessen



Abb. 21: Hochwasser am Pegel Hain-Gründau 1 an der Gründau im Januar 2021, Foto: RP Darmstadt, Abteilung IV/F

die den Schnee zum Schmelzen brachten und zusammen mit ergiebigen Regenmengen v. a. im Fuldaoberlauf, der Kinzig und der Nidda sowie im südlichen und mittleren Lahn-Einzugsgebiet für teils erhebliche Überschwemmungen sorgten. Anfang Februar führten intensive Regenfälle erneut zu einer Verschärfung der Hochwasserlage, sodass sich die Situation erst Ende der 2. Februarwoche entspannte (siehe Abbildungen 21 und 22). Dieses Hochwasser war in einigen Teilen des Landes so außergewöhnlich, dass es an neun Pegeln zu den bisher höchsten gemessenen Wasserständen geführt hat. In Kapitel 3.3 gibt es daher eine ausführliche Betrachtung des Hochwasserverlaufs in den einzelnen Flussgebieten Hessens. Zudem findet sich ein eigener Bericht unter dem Link <https://www.hlnug.de/themen/wasser/berichte/hochwasser>.

Auch im Juli kam es zu Hochwasser in Hessen, dieses Mal war jedoch v. a. der nördliche Landesteil betroffen, insbesondere in den Einzugsgebieten der Diemel und der Eder sowie im nördlichsten Lahn-einzugsgebiet, der Wohra. Und auch während dieses Ereignisses ist ein bislang gemessener HHW-Wert übertroffen worden, denn am Pegel Braunsen registrierte die Wasserstandserfassung einen neuen höchsten Wasserstand.



Abb. 22: Hochwasser am Pegel Büdingen am Seemenbach im Januar/Februar 2021 © Walter Schubert

Weitere Meldestufenüberschreitungen kamen auch in anderen Monaten vor, diese hatten aber nur lokal begrenzte Auswirkungen und waren nicht von langer Dauer.

Durch die überdurchschnittlich abflussstarken Sommermonate waren Dürre und Niedrigwasser, anders als in den vorangegangenen Jahren, kein großes Thema. Dennoch fällt auf, dass es im Frühjahr und Herbst teils deutliche Defizite zu den langjährigen Mitteln gab. Dies ist im Frühjahr ein Problem, wenn die Vegetation Wasser für ihr Wachstum benötigt und im Herbst, wenn das Wasser u. a. zum Auffüllen des Grundwasserspeichers benötigt wird. Am Ende dieses Kapitels befindet sich daher ein eigener Abschnitt zu diesem Thema.

Beispielhaft für die hessischen Gewässer werden die Durchflüsse der Diemel (Pegel Helmarshausen) für Nordhessen, der Fulda (Pegel Bad Hersfeld 1) 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 4 sowie Abbildungen 23 und 24).

Obwohl es keine ausgeprägte Niedrigwassersituation gegeben hat, lagen wie bereits in den vergangenen 3 Jahren auch im Jahr 2021 alle fünf betrachteten Pegel unter den langjährigen Jahresmittelwerten. An der Lahn hatte der Pegel Marburg mit nur 76 % die größte negative Abweichung, am Pegel Hanau an der Kinzig wurde das langjährige Mittel mit 97 % fast erreicht. An den meisten Pegeln außer Helmarshausen an der Diemel waren die Monate Februar und Juli überdurchschnittlich abflussstark.

Am **Pegel Lorsch an der Weschnitz** wiesen neben den eben genannten auch die Monate Januar und Juni im Vergleich zu den langjährigen Monatsmitteln erhöhte Abflüsse auf. Die Frühlings- und Herbstmonate hingegen hatten deutlich weniger Abfluss als die Werte der 30-jährigen Reihe. Gerade in den Monaten März bis Mai flossen mit 1,67–2,2 m³/s nur 53–60 % der langjährigen mittleren Monatsabflüsse ab. Ganzjährig sind kleinere und mittlere Hochwasserspitzen in der Abflussganglinie zu erkennen.

Am **Pegel Hanau an der Kinzig** wurden mit 196 % im Februar und 195 % im Juli fast doppelt so viel Abfluss wie der langjährige Durchschnittswert, erfasst.

Im Februar war das starke Hochwasserereignis für die hohe Abflussmenge verantwortlich. Negative Abweichungen sind nicht so deutlich ausgeprägt, lediglich der November hat eine sehr große Abweichung. Hier wurden nur 40 % des langjährigen Mittels erreicht. Abgesehen vom Hochwasser Anfang des Jahres weist die Ganglinie der Tagesmittel einen recht gleichmäßigen Jahresverlauf auf.

War am **Pegel Marburg an der Lahn** im vergangenen Jahr die positive Abweichung der hessischen Extremwerte an diesem Pegel zu finden, so zeigte er im Jahr 2021 im November mit gerade einmal 4,75 m³/s das andere Extrem aller fünf betrachteten Pegel: die größte negative Abweichung von nur 31 % des langjährigen Mittels. Interessant ist, dass in dieser Region das Frühjahr nicht so trocken wie in anderen Gegenden Hessens war. In der Tagesmittelganglinie sind fast jeden Monat größere und mittlere Hochwasserswellen zu sehen. Dennoch hat er in der Jahressumme den wenigsten Abfluss im Vergleich zur 30-jährigen Reihe erreicht.

In Osthessen am **Pegel Bad Hersfeld 1 an der Fulda** war v. a. der Sommer überdurchschnittlich abflussstark. Von Juni bis August wurde jeweils mehr als der langjährige Durchschnittswert ermittelt. Nur im Frühjahr und zum Ende des Herbsts gab es deutliche Abweichungen. So wurden im März, April und Oktober um die 50 % Abfluss erreicht, im November nur ein Drittel des langjährigen Wertes. Das Hochwasser im Januar und Februar stach auch an diesem Pegel sehr deutlich aus der Ganglinie der Tagesmittelwerte heraus.

In diesem Jahr fallen die ermittelten Daten am **Pegel Helmarshausen an der Diemel** wegen zwei typischer Erscheinungen aus der Reihe, die in fast ganz Hessen außer in Nordhessen zu beobachten waren. Zum einen wurden im Januar mit 10,2 m³/s nur 47 % des langjährigen Reihenwertes erreicht, somit war er im Vergleich zu den übrigen vier Pegeln auffällig abflussarm. Dies hatte zum einen den Hintergrund, dass viel Niederschlag als Schnee gefallen war und daher erst später abflusswirksam wurde, zum anderen war der Norden Hessens vom Hochwasser Anfang des Jahres kaum betroffen. Dafür war hier im Juli das Hochwasser ausgeprägter und diese markante Hochwasserspitze übertraf die vom Januar und bildete damit die zweite hessische Anomalie des Jahres 2021 an diesem Pegel.

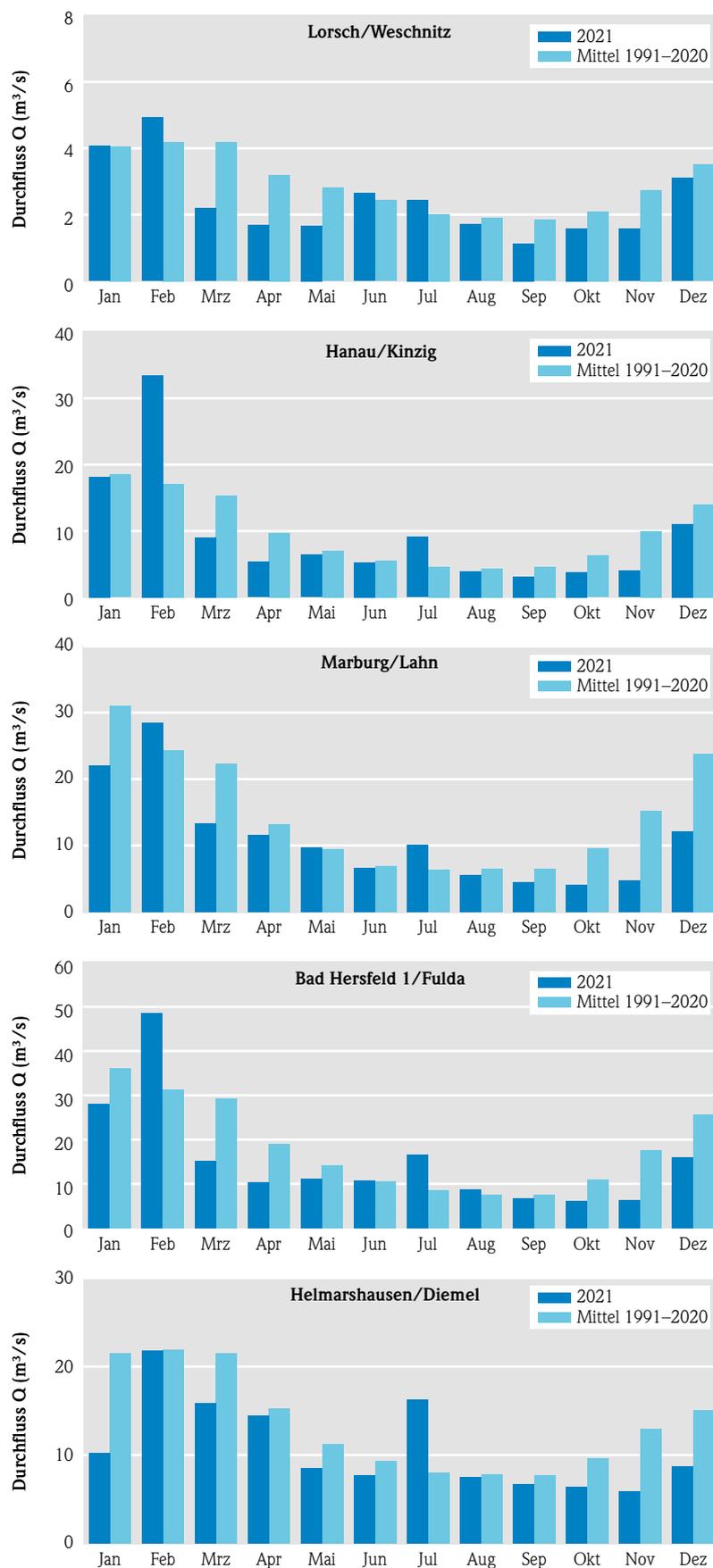


Abb. 23: Monatliche Durchflüsse an fünf hessischen Pegeln

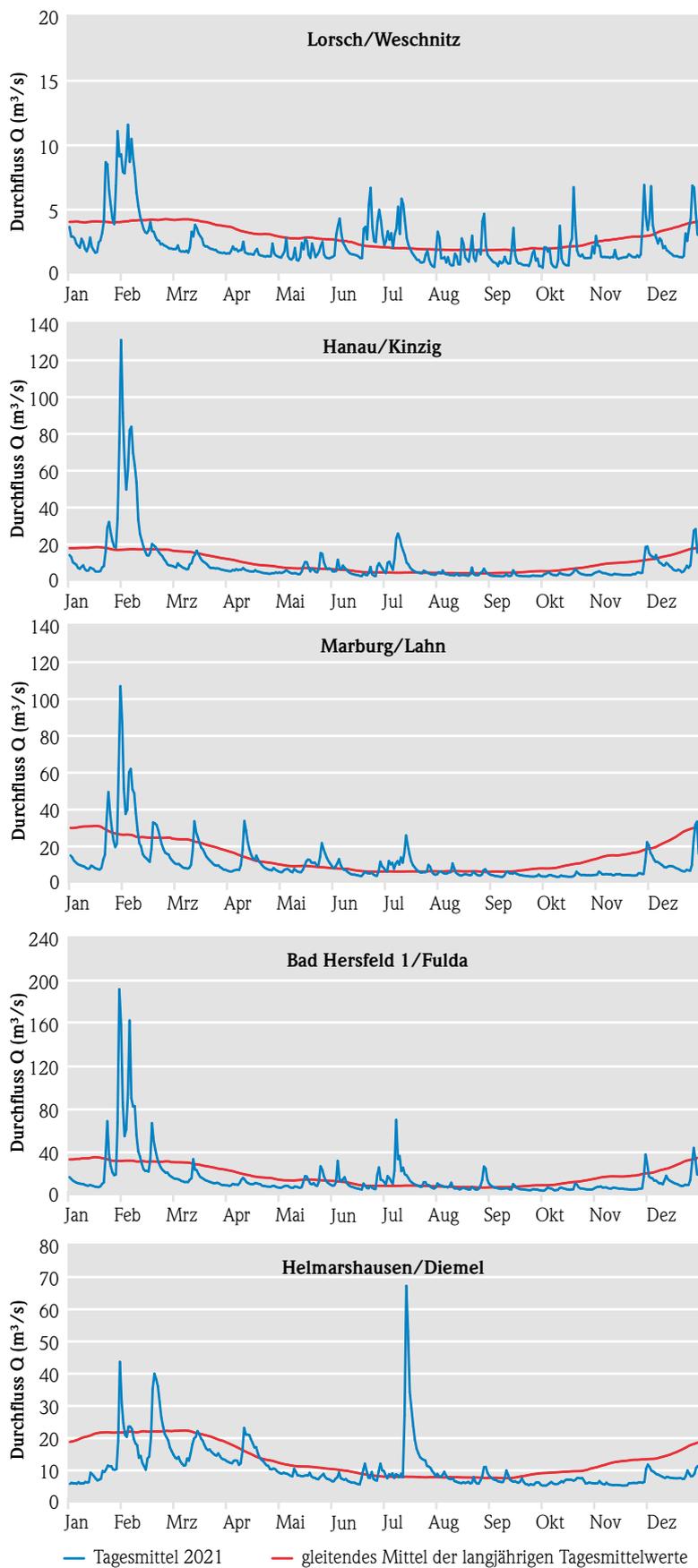


Abb. 24: Durchflüsse an fünf hessischen Pegeln

Tab. 4: Durchflüsse (Monatsmittelwerte) an fünf hessischen Flüssen [Auswertestand: März 2022]

Monat	Q [m³/s]														
	Lorsch/Weschnitz			Hanau/Kinzig			Marburg/Lahn			Bad Hersfeld 1/Fulda			Helmarshausen/Diemel		
	Monatsmittel 2021	Monatsmittel 1991–2020	[%]	Monatsmittel 2021	Monatsmittel 1991–2020	[%]	Monatsmittel 2021	Monatsmittel 1991–2020	[%]	Monatsmittel 2021	Monatsmittel 1991–2020	[%]	Monatsmittel 2021	Monatsmittel 1991–2020	[%]
Jan	4,07	4,06	100	18,2	18,50	98	22,1	31,10	71	28,1	36,20	78	10,2	21,50	47
Feb	4,93	4,19	118	33,5	17,10	196	28,5	24,40	117	48,7	31,20	156	21,8	21,90	100
Mrz	2,2	4,17	53	9	15,30	59	13,3	22,30	60	15,1	29,20	52	15,8	21,50	73
Apr	1,69	3,20	53	5,36	9,67	55	11,6	13,20	88	10,3	19,10	54	14,4	15,20	95
Mai	1,67	2,80	60	6,43	7,01	92	9,79	9,43	104	11,1	14,20	78	8,5	11,20	76
Jun	2,64	2,43	109	5,34	5,51	97	6,65	6,95	96	10,8	10,50	103	7,69	9,34	82
Jul	2,45	2,02	121	9,12	4,67	195	10,1	6,38	158	16,6	8,65	192	16,3	8,02	203
Aug	1,71	1,89	90	3,99	4,35	92	5,54	6,53	85	8,71	7,45	117	7,46	7,84	95
Sep	1,13	1,84	61	3,09	4,59	67	4,43	6,47	68	6,78	7,64	89	6,74	7,72	87
Okt	1,59	2,10	76	3,83	6,29	61	4,12	9,62	43	6,04	11,00	55	6,41	9,58	67
Nov	1,58	2,74	58	4	9,95	40	4,75	15,20	31	6,42	17,60	36	5,84	12,90	45
Dez	3,1	3,50	89	11,1	14,00	79	12,2	23,80	51	16,1	25,60	63	8,72	15,00	58
Jahr	29	35	82	113	117	97	133	175	76	185	218	85	130	162	80

Niedrigwasser 2021

Abgesehen vom März lagen die Niederschläge in Hessen bis August über denen der Referenzperiode oder in deren Größenordnung (siehe Kap. 2.4). Erst ab September war es trockener als im langjährigen Mittel. Dies zeigte sich zwar auch in den Oberflächengewässern, im Jahr 2021 war die Niedrigwassersituation jedoch deutlich weniger stark ausgeprägt als in den Vorjahren 2018, 2019 und 2020.

MNQ blieb an vielen Pegeln aus. Trockengefallen waren die Gewässer an keinem Pegel. Ab Oktober nahm die Niedrigwassersituation ab. Ende Dezember gingen ergiebige Regenfälle über Hessen nieder, die die Abflüsse ansteigen ließen. Die Durchflussmengen lagen schließlich an fast 80 % der Pegel über dem mittleren Durchfluss (MQ).

In Abbildung 25 ist der Verlauf der Niedrigwassersituation für Hessen zusammenfassend dargestellt. Ausgewertet wurden die mittleren Tagesdurchflüsse an 85 Pegeln. In der Grafik dargestellt wird die Anzahl der Pegel mit dem niedrigsten Tagesmitteldurchfluss des jeweiligen Monats. Bis zum Mai wurde nur vereinzelt extremes Niedrigwasser festgestellt, d. h. nur an wenigen Pegeln gab es Tage, an denen MNQ (mittlerer Niedrigwasserdurchfluss) unterschritten wurde. Ab August, September wurde es trockener, aber Niedrigwasser mit Durchflüssen unter einem Drittel des

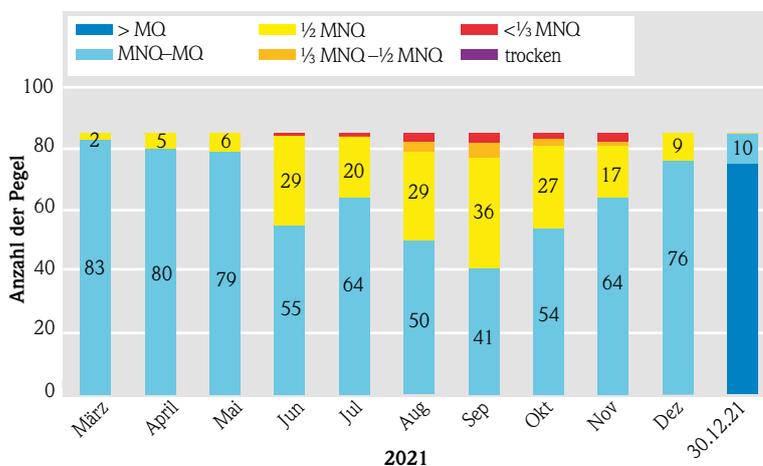


Abb. 25: Anzahl der Pegel mit den jeweils niedrigsten Tagesmitteldurchflüssen im Verhältnis zu MNQ (1981–2010) im Jahr 2021

3.2 Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken

MONIKA SPICKER

Übersicht

In Hessen gibt es ca. 20 Talsperren sowie ca. 50 Hochwasserrückhaltebecken (siehe Abbildungen 26, 27 und 28). Diese dienen

- dem Hochwasserschutz,
- der Niedrigwasseraufhöhung,
- der Energieerzeugung,

- der Naherholung und
- der Erwerbsfischerei.

In Hochwasserrückhaltebecken kann das Wasser zum Hochwasserschutz der Unterlieger zurückgehalten und nach dem Durchgang des Hochwasserereignisses verzögert abgegeben werden. Wenn kein Hochwasserfall vorliegt, sind die Hochwasserrückhaltebecken entweder nur teilweise (Becken mit Dauerstau) (Abbildung 27) oder nicht gefüllt (grüne Becken) (Abbildung 26).



Abb. 26: Hochwasserrückhaltebecken Ulfa im Juni 2018 © HLNUG



Abb. 27: HRB Ober-Ramstadt im März 2018 © HLNUG

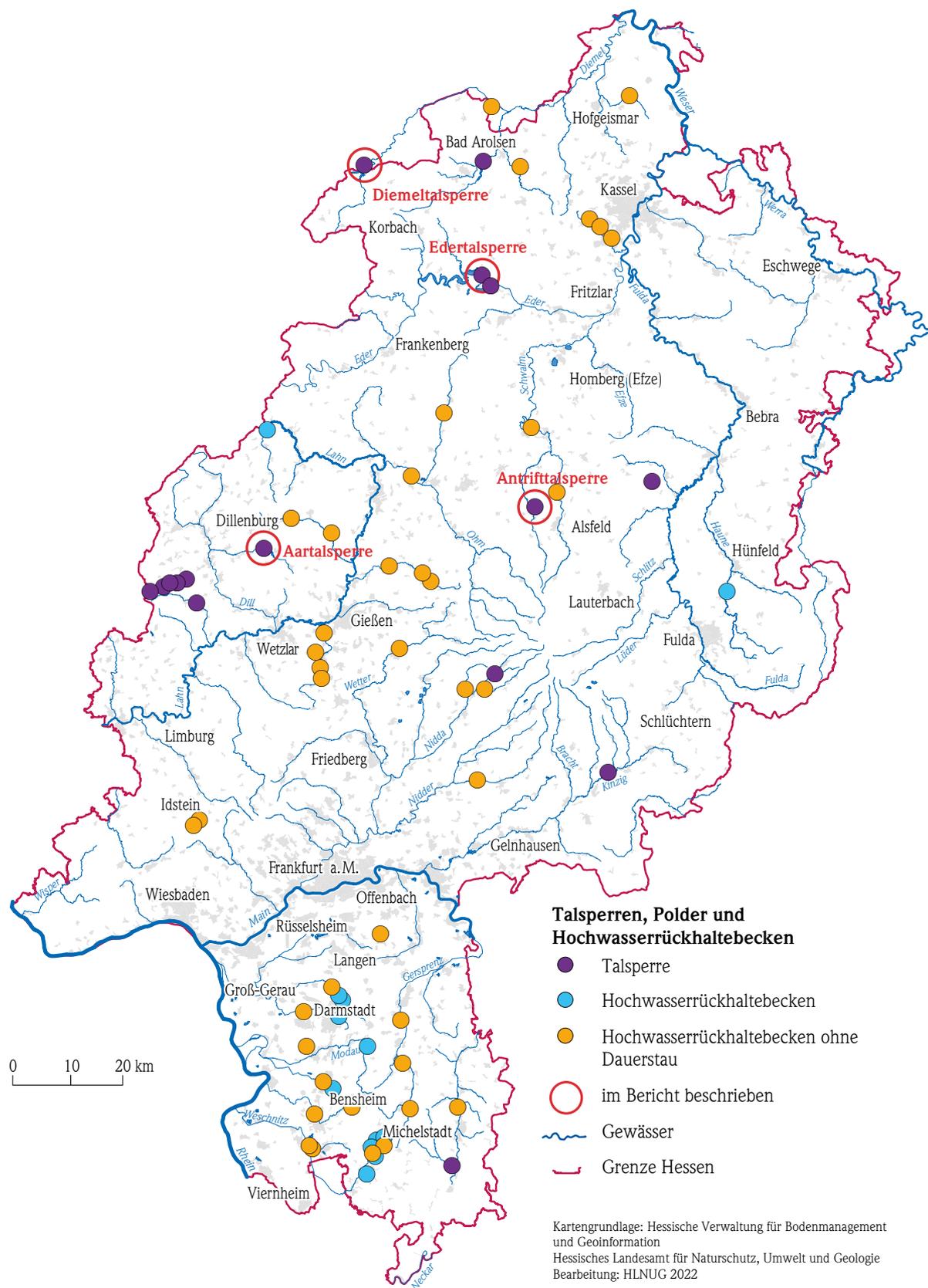


Abb. 28: Lage der Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken

Ergebnisse 2021

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

Beckenfüllungen der Talsperren werden einerseits durch die Witterungsverhältnisse, insbesondere die Niederschläge bestimmt, andererseits - und dies hat größere Auswirkungen - durch die Talsperrensteuerung.

Die Füllmengen der Edertalsperre und Diemeltalsperre sind den Abbildungen 29, 30 und 31 zu entnehmen. Ergänzend werden in den beiden Abbildungen des mittleren Tagesvolumens die Einzugsgebiete und die Stauraumgröße genannt.

In den Abbildungen 32 und 33 sind die Füllmengen von Antrift- und Aartalsperre dargestellt. Zusätzlich zur Einzugsgebietsgröße und dem möglichen Stauraum sind die jahreszeitlich unterschiedlichen Stauziele angegeben. Die Stauziele werden für die Winter- und Sommermonate nach der Nutzung, wie z. B. Naherholung und Niedrigwasseraufhöhung der Gewässer Antreff bzw. Aar, festgelegt.

Edertalsperre (Edersee)

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

Rolle und sie ist der einzige Stausee Hessens mit einem gewerblich arbeitenden Fischereibetrieb.

Die Edertalsperre war von Anfang Februar 2021 bis Mitte November 2021 voller als im langjährigen Mittel der entsprechenden Monate. Da ist es wenig erstaunlich, dass sie mit einem mittleren Jahresvolumen von 115 % im Vergleich zum langjährigen Jahresmittel seit 2016 das erste Mal wieder voller als im Durchschnitt war.

Im Januar hatte der Edersee mit 77,5 m³ im Vergleich zu 132,5 Mio. m³ (1991–2020) 58 % der langjährigen Füllung erreicht. Die Auffüllung erfolgt dann sehr schnell und die Monate April bis Juli waren sogar alle im Monatsmittel mit über 190 Mio. m³ gefüllt, womit die Edertalsperre fast voll war. Nur im Januar und Dezember war die Talsperre im Vergleich zum langjährigen Mittel weniger gefüllt.

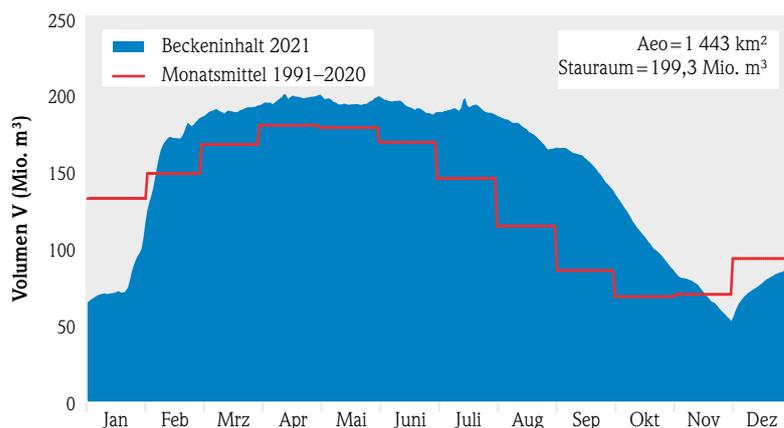


Abb. 29: Beckeninhalte der Edertalsperre

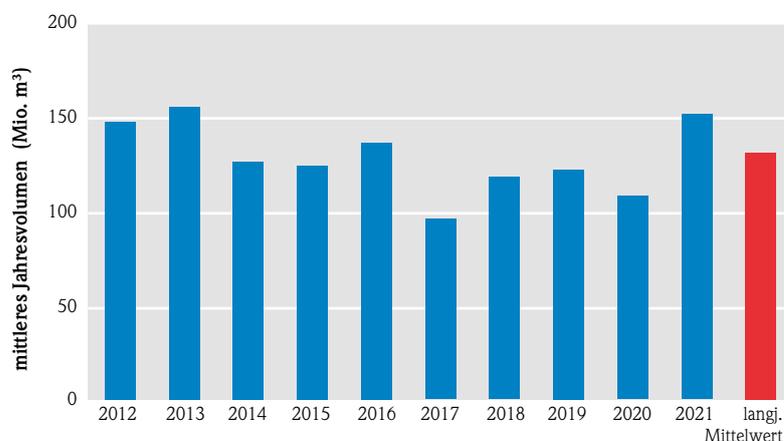


Abb. 30: Mittleres Jahresstauvolumen der Edertalsperre über die letzten 10 Jahre und das langjährige Mittel

Das Minimum des Jahres wurde am 01.12. mit 52,4 Mio. m³, das Maximum Mitte April mit 200,8 Mio. m³ erreicht, in dieser Zeit war auch die Hochwasserentlastung aktiv. Im Mai wurde kurzzeitig der Wasserstand der Talsperre ebenfalls über die Hochwasserentlastung abgesenkt (Abbildung 34). Das Julihochwasser, welches v. a. in Nordhessen stattfand, ist als kleine Spitze in der Tagesmittelganglinie der Talsperre zu sehen. Die größte positive Abweichung findet sich im September. In diesem Monat war die Talsperre im Mittel mit 156,6 Mio. m³ gefüllt, der langjährige Wert beträgt 85,5 Mio. m³ und ist damit fast halb so groß. Die mittlere Füllmenge im Jahr 2021 betrug 150 Mio. m³ und lag über den meisten Jahreswerten der letzten Jahre und dem langjährigen mittleren jährlichen Füllvolumen von 130 Mio. m³ (Abbildung 30).

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.

Der Jahresverlauf der Füllung in der Diemeltalsperre ist in vielen Teilen ähnlich der Edertalsperre. Auch hier war im Januar mit 53 % des langjährigen Wertes die Talsperre am wenigsten gefüllt, das Minimum war direkt am 01.01. mit 6,03 Mio. m³. Mit einem positiven Jahresmittel von 121 % des langjährigen Wertes schloss auch der Diemelsee ab, wobei im Oktober die größte positive Abweichung von 163 % verzeichnet wurde. In diesem Monat war die Talsperre mit 15,2 Mio. m³ Wasser gefüllt, der Reihenwert der Jahre 1991–2020 beträgt 9,3 Mio. m³. Ab Februar war die Füllung der Talsperre dauerhaft über dem durchschnittlichen Wert

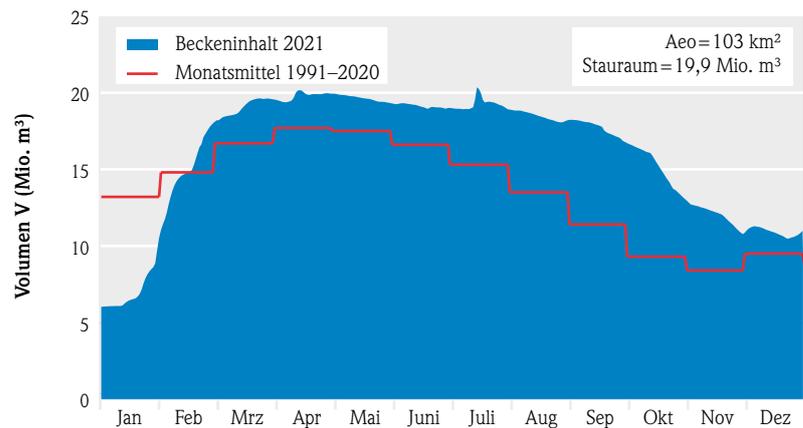


Abb. 31: Beckeninhalte der Diemeltalsperre

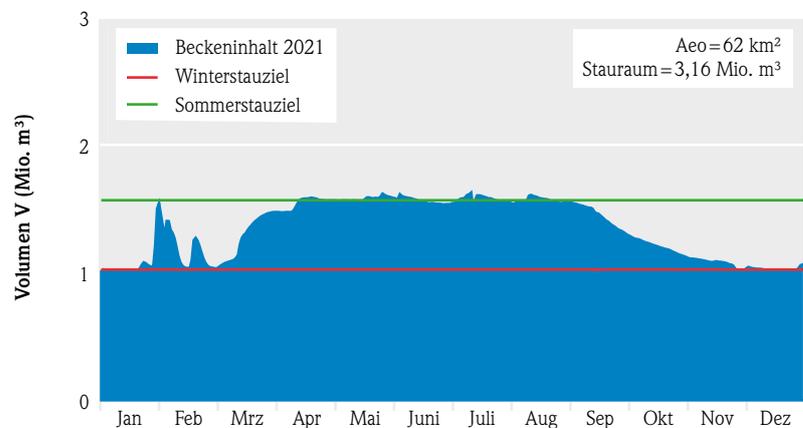


Abb. 32: Beckeninhalte der Antrifftalsperre

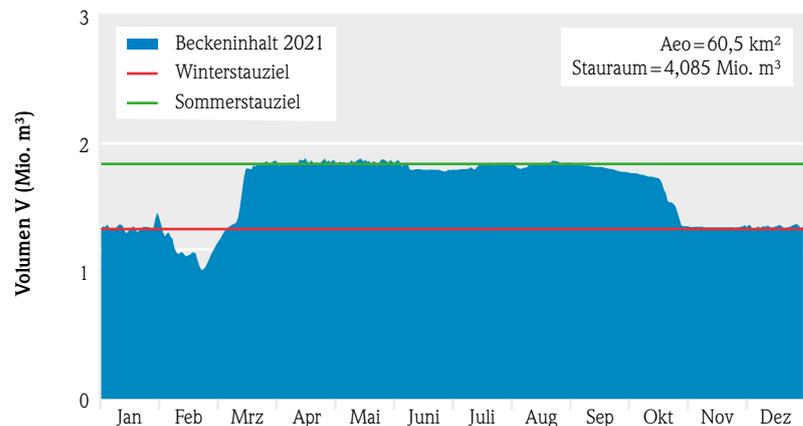


Abb. 33: Beckeninhalte der Aartalsperre

und das auf recht hohem Niveau. Abgesenkt wurde erst im Oktober und November, die langjährigen Monatsmittel wurden aber auch dann nicht unterschritten. Eine weitere Parallele zum Edersee ist, dass auch hier das Hochwasserereignis im Juli als kleine Spitze sichtbar ist und am 15.07. mit 20,35 Mio. m³ zum Jahresmaximum führt.

Weitere Talsperren in Hessen

Beispielhaft werden die Antrift- und die Aartalsperre als weitere Talsperren in Hessen dargestellt (Abbildungen 32 und 33). Beide dienen, wie die anderen hessischen Talsperren, vorrangig dem Hochwasserschutz und der Niedrigwasseraufhöhung während der abflussarmen Zeiten sowie der Stromerzeugung. Weiterhin werden beide Talsperren für verschiedene Freizeitaktivitäten genutzt.

Auch in diesem Jahr pausten sich einige mittlere und größere Hochwasser Anfang des Jahres deutlich in der Antrifttalsperre durch. Diese traten insbesondere im Januar und Februar auf, ursächlich war das große Hochwasser welches in Hessen stattgefunden hatte. Das Sommerstauziel konnte die ganzen Monate über mit minimalen Schwankungen gehalten werden, bis dann Mitte September die Absenkung auf das Winterstauziel begann, welches Ende November erreicht wurde.

Ebenfalls sichtbar – wenn auch nicht so deutlich,

weil diese Region nicht so stark betroffen war – ist das Hochwasserereignis im Januar/Februar in der Aartalsperre. Daran schloss sich eine Absenkung unterhalb des Winterstauziels an, bis Mitte März das Sommerstauziel erreicht wurde. Kleinere Hochwasserwellen im Frühjahr sind in der Ganglinie sichtbar, aber das Stauziel konnte auch hier über die entsprechenden Monate beibehalten werden. Mitte September begann auch an der Aartalsperre eine langsame Absenkung des Wasserstands, die einen Monat später einen steileren Verlauf nahm und Ende Oktober auf dem Niveau des Winterstauziels ankam.



Abb. 34: Überlauf der Edertalsperre im Mai 2021 © Franziska Henning

3.3 Hochwasserereignisse 2021

CORNELIA LÖNS-HANNA

Hochwasser Januar/Februar 2021

Nachdem es Anfang Januar 2021 relativ trocken war, überquerte Hessen ab der dritten Januarwoche eine Serie von Tiefdruckgebieten, die erhebliche Niederschläge brachten (siehe Kapitel 2.4). In den Mittelgebirgen fielen diese als Schnee. Hohe Regenmengen gab es im Vogelsberggebiet und im Westerwald. In der vierten Januarwoche wurde es wärmer und die Regenfälle führten mit dem tauenden Schnee zu steigenden Wasserständen in den oberirdischen Ge-

wässern. Nach einem kurzen Nachlassen der Niederschlagstätigkeit kam es kurz darauf noch zwei weitere Male zu starkem Dauerregen, in den Hochlagen mit Schnee, die zu zwei weiteren Hochwasserwellen führten. In der zweiten Februarwoche gelangte zunehmend polare, trockene Kaltluft nach Hessen. Die Hochwasserlage entspannte sich, sodass bis Ende der zweiten Februarwoche die Hochwasserscheitel abgeflossen waren.

In der ersten Phase Ende Januar/Anfang Februar stiegen die Wasserstände rasch an, zunächst in den



Abb. 35: Hochwasser kurz oberhalb des Pegels Büdingen am Seemenbach im Januar 2021 ©RP Darmstadt, Abteilung IV/F

Oberläufen. Vielfach wurden Hochwassermeldestufen überschritten. Insbesondere in der Nidda und der Kinzig sowie deren Einzugsgebieten als auch in der Fulda und im Fuldaeinzugsgebiet nahmen die Wasserstände so stark zu, dass an 12 Pegeln die höchste Meldestufe 3 (MST 3) gemeldet wurde. An vier Pegeln aus dem hessischen Landesmessnetz und an fünf weiteren Pegeln wurden die bisherigen historischen Höchststände (HHW) überschritten. In der zweiten und dritten Phase in der ersten Februarwoche waren vom Hochwasser überwiegend die Nidda, die Kinzig und die Fulda jeweils mit ihren Einzugsgebieten, aber auch die Zuläufe zur Werra betroffen. Auch meldeten mehrere Pegel wieder die Meldestufe 3.

Die Hochwasserlage im Rhein entwickelte sich langsam über den gesamten Zeitraum, hier wurde Anfang Februar an allen drei Pegeln, die Hessen betreffen, die hessische Meldestufe 2 überschritten.

Die Gewässer in Nordhessen im Einzugsgebiet der Eder und östlich der Fulda sowie im Süden im Odenwald waren eher weniger von Hochwasser betroffen. Mitte der zweiten Februarwoche 2021 war die Hochwassersituation in den kleineren Bächen und Flüssen sowie im Rhein abgeklungen.

Die höchsten Meldestufen an den jeweiligen Pegeln sind in Abbildung 36 dargestellt.

Im Folgenden werden exemplarisch für den Hochwasserverlauf im Januar/Februar 2021 der Verlauf des Wasserstands am Pegel Büdingen am Seemenbach im Niddaeinzugsgebiet (Abbildung 37) und am Pegel Phillipsthal an der Ulster im Werraeinzugsgebiet (Abbildung 38) dargestellt.

In Büdingen strömte das Wasser nach dem Bruch einer alten Mauer in die Altstadt und stand dort hüft-hoch. Über 70 Bewohner wurden aus ihren Häusern und Wohnungen evakuiert. Im weiteren Verlauf konnte das Hochwasser im Hochwasserrückhaltebecken Düdelnheim zurückgehalten und verzögert abgegeben werden. Im Februar kam es noch zweimal zu Anstiegen des Wasserstands, in Büdingen wurden jedoch keine Meldestufen mehr überschritten.

Im Werraeinzugsgebiet war nur die Ulster stark vom Hochwasser betroffen. Hier wurden an den Pegeln Günthers in beiden Hochwasserphasen Werte der Meldestufe 3 überschritten.

In der folgenden Tabelle 5 sind die Pegel mit Meldestufenüberschreitungen der MST 2 und 3 bzw. von HHW mit den entsprechenden Hochwasserjährlichkeiten aufgelistet, an denen Meldestufenüberschreitungen im Berichtszeitraum stattfanden und für die Wiederkehrzeiten von mehr als 2 Jahren ermittelt wurden. Die Jährlichkeit beschreibt dabei die

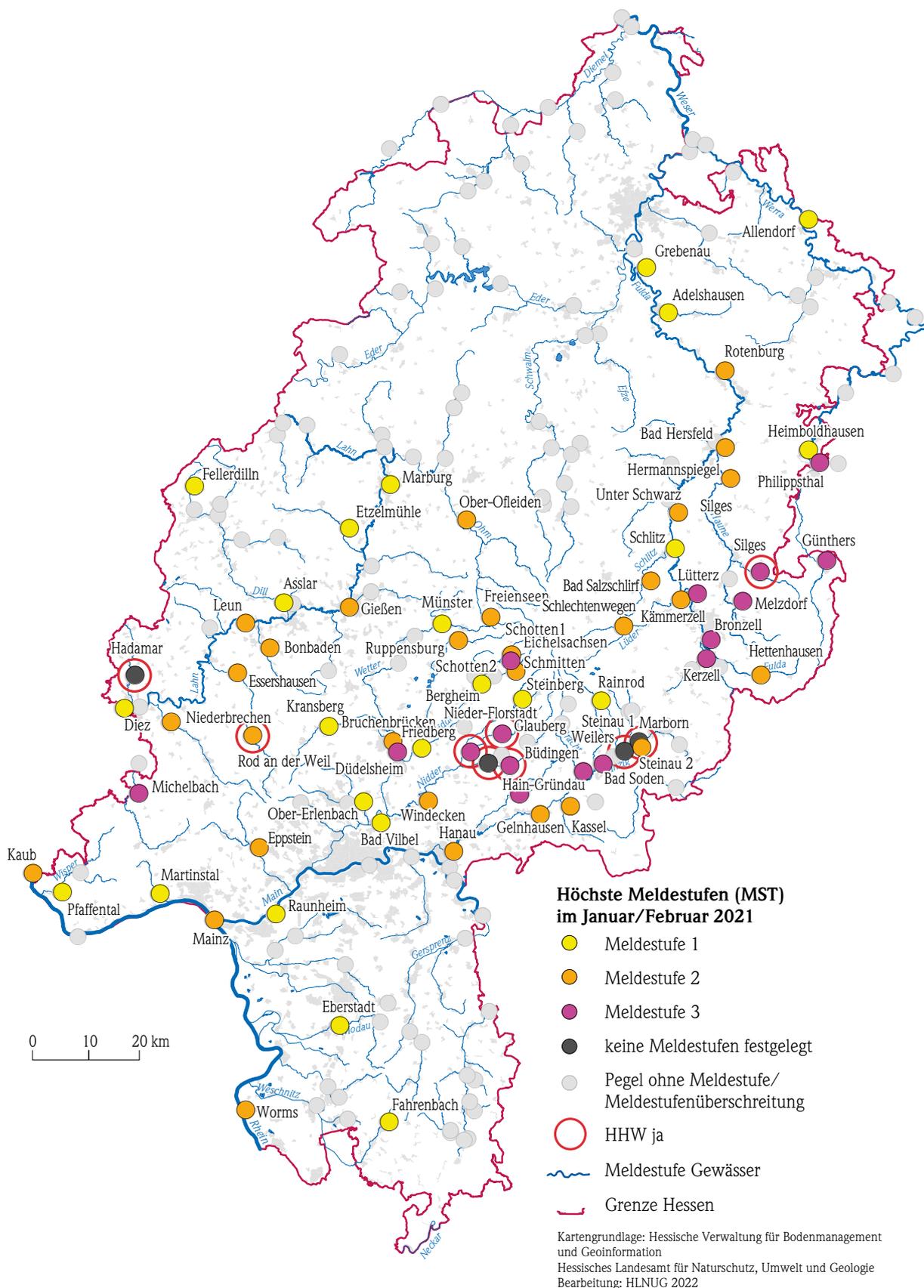


Abb. 36: Höchste Meldestufen (MST) an hessischen Pegeln im Zeitraum Januar bis Februar 2021

Tab. 5: Pegel an denen die Meldestufen 2 und 3 bzw. das HHW überschritten wurden, mit Angabe der Jährlichkeit

Gewässer	Pegelname	Datum	max W [cm]	Max. Q [m ³ /s]	Jährlichkeit	MST	HHW
Nidda und Niddaeinzugsgebiet							
Läunsbach	Schotten II	29.01.2021	106	4,70	10–20	3	
Nidda	Schotten I	29.01.2021	144	19,5	ca. 25	2	
Eichelbach	Eichelsachsen	29.01.2021	123	14,7	ca. 10	2	
Horloff	Ruppertsburg	29.01.2021	216	22,2	25–50	2	
Usa	Friedberg	29.01.2021	224	39,2	ca. 20	2	
Wetter	Bruchenbrücken	29.01.2021	280	36,8	10–20	3	
Seemenbach	Büdingen	29.01.2021	365	43,7	> 100	3	ja
Seemenbach	Düdelnheim	29.01.2021	263	14,4	keine Auswertung	keine festgelegt	ja
Bleichenbach	Bergheim	31.01.2021	199	13,8	keine Auswertung	3	ja
Nidder	Glauberg	29.02.2021	253	28,1	> 100	3	ja
Nidder	Windecken	02.02.2021	297	26,9	> 100	2	
Kinzig und Kinzigeinzugsgebiet							
Steinaubach	Steinau 2	29.01.2021	162	42,3	keine Auswertung	keine festgelegt	ja
Ulmenbach	Marborn	29.01.2021	173	22,9	keine Auswertung	keine festgelegt	ja
Salz	Bad Soden	29.01.2021	279	52,8	50–100	3	
Bracht	Weilers	29.01.2021	288	65,0	ca. 25	3	
Kinzig	Gelnhausen	31.01.2021	455	146	keine Auswertung	2	
Gründau	Hain-Gründau 1	29.01.2021	250	19,3	10–20	3	
Kinzig	Hanau	31.01.2021	420	146	20–25	2	
Fulda und Fuldaeinzugsgebiet							
Fulda	Hettenhausen	29.01.2021	203	16,5	2–5	2	
Fliede	Kerzell	29.01.2021	310	69,9	ca. 10	3	
Fulda	Bronnzell	29.01.2021	288	keine Abflussauswertung	keine Auswertung	3	
Fulda	Kämmerzell	30.01.2021	414	128	5–10	3	
Lüder	Lütterz	29.01.2021	426	59,2	< 2	2	
Altefeld	Schlechtenwegen	29.01.2021	189	26,6	5–10	2	
Altefeld	Bad Salzschlif	29.01.2021	274	44,9	2–5	2	
Haune	Melzdorf	29.01.2021	319	52,4	ca. 25	3	
Nüst	Silges	29.01.2021	185	33,7	keine Auswertung	3	ja
Haune	Hermannspiegel	30.01.2021	342	46,8	2–5	2	
Fulda	Bad Hersfeld 1	31.01.2021	569	303	2–5	2	
Lahn und Lahneinzugsgebiet							
Seenbach	Freienseen	29.01.2021	16,7	7,0	25–50	2	
Ohm	Ober-Ofleiden	29.01.2021	324	63,0	2–5	2	
Lahn	Gießen	31.01.2021	605	153	keine Auswertung	2	
Solmsbach	Bombaden	29.01.2021	180	18,2	5–10	2	
Weil	Rod an der Weil	29.01.2021	124	24,9	25–50	2	ja
Weil	Essershausen	29.01.2021	219	47,4	20–25	2	
Elbbach	Hadamar	29.01.2021	353	142	keine Auswertung	keine festgelegt	ja
Emsbach	Niederbrechen	29.01.2021	190	27,7	2–5	2	
Aar	Michelbach	29.01.2021	197	16,9	2–5	3	
kleinere Gewässer im Rheineinzugsgebiet							
Schwarzbach (Taunus)	Eppstein	29.01.2021	139	11,1	ca. 2	2	
Werra und Werraeinzugsgebiet							
Ulster	Günthers	29.01.2021	302	86,1	20–25	3	
Ulster	Philippsthal	29.01.2021	368	144	keine Auswertung	3	
Rhein, Neckar							
Rhein	Worms	05.02.2021	614	3950	Auswertung WSV	2	
Rhein	Mainz	06.02.2021	634	5090	Auswertung WSV	2	
Rhein	Kaub	07.02.2021	699	keine Abflussauswertung	Auswertung WSV	3	
Neckar	Rockenau	30.01.2021	504	keine Abflussauswertung	Auswertung WSV	2	

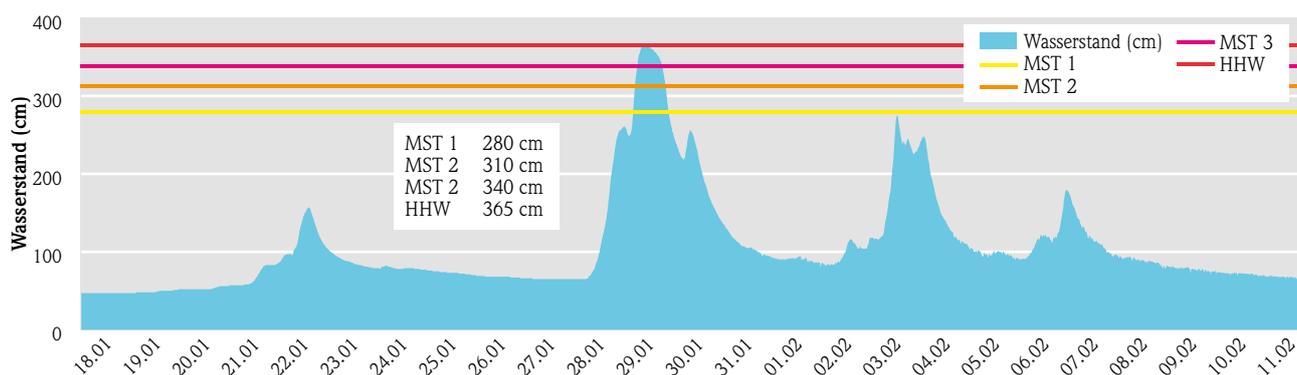


Abb. 37: Wasserstand am Pegel Büdingen/Seemenbach

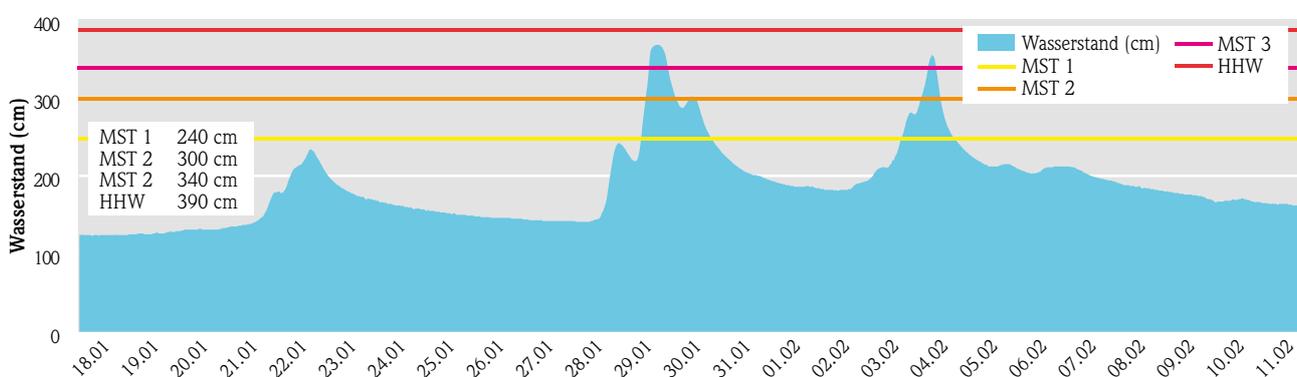


Abb. 38: Wasserstand am Pegel Phillipsthal/Ulster

Wahrscheinlichkeit für das Eintreten eines Hochwasserereignisses mit einem bestimmten Durchfluss. Nach den o. g. Auswertekriterien ist ein 100-jährliches Hochwasser eines, das statistisch gesehen nur alle 100 Jahre einmal auftritt, also eher selten ist.

Wie auch schon den Betrachtungen anhand der Wasserstände zu entnehmen, war das Hochwasserereignis im Nidda- und im Kinzigeinzugsgebiet, insbesondere in den kleineren Zuflüssen aus dem Vogelsberg, als ein Ereignis anzusehen, das statistisch gesehen alle 10–25 Jahre auftritt. Außerordentlich hoch war das Hochwasser am Seemenbach in Büdingen und an der Nidder. Die hier gemessenen Höchstwasserstände werden nur alle 100 Jahre oder noch seltener erreicht. An der Salz kann das Hochwasser mit Wiederkehrzeiten zwischen 50 und 100 Jahren als seltenes Ereignis angesehen werden.

In den Unterläufen von Nidda und Kinzig aber auch in der Fulda handelte es sich eher um ein häufiger auftretendes Hochwasser, welches ca. alle 5–10 Jahre auftritt. Von einem weniger häufig auftretenden

Hochwasser kann im Werra-Zufluss Ulster mit einem ca. 25-jährlichen Hochwasser gesprochen werden, ebenso wie in einigen kleineren Zuflüssen zur Lahn, wie Weil und Seebach. An ihnen wurden Wiederkehrzeiten zwischen 20 und 50 Jahren ermittelt.

Ausführliche Auswertungen befinden sich im Bericht „Hochwasser in Hessen Januar, Februar 2021“, https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/wasser/hochwasserberichte/Hochwasserbericht_2021.pdf.

Hochwasser Juli 2021

Ende Juni/Anfang Juli war Hessen mehrfach von Gewittern mit Starkregen betroffen. Ursache waren Tiefdruckgebiete aus westlicher Richtung. Regional fielen Tagessummen bis etwas über 50 mm in 24 Stunden (siehe Kap. 2.4). Mitte Juli, in der Nacht vom 13. auf den 14. Juli und am 14. Juli brachte Tief „Bernd“ erhebliche Wassermengen nach Westdeutschland. Stark betroffen waren Regionen in

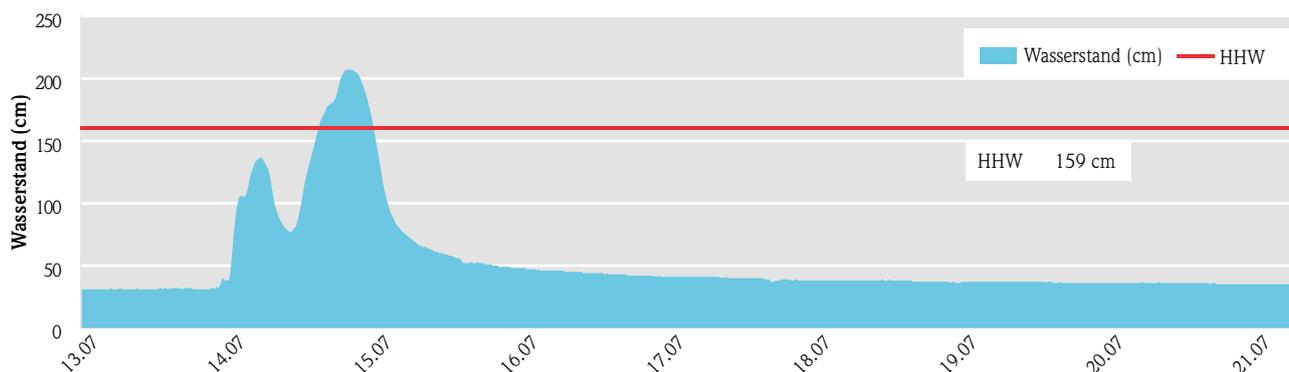


Abb. 39: Wasserstand am Pegel Braunsen/Twiste

Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz. Hier kam es zu Zerstörungen ganzer Ortschaften und Straßen. In Bergbaugebieten fanden Erdbeben statt.

Hessen war von den Regenmassen nur am Rande im Norden und Nordwesten betroffen. Regional wurden an hessischen Stationen innerhalb von 9–18 Stunden Regenmengen zwischen 50 und 85 mm aufgezeichnet (siehe Kapitel 2.4). Zwar kam es auch hier zu Überschwemmungen von Straßen und Kellern, katastrophale Schäden gab es aber nicht. Die Niederschläge am Ende der zweiten Juliwoche führten nur in den Oberläufen einiger kleinerer Gewässer im Norden und im Westen Hessens kurzzeitig zum Überschreiten der Meldestufe 1 (Abbildung 41). Am Pegel Braunsen an der Twiste wurde der höchste bisher gemessene Wasserstand (HHW) überschritten (Abbildung 39).

Die ergiebigen Regenfälle im Alpenvorland und im Schwarzwald sorgten für ein Ansteigen der Wasserstände im Rhein. Im hessischen Rheinabschnitt wurde am Pegel Worms kurzzeitig die Meldestufe 2

überschritten. Insgesamt gesehen war die Hochwasserlage sowohl am Rhein, als auch in Hessen weniger ausgeprägt als im Januar/Februar 2021.

Hochwasser 2021 im Vergleich zu Vorjahren

Abbildung 40 zeigt die Hochwasserhäufigkeit 2021 im Vergleich zu den Vorjahren. Dargestellt werden die Anzahl der Tage, an denen hessische Pegel die jeweils höchste Meldestufe überschritten haben. Ausgewertet wurde das Hydrologische Jahr, d. h. der Zeitraum November bis Oktober, um Winterhochwasser, die über den Jahreswechsel hinaus stattfinden, besser erfassen zu können. Erkennbar ist, dass im Jahr 2021 die Hochwasserhäufigkeit und die Höhe der mittleren Wasserstände im mittleren Bereich anzusehen ist. Das Hochwasser im Januar/Februar in Teilen Hessens war zwar hoch, aber regional beschränkt und nicht mit den Ereignissen von 2011 und 2013, die ganz Hessen betrafen, zu vergleichen.

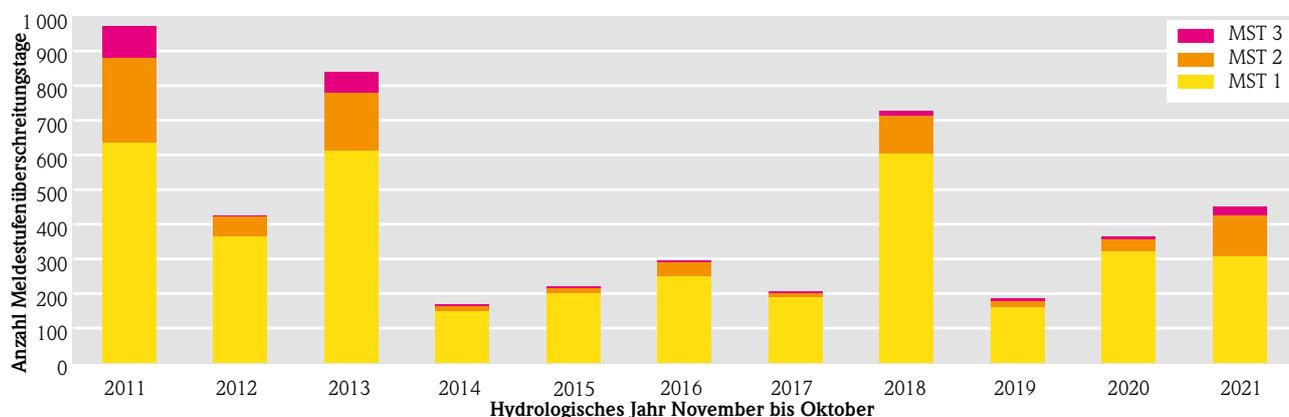


Abb. 40: Anzahl von Tagen mit Überschreitungen von Hochwassermeldestufen

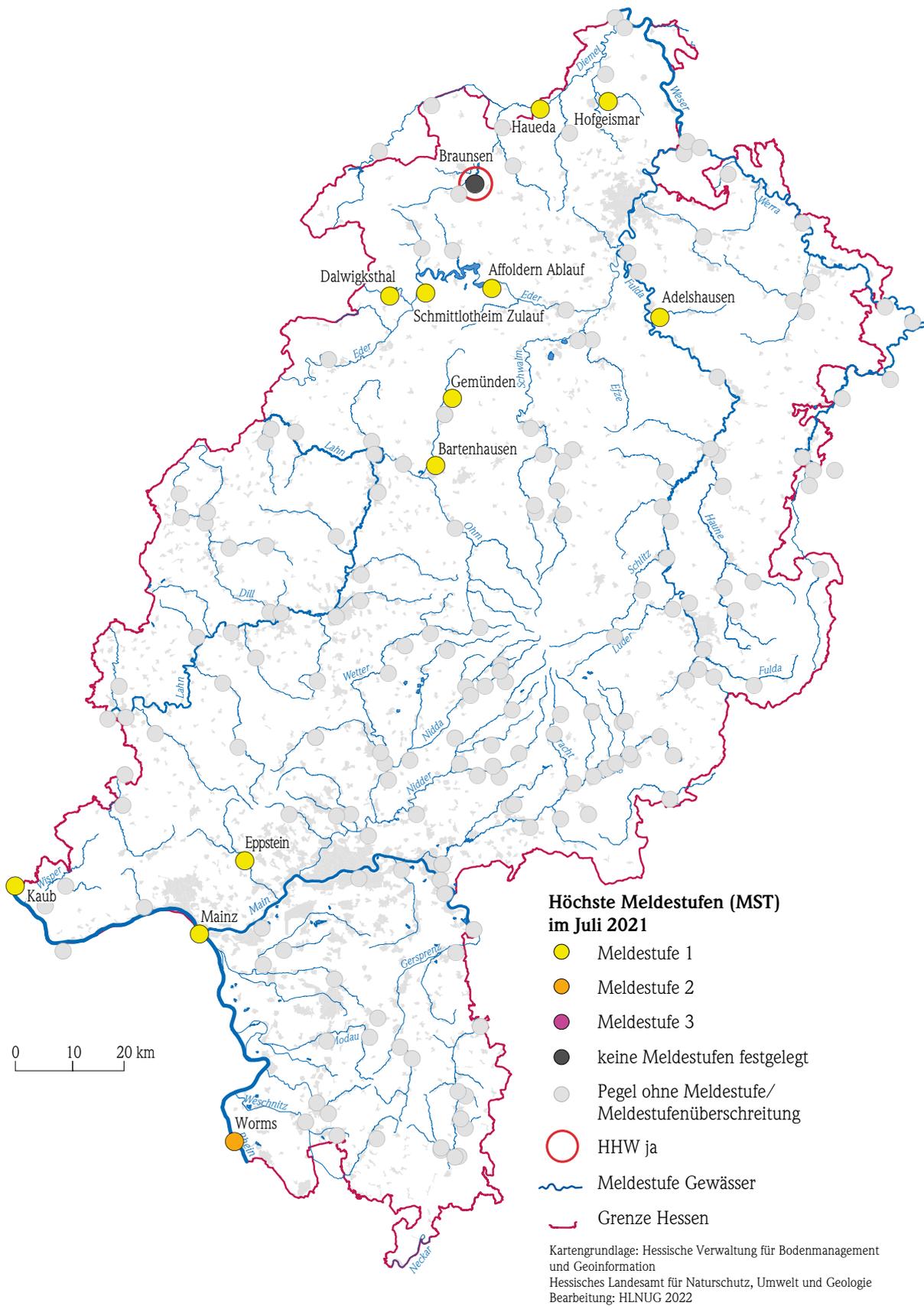


Abb. 41: Höchste Meldestufen an hessischen Pegeln am 13. und 14.07.2021

3.4 Physikalisch-chemische Beschaffenheit oberirdischer Gewässer

DR. CHRISTINA KLEIN, JANA SEMSEI, ANDREAS BURMEISTER

Allgemeines zum Messnetz

Für die Überwachung des qualitativen Zustands hessischer Fließgewässer werden die Parameter Wassertemperatur, pH-Wert, gelöster Sauerstoff und elektrische Leitfähigkeit an allen Messstationen und Messstellen bestimmt. Sie bilden die Basis der Gewässeruntersuchungen und ermöglichen wertvolle Rückschlüsse auf die Beschaffenheit des Gewässers, insbesondere unter Einbeziehung von Randbedingungen vor und bei der Probenahme, wie örtliche Gegebenheiten sowie meteorologische und hydrologische Verhältnisse. Die Parameter steuern maßgeblich die biologischen und chemischen Prozesse im Fließgewässer und unterliegen starken tageszeitlichen Schwankungen, so dass sie nur durch fortlaufende Messungen sicher beurteilt werden können.

An insgesamt 7 hessischen und 2 weiteren länderübergreifenden ortsfesten Messstationen (Abbildungen 42 bis 43) werden kontinuierliche Messungen im Abstand weniger Minuten zur Überwachung der Gewässerqualität durchgeführt. Hierzu fördern Pumpen Flusswasser zu den kontinuierlich messenden Geräten und Sonden in der Messstation. Die Ergebnisse werden per Datenfernübertragung direkt übermittelt und stehen für weitere Auswertungen bereit. Zusätzliche automatische Probenehmer in den Stationen gewährleisten eine lückenlose Bereitstellung von Mischproben, um spezifische Parameter im Labor zu analysieren und eventuell auftretende Schadensfälle auch nachträglich zu rekonstruieren. Die gewonnenen Proben werden gekühlt gelagert, um Veränderungen in der Zusammensetzung bis zur Analyse zu vermeiden. Neben den physikalisch-chemischen Parametern werden im Rahmen von verschiedenen Messprogrammen gezielt aufwändigere Untersuchungen im Labor auf Spurenverunreinigungen durchgeführt, wie z. B. Pflanzenschutzmittel, Arzneimittel und Schwermetalle. Zur Unterstützung und zum Ausbau des Messnetzes, zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie mit dem Ziel alle Oberflächenwasserkörper in einen qualitativ „guten Zustand“ zu überführen, verfügt das hessische Landesamt über eine mobile Mess-

station in Anhängerbauweise. In Niedrigwassersituationen, Umbauphasen oder bei Sanierungsmaßnahmen fungiert sie als mobile, modular aufgebaute Ersatzstation. Neben der flexiblen kontinuierlichen Gewässerüberwachung wird die mobile Messstation eingesetzt, um Schadensfälle oder Belastungen unklarer Herkunft aufzuzeichnen.

Für die Überwachung der Flussgebietseinheit Rhein arbeiten die Anrainerstaaten und die Bundesländer eng zusammen. Im Bereich von Worms bis Mainz sind dies die Bundesländer Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und Hessen. So werden die Rheingütestation in Worms, von den drei Ländern und die Rheinwasser-Untersuchungsstation Mainz-Wiesbaden von Rheinland-Pfalz und Hessen gemeinsam betrieben. Die Station an der Theodor-Heuss-Brücke auf der Mainzer Rheinseite besteht bereits seit 1976.

Die langjährigen Aufzeichnungen der Güteparameter dienen als wertvolle Datengrundlage zur Trendermittlung, die insbesondere auch hinsichtlich der Auswirkungen des Klimawandels von großer Bedeutung sind. Fließgewässer stellen komplexe Systeme dar, in denen verschiedene Einzelwirkungen und Interaktionen ablaufen. Über die Jahre hat sich die Schadstoffbelastung der Fließgewässer verändert. Neu auftretende bzw. neu erkannte Schadstoffe erfordern zusätzliche, aufwändige Analysemethoden im Labor, gerade im Hinblick auf organische Mikroverunreinigungen. Hochwasser und ausgedehnte Niedrigwasserphasen wirken sich unmittelbar auf Natur und Umwelt aus und beeinflussen die saisonalen und tageszeitlichen Schwankungen der physikalisch-chemischen Messgrößen. Die möglichst flächendeckende und zeitlich hochaufgelöste Messung dieser Parameter ist aus Vorsorgegründen und zur Beurteilung des Einflusses von Extremwetterereignissen von großer Bedeutung. Die intensive Nutzung unserer Gewässer beispielsweise zur Entlastung von Abwässern oder zur Be- und Entwässerung von Nutzflächen wirkt sich verstärkt negativ auf die Gewässerqualität aus.

Weitere Chemie-Messstellen (Abbildung 42) verteilen sich über ganz Hessen und schaffen ein dichtes Messstellennetz zur Überwachung der Gewässergüte. An ca. 400 Messstellen werden regelmäßig Proben genommen und im Labor analysiert. Diese periodische, stichprobenartige Gewässerüberwachung liefert eine Momentaufnahme der Wasserbeschaffen-

heit. Verschiedene Messprogramme beinhalten u. a. zeitlich unterschiedlich terminierte, repräsentative Wasserprobenahmen, z. B. bei saisonal eingetragenen Stoffen. Durch die Vielzahl der Messstellen wird in einem 3 Jahresrhythmus beprobt. Die einzelne zu untersuchende Messstelle wird in der Regel über den Zeitraum von 3 Jahren monatlich beprobt. Das Spek-

trum der chemischen Untersuchungen umfasst eine Vielzahl von Parametern, deren Auswahl die Einflüsse verschiedener Eintragsquellen abbildet: Nährstoffe wie zum Beispiel Phosphat sowie Pflanzenschutzmittel, Arzneimittel und Schwermetalle werden zu unterschiedlichen Anteilen durch Kläranlagen und diffus über landwirtschaftlich genutzte Flächen eingetragen. Zur Erfassung des gesamten stofflichen Austrags aus einem Flusseinzugsgebiet (farblich hervorgehobene Darstellung auf der Karte (Abb. 42)), befinden sich Messstellen und -stationen in der Regel in Mündungsnähe, sodass der Einfluss von Quellen, Bächen und kleineren Flüssen, die in das Gewässer münden, miterfasst und abgebildet wird.

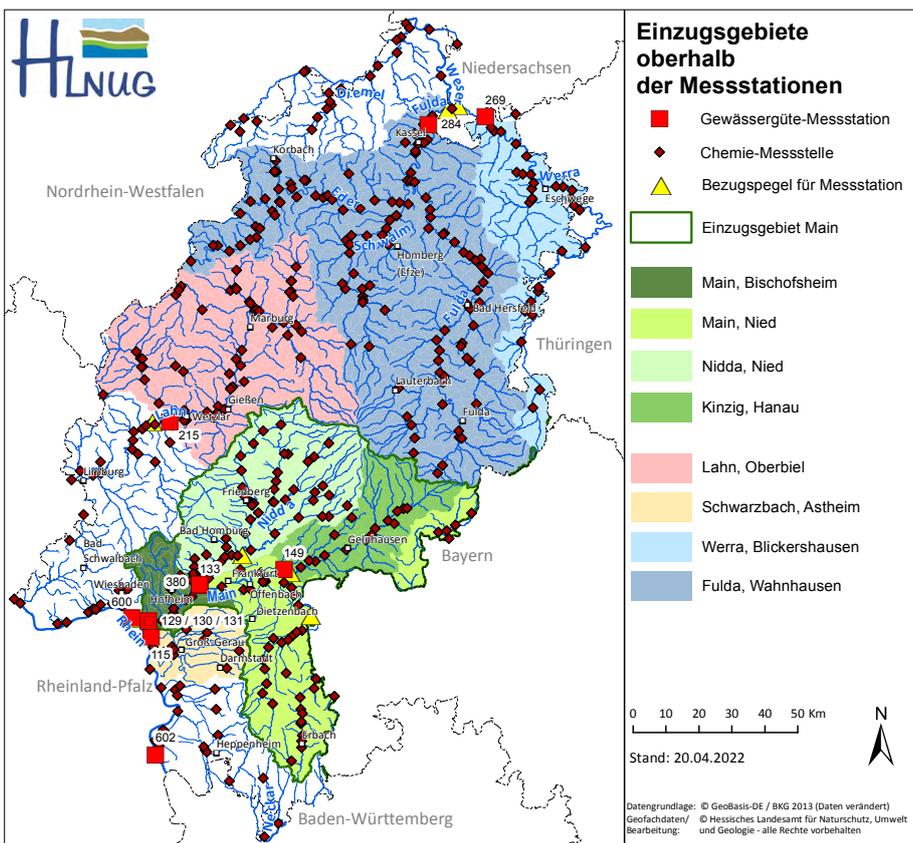


Abb. 42: Übersicht über das Messnetz zur Erfassung der Wasserbeschaffenheit in Hessen



Abb. 43: Messstationen in Hessen © HLNUG (Messstelle 602: LfU RLP)

Messergebnisse

Hochwasser (Abbildung 44), ausgedehnte Niedrigwasserphasen, Schnee und Eis im Winter (Abbildung 45) und Starkregenereignisse nehmen einen erheblichen Einfluss auf die Messparameter und stellen den Betrieb kontinuierlich messender Gewässergütemessstationen vor besondere Herausforderungen. Je nach Ausmaß kommt es in den Messstationen teilweise zu Messunterbrechungen. Sauerstoffgehalte und Nährstoffkonzentrationen, welche in vielfältigen und komplexen Wechselwirkungen zueinanderstehen, können durch niederschlagsbedingte Einträge sowie durch extreme Niedrigwasserstände und damit einhergehender fehlender Verdünnung kritische Werte erreichen. Eine zeitlich hochaufgelöste Messung dieser Parameter zur Beurteilung des Einflusses auf die Gewässerökologie, um den aktuellen Zustand zu überprüfen, die Gewässer zu schützen und ggf. Maßnahmen zur Verbesserung zu entwickeln, ist von großer Bedeutung.

Im Folgenden werden die Jahresganglinien für die Parameter Wassertemperatur, gelöster Sauerstoffgehalt, Phosphor und elektrische Leitfähigkeit an den vier größeren hessischen Fließgewässern Main, Fulda, Lahn und Werra unter Einfluss der meteorologischen und hydrologischen Besonderheiten dargestellt.



Abb. 44: Hochwasser am Main, Bischofsheim im Februar 2021
© HLNUG

Die Wassertemperatur

Die Temperatur des Wassers hat einen erheblichen Einfluss auf chemische und biologische Prozesse im Gewässer. Sie bestimmt die Sauerstoffaufnahme-fähigkeit und die Zusammensetzung der Biozönose. In Fließgewässern wird die Wassertemperatur maßgeblich durch die vorherrschende Lufttemperatur sowie den Durchfluss im Gewässer beeinflusst. Hohe Lufttemperaturen im Sommer und einfallende Sonnenstrahlung führen in Verbindung mit geringen Durchflüssen zu höheren Wassertemperaturen. Je nach Lage der Messstelle bzw. Messstation sowie der möglichen Uferbegrünung mit einhergehender Beschattung herrschen unterschiedliche Gegebenheiten, welche die Wassertemperaturen beeinflussen können. Durch temporäre Einleitungen aus anliegenden Kläranlagen, Industriebetrieben und Kraftwerken kann es je nach Belastung und Abfluss des Fließgewässers zu ganzjährig höheren Wassertemperaturen kommen. Gewitter und Starkregenereignisse nehmen ebenso Einfluss auf die Wassertemperaturen.

Besonders in den nördlichen Regionen Hessens, in denen die Messstationen Wahnhausen und Witzenhausen liegen, kam es zu sehr strengem Frost mit Lufttemperaturen von bis zu $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dies beeinflusste die Wassertemperaturen von Fulda und Werra, welche Mitte Februar ihre Tagesmaxima bei nahezu



Abb. 45: Schnee an der Messstation Witzenhausen an der Werra im Februar 2021 © HLNUG



Abb. 46: Jahresganglinien der Temperaturmaxima im Jahr 2021 an den vier Messstationen Bischofsheim/Main, Oberbiel/Lahn, Wahnhausen/Fulda und Witzenhausen/Werra

unter 0 °C hatten. Ein kurzer Anstieg der Wassertemperaturen als Folge sonniger Tage im März endete im Übergang zum April, welcher sehr kühle Lufttemperaturen mit sich brachte. Steigende Lufttemperaturen im Mai und besonders im Juni, der außergewöhnlich warm war, führten zu steigenden Wassertemperaturen und einer Überschreitung des Orientierungswertes, gemäß Oberflächengewässerverordnung (OGewV 2016) von 25 °C mit dem höchsten absoluten Tagesmaximum am Main. Der Main als gestautes Gewässer mit zahlreichen Einleitungen hat das ganze Jahr über höhere Wassertemperaturen. Im Sommer kommt es regelmäßig mit erhöhter Sonnenstrahlung zur Überschreitung des Orientierungswertes für Wassertemperatur von 25 °C. Zahlreiche Gewitter mit Starkregenfällen führten 2021 zu abfallenden Wassertemperaturen im Juli. An der Fulda kam es Mitte Juli als Folge eines starken Gewitters mit fallender Lufttemperatur zu einem sehr deutlichen Abfall der Wassertemperatur innerhalb kürzester Zeit. Der September zeigte teilweise wieder steigende Wassertemperaturen, beeinflusst durch eine sonnige und besonders trockene Wetterperiode. Sehr milde Temperaturen im Dezember führten zum Teil zu einem Anstieg der Wassertemperatur, insbesondere zum Jahresende.

Die nachfolgenden Grafiken zeigen im Detail die Wassertemperaturen der jeweiligen Messstation. Der grün hinterlegte Bereich markiert gemäß den Anforderungen der Wasserrahmenrichtlinie den Orientierungswert der Wintermaximaltemperatur (Dezember bis April) bei 10 °C und der Sommermaximaltemperatur (März bis November) bei 25 °C. Um die Bio-

zönose der Fließgewässer zu schützen, existieren bei langfristiger Überschreitung der Maximaltemperaturen Handlungs- und Informationskonzepte, welche die anthropogenen Abwärmeeinleitungen und zusätzlichen Wasserabgaben beispielsweise durch Talsperren einschränken.

Die Wassertemperaturen an der Messstation am **Main** befanden sich weitestgehend unterhalb des Orientierungswertes und bilden den Verlauf der Lufttemperatur nach. Kleinere Lücken mit fehlenden Messwerten entstanden durch Spülprozesse der Wasserleitungen und allgemeine Wartungsarbeiten. Mitte Februar sanken die Temperaturen deutlich ab. Am 13.02.2021 wurden 2 °C Wassertemperatur gemessen. Ende Februar kam es durch ein Hochwasser zu einem längeren Ausfall des Messbetriebs. Am 23.02.2021 zeigte die Wassertemperatur des Mains 5 °C an. Im März stiegen die Werte weiter an und überschritten am 31. März 2021 die Wintermaximaltemperatur mit 11 °C. Kühle Lufttemperaturen Anfang April ließen die Wassertemperatur etwas zeitversetzt abfallen. Ab dem 16.04.2021 stiegen die Werte stetig an und fanden ihr Maximum im Juni. Am 17.06.2021 überschritt die Wassertemperatur des Mains erstmalig den Sommermaximalwert von 25 °C. Am 20.06.2021 kam es zum maximalen Wert von 26 °C. Erst am 23.06.2021 fiel die Wassertemperatur unter den Orientierungswert von 25 °C. Zahlreiche Unwetter ließen Mitte Juli Luft- und Wassertemperatur auf 20 °C abkühlen. Der weitere Temperaturverlauf des Wassers von Juli bis September spiegelt das wechselhafte Wetter wider. Eine Trockenperiode im September führte zu einem Anstieg der Wassertemperatur am

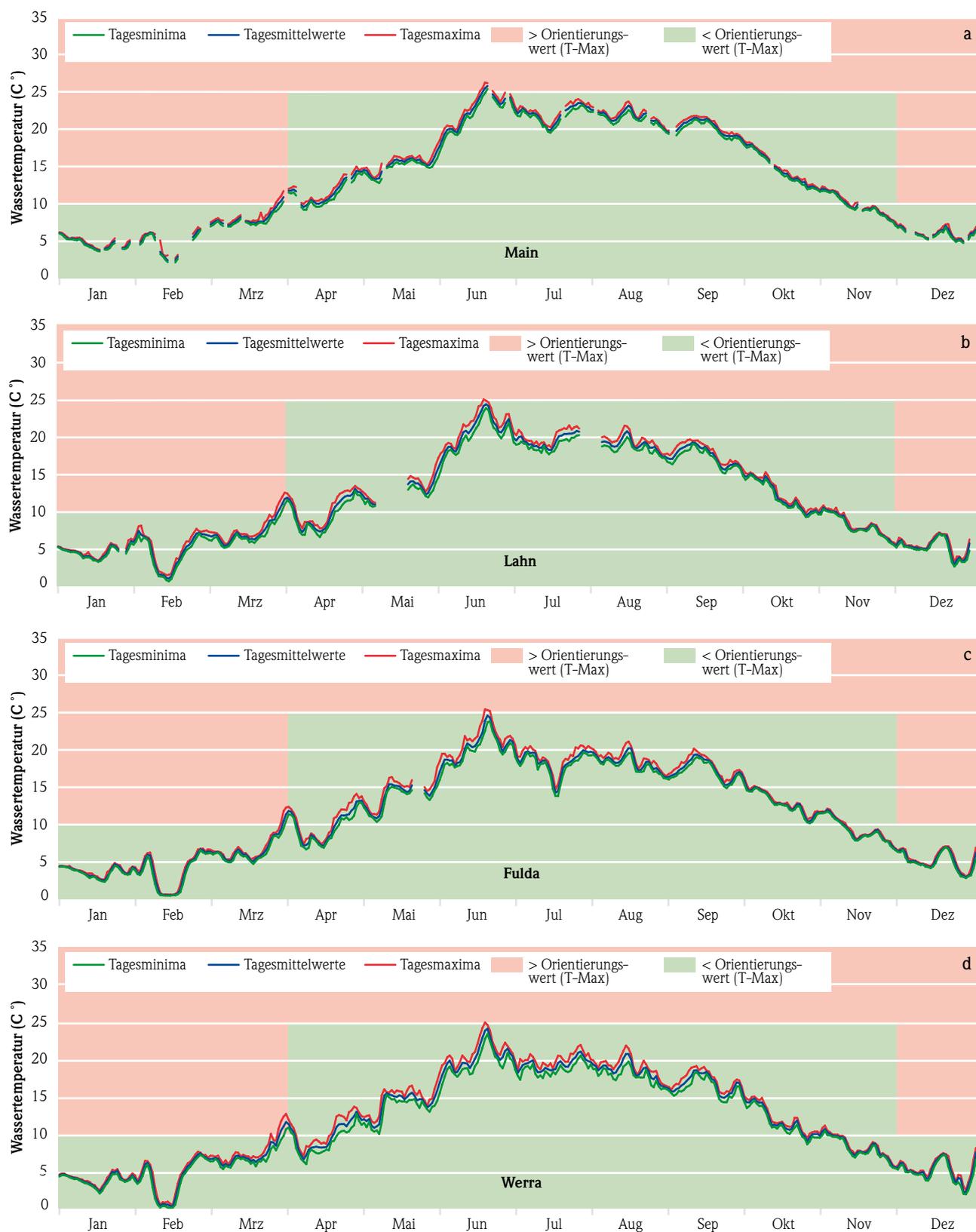


Abb. 47: Wassertemperatur als Tageswert (Minima/Mittel/Maxima) für das Jahr 2021 an den vier Messstationen Bischofsheim/Main (a), Oberbiel/Lahn (b), Wahnhausen/Fulda (c) und Witzenhausen/Werra (d) mit Darstellung der Orientierungswerte T_{max} (Sommer): 25 °C und T_{max} (Winter): 10 °C

13. September 2021 auf 21 °C. Anschließend fiel die Wassertemperatur entsprechend der Lufttemperatur kontinuierlich ab. Wie bereits in den letzten Jahren zu beobachten war, stieg die Wassertemperatur Mitte Dezember aufgrund der milden Lufttemperaturen leicht an. Am 20. Dezember 2021 wurden 7 °C Wassertemperatur gemessen.

Die Wassertemperatur der **Lahn** zeigt geringfügig größere Temperaturschwankungen im Tagesgang. Sie lassen sich in den Unterschieden der Tagesmaximal- und Tagesminimal-Werten erkennen. Zurückzuführen ist dies auf die Lage und Größe des Gewässers. Kleinere, kurzfristige Schwankungen der Lufttemperatur wurden in den Messungen erfasst und nicht durch die Größe des Gewässers, wie es beim Main der Fall ist, abgepuffert. Eine ganzjährige Erhöhung der ursprünglichen Wassertemperatur durch anthropogen bedingte Einleitungen und Nutzung der Gewässer war in der Lahn weniger ausgeprägt als im Main. Es kam seltener zu einer Überschreitung der 25 °C. Ausfälle der Messungen Mitte Mai und Anfang August wurden durch Wartungsarbeiten an der Stromversorgung verursacht.

Ein deutlicher Abfall der Wassertemperatur Mitte Februar auf nahezu 1 °C spiegelte auch hier die Lufttemperatur mit einem Kälteeinbruch und frostigen Werten wider. Ähnlich deutlich zu sehen sind die kalten Lufttemperaturen Anfang April, welche zu einer deutlichen Abkühlung der Wassertemperatur von zuvor 12 °C auf 8 °C am 08.04.2021 führten. Der steile Anstieg der Wassertemperatur im Juni von 17 °C am 01.06.2021 auf 24 °C am 18.06.2021 zeigt den deutlichen Einfluss der meteorologischen und hydrologischen Gegebenheiten mit einer sehr warmen Trockenperiode im Juni. Der Wassertemperaturverlauf im Juli und August folgte der Lufttemperatur. Nach einem Anstieg der Wassertemperatur auf 19 °C am 13.09.2021 fällt die Wassertemperatur entsprechend der Lufttemperatur ab. Am 18.12.2021 kam es zu einem Anstieg auf 7 °C. Danach fiel die Wassertemperatur auf 3 °C (23.12.2021) und stieg am 29.12.2021 wieder auf 6 °C an.

Die **Fulda**, längster vollständig in Hessen verlaufender Fluss, unterliegt ebenfalls dem Einfluss zahlreicher Staustufen. Die Fulda durchfließt weniger Ballungsgebiete und verläuft entlang ausgedehnter Wälder, schattige Bereiche, welche das Wasser ganzjährig,

insbesondere in den Sommermonaten, kühler halten. Der Einbruch der Wassertemperatur im Februar von 6 °C (06.02.2021) auf 1 °C am 10.02.2021 ist an der Fulda besonders auffällig. Eine Kaltfront in Folge eines Sturmtiefs führte zu frostigen Lufttemperaturen und einer deutlichen Abkühlung der Wassertemperatur um die 0 °C. Auf diesem Niveau verweilte sie und stieg erst am 17.02.2021 wieder an. Am 02.04.2021 zeigte die Wassertemperatur einen steilen Anstieg auf 12 °C. Im weiteren Verlauf sank die Wassertemperatur, beeinflusst durch abfallende Lufttemperaturen, ab und stieg ab dem 16.04.2021 mehr oder weniger sukzessive an. Ende Mai kam es durch Wartungsarbeiten in der Messstation zu einer kurzen Messwertunterbrechung. Am 22.06.2021 erreichte die Wassertemperatur der Fulda ihren Maximalwert von 24 °C. Schwere Unwetter mit Starkregen ließen die Temperatur Mitte Juli drastisch absinken. Nach kurzer Zeit stieg die Wassertemperatur am 18.07.2021 wieder an und folgte dem Verlauf der Lufttemperatur. Am 15.08.2021 überschritt die Wassertemperatur 20 °C und sank im weiteren Verlauf, entsprechend der Lufttemperatur, immer weiter ab. Von Anfang bis Mitte September ließ sich auch an der Fulda ein Anstieg der Wassertemperaturen bis auf 20 °C am 10.09.2021 beobachten. Mitte Dezember, nach einem stetigen Abfall der Wassertemperaturen, stieg sie am 20.12.2021 auf 7 °C an. Daraufhin sank sie am 27.12.2021 auf 3 °C ab und stieg am Jahresende, entsprechend den milden Lufttemperaturen, erneut auf 7 °C an.

Als kleineres Gewässer mit weniger Durchfluss zeigte die **Werra** besonders im Sommer deutliche Schwankungen im Tagesverlauf der Wassertemperatur. Unterschiede zwischen Tagesminimal- und Tagesmaximal-Werten lassen sich erkennen. Der Kälteeinbruch Anfang Februar ist in einem Abfall der Wassertemperaturen deutlich zu sehen. Vom 10.02.2021 bis zum 15. desselben Monats lag die Wassertemperatur knapp über 0 °C. Die warmen Lufttemperaturen im März spiegelten sich zeitversetzt in der Wassertemperatur wider. Die Werte stiegen am 01.04.2021 auf 12 °C an. Erneute Schneefälle und Frost ließen die Wassertemperaturen allerdings wieder absinken. Ab Mitte April stieg die Wassertemperatur entsprechend der Lufttemperatur an und fand ihr Maximum am 19.06.2021 bei 24 °C. Im Juli und August lag die Wassertemperatur um die 20 °C. Warmes, trockenes Wetter im September zeigte sich in einem Anstieg auf 18 °C am 11.09.2021. Daraufhin sank die Wasser-

temperatur kontinuierlich ab. Ein erneuter Anstieg trat ab dem 19.12.2021 deutlich hervor. Sie stieg auf 7 °C und fiel anschließend auf 2 °C ab. Zum Jahresende, am 31.12.2021, stieg die Wassertemperatur erneut auf 8 °C an.

Der gelöste Sauerstoffgehalt

Der Sauerstoffgehalt im Fließgewässer ist essentiell für die Biozönose. Er unterliegt starken Tag-/Nachtschwankungen und ist abhängig von den verschiedenen physikalischen, chemischen und biochemischen Faktoren. Eine kontinuierliche Messung ist notwendig, um den Sauerstoffgehalt sowie seine Wechselwirkungen und täglichen Extremwerte sicher beurteilen zu können. Die Sauerstoffdynamik unterliegt natürlichen und anthropogenen Einflüssen. Neben sauerstoffzehrenden Prozessen finden auch sauerstoffliefernde Vorgänge z. B. durch natürliche und künstliche Belüftung sowie durch die Photosynthese von Wasserpflanzen statt. Fehlende Messwerte und Lücken im Verlauf der Grafik ergeben sich auch hier durch Wartungsarbeiten und Spülprozesse in den Messstationen.

In Abbildung 48 sind die Jahressganglinien der Tagesminima der Sauerstoffgehalte der vier größeren hessischen Fließgewässer, bezogen auf Halbstundenwerte der kontinuierlichen Messungen, abgebildet. Je nach Größe und Belastung des Gewässers sind deutliche Unterschiede erkennbar. In der ersten Jahreshälfte, bedingt durch die Schönwetterperiode mit klarem, sonnigem Wetter im März, beginnt die Photosyntheseaktivität der Wasserpflanzen. Ein

Anstieg der Sauerstoffgehalte lässt sich im Frühjahr an allen Messstationen erkennen. Besonders hohe Werte wurden an der Fulda Ende April/Anfang Mai gemessen. Invers zu den Wassertemperaturen sank der Sauerstoffgehalt entsprechend seiner temperaturabhängigen Löslichkeit im Juni ab. Es kam an allen Messstationen zur Unterschreitung des Orientierungswertes von 7 mg/l. Je nach Witterungsbedingungen waren die Sauerstoffeinbrüche mit Unterschreitung des kritischen Sauerstoffwertes mehr oder weniger stark ausgeprägt und anhaltend. Eine starke Biomasseproduktion konnte zunächst zu einer Sauerstoffübersättigung des Fließgewässers führen. Der daraus auch resultierende erhöhte mikrobielle Abbau lief unter sauerstoffzehrenden Prozessen ab und konnte zu Sauerstoffmangel im Gewässer führen. Hohe Konzentrationen an Pflanzennährstoffen begünstigten das Wachstum von Algen und Wasserpflanzen, forcierten somit die genannten Prozesse und waren deshalb ein weiteres Kriterium zur Beurteilung der ökologischen Situation im Fließgewässer. Die Jahressganglinien von Tagesminima, Tagesmaxima und Tagesmittelwerten der Sauerstoffgehalte sind nachfolgend in den Grafiken der jeweiligen Messstation abgebildet. Der rot hinterlegte Bereich markiert gemäß den Anforderungen der OGeWV (2016) einen kritischen Sauerstoffwert unterhalb des Orientierungswertes von 7 mg/l.

Am **Main** ließ sich zu Beginn des Jahres ein leichter Anstieg der Sauerstoffkonzentration erkennen. Ab dem 05.03.2021 begannen erste Photosyntheseaktivitäten. Es lassen sich Unterschiede in den Tagesminima, -maxima und -mittelwerten erkennen. Anfang Juni, in Zusammenhang mit hohen Wassertempera-

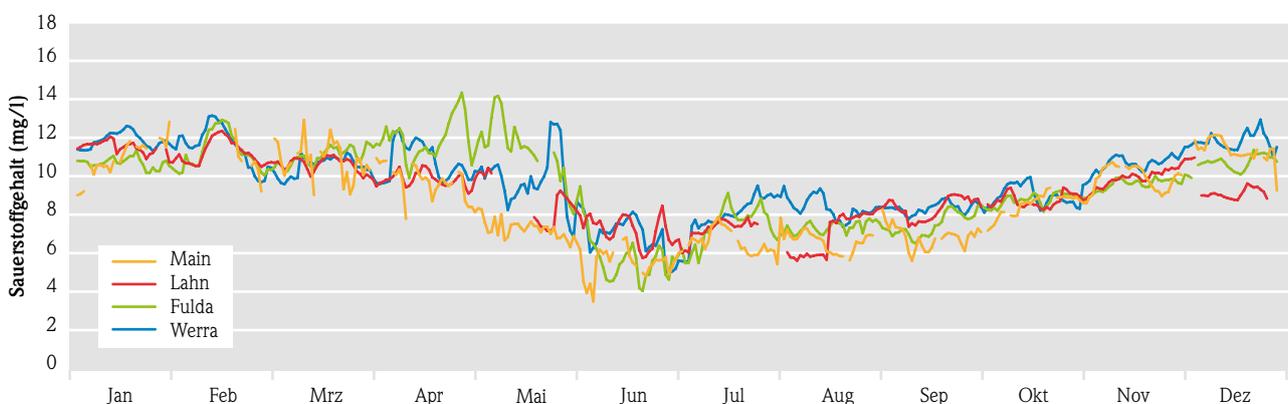


Abb. 48: Jahressganglinien der Tagesminima der Sauerstoffgehalte für das Jahr 2021 an den vier Messstationen Bischofsheim/Main, Oberbiel/Lahn, Wahnhausen/Fulda und Witzhausen/Werra

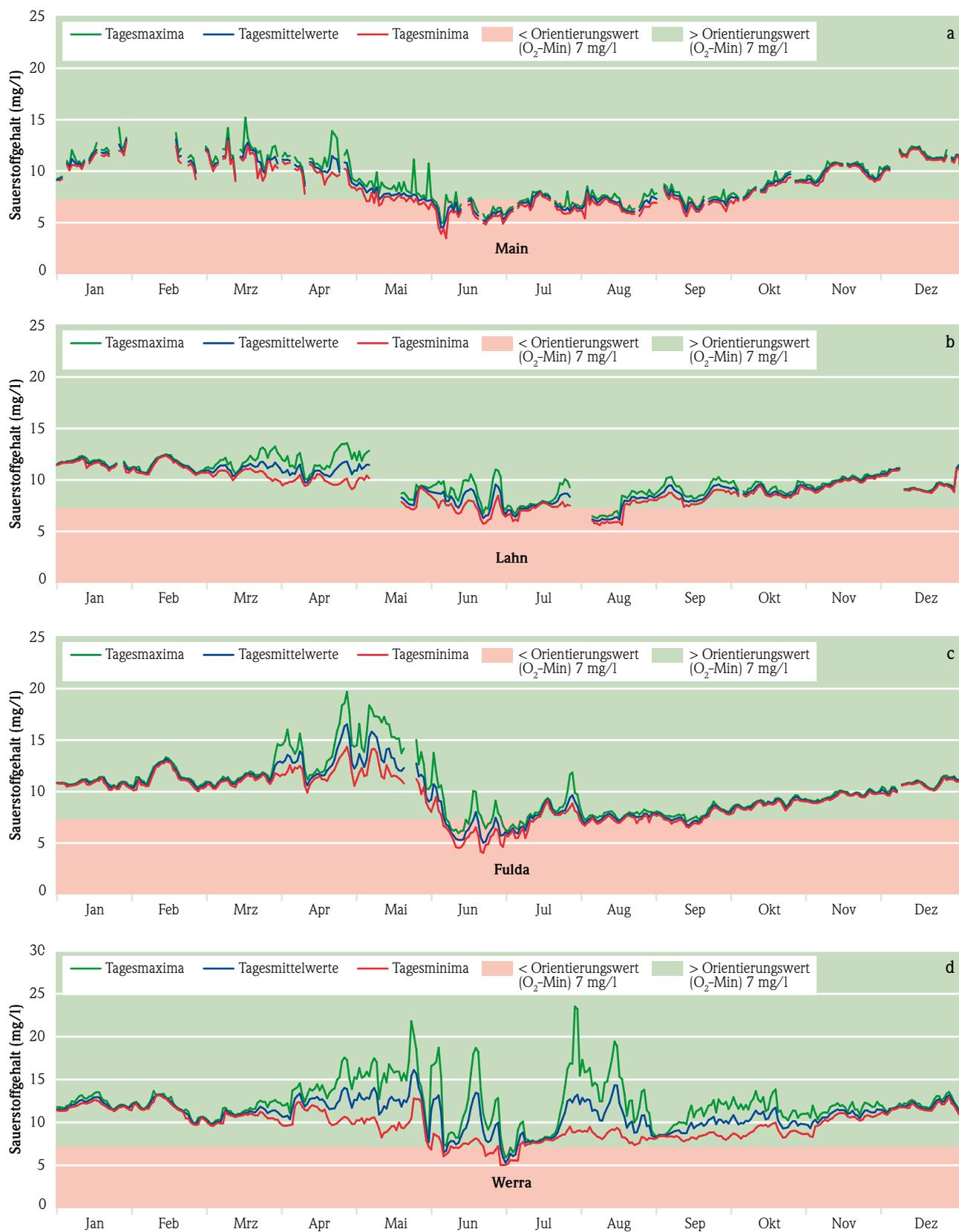


Abb. 49: Sauerstoffkonzentrationen als Tageswerte (Minima/Mittel/Maxima) an den vier Messstationen Bischofsheim/Main (a), Oberbiel/Lahn (b), Wahnhausen/Fulda (c) und Witzenhausen/Werra (d) mit Darstellung des Orientierungswertes (O₂-Min) von 7 mg/l

turen über 25 °C, kam es zum Sauerstoffeinbruch und einer Unterschreitung des Orientierungswertes von 7 mg/l. Ab dem 12.07.2021 erholte sich die Sauerstoffkonzentration, der Tagesmittelwert stieg erstmals wieder über 7 mg/l. Im weiteren Verlauf vom 17.08.2021 bis zum 24.08.2021 kam es erneut zur mehrtägigen Unterschreitung der kritischen Konzentration von 7 mg/l. Am 04.09.2021 deutete ein Anstieg des Sauerstoffgehaltes auf 8 mg/l auf eine erneute, spät im Jahr einsetzende, Algenblüte hin. Ende September/Anfang Oktober sank die Sauerstoffkonzentration zunächst ab, stieg daraufhin wieder stetig an und pendelte sich im Dezember bei 12 mg/l ein.

Eine erste Photosyntheseaktivität an der **Lahn** zeigte sich wie auch am Main Anfang März. Unterschiede in Tagesminima und Tagesmaxima der Sauerstoffgehalte lassen sich gut erkennen. Tagsüber stieg der Sauerstoffgehalt, wohingegen in der Nacht, durch den Abbau der Biomasse, Sauerstoff verbraucht wurde. Ende Mai sank die Sauerstoffkonzentration ab. Durch wärmere Wassertemperaturen sank die Löslichkeit des Gases. Zusätzlich wurden die Stoffwechselfvorgänge der Organismen und damit der Sauerstoffverbrauch bei einer Temperaturzunahme beschleunigt. Am 22.06.2021 fiel der Sauerstoffgehalt unter den Orientierungswert von 7 mg/l. Im Juli kam es zu einem leichten Anstieg und vom 06.08.2021 bis zum 16.08.2021 sank der Sauerstoffgehalt erneut unter den Orientierungswert. Ab September stieg der Sauerstoffgehalt wieder an, Tagesminimum, -maximum und -mittelwert lagen nahe beieinander, die Photosynthese kam zum Erliegen. Die Sauerstoffkonzentration lag Ende Dezember bei 8 mg/l.

In der **Fulda** setzte die Photosyntheseaktivität der Wasserpflanzen im Vergleich zu den anderen hier betrachteten Gewässern etwas zeitverzögert ein. Tagesschwankungen der Sauerstoffkonzentration zeigten sich erstmals Anfang April. Es folgten ausgeprägte Sauerstoffamplituden, die auf eine Algenblüte hinwiesen. Am 28.04.2021 wurden Tagesmaximalwerte von 20 mg/l Sauerstoff erreicht. Mit dem Unwetter Mitte Juni sank die Sauerstoffkonzentration auf 5 mg/l ab. Es sind deutliche Tagesschwankungen zu erkennen. Der Sauerstoffgehalt erholte sich nur langsam auf Werte über 7 mg/l. Nach einem steilen Anstieg des Sauerstoffs am 28.07.2021 auf 12 mg/l stabilisierte sich der Sauerstoffgehalt im letzten Quar-

tal langsam auf Werte über dem Orientierungswert von 7 mg/l.

Besonders ausgeprägte Tagesschwankungen ließen sich ab dem 16.03.2021 in der **Werra** beobachten. Eine geringe Strömungsgeschwindigkeit und unbeschattete Gewässerabschnitte begünstigten das Wachstum von Algen und Wasserpflanzen. Mit steigenden Wassertemperaturen produzierten die Pflanzen in Abhängigkeit von der Sonneneinstrahlung durch Photosynthese tagsüber Sauerstoff. Durch ideale Lebensbedingungen entstand sehr viel organisches Material, das von den Destruenten unter Sauerstoffverbrauch wieder abgebaut wurde. Es entstanden starke Schwankungen in Tagesminima- und Tagesmaximalwerten. Anfang Juni sank der Tagesmittelwert in Folge starker Photosyntheseaktivität mit hoher Biomasseproduktion und Sauerstoffübersättigung erstmals unter 7 mg/l. Am 01.07.2021 kam es erneut zu einem Sauerstoffdefizit. Tagesminima-, maxima und -mittelwert lagen ganztägig unterhalb des Orientierungswertes von 7 mg/l. Der Sauerstoffgehalt stieg kurz darauf wieder über 7 mg/l. Am 29.07.2021 erreichte der Tagesmaximalwert einen Sauerstoffgehalt von 23 mg/l. Die tageszeitlichen Schwankungen waren durch die starke Phytoplanktonentwicklung und die damit verbundene hohe Photosyntheseaktivität besonders stark ausgeprägt. Diese sind bis Ende Oktober deutlich zu erkennen. Ab November pendelten sich Tagesminima-, -maxima und -mittelwert bei 11 mg/l ein und die Unterschiede zwischen den Extremwerten waren ab Dezember nur noch gering ausgeprägt.

Die folgende Tabelle 6 zeigt absolute Sauerstoffminima und Temperaturmaxima der Sommer- und Wintermaximaltemperatur der vier Messstationen. Die absoluten Sauerstoffminima, gemessen in den Sommermonaten (01.04.–30.11.) sind auf die temperaturabhängige Löslichkeit des Sauerstoffs mit steigender Wassertemperatur sowie vermehrt sauerstoffzehrenden Abbauprozessen im Sommer, durch absterbende Wasserpflanzen und Algen, zurückzuführen. Die Sommermaximaltemperatur trat an allen Messstationen am 19.06.2021 auf. Die Wintermaximaltemperatur trat an allen Messstationen am 31.03.2021 auf. Die Wintermaximaltemperatur ist für den Zeitraum 01.12.–31.03. definiert. Eine Überschreitung der Maximaltemperatur Ende März trat durch bereits hohe Lufttemperaturen im Frühjahr auf.

Tab. 6: Absolute Sauerstoffminima und Temperaturmaxima

	O ₂ – Min mg/l	Datum	T - Max°C Sommer	Datum	T - Max°C Winter	Datum
Main	3,9	05.06.2021	26,2	19.06.2021	11,7	31.03.2021
Lahn	5,6	08.08.2021	25,1	19.06.2021	12,0	31.03.2021
Fulda	4,0	22.06.2021	25,5	19.06.2021	11,8	31.03.2021
Werra	5,0	29.06.2021	24,9	19.06.2021	12,3	31.03.2021

Ortho-Phosphat und Gesamt-Phosphat

Die folgenden Diagramme zeigen die Konzentrationsverläufe des gelösten Phosphats (Ortho-P) und des Gesamtphosphats (Gesamt-P) gemessen in wöchentlich genommenen Stichproben an den hier betrachteten Messstellen.

Zur Messung des Gesamtphosphorgehaltes sind Aufschlussverfahren notwendig, um alle gebundenen, gelösten und partikulären Phosphorverbindungen bei der Analyse zu erfassen. Das gelöste, freie Ion wird (Ortho-)Phosphat genannt. Im Oberflächengewässer beeinflusst Phosphor, insbesondere durch ein Überangebot an gelöstem pflanzenverfügbarem Ortho-Phosphat, das Pflanzenwachstum und führt bei übermäßigem Vorkommen zur Eutrophierung des Gewässers.

Anthropogene Einwirkungen durch häusliche Abwässer, Dünger etc. beeinflussen den Gesamtphosphorgehalt der Gewässer. Der Orientierungswert (nach OGewV 2016) liegt für Ortho-Phosphat für die Wasserkörper Main, Fulda, Lahn und Werra bei 0,07 mg/l und für Gesamtphosphor bei 0,1 mg/l. Die Orientierungswerte wurden an allen vier betrachteten Gewässern nahezu durchgehend überschritten. Zur kontinuierlichen Überwachung der Ortho-Phosphat-Konzentrationen wurden 2021 weitere Online-Analysegeräte zur Ausstattung aller ortsfesten Messstationen beschafft. Die Überwachung des aktuellen Zustands mit tageszeitlichen Schwankungen sowie ereignisbedingten Einträgen, gerade im Hinblick auf Extremwetter gewinnt an Bedeutung. Der direkte Einfluss auf die Gewässerökologie wird erfasst und dient der Entwicklung von Maßnahmen zur Verbesserung.

**Abb. 50:** Eutrophierung am Schwarzbach in Ginsheim, August 2021 © HLNUG

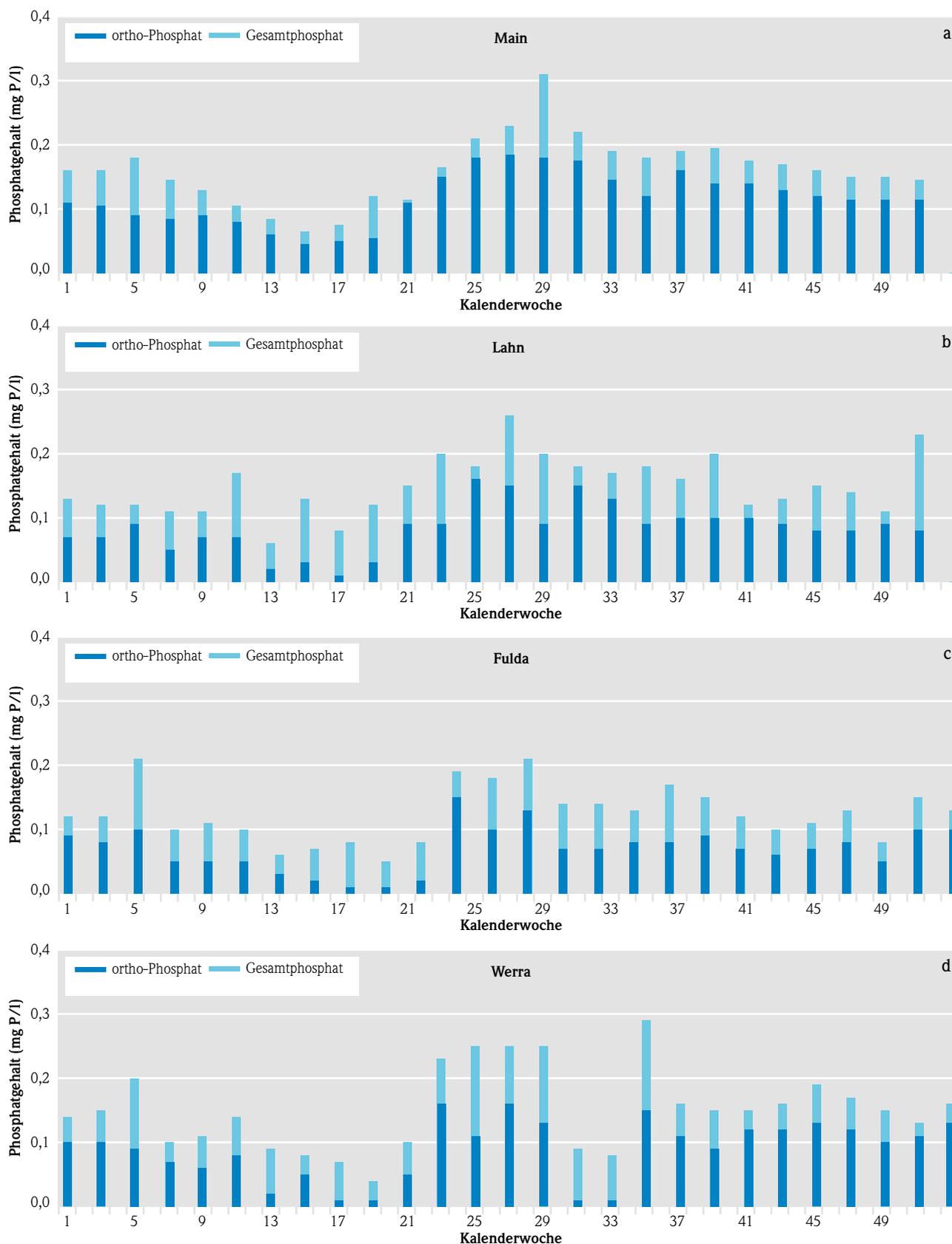


Abb. 51: Konzentration von gelöstem Phosphat (ortho-P) und Gesamtphosphat (Gesamt-P) in Zweiwochenmischproben 2021 an den Messstationen Bischofsheim/Main, Oberbiel/Lahn, Wahnhausen/Fulda und Witzenhausen/Werra

Abbildung 51 zeigt den Gehalt von gelöstem Phosphat (Ortho-P) und Gesamtphosphat (Gesamt-P) gemessen in den Zweiwochenmischproben der Messstationen. Der Phosphatgehalt im Main (a) zeigt einen gleichmäßig wellenförmigen Verlauf. Die Jahresganglinie des pflanzenverfügbaren, gelösten Anteils ist in den Sommermonaten höher. Phasen, in denen es zu einem starken Algenwachstum kommt, zeichnen sich, hervorgerufen durch die Zehrung des pflanzenverfügbaren Phosphates, durch sehr geringe Konzentrationen an Ortho-Phosphat aus. Somit lassen sich diese Zeiträume verstärkter Algenbildung (Algenblüten) im Allgemeinen in den absoluten Minima im Jahresverlauf des gelösten Phosphates erkennen. Besonders auffällig ist dies an Fulda (c) und Werra (d) zu beobachten. Die Ortho-Phosphatkonzentration liegt im Frühjahr, zu Beginn der Algenblüte unterhalb des Orientierungswertes von 0,07 mg/l, da Ortho-Phosphat in der Biomasse gebunden wird. Die Differenz zwischen Gesamtphosphor und dem gelösten Phosphatanteil entspricht dem an Partikel gebundenen oder in die Biomasse inkorporierten Phosphor.

Als dominierende Eintragsquelle von gelöstem Phosphor im Gewässer konnten anhand der hessischen Daten kommunale Kläranlagen identifiziert werden. Durch die Umsetzung des WRRL-Maßnahmenprogramms in Hessen 2015–2021 ergaben sich deutliche Reduktionen der Phosphor-Einträge kommunaler Kläranlagen. Die dargestellten Ergebnisse in Abbildung 53 zeigen die Entwicklung von ortho-Phosphat-P im Vergleich zu den Untersuchungszeiträumen 2007–2011 und 2016–2021. Der Anteil der regelmäßig untersuchten 358 Wasserkörper mit Einhaltung des Orientierungswertes Ortho-Phosphat-P ist gestiegen. Um die Orientierungswerte künftig einhalten zu können, besteht jedoch noch weiterer Handlungsbedarf.

Die elektrische Leitfähigkeit

Der Gesamtgehalt gelöster Salze in einem Gewässer wird über die elektrische Leitfähigkeit erfasst. In der Regel liegt die elektrische Leitfähigkeit eines Gewäs-

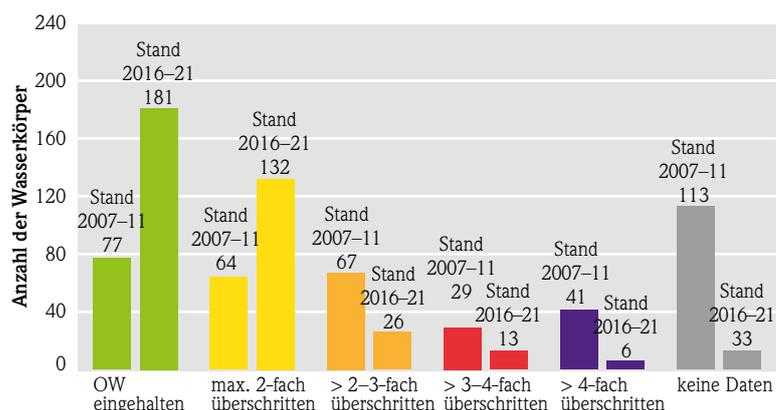


Abb. 52: Entwicklung der ortho-Phosphat-Konzentration in Oberflächengewässern vor und nach Umsetzung der Maßnahmen des Phosphorprogramms an kommunalen Kläranlagen (Vergleich der Betrachtungszeiträume 2007–2011 und 2016–2021)

sers unter 1 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ein Grenzwert existiert nur nach Trinkwasserverordnung und beträgt 2 790 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bei einer Wassertemperatur von 25 °C. Die im Fließgewässer festgestellte elektrische Leitfähigkeit steht unter dem Einfluss natürlicher, im Boden und Grundwasser enthaltener gelöster Stoffe. Durch anthropogene Einwirkungen (Düngung, Abwässer, Deponien, Streusalz etc.) kann sich die elektrische Leitfähigkeit erhöhen. Die elektrische Leitfähigkeit ist daher nur ein Indikator zur Überwachung der Gewässerqualität. Die Zusammensetzung der ins Wasser eingetretenen Stoffe muss dann chemisch analysiert werden. Hochwasser und Starkregenereignisse führen in der Regel zur Verdünnung und damit einem Abfall der elektrischen Leitfähigkeit, ausgedehnte Niedrigwasserphasen hingegen zu einer erhöhten elektrischen Leitfähigkeit. Für die Auswertung von Messdaten wird die elektrische Leitfähigkeit u. a. zur Bewertung der meteorologischen und hydrologischen Verhältnisse des zu untersuchenden Gewässers herangezogen.

Die **Werra** ist ein Sonderfall in der Betrachtung der Tagesmittelwerte der elektrischen Leitfähigkeiten. Einleitungen aus dem Salzbergbau führten zu ganzjährig höheren Werten. Auch der **Main** zeigte eine im Vergleich höhere elektrische Leitfähigkeit. Zahlreiche Einleitungen anliegender großer Industriebetriebe und kommunaler Kläranlagen führen zu einer Erhöhung. Der Februar, der allgemein sehr nass und durch Hochwasser geprägt war, zeigte eine Abnahme der elektrischen Leitfähigkeiten. Besonders deutlich trat dies an der Werra hervor. Im weiteren Jahresver-

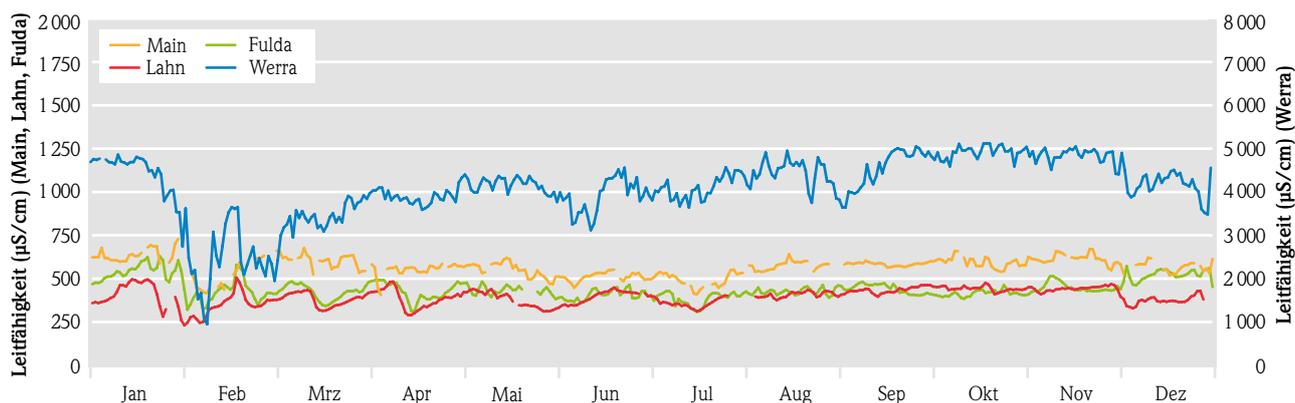


Abb. 53: Jahresganglinien der elektrischen Leitfähigkeit als Tagesmittelwerte an den vier Messstationen Bischofsheim/Main, Oberbiel/Lahn, Wahnhausen/Fulda und Witzenhausen/Werra für das Jahr 2021

lauf der Tagesmittelwerte waren nahezu gleichmäßige Verläufe auf ein gemäßigtes Niederschlagsverhältnis zurückzuführen.

Nachfolgend sind exemplarisch die Messergebnisse der Messstation Witzenhausen und Bischofsheim dargestellt. Es handelt sich um gemittelte Ergebnisse der Laboranalysen der Zweiwochenmischproben. Die Lücken in den Kalenderwochen sind auf eine pande-

miebedingte Umstellung der Probenahme von einem Wochenrhythmus auf einen Zweiwochenrhythmus zurückzuführen. Die Parameter Temperatur, gelöster Sauerstoff, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Gesamtstickstoff, Gesamt organischer Kohlenstoff (TOC), Ortho-Phosphat-Phosphor ($\text{oPO}_4\text{-P}$) und Gesamtphosphor werden standardmäßig an allen Messstation erfasst.

Tab. 7: Messergebnisse 2021 der Messstation Werra (Witzenhausen). Es handelt sich um gemittelte Werte, sofern nicht anders angegeben.

Periode	Abfluss Q*	Tempe- ratur	Gelöster Sauerstoff O ₂ min	pH-Wert	Elek- trische Leitfähig- keit	Gesamt- Stickstoff	Gesamt org Koh- lenstoff TOC	Ortho- Phosphat- Phosphor oPO ₄ -P	Gesamt- phosphor
Woche	(m ³ /s)	(°C)	(mg/l)		(µS/cm)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
1	23,5	4,1	11,4	8,0	4690	4,00	2,40	0,10	0,14
2	20,9	3,0	12,2	8,1	4713	4,20	4,30		
3	31,6	4,1	11,3	8,1	4533			0,10	0,15
4	70,4	4,0	11,4	8,0	3657	4,10	8,50		
5	135,9	4,8	11,5	8,0	2097			0,09	0,20
6	114,6	0,7	12,1	8,1	2406	5,00	5,30		
7	93,3	3,3	11,2	8,1	3031			0,07	0,10
8	91,1	6,8	9,7	8,0	2400	4,10	4,10		
9	65,7	6,4	9,6	8,0	2797			0,06	0,11
10	52,8	6,4	9,9	8,1	3373	4,10	2,70		
11	59,5	6,6	10,7	8,2	3304			0,08	0,14
12	45,7	7,8	10,5	8,3	3593	3,60	2,50		
13	37,8	10,7	9,6	8,4	3904			0,02	0,09
14	37,0	7,6	9,7	8,3	3957	3,20	2,20		
15	41,9	8,3	11,3	8,4	3803			0,05	0,08
16	35,7	10,7	9,7	8,6	3770	2,50	2,60		
17	29,4	12,1	9,8	9,0	4004			0,01	0,07
18	28,3	11,6	9,9	9,0	4177	2,50	3,00		
19	27,3	15,1	8,3	8,8	4256			0,01	0,04
20	34,0	15,0	9,1	8,8	4207	2,60	3,20		
21	35,6	14,2	7,9	8,6	4136			0,05	0,10
22	34,9	18,2	6,0	8,7	3900	2,80	4,40		
23	47,0	18,9	6,3	8,0	3411			0,16	0,23
24	32,4	21,8	7,5	8,6	3974	2,50	5,00		
25	29,4	21,0	6,1	8,3	4286			0,11	0,25
26	32,2	19,7	5,0	7,9	3984	2,80	6,50		
27	41,7	19,1	5,6	7,9	4014			0,16	0,25
28	49,1	18,7	7,6	7,9	3901	3,00	6,90		
29	32,0	19,5	7,9	8,2	4029			0,13	0,25
30	24,5	20,1	8,9	8,8	4434	2,60	3,30		
31	22,8	18,8	8,2	8,8	4359			0,01	0,09
32	20,5	19,4	8,1	8,7	4563	2,90	3,90		
33	17,9	18,5	7,4	8,6	4679			0,01	0,08
34	19,7	17,2	7,5	8,3	4334	3,40	5,50		
35	55,5	16,0	8,1	8,0	3916			0,15	0,29
36	26,0	17,7	7,8	8,2	4176	3,20	3,40		
37	21,3	17,6	8,0	8,4	4579			0,11	0,16
38	17,4	15,3	8,4	8,3	4919	3,30	2,90		
39	17,4	15,3	8,0	8,3	4894			0,09	0,15
40	18,6	13,7	8,1	8,2	4790	3,00	2,70		
41	19,8	11,1	9,5	8,2	4951			0,12	0,15
42	21,0	10,7	8,2	8,2	5024	3,10	3,10		
43	18,0	9,8	8,6	8,2	4914			0,12	0,16
44	20,5	9,9	8,3	8,2	4886	3,20	3,30		
45	22,7	8,1	10,2	8,2	4807			0,13	0,19
46	19,5	7,9	10,2	8,2	4936	3,40	2,30		
47	18,0	6,8	10,3	8,2	4860			0,12	0,17
48	35,7	5,5	10,9	8,1	4580	3,60	3,60		
49	35,2	4,5	11,6	8,1	4113			0,10	0,15
50	29,6	6,4	11,4	8,1	4294	3,70	3,10		
51	29,8	4,2	11,4	8,2	4303			0,11	0,13
52	47,5	4,4	11,0	8,1	3738	3,90	6,10		

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

Tab. 8: Messergebnisse 2021 der Messstation Main (Bischofsheim). Es handelt sich um gemittelte Werte, sofern nicht anders angegeben.

Periode	Abfluss Q*	Temperatur	Gelöster Sauerstoff O ₂ min	pH-Wert	Elektrische Leitfähigkeit	Gesamt- Stickstoff	Gesamt org. Koh- lenstoff TOC	Ortho- Phosphat- Phosphor oPO ₄ -P	Gesamt- phosphor
Woche	(m ³ /s)	(°C)	(mg/l)		(µS/cm)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
1	129,1	5,3	9,3	7,8	612	5,40	3,85	0,11	0,16
2	124,1	4,2	10,6	7,7	627	4,80	4,40		
3	198,3	4,3	11,4	7,8	677	4,90	4,10	0,11	0,16
4	481,4	4,4	11,3	7,9	653	5,10	9,25		
5	872,3	5,6	5,9	7,7	447			0,09	0,18
6	587,2	3,4	8,4	7,8	431	5,20	8,10		
7	354,1	3,1	9,9	7,8	516			0,09	0,15
8	285,1	6,2	9,7	7,9	621	5,45	3,85		
9	231,3	7,5	10,0	7,9	617			0,09	0,13
10	216,9	7,5	10,7	7,9	619	5,30	3,30		
11	250,9	7,6	10,3	8,0	599			0,08	0,11
12	193,4	8,4	8,7	8,1	622	4,85	3,15		
13	163,2	11,2	9,8	8,0	530			0,06	0,09
14	160,7	10,3	7,8	8,1	528	4,40	3,15		
15	147,0	10,3	8,9	7,9	557			0,05	0,07
16	132,1	12,3	9,5	8,1	567	4,40	3,15		
17	120,0	14,0	8,1	8,1	573			0,05	0,08
18	149,6	13,7	7,1	7,9	572	4,25	3,50		
19	163,9	15,4	6,7	7,7	586			0,06	0,12
20	212,0	15,9	7,1	7,7	546	4,00	3,90		
21	184,8	15,6	6,7	7,6	510			0,11	0,12
22	160,2	19,0	3,9	7,4	501	3,80	4,50		
23	232,6	21,0	4,6	7,5	499			0,15	0,17
24	127,4	24,3	5,3	7,6	540	4,10	4,75		
25	165,3	24,2	4,5	7,5	521			0,18	0,21
26	191,5	23,1	4,9	7,5	505	3,75	5,25		
27	306,9	22,0	6,2	7,7	506			0,19	0,23
28	419,6	20,5	6,2	7,7	436	4,75	10,00		
29	171,2	22,6	5,9	7,6	454			0,26	0,45
30	141,9	23,1	5,9	7,7	521	4,05	5,80		
31	161,8	21,9	5,6	7,8	541			0,18	0,22
32	117,5	22,0	6,9	7,8	571	4,15	4,20		
33	120,0	21,9	5,8	7,9	598			0,15	0,19
34	144,4	20,9	5,6	7,8	571	4,05	4,00		
35	167,6	19,8	6,8	7,9	576			0,12	0,18
36	115,3	21,2	5,6	7,8	592	3,90	4,25		
37	120,8	21,0	6,1	7,7	578			0,16	0,19
38	100,4	19,2	6,8	7,7	575	3,60	5,95		
39	139,7	18,4	6,1	7,8	594			0,14	0,20
40	139,0	16,7	7,1	7,8	615	4,05	4,50		
41	133,3	14,6	7,9	7,8	612			0,14	0,18
42	127,7	13,2	8,7	7,8	600	4,30	3,55		
43	110,9	12,1	8,8	7,9	589			0,13	0,17
44	143,7	11,5	8,6	7,9	611	4,40	3,60		
45	138,4	9,8	10,0	7,9	610			0,12	0,16
46	117,1	9,3	10,3	7,9	620	4,30	3,90		
47	112,3	8,4	9,0	7,9	614			0,12	0,15
48	196,7	6,8	10,0	7,9	566	4,45	3,85		
49	233,2	5,8	10,9	8,1	585			0,12	0,15
50	200,1	6,2	11,1	8,1	550	5,15	4,80		
51	171,3	5,5	10,9	7,9	574			0,12	0,15
52	390,5	5,9	10,8	7,9	550	5,50	7,15		

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

3.5 Untersuchungen zur Fauna und Flora der Fließgewässer

ELISABETH SCHLAG

Zielsetzung und Aufgabe

Am 22.12.2000 trat die Europäische Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL 2000/60/EG) [1] in Kraft. Kernziel der Richtlinie ist die Sicherung bzw. die Erreichung eines guten bis sehr guten ökologischen Zustands bzw. Potenzials der europäischen Gewässer. Zur Ermittlung des ökologischen Zustands/Potenzials 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 Defizite unterschiedlich gute Indikatoren. Untersucht werden Fische, Makrozoobenthos (Fischnährtiere), Makrophyten (Wasserpflanzen), benthische Diatomeen (am Boden wachsende Kieselalgen), restliches Phytobenthos (andere am Boden wachsende Algen) und Phytoplankton (frei im Wasser schwebende Algen) (Abb. 54 bis 57).

Beeinträchtigungen in der Durchwanderbarkeit und der Struktur der Gewässer sollen vor allem anhand des Fischbestandes erkannt werden. Das Makrozoobenthos zeigt u. a. ebenfalls die Qualität der Gewässerstruktur an. Seit langer Zeit ist diese Tiergruppe zudem als guter Indikator für den Grad der organischen Belastung bekannt. Makrophyten, Diatomeen, das restliche Phytobenthos und Phytoplankton sind be-

sonders geeignete Organismen, um die trophischen Belastungen, d. h. zu hohe Nährstoffkonzentrationen und die Gefahr einer Eutrophierung, anzuzeigen.

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

Anhand des vorgefundenen Tier- und Pflanzenbestands wird geprüft, wie stark dieser von dem eines vergleichbaren, von menschlichen Einflüssen (nahezu) unbelasteten Gewässers abweicht. Weiterhin berücksichtigt die WRRL die Variabilität der Gewässer und deren Lebensgemeinschaften. Deshalb wurde zunächst allen Gewässern ein entsprechender Gewässertyp zugeordnet (z. B. silikatischer grobmaterialreicher Mittelgebirgsbach oder silikatischer Mittelgebirgsfluss). 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 müssen Maßnahmen zur Verbesserung des ökologischen Zustands ergriffen werden.

Um den von der WRRL geforderten hinreichenden Grad an Zuverlässigkeit und Genauigkeit bei der Be-



Abb. 54: Fische: Nase *Chondrostoma nasus* © Korte, Institut für Gewässer- und Auenökologie (INGA), Riedstadt



Abb. 55: Makrozoobenthos: Köcherfliegenlarven *Brachycentrus subnubilus* © Banning, HLNUG



Abb. 56: Makrophyten: Sumpf-Teichfaden *Zannichellia palustris* © van de Weyer, Büro lanaplan, Nettetal

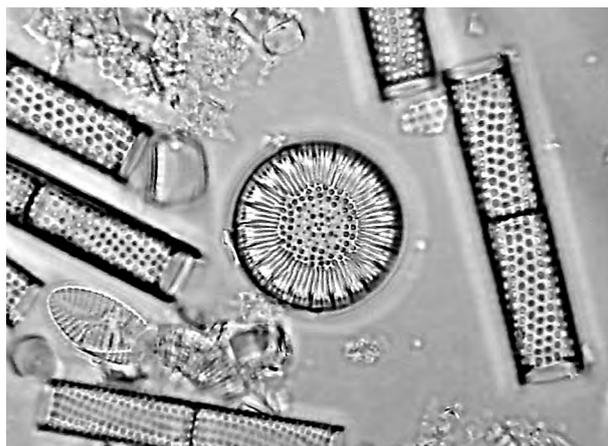


Abb. 57: Diatomeen: *Cyclotella radiosa* © Werum, Büro AGLHH, Frankfurt

wertung des Zustands zu erreichen und auch langfristige Veränderungen erkennen zu können, wird für die operative Überwachung anhand der biologischen Qualitätskomponenten ein Überwachungsintervall von jeweils 3 Jahren empfohlen.

Untersuchungen und Ergebnisse

Im Jahr 2021 erfolgte erstmalig seit Beginn des im Zuge der WRRL durchgeführten Fließgewässermonitorings eine zeitliche und räumliche Synchronisation der biologischen Untersuchungen mit denen der allgemeinen chemischen und physikalischen Parameter (ACP-Untersuchungen). Dieses Vorgehen soll eine bessere Ursachenforschung bezüglich der vorgefundenen ökologischen Zustandsklassen ermöglichen und ggf. eine breitere Datengrundlage im Hinblick auf weitere Fragestellungen im chemischen und stofflichen Bereich der Gewässeruntersuchungen liefern. Da die ACP-Untersuchungen aus Kapazitätsgründen in jedem Jahr nur etwa ein Drittel der insgesamt zu untersuchenden Gewässer umfassen können, werden nun auch die biologischen Komponenten entsprechend in diesem Drittel untersucht, so dass nach 3 Jahren alle betreffenden Gewässer einmal untersucht werden.

Entsprechend der o. g. Kriterien wurden in 2021 an 223 Probestellen (PS) verschiedene biologische Qualitätskomponenten seitens des HLNUG zur Untersuchung beauftragt (siehe Abb. 58):

Fische

An 212 Probestellen (PS) wurde der Fischbestand untersucht. Davon wurden an 13, sich meist in größeren Flüssen befindenden PS, zur Ermittlung der stofflichen Belastung der Fischfauna zusätzlich Fische zu Biota-/Gewebeuntersuchungen entnommen. Weiterhin fanden in 3 Fließgewässerabschnitten zusätzlich Befischungen zur Erhebung der FFH-Arten Bachneunauge, Bitterling und Steinbeißer statt. An 12 PS konnten keine Befischungen durchgeführt werden, weil die Gewässerabschnitte stark verkrautet waren und das hohe Wasserpflanzenaufkommen eine effektive Befischung verhinderte. In die folgende Auswertung gehen somit die restlichen 200 PS ein.

An 2 % (4 PS) wurde ein sehr guter und an 8 % (16 PS) ein guter ökologischer Zustand bezüglich der Fischfauna erreicht. 24 % (48 PS) wurden in die Zustandsklasse mäßig eingestuft. Der unbefriedigende Zustand wurde an 39 % (78 PS), der schlechte ökologische Zustand an 27 % (54 PS) vorgefunden (siehe Abb. 59).

Die FFH-Arten Bachneunauge, Bitterling und Steinbeißer wurden in den gleichen Bestandsdichten wie bei vorherigen FFH-Befischungen gefunden.

Die Ergebnisse der Biota-Untersuchungen liegen noch nicht vor.

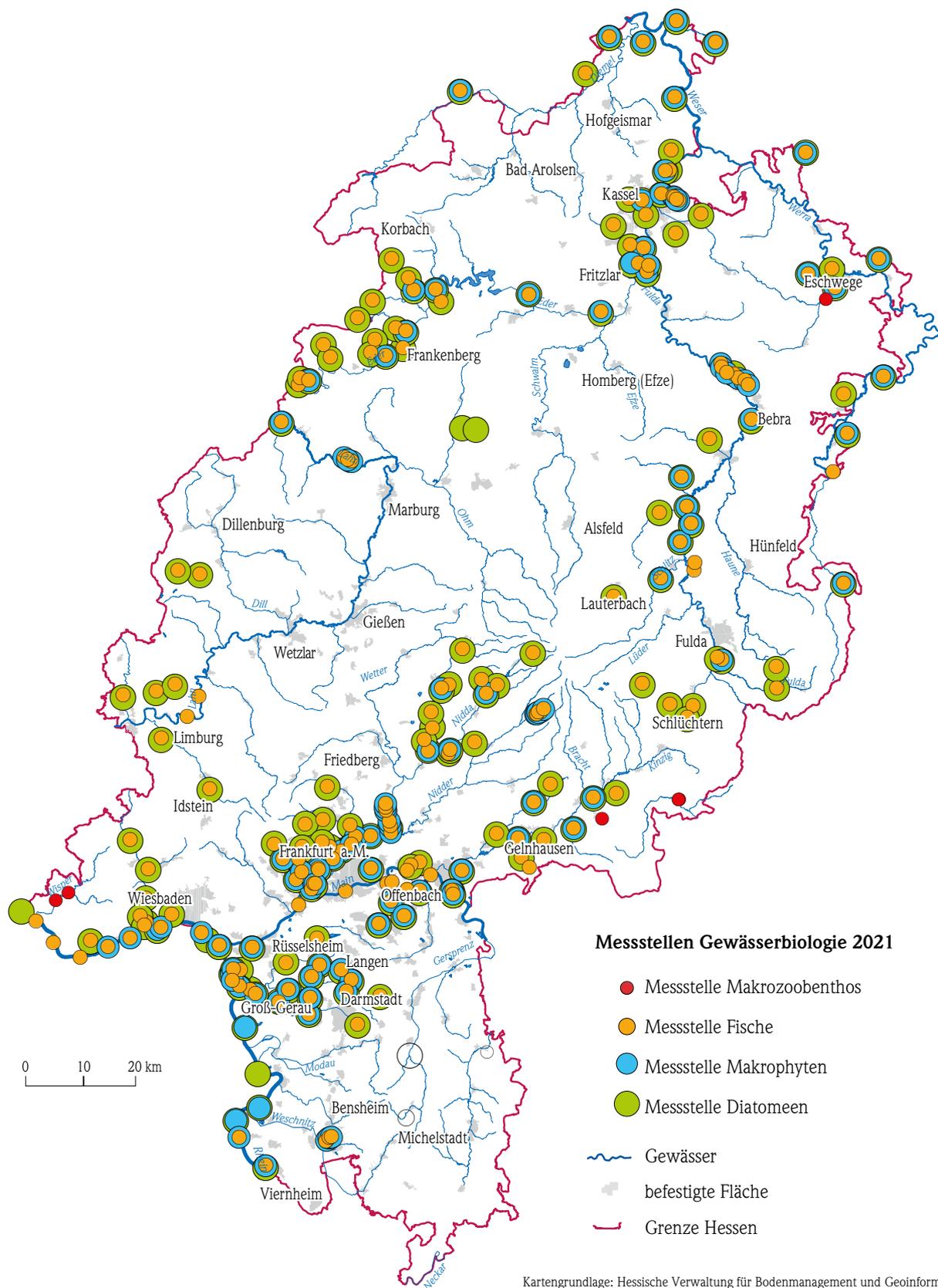


Abb. 58: Messstellen Gewässerbiologie 2021

Makrozoobenthos

Makrozoobenthos wurde, wie bereits seit 2016, an 6 PS im Rahmen des Kooperationsvorhabens KLIWA „Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft“ beprobt.

Bei dem Kooperationsvorhaben KLIWA wird von den Bundesländern Bayern, Baden-Württemberg Rheinland-Pfalz und Hessen ein gemeinsames Klima-Biomonitoring durchgeführt. Ziel des Klima-Biomonitorings ist die Abschätzung der Auswirkungen möglicher Klimaveränderungen auf die Fließgewässerfauna.

Die Ergebnisse liegen noch nicht vor.

Makrophyten

Eine Kartierung der Makrophyten wurde für 120 PS beauftragt. An 17 PS konnten keine Wasserpflanzen festgestellt werden. So waren z. B. an einigen Stellen des Rheins und des Mains keine Wasserpflanzen vorhanden. Von den verbleibenden 103 PS erreichten 1 % (1 PS) eine sehr gute ökologische Zustandsklasse. Eine gute Zustandsklasse wurde bei 32 % (33 PS) und eine mäßige Zustandsklasse wurde bei 34 % (35 PS) vorgefunden. 25 % (26 PS) wurden in die ökologische Zustandsklasse unbefriedigend und 8 % (8 PS) in die Zustandsklasse schlecht eingestuft (siehe Abb. 60).

Diatomeen

Es wurden an 173 PS Diatomeenproben entnommen. Aufgrund fehlender Kapazitäten von Fachbüros erfolgt die vollständige Auswertung der Proben bis Herbst 2022. Die Lage der Messstellen ist in Abbildung 58 dargestellt; die Ergebnisse finden dann Eingang in den Gewässerkundlichen Jahresbericht 2022.

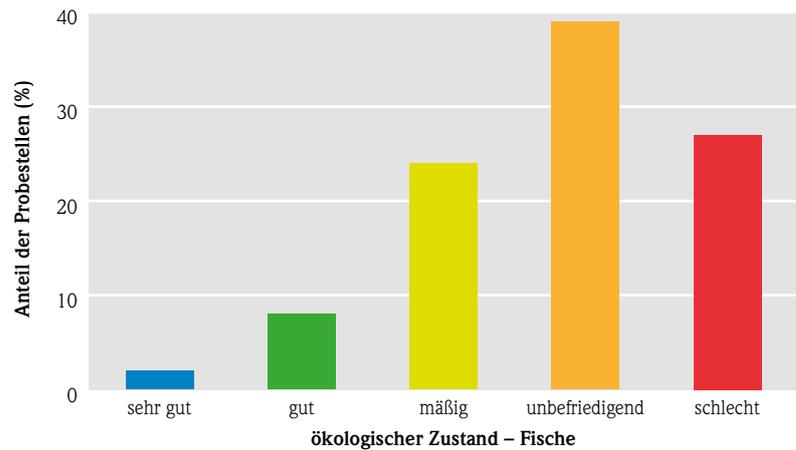


Abb. 59: Ergebnis der Fischbestandserhebung mit prozentuaem Anteil der PS in der erreichten ökologischen Zustandsklasse

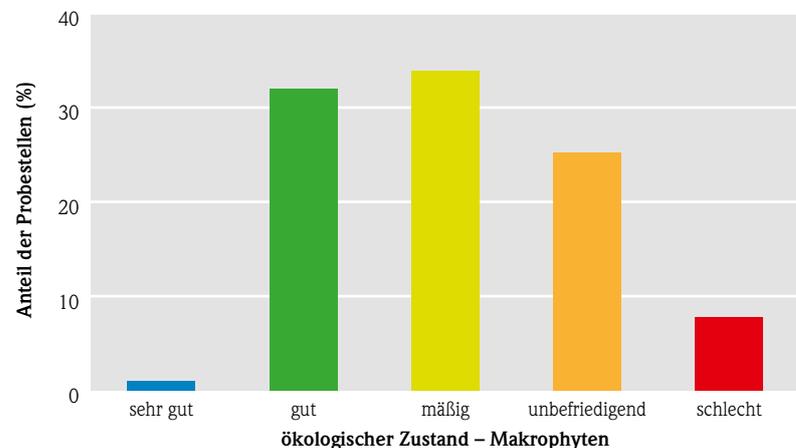


Abb. 60: Ergebnis der Makrophytenkartierung mit prozentuaem Anteil der PS in der erreichten ökologischen Zustandsklasse

Ausblick 2022

An ca. 190 PS werden Fischbestandserhebungen durchgeführt. Dabei sollen an 10 PS Fische für Biota-Untersuchungen entnommen und an 2 PS ein FFH-Monitoring durchgeführt werden.

Makrozoobenthos wird an ca. 285 PS erfasst.

An ca. 110 PS sollen Makrophyten kartiert werden.

Diatomeenproben werden an ca. 180 PS genommen. Die taxonomische Auswertung dieser 2022 genommenen Proben erfolgt dann in 2023.

Weitere Informationen

Informationen zur Biologie der Fließgewässer finden Sie unter <https://www.hlnug.de/themen/wasser/fliessgewaesser/fliessgewaesser-biologie>. 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 beauftragte Gutachten bzw. betreute wissenschaftliche Arbeiten zu speziellen Fragestellungen der Fließgewässerbiologie, sowie die seit 1970 erstellten Gewässergütekarten veröffentlicht.

Über den Stand der Umsetzung der WRRL informiert das Hessische Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUKLV) in Form des Bewirtschaftungsplans 2021–2027 [3] und des Maßnahmenprogramms 2021–2027 [4].

3.6 Gewässerstruktur

JOACHIM WEDEL, ANN KATRIN THOMAS & HEIKO TRIER

Allgemeines

Die Gewässerstrukturkartierung eigendynamischer Veränderungen oder umgesetzter Maßnahmen (Renaturierungen) an Fließgewässern erfolgte in der vegetationsarmen Periode der Zeit Januar bis Mitte Mai 2021 sowie im November und Dezember 2021. Die Planung der Kartierungen erfolgte durch Auswertung der FIS Mapro-Datenbank (Fachinformationssystem Maßnahmenprogramm zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie) sowie durch Anfragen und Meldungen der Regierungspräsidien, Unteren Wasserbehörden und hessischen Wasserverbänden. Die Gewässerstrukturkartierung in Hessen hält sich an die aktuelle LAWA-Verfahrensempfehlung für Oberirdische Gewässer (Stand 2019).

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 <https://www.gewaesser-bewertung.de> (Stand 04.05.2022)
- 3 HMUKLV – Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2015): Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in Hessen – Bewirtschaftungsplan Hessen 2021–2027. [<https://flussgebiete.hessen.de/information/bewirtschaftungsplan-2021-2027/>; Stand: 04.05.2022].
- 4 HMUKLV – Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2015): Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in Hessen – Maßnahmenprogramm 2021–2027. [<https://flussgebiete.hessen.de/information/massnahmenprogramm-2021-2027/>; Stand: 04.05.2022].

Hintergrund der Nachkartierung ist die Dokumentation umgesetzter Strukturmaßnahmen zur Verbesserung der morphologischen Gewässerstrukturen sowie die Erfassung der erzielten morphologischen Gewässeraufwertungen. Ziel ist es, auf etwa einem Drittel der Gewässerstrecken gute Gewässerstrukturen (Strukturklassen 1–3) zu erreichen. Es wird davon ausgegangen, dass ab etwa 35 % guter Gewässerstrukturen (die über die Gewässerverläufe verteilt sein sollten) in Verbindung mit einer intakten, linearen Durchgängigkeit innerhalb des Wasserkörpers, die morphologischen Voraussetzungen zur Erreichung des guten ökologischen Zustands bzw. Potenzials (Zielerreichung im Sinne der Wasserrahmenrichtlinie) dieses Wasserkörpers erfüllt sind.

Aufgrund von Renaturierungsmaßnahmen oder Eigendynamik hat sich die Gewässerstruktur an den nachkartierten Gewässerabschnitten um ein



Abb. 61: Die renaturierte Nidda südlich von Karben (Wetteraukreis) © HLNUG, Herr Wedel



Abb. 62: Vom Biber aufgestauter Merkenfritzerbach (Wetteraukreis) © HLNUG, Herr Wedel



Abb. 63: Naturnaher Wiesbach im Hochtaunuskreis bei Wehrheim © HLNUG, Herr Wedel



Abb. 64: Längsbänke an der Lahn im Lahntal bei Caldern (Landkreis Marburg-Biedenkopf) © HLNUG, Frau Thomas



Abb. 65: Die Allna bei Argenstein (Landkreis Marburg-Biedenkopf) © HLNUG, Herr Wedel



Abb. 66: Galerie aus Prallbäumen mit entstandenen Baumbuchten an der Nüst bei Rimmels (Nüsstal) nördlich Hofbieber (Landkreis Fulda) © HLNUG, Frau Thomas



Abb. 67: Inselbänke in der Efze bei Hebel (Wabern, Schwalm-Eder-Kreis) © HLNUG, Frau Thomas

bis zwei Stufen verbessert. Die Planungsziele der Auftraggeber wurden daher weitestgehend erreicht. Die Kartierung erfolgt zwei bis drei Jahre nach der Umsetzung der Maßnahmen, damit die positiven Veränderungen sichtbar werden. Sobald die Daten im WRRL-Viewer zur Verfügung stehen, können die Ergebnisse der Kartierungen vor der Renaturierung und nach der Maßnahme verglichen werden. Auch die sechs Hauptparameter (Laufentwicklung, Längsprofil, Sohlstruktur, Querprofil, Uferstruktur und Gewässerumfeld) können einzeln im Viewer aufgerufen werden.

In Rücksprache mit den Regierungspräsidien wurden ausgewählte Fließgewässer im Rahmen des Praxistests „Erfolgskontrollen“ kartiert. Dazu gehören die Fulda bei Rotenburg an der Fulda, die Nieste bei Niestetal, die Lahn bei Caldern, der Merkenfritzerbach südlich Gedern, die Nidda bei Gronau (Bad Vilbel) sowie der Meerbach bei Heppenheim. An diesen Gewässerabschnitten wurden neben den Gewässerstrukturen auch biologische Qualitätskomponenten untersucht und im Laufe des Jahres 2022 im Zuge einer von der Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung Gelnhausen und HLNUG betreuten Masterarbeit ausgewertet. Weitere Infos finden Sie auf unserer Webseite (<https://www.hlnug.de/?id=9228>).

Regierungsbezirk Darmstadt (Süd Hessen)

Schwerpunkt der Kartierung waren renaturierte Bereiche der Nidda bei Ilbenstadt, Karben (Abbildung 61) und Gronau in der Wetterau sowie Bereiche der Nidder bei Niederdorffelden und Ortenberg, der See-



Abb. 68: Aufweitung mit Inselbank an der Fulda bei Rotenburg (Landkreis Hersfeld-Rotenburg) © HLNUG, Frau Thomas

menbach bei Düdelsheim und Büdingen, die Kinzig in Gelnhausen, im Mündungsbereich der Orb in die Kinzig bei Biebergmünd, der Merkenfritzerbach (Abbildung 62) zwischen Merkenfritz (Hirzenhain) und Gedern, der Krebsbach bei Hanau, der Braubach in Maintal-Dörnigheim, der Steinebach in Eschborn-Steinbach, die Rodau bei Rollwald, der Wiesbach (Abbildung 63) und Silberbach im Hochtaunuskreis, der Urselbach in Oberursel und der Meerbach bei Heppenheim (Bergstraße).

Regierungsbezirk Gießen (Mittelhessen)

Im Landkreis Marburg-Biedenkopf wurden Gewässerabschnitte der Lahn (Abbildung 64), Allna (Abbildung 65), Rosphe und am Cyriaxweimarer Bach kartiert.

Regierungsbezirk Kassel (Nordhessen)

Kartiert wurden Gewässerabschnitte der Eder zwischen Wabern und Affoldern (Edertal), die Eder in Frankenberg sowie bei Schmittlotheim, der Grunnelbach bei Kassel-Oberzwehren, die Bauna in Baunatal, die Eitra bei Oberhaun, die Elbe bei Ippinghausen, die Nüst bei Rimmels (Nüsttal) (Abbildung 66), der Geilebach bei Kassel-Harleshausen, die Schwalm bei Gombeth, die Efze bei Hebel (Abbildung 67), die Alborn bei Willersdorf, die Gilsa bei Jesberg, die Nieste bei Niestetal, die Fulda (Abbildung 68) bei Rotenburg an der Fulda sowie der Walkegraben bei Frankenberg.

3.7 Seen - Trophische Untersuchungen

MICHAEL HÄCKL, ANN KATRIN THOMAS

Seenmessprogramm, Zielsetzung und Aufgabe

In Hessen gibt es über 700 Seen und Talsperren, die größer als ein Hektar sind, davon mehr als 80 mit einer Fläche von mehr als zehn Hektar. Die Seen sind überwiegend nicht natürlichen Ursprungs, die meisten entstanden durch Abgrabungen von Kies (Baggerseen) oder durch den Abbau von Braunkohle (Tageauseen). Des Weiteren wurden Fließgewässer aus wasserwirtschaftlichen Gründen zu Talsperren oder Weihern aufgestaut oder sie wurden begradigt, wobei seenähnliche Altwässer (Altarme) entstanden sind (Abb. 69). 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.

Die Untersuchungen hinsichtlich der Trophie ergeben eine Aussage zum Umfang und Umsatz durch Photosynthese entstandener Biomasse in einem Stehgewässer. Hierzu wird zwischen neun Trophieklassen von oligotroph (nährstoffarm, mit großer Artenvielfalt) bis hin zu hypertroph (übermäßig hoher Nährstoffgehalt, artenarm) unterschieden (Tab. 10).

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

Für die Trophieklassifikation von Seen nach den Vorgaben der LAWA werden vom HLNUG ca. 125 Seen in unterschiedlichen Abständen regelmäßig untersucht (Abb. 69). Der Turnus wird je nach Bedeutung des Sees und weiterer Aspekte auf jährlich oder alle drei, vier, sechs oder zwölf Jahre festgelegt.

Für die 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, mit denen Krankheitserreger einhergehen 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 Massenvermehrung der Cyanobakterien („Blualgenblüte“) einschätzen.

Seen mit einer Fläche, die größer als 50 Hektar ist, müssen zusätzlich den Qualitätsansprüchen der WRRL entsprechen. Deren Ziel ist, langfristig in Europa einen einheitlichen Standard der Bewertung der oberirdischen Gewässer und mit einem Gewässergütemanagement ein gemeinsames Güteziel zu erreichen. Das Güteziel ist der gute Zustand bzw. bei den nicht natürlichen Gewässern (wie in Hessen fast alle Seen) ein gutes ökologisches Potenzial. Dieses wird für die hessischen WRRL-Seen mit der biologischen Qualitätskomponente des Phytoplanktons ermittelt.

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 dieses meist der das Algenwachstum begrenzende Nährstoff ist. Gemäß der Kenngrößen des Phytoplanktons (Chlorophyllgehalt und Sichttiefe) sowie des Gesamt-Phosphorgehaltes wird der See nach seiner Trophie klassifiziert [1]. Weitere aus den Wasserproben ermittelte physikalische, chemische und biologische Daten dienen als zusätzliche Hilfsgrößen zur Gesamtbeurteilung der Belastungssituation. 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 (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser) -Handbuch zur Trophieklassifikation von Seen behandelt die Seen differenziert je nach Seegruppe.

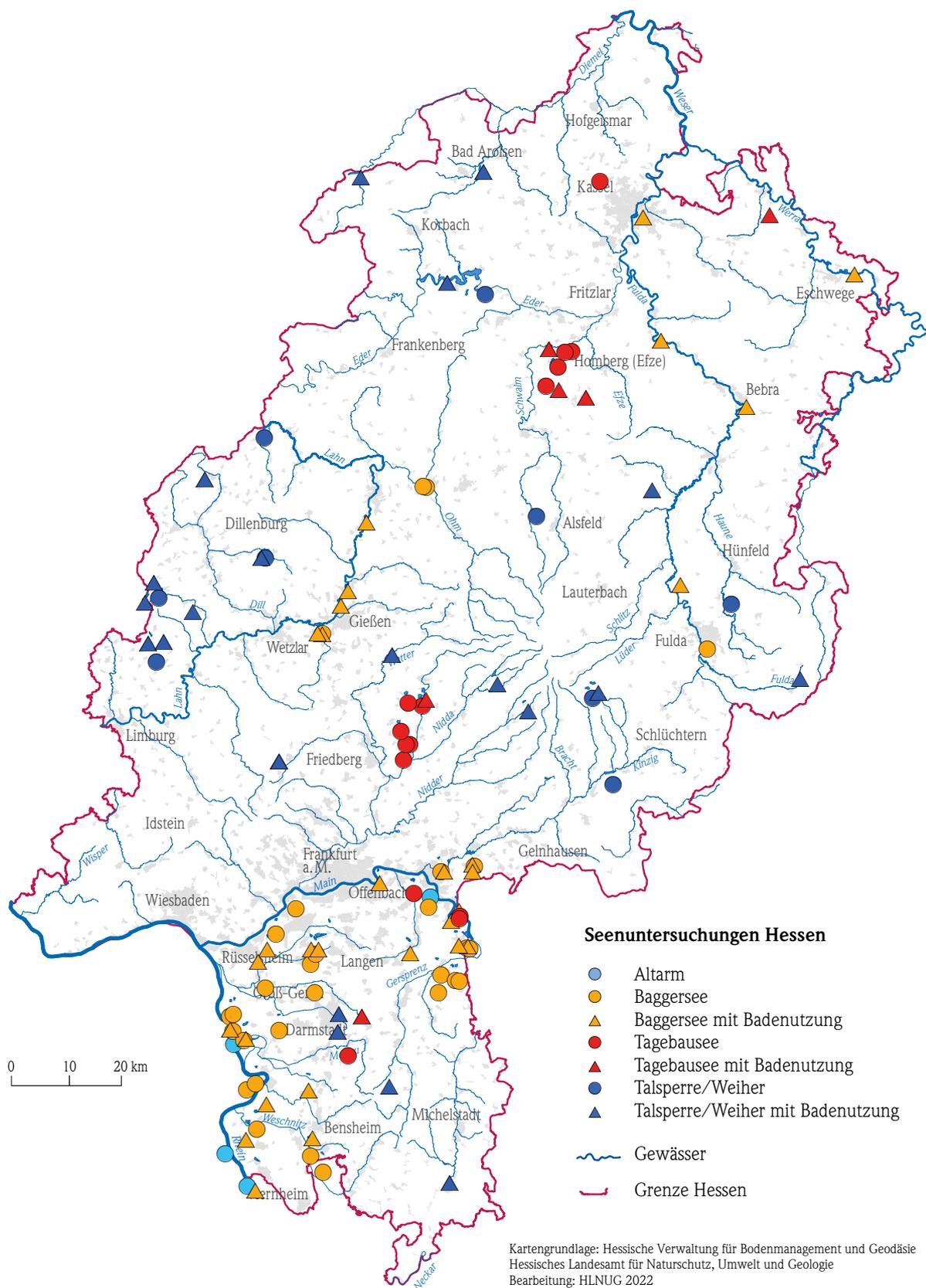


Abb. 69: Messstellen zur Überwachung der Wasserqualität der Seen

In Hessen wurden die zu untersuchenden Seen folgenden Seegruppen zugeteilt:

Tab. 9: Gruppierung hessischer Seen nach LAWA

Seengruppe	Kurzbezeichnung	Anzahl
geschichtete Alpenvorland- und Alpen-/Mittelgebirgs-Seen (ohne Talsperren, > 5 Hektar)	AVAMgesch	5
geschichtete Talsperren (nur Talsperren, > 5 Hektar)	geschTS	5
geschichtete Tieflandseen (ohne Talsperren, > 5 Hektar)	TLgesch	46
geschichtete Kleinseen (ohne Talsperren, ≤ 5 Hektar)	geschklein	7
polymiktische (ungeschichtete) Seen mit mittlerer Tiefe > 3 m	polygr3m	17
polymiktische (ungeschichtete) Seen mit mittlerer Tiefe ≤ 3 m	polykl3m	43

Die aktuelle LAWA-Klassifizierung wurde für die Jahre 2010 bis 2021 angewendet und führte für die hessischen Seen zu folgenden Ergebnissen (jeweils letztes Ergebnis und nur eine Messstelle pro See):

Tab. 10: LAWA-Klassifizierung hessischer Seen

LAWA-Klassifizierung	Trophie-Index	Anzahl
oligotroph	≤ 1,50	19
mesotroph 1	1,51–2,00	19
mesotroph 2	2,01–2,50	25
eutroph 1	2,51–3,00	20
eutroph 2	3,01–3,50	20
polytroph 1	3,51–4,00	15
polytroph 2	4,01–4,50	3
hypertroph	> 4,50	2

Zu berücksichtigen ist hierbei, dass es sich um eine Klassifizierung und nicht um eine Bewertung hinsichtlich des erreichbaren Seezustandes handelt. In Hessen können einige Seen 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. In der nachfolgenden Tabelle sind die Trophie-Ergebnisse des Jahres 2021 dargestellt (siehe auch Abbildungen 70 und 71).

Insgesamt konnte 2021, ebenso wie schon 2020 eine erfreuliche Entwicklung der Trophie-Klassifizierung festgestellt werden. Neben vier oligotrophen Seen wurden sechs Messstellen mit mesotroph 2, acht Messstellen mit eutroph 1 sowie fünf Seen mit eutroph 2 ausgewiesen. Daneben erhielt die Antriftalsperre, wie bereits im Untersuchungsjahr 2018, die Einstufung polytroph 1.

An neun Messstellen ergaben sich Verschlechterungen, wobei dies an fünf Messstellen (davon 4 Badeseen) dazu führte, dass die Trophieklasse im Gegensatz zur vorherigen Untersuchung herabgestuft wurde. Dazu zählt z. B. der Fuldaseitensee bei Bebra, der 2018 mit mesotroph 2 und drei Jahre später bei den Untersuchungen 2021 mit eutroph 1 klassifiziert wurde.

An zwölf weiteren Messstellen, davon acht Badeseen, konnten leichte bis stärkere Trophie-Verbesserungen festgestellt werden. Am deutlichsten waren die Verbesserungen im Dutenhofener See, im Gederener See, im Langener Waldsee und im Sickenhofener See/Hardtsee mit Index-Änderungen von > 0,4, die dann auch eine Verbesserung um eine Trophieklasse ergaben. Welche Ursache diese insgesamt positive Entwicklung hat, ist meist unklar und individuell unterschiedlich. Gründe können Sanierungsbemühungen, günstige klimatische Bedingungen oder auch das Ausbleiben von Starkregenereignissen sein.

Des Weiteren rutschten auch der Badeseesee Lampertheim, die Edertalsperre an der Messstelle Waldecker Bucht, die Kinzigtalsperre, die Perftalsperre sowie die Ulmbachtalsperre in die nächstbessere Trophieklasse. Der 2021 erstmalig untersuchte Steinbruchsee Nieder-Ramstadt bekam die Einstufung oligotroph.

Tab. 11: Messwerte und Trophie-Klassifizierung 2021

See, Messstelle	Gemeinde	See Typ nach LAWA	MW Chlo- rophyll (µg/l)	Sicht- tiefe- Saison- Mw (m)	MW P _{ges} (mg/l)	MW P _{ges} - Zirkul. (Früh- jahr) (mg/l)	Ges- Trophie- Index	Trophie- klasse	Trophie Index Zuvor
Affoldener Talsperre	Edertal	ungeschicht. See Ø < 3 m Tiefe	13,0	2,1	0,037	0,042	2,68	eutroph_1	3,00
Antriftalsperre	Antriftal	ungeschicht. See Ø > 3 m Tiefe	43,7	0,9	0,094	0,130	3,79	polytroph_1	3,74
Badesee Lampertheim	Lampertheim	geschichteter Kleinsee	2,0	5,4	0,019	0,005	1,32	oligotroph	1,52
Badesee Niedernhausen	Fischbachtal	ungeschicht. See Ø < 3 m Tiefe	20,5	1,9	0,061	0,062	3,06	eutroph_2	2,67
Bärensee	Hanau	ungeschicht. See Ø < 3 m Tiefe	6,3	2,5	0,016	0,021	2,07	mesotroph_2	2,34
Dutenhofener See	Wetzlar	Tieflandsee geschichtet	9,6	2,0	0,025	0,030	2,46	mesotroph_2	3,12
Edertalsperre, Waldecker Bucht	Edertal	geschichtete Talsperre	10,0	3,6	0,024	0,032	2,39	mesotroph_2	2,77
Edertalsperre, Banfebucht	Vöhl	geschichtete Talsperre	18,4	1,6	0,025	0,030	2,81	eutroph_1	2,41
Fuldasee Beiseförth	Malsfeld	ungeschicht. See Ø < 3 m Tiefe	31,4	1,6	0,040	0,059	3,13	eutroph_2	3,13
Fuldaseitensee bei Bebra	Bebra	ungeschicht. See Ø > 3 m Tiefe	13,5	2,2	0,046	0,024	2,64	eutroph_1	2,43
Gederner See	Gedern	ungeschicht. See Ø < 3 m Tiefe	12,1	1,4	0,036	0,040	2,76	eutroph_1	3,21
Grosser Woog	Darmstadt	ungeschicht. See Ø < 3 m Tiefe	14,4	1,3	0,029	0,029	2,75	eutroph_1	2,75
Heisterberger Weiher	Driedorf	ungeschicht. See Ø < 3 m Tiefe	13,5	1,3	0,026	0,032	2,70	eutroph_1	2,48
Kinzigtalsperre	Bad Soden- Salmünster	ungeschicht. See Ø < 3 m Tiefe	37,8	1,0	0,077	0,050	3,48	eutroph_2	3,53
Krombachtalsperre	Driedorf	ungeschicht. See Ø > 3 m Tiefe	10,1	2,5	0,028	0,034	2,48	mesotroph_2	2,22
Langener Waldsee	Langen (Hessen)	Tieflandsee geschichtet	1,4	3,0	0,007	0,005	0,74	oligotroph	2,15
Niddatalsperre	Schotten	geschichtete Talsperre	13,2	1,4	0,028	0,050	2,89	eutroph_1	2,95
Perftalsperre	Biedenkopf	ungeschicht. See Ø < 3 m Tiefe	4,3	2,7	0,036	0,037	2,22	mesotroph_2	2,62
Schmitt'sche Grube	Frankfurt am Main	Tieflandsee geschichtet	8,0	3,8	0,035	0,028	2,25	mesotroph_2	2,14
Seeweiher Waldernbach	Mengerskirchen	ungeschicht. See Ø < 3 m Tiefe	18,7	1,3	0,060	0,075	3,16	eutroph_2	2,97
Sickenhofener See/ Hardtsee	Babenhausen	Tieflandsee geschichtet	5,2	2,3	0,012	0,005	1,40	oligotroph	1,84
Steinbruchsee Nieder- Ramstadt	Nieder- Ramstadt	geschichteter Kleinsee	2,9	6,4	0,017	0,005	1,35	oligotroph	-
Steinheimer Bogen	Hanau	ungeschicht. See Ø < 3 m Tiefe	23,9	1,5	0,129	0,099	3,44	eutroph_2	3,36
Ulmbachtalsperre	Greifenstein	geschichtete Talsperre	12,5	1,6	0,047	0,036	2,89	eutroph_1	3,24



Abb. 70: Badesee Lampertheim 2021 – oligotroph © HLNUG



Abb. 71: Fuldaseitensee bei Bebra 2021 – eutroph 1 © HLNUG

Literatur

- [1] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) (2014): Trophieklassifikation von Seen – Richtlinie zur Ermittlung des Trophie-Index nach

LAWA für natürliche Seen, Baggerseen, Talsperren und Speicherseen, Kiel.

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. Bei Grundwasserstockwerksbau erfolgt die Grundwasserneubildung in den tieferen Stockwerken nicht direkt aus dem Niederschlag, sondern durch Leckage aus dem jeweils überlagernden Stockwerk. In Hessen wie auch in weiten Teilen Mitteleuropas 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 das Trinkwasser nahezu vollständig aus dem Grundwasser gewonnen. Neben der Beobachtung der Grundwasserspiegel ist die Kenntnis der regional unterschiedlichen Grundwasserneubildung entscheidend für die Beurteilung des mengenmäßigen Grundwasserzustands.

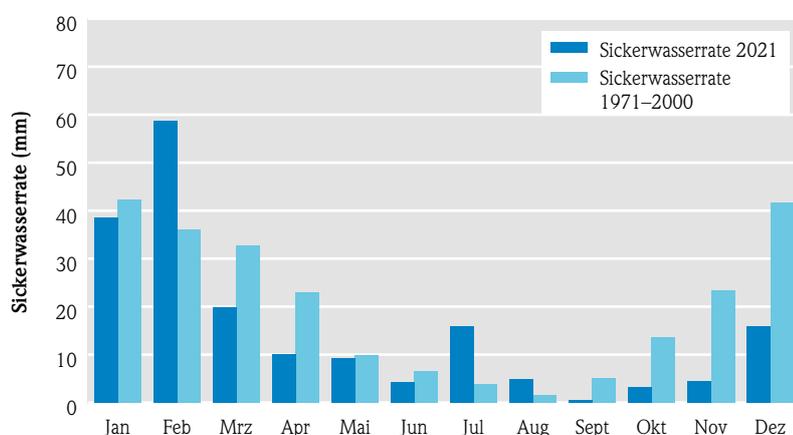


Abb. 72: Monatliche Sickerwasserraten in Hessen

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 Karte (Abbildung 74) zeigt eine Übersichtsdarstellung der modellierten Grundwasserneubildung aus Niederschlag für das Jahr 2021. Die flächenhafte Verteilung der Grundwasserneubildung folgt in etwa dem Niederschlag, wobei in Gebieten mit hohen Direktabflussanteilen, geringen Speichereigenschaften (z. B. Rheinisches Schiefergebirge) und hohen Verdunstungsraten (z. B. Rhein-Main Gebiet und Wetterau) die Grundwasserneubildung aus Niederschlag geringer ausfällt.

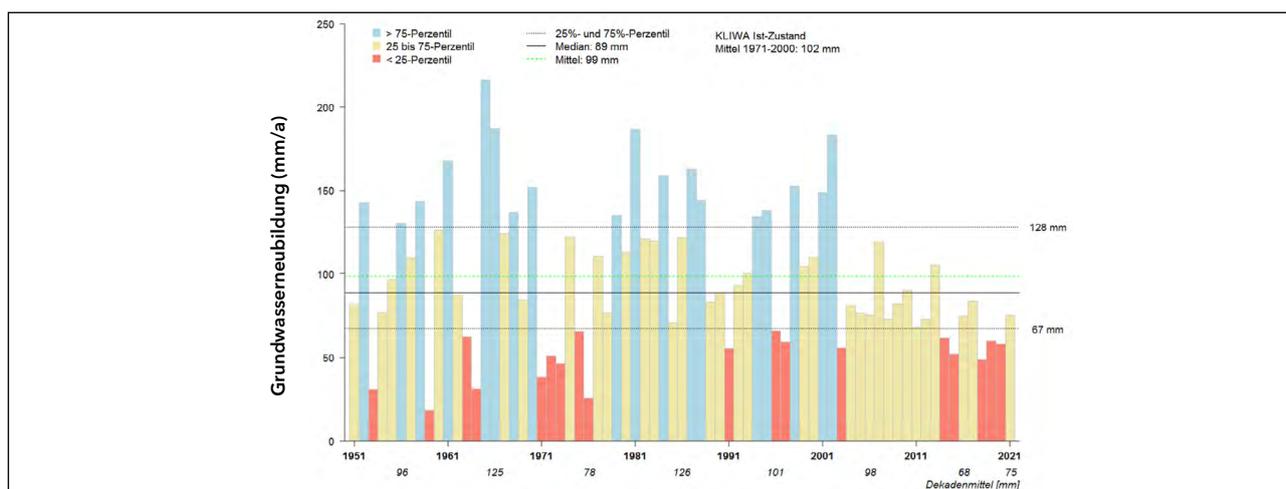


Abb. 73: Langjährige Entwicklung der Grundwasserneubildung in Hessen © HLNUG

Das Flächenmittel der Grundwasserneubildung betrug für das Jahr 2021 für Hessen 75 mm und lag mit 26 % deutlich unter dem langjährigen Mittelwert der Referenzperiode 1971–2000. Die unterdurchschnittliche Grundwasserneubildung im Jahr 2021 ist auf die unterdurchschnittlichen Niederschläge in den neubildungsrelevanten Monaten, die hohen Verdunstungsraten und der daraus resultierenden niedrigen Sickerwasserrate zurückzuführen. Die Sickerwasserrate aus dem Boden ergibt sich aus der Differenz von Niederschlag abzüglich Verdunstung und Oberflächenabfluss. Das Sickerwasser bewegt sich der Schwerkraft folgend nach unten zur Grundwasseroberfläche und trägt maßgeblich zur Grundwasserneubildung bei. Ein Teil des Sickerwassers kann auch lateral als Zwischenabfluss abfließen.

In Abbildung 72 ist der Verlauf der monatlichen Sickerwasserrate im Jahr 2021 im Vergleich zu den langjährigen Mittelwerten dargestellt. Im Jahresgang der Sickerwasserrate gab es teilweise deutliche Abweichungen gegenüber dem langjährig mittleren Verlauf.

Deutlich zu gering fiel die Sickerwasserrate in den grundwasserneubildungsrelevanten Monaten März, April, Oktober, November und Dezember aus, was auf die niedrigen Niederschlagssummen in diesen Monaten zurückzuführen ist. Deutlich höher fiel die Sickerwasserrate dagegen im Februar und Juli aus. Die länger andauernde nasse Phase von Mai bis August hat mit Ausnahme vom Juli nur relativ wenig zur Sickerwasserbildung beigetragen, da wegen der hohen Temperaturen ein großer Teil des Niederschlags verdunstet ist. Dennoch hat die feuchte Witterung in den Sommer-

monaten zu einer vorübergehenden Stabilisierung der Grundwasserstände geführt (vergl. Kapitel 4.2). In der Summe fiel die Sickerwasserrate in insgesamt 9 Monaten unterdurchschnittlich aus, was schließlich zu der unterdurchschnittlichen Grundwasserneubildungsrate im Kalenderjahr 2021 führte.

Die Jahreswerte der Grundwasserneubildung unterliegen extremen Schwankungen, der Schwankungsbereich beträgt mehr als 200 mm (Abbildung 73). Für den gesamten Betrachtungszeitraum 1951–2021 ist kein einheitlicher Trend erkennbar. Auffällig ist, dass die bis zum Jahr 2003 zu beobachtende große jährliche Variabilität ab dem Jahr 2003 deutlich weniger ausgeprägt ist und die jährliche Grundwasserneubildung meist unterhalb des langjährigen Mittelwertes liegt. Ausgeprägte grundwasserneubildungsreiche Nassjahre wurden in Hessen seit 2003 nicht mehr beobachtet. Dadurch lag die Grundwasserneubildung in den vergangenen 19 Jahren (seit 2003) 27 % unter dem langjährigen Mittel (1971–2000).

Das Jahr 2021 hat den Trend der letzten Jahre zu niedrigeren Grundwasserneubildungsraten fortgesetzt. Dadurch konnten sich die infolge der trockenen Vorjahre vielerorts gesunkenen Grundwasserstände der jeweils oberen Grundwasserleiter noch nicht wieder erholen (vergl. Kapitel 4.2). Für eine nachhaltige Regeneration der Grundwasserspeicher wären ergiebige Niederschläge über einen längeren Zeitraum notwendig. Um die bestehenden Defizite im Grundwasser auszugleichen, wären mindestens zwei neubildungsreiche Nassjahre in Folge erforderlich.

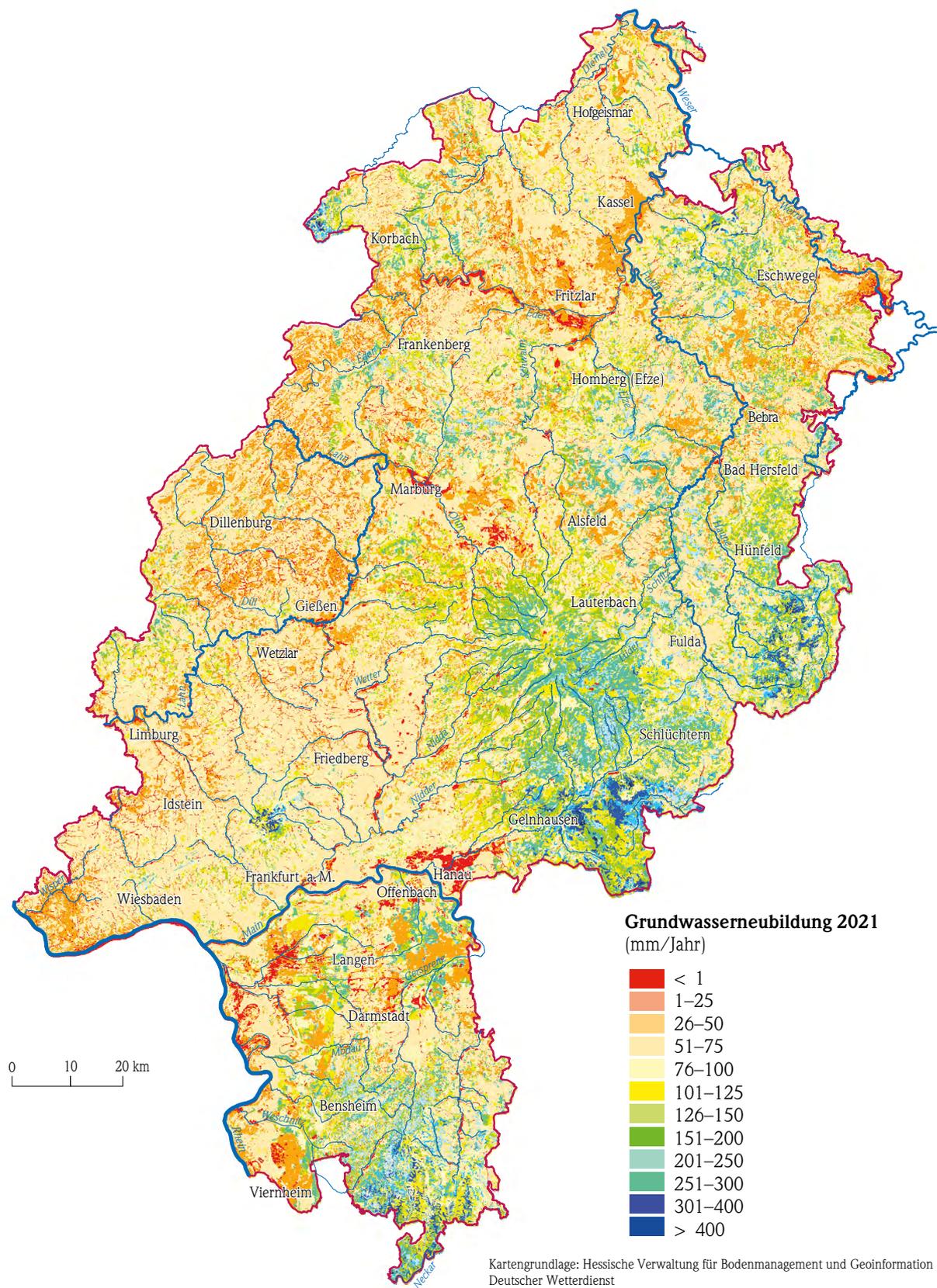


Abb. 74: Flächenhafte Darstellung der Jahressumme der Grundwasserneubildung aus Niederschlag für das Jahr 2021

4.2 Grundwasserstände und Quellschüttungen

MARIO HERGESELL

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.

Üblicherweise findet die Regeneration der Grundwasserressourcen vor allem im hydrologischen Winterhalbjahr (November–April) statt. Aufgrund der jahreszeitlich bedingt niedrigen Verdunstungsraten und der Vegetationsruhe kann ein Großteil der Niederschläge in die Böden versickern. Die einhergehende Grundwasserneubildung lässt die Grundwasserstände steigen.

Im hydrologischen Sommerhalbjahr (Mai bis Oktober) kommt dagegen kaum oder nur wenig Niederschlagswasser im Grundwasser an, da die Vegetation das Wasser verbraucht und es wegen der höheren Temperaturen verdunstet. Deshalb fallen die Grundwasserstände in diesem Zeitraum in der Regel. Daraus ergibt sich der für das Grundwasser charakteristische Jahresgang, mit steigenden Grundwasserständen im Winterhalbjahr und fallenden Grundwasserständen im Sommerhalbjahr. Man spricht hier deshalb auch von saisonalen Schwankungen. Aufgrund der natürlichen Klimavariabilität von Temperatur und Niederschlag kommt es häufig zu Abweichungen gegenüber den mittleren Verhältnissen. In Zeiten länger andauernder Trocken- und Nassperioden werden die saisonalen Schwankungen durch periodische Schwankungen überlagert.

Im Rahmen des Landesgrundwasserdienstes wird ein flächendeckendes Messnetz (Abb. 75) unterhalten, das für Grundwasserstände und Quellschüttungen repräsentative Werte liefert.

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 Quellschüt-

tungen, und deren Häufigkeit werden herangezogen, wenn z. B. Eingriffe in das Grundwasser zu beurteilen sind, u. a. für die Planung von Bauwerken.

Mit dem LGD-Viewer unter <http://lgd.hessen.de> können die folgenden Grundwasserinformationen zu allen Messstellen des Landesgrundwasserdienstes in Form von Daten und Grafiken recherchiert und eingesehen werden:

- Grundwasserstände
- Quellschüttungen
- Grundwasserbeschaffenheitsanalysen
- Stammdaten

Ergebnisse 2021

Aufgrund des sich seit dem extremen Trockenjahr 2018 entwickelten Niederschlagsdefizits sind die Grundwasserstände in Hessen in den letzten Jahren vielerorts zurückgegangen. Nach drei zu trockenen Jahren in Folge lag die Niederschlagsmenge im Jahr 2021 mit 745 mm nur geringfügig (–2 %) unter dem langjährigen Mittel der Referenzperiode 1991–2020. Auffällig waren die vier aufeinanderfolgenden niederschlagsreichen Monate Mai bis August, die für eine vorübergehende Stabilisierung der Grundwasserstände bzw. eine Abmilderung der für diese Jahreszeit typischen Abnahmen in den Grundwasserständen gesorgt haben. Im niederschlagsreichen Juli konnten sogar verbreitet Grundwasserstandsanstiege beobachtet werden, was für das hydrologische Sommerhalbjahr eher untypisch ist und eine Ausnahme darstellt. Aufgrund der von September bis Dezember andauernden trockenen Witterung fielen die Grundwasserstände vielerorts bis in den Dezember hinein. Die im November häufig zu beobachtende Trendwende zu steigenden Grundwasserständen blieb zunächst aus. Erst Ende Dezember konnten infolge einsetzender Niederschläge wieder zunehmend Anstiege im Grundwasser beobachtet werden. Am Jahresende bewegten sich die Grundwasserstände in Hessen an 50 % der Messstellen auf einem durchschnittlichen Niveau. Rund 19 % der Messstellen

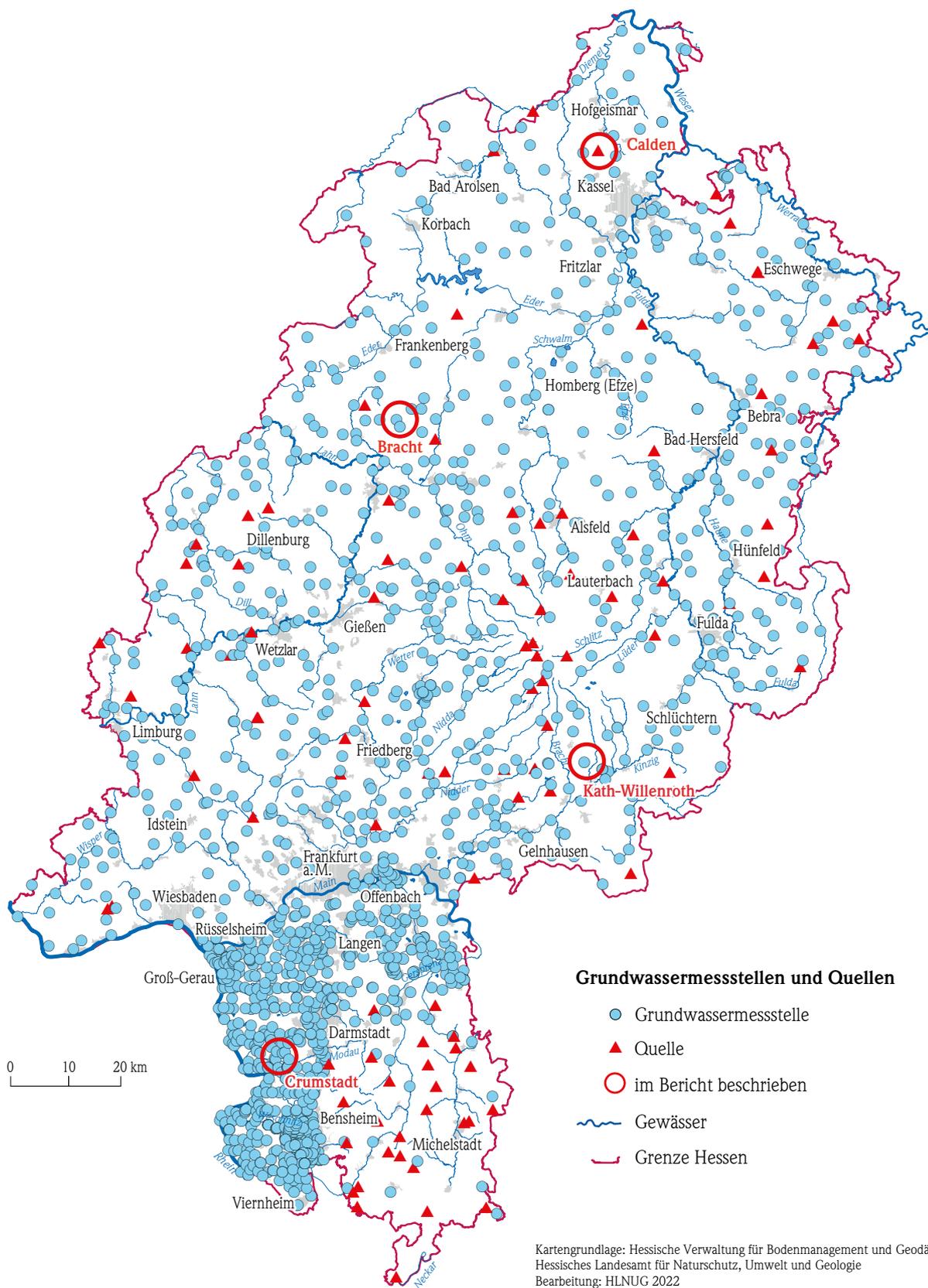


Abb. 75: Messstellen zur Überwachung der Grundwasserstände und Quellschüttungen

wiesen unterdurchschnittliche Grundwasserstände auf. Sehr niedrige Grundwasserstände wurden an 18 % der Messstellen beobachtet. Überdurchschnittliche oder sehr hohe Grundwasserstände wurden an 3 % bzw. 2 % der Messstellen beobachtet. Für 8 % der Messstellen liegen keine aktuellen Daten vor.

Im Vergleich zum Vorjahr lagen die Grundwasserstände Ende des Jahres an rund zwei Drittel der Messstellen auf einem höheren Niveau als im Jahr zuvor. Auch wenn sich die Grundwassersituation im Vergleich zum Jahr 2020 leicht verbessert hat, konnten die aus den trockenen Vorjahren resultierenden Defizite im Grundwasser noch nicht wieder ausgeglichen werden. Denn die Defizite im Grundwasser waren weniger auf den Witterungsverlauf des Jahres 2021, sondern immer noch zum großen Teil auf das hohe Niederschlagsdefizit des extrem trockenen Jahres 2018 zurückzuführen. Die Defizite im Grundwasser können nicht durch einzelne Niederschlagsereignisse ausgeglichen werden. Für eine nachhaltige Erholung der Grundwasserstände werden über längere Zeiträume andauernde und ergiebige Niederschläge benötigt. Für das Grundwasser wäre es günstig, wenn es mindestens zwei aufeinanderfolgende, neubildungsreiche Jahre geben würde. Das war zuletzt in den Jahren 2001 und 2002 der Fall (vergl. Kapitel 4.1).

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 (vergl. Kapitel 4.1) und die hydraulische Durchlässigkeit des Grundwasserleiters. Die Lagepunkte der Messstellen, deren Messwerte als Ganglinien nachfolgend dargestellt werden, sind in der Übersichtskarte (Abb. 75) mit roten Kreisen markiert. Zum Vergleich werden die Ganglinien des Jahres 2021 zusammen mit dem Verlauf von Jahren mit besonders niedrigen und hohen Grundwasserständen dargestellt (Abb. 76–79).

Die Schüttung der Quelle Calden nördlich von Kassel (Abb. 76) bewegte sich zu Beginn des Jahres 2021 unterhalb des sehr niedrigen Niveaus des Jahres 1996. Die überdurchschnittlichen Niederschläge im Januar und Februar ließen die Schüttmengen

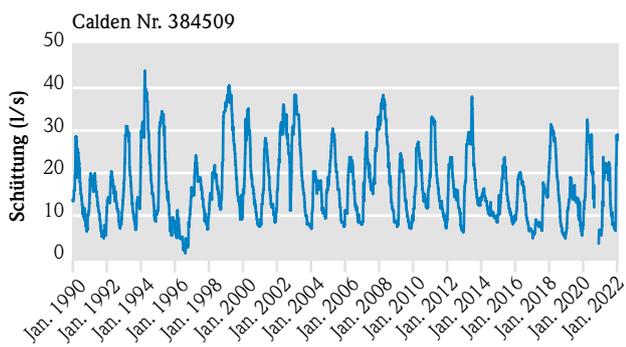
bis Februar deutlich ansteigen. Von März bis in den Juli hinein lagen diese auf einem gleichbleibenden Niveau, was auf die stabilisierende Wirkung der niederschlagsreichen Sommermonate zurückzuführen war. Von Mitte Juli nahm die Quellschüttung bis Anfang November der Jahreszeit entsprechend ab, bevor sie bis Ende des Jahres auf ein sehr hohes Niveau angestiegen war.

Die Grundwasserstandsganglinie der Messstelle Bracht im Burgwald (Abb. 77) zeigt langfristig einen jahreszeitlichen Verlauf, der von Trocken- und Nassperioden überprägt ist. An dieser Messstelle bewegte sich der Grundwasserstand im Verlauf des ganzen Jahres 2021 deutlich unterhalb der Niedriggrundwasserstände des Jahres 1977.

Die Grundwasserstände der Messstelle Katholisch-Willenroth im Büdinger Wald (Abb. 78) lagen zu Beginn des Jahres 2021 nur wenig oberhalb der Niedriggrundwasserstände aus dem Jahr 1977. Von Januar bis Anfang März stiegen die Grundwasserstände deutlich auf mittlere Höhen an, bevor sie Ende April und im Mai fast wieder auf das Niveau der Niedriggrundwasserstände aus dem Jahr 1977 gesunken waren. Von Anfang Juni bis Ende Oktober bewegten sich die Grundwasserstände auf dem sehr niedrigen Niveau von 1977, bevor sie im November und Dezember dieses Niveau leicht unterschritten hatten.

Die langjährige Ganglinie des Grundwasserstands an der Messstelle Crumstadt im Hessischen Ried (Abb. 79) zeigt Anfang der 1970er Jahre ein starkes Absinken, welches auf Grundwasserentnahmen und eine zeitgleiche Trockenperiode zurückzuführen war. Durch Anreicherung des Grundwassers mit aufbereitetem Rheinwasser und einer etwas erhöhten Grundwasserneubildung stieg die Grundwasseroberfläche in den 1990er Jahren wieder auf ein höheres Niveau.

Der Grundwasserstand befand sich im Verlauf des Jahres 2021 auf nahezu gleichbleibenden überdurchschnittlichen Höhen.



Aktuelles Jahr im Vergleich mit den Jahren hoher und niedriger Quellschüttungen.

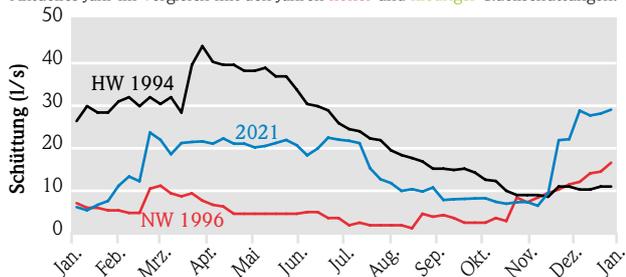
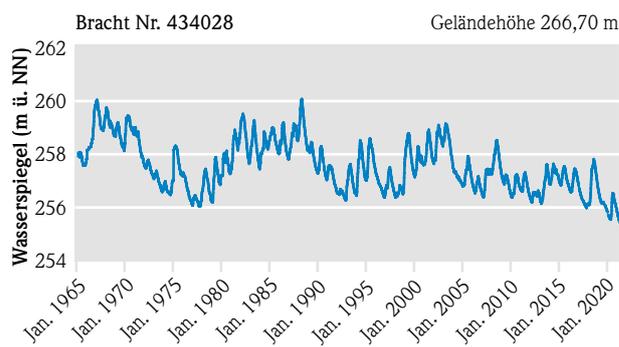


Abb. 76: Schüttungsganglinie der Quelle Calden



Aktuelles Jahr im Vergleich mit den Jahren hoher und niedriger Wasserstände.

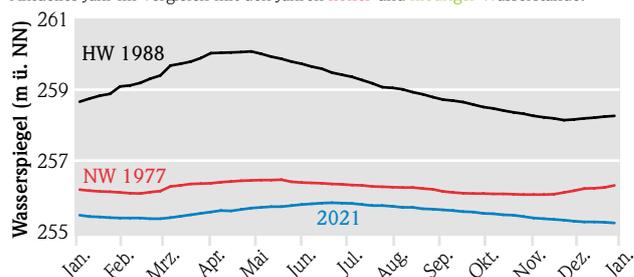
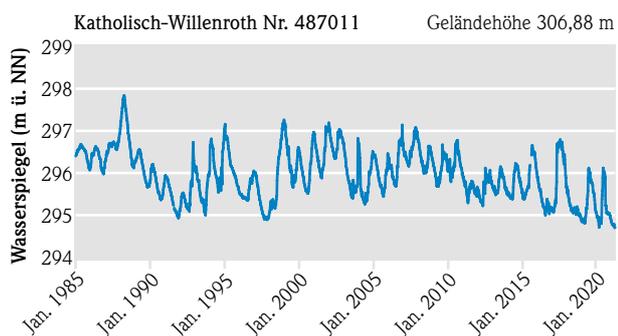


Abb. 77: Grundwasserstandsganglinie der Messstelle Bracht



Aktuelles Jahr im Vergleich mit den Jahren hoher und niedriger Wasserstände.

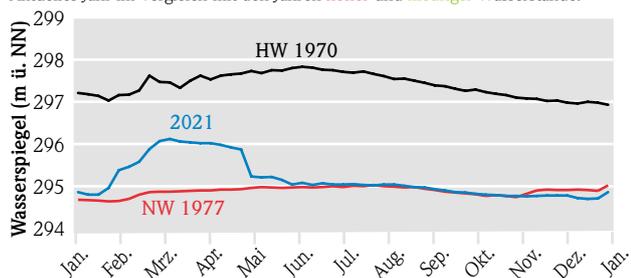
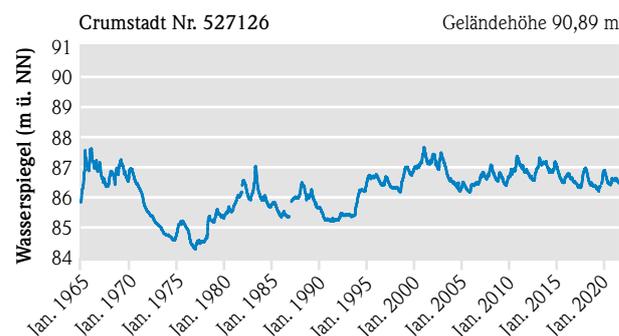


Abb. 78: Grundwasserstandsganglinie der Messstelle Katholisch-Willenroth



Aktuelles Jahr im Vergleich mit den Jahren hoher und niedriger Wasserstände.

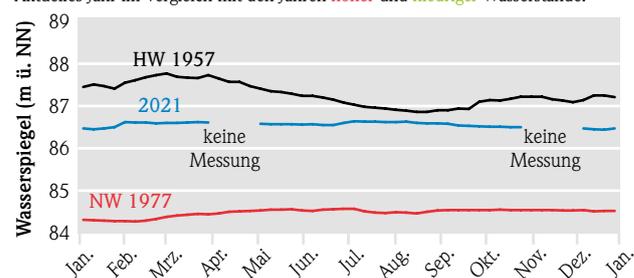


Abb. 79: Grundwasserstandsganglinie der Messstelle Crumstadt

4.3 Grundwasserbeschaffenheit: Isotopenhydrogeologische Untersuchungen in Hessen

TILL OEHLER

Einführung

Bei vielen hydrogeologischen Fragestellungen, wie beispielsweise der Ausweisung von Wasserschutzgebieten, der Bestimmung der Herkunft von Nitrat im Grundwasser oder der Prüfung der Funktionstüchtigkeit von Brunnen, müssen Herkunft, Genese und/oder das Alter von Grundwässern bekannt sein. In der Isotopenhydrologie steht eine Vielzahl an unterschiedlichen Isotopen bereit, die hierzu als Werkzeug genutzt werden können. Zu nennen sind beispielsweise die stabilen Isotope von Sauerstoff ($\delta^{18}\text{O}$) und Wasserstoff (δD) oder die instabilen Isotope Tritium (^3H), Kohlenstoff-14 (^{14}C) und Krypton-81 (^{81}Kr).

In Hessen wurden in den vergangenen Jahrzehnten isotopenhydrogeologische Untersuchungen durchgeführt. Eine Zusammenstellung hydrochemischer Daten, in der auch Isotope aufgeführt sind, befindet sich in der Datenbank von Mineral-, Thermal- und Tiefengrundwässern, die durch die TU Darmstadt von SCHÄFFER et al. (2021) [1] unter Beteiligung des HLNUG zusammengestellt wurde. Damit die in Hessen erhobenen Isotopendaten für die Bearbeitung hydrogeologischer Fragestellungen zugänglich gemacht werden können, ist eine Übertragung der Daten in die Grundwasserdatenbank des Landes Hessen (GruWaH) geplant.

In diesem Beitrag wird der aktuelle Stand der Datenzusammenstellung vorgestellt, weiterhin werden Beispiele aufgezeigt, wie die Isotope für hydrogeologische Fragestellungen in Hessen genutzt werden und in welchen Bereichen in Hessen noch Potential für weitere Untersuchungen besteht.

Übersicht zu den bisherigen isotopenhydrogeologischen Untersuchungen in Hessen

In Abbildung 80 sind alle Messstellen, Brunnen und Quellen in Hessen dargestellt, für die im HLNUG Isotopendaten ($\delta^{18}\text{O}$, δD oder Tritium) in Grundwässern

vorliegen. Im Vogelsberg wurden Altersdatierungen mittels Tritium und Kohlenstoff-14 an Grundwässern von LEBMANN et al. (2001) [2] durchgeführt. Im Taunus wurden mittels stabiler Isotope Grundwasserweilzeiten von KÄMMERER (1998) [3] bestimmt. Mittels stabiler Isotope wurden Untersuchungen zur potentiellen Herkunft von Grundwässern von Friedrich 2007 [4] im Odenwald durchgeführt. Niedrige Tritium-Konzentrationen in Grundwässern im Mittleren Buntsandstein in Nordhessen zeigen an, dass diese Grundwässer nur geringe Jungwasseranteile besitzen GEYH & RAMBOW (1997) [5].

Insbesondere in Osthessen im Bereich der Rhön und des Main-Kinzig-Kreises, in Nordosthessen im Bereich des Werra-Meißner-Kreises und im Westen Hessens im Bereich des Rheinischen Schiefergebirges zeigen sich nach dem aktuellen Stand noch Datenlücken.

Isotopenhydrogeologische Untersuchungen mit stabilen Isotopen $\delta^{18}\text{O}$ & δD

Im Wassermolekül kommen die stabilen Isotope des Sauerstoffs (^{16}O , ^{17}O und ^{18}O) und die des Wasserstoffs (^1H , ^2H oder auch D für Deuterium) vor. Durch Fraktionierungsprozesse, die bei Phasenübergängen (z. B. der Verdunstung) entstehen, variieren die Konzentrationen dieser Isotope in den verschiedenen Komponenten des Wasserkreislaufs. Durch die Fraktionierung der Isotope entstehen räumlich und zeitlich variable Isotopensignale im Niederschlag, die über das Sickerwasser in das Grundwasser eingetragen werden. Die stabilen Isotope hinterlassen sozusagen einen Fingerabdruck im Niederschlag, im Sickerwasser und im Grundwasser, der dazu genutzt werden kann, unterschiedliche Prozesse, sowie Herkunft und Alter der Wässer nachzuvollziehen. Somit kann beispielsweise zurückverfolgt werden, in wie weit Sickerwässer und Grundwässer vor ihrer Neubildung der Verdunstung ausgesetzt waren, was wichtige Informationen in Bezug auf die Auswirkungen des

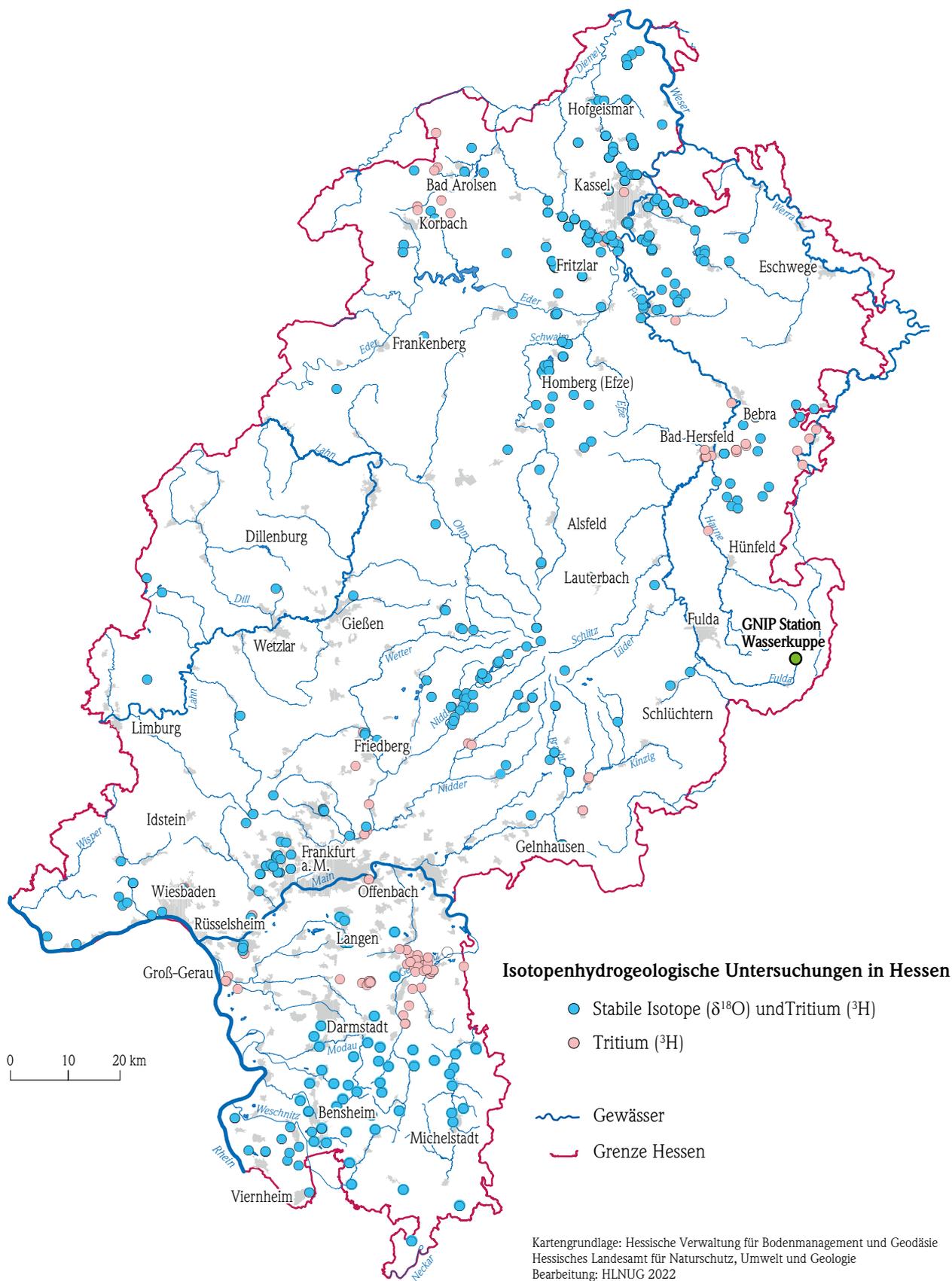


Abb. 80: Messstellen zur Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit

Klimawandels auf den Wasserkreislauf liefern kann. Durch saisonale Effekte und Höheneffekte sind Rückschlüsse auf die Grundwasserneubildung möglich, was für die Abgrenzung von Einzugsgebieten, z. B. bei der Ausweisung von Wasserschutzgebieten, eine wichtige Rolle spielen kann. Aufgrund temperaturbedingter Fraktionierung (Temperatureffekt) können stabile Isotope auch als gute Indikatoren für Paläowässer (Kalt-/Warmzeiten) genutzt werden, da während der Eiszeiten durch deutlich niedrigere Temperaturen auch geringere Anteile an schweren Isotopen in das System eingetragen wurden.

Das Eingangssignal für die Isotopenzusammensetzung von Sickerwässern, die letztlich anteilig zur Grundwasserneubildung führen, bildet in der Regel der Niederschlag. Die Internationale Atomenergie Organisation (IAEA) betreibt weltweit ein Messnetz zur Überwachung der Isotopie im Niederschlag, das sogenannte „Global Network of Isotopes in Precipitation“ (GNIP). In Hessen befindet sich eine Messstation auf der Wasserkuppe, bei der die stabilen Isotope $\delta^{18}\text{O}$ und δD (Abb. 81), sowie das instabile Isotop Tritium (Abb. 81) seit dem Jahr 1974 im Niederschlag gemessen werden.

In Abbildung 81 sind die monatlich im Niederschlag auf der Wasserkuppe gemessenen $\delta^{18}\text{O}$ -Werte als Mittelwerte für den Zeitraum 1978–2014 dargestellt. Es zeigt sich deutlich ein jahreszeitlicher Verlauf mit isotopisch leichteren Werten im Winterhalbjahr und isotopisch schwereren Werten im Sommerhalbjahr. Wenn sich die über den Niederschlag eingetragenen saisonalen Isotopen-Signale in Boden- und Grundwasser übertragen, kann über die Phasenverschiebung oder Amplitudendämpfung im Vergleich zu der Ganglinie in Abbildung 81 eine Abschätzung der Aufenthaltszeiten erfolgen. In Hessen wurden für verschiedene Grundwässer (Quellen, Grundwasserstollen, Brunnen) im Taunus mittlere Verweilzeiten von ca. zehn Monaten bis maximal acht Jahren ermittelt, KÄMMERER (1998) [3]. Die größten mittleren Verweilzeiten ergaben sich dabei für Brunnenwässer (ca. 2,7–8,5 Jahre), während geringere mittlere Verweilzeiten für Grundwasserstollen (1,8–5,8 Jahre)

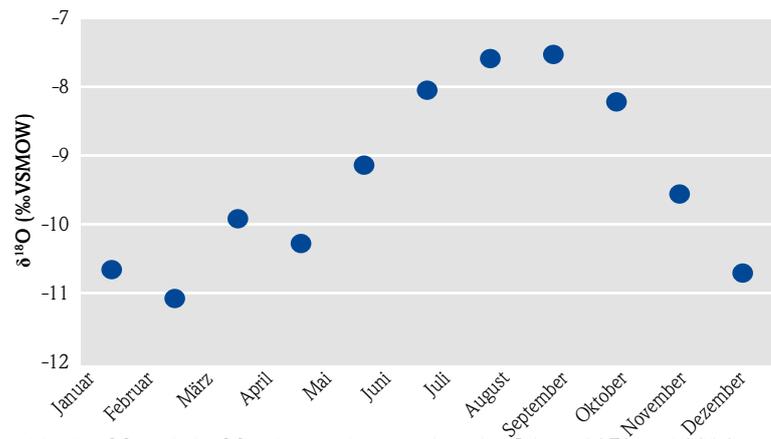


Abb. 81: Monatliche Mittelwerte der zwischen den Jahren 1978 und 2014 gemessenen $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im Niederschlag an der Wasserkuppe (Quelle: IAEA [6])

und Quelle (0,9–4,8 Jahre) ermittelt wurden.

Da Quellen häufig durch oberflächennahes Grundwasser und einen durch geringe Verweilzeiten geprägten Zwischenabfluss gespeist werden, können hier neben Verweilzeiten insbesondere auch Mischungsverhältnisse zwischen dem Basisabfluss und dem Zwischenabfluss durch stabile Isotope bestimmt werden, vorausgesetzt, dass der Niederschlag und das Wasser an einer Quelfassung in ausreichend hohen Messintervallen erfasst werden. Im Hinblick auf die in Abbildung 80 dargestellte Verteilung der bisherigen Isotopenuntersuchungen lässt sich feststellen, dass insbesondere in der Rhön ein hohes Potential für weitere isotopenhydrogeologische Untersuchungen besteht. Zum einen liegt in der Rhön mit der Messstation an der Wasserkuppe bereits eine gute Datengrundlage für das Eingangssignal aus dem Niederschlag vor. Darüber hinaus gibt es in der Rhön eine Vielzahl an Quellen (die teilweise zur Trinkwasserversorgung genutzt werden), bei denen die Herkunft, Verweilzeiten und Mischungsverhältnisse der Quellwässer zwischen Basisabfluss und Zwischenabfluss meist nicht bekannt sind.

Neben der Bestimmung von Mischungsverhältnissen und Verweilzeiten jüngerer Grundwässer, können stabile Isotope auch genutzt werden, um Herkunft und Genese von alten Grundwässern zu bestimmen. In Hessen wurden Untersuchungen stabiler Isotope an den Thermalquellen in Wiesbaden durchgeführt [7]. Die Thermalwässer steigen entlang tieferreichender Störungen auf, die parallel zum Randabbruch des Taunus zum Mainzer Becken im Kristallin verlauf-

fen. Die untersuchten Thermalwässer sind isotopisch relativ leicht ($\delta^{18}\text{O}$: $-9,39\text{ ‰}$ bis $-9,34\text{ ‰}$; δD : $-64,9\text{ ‰}$ bis $-64,2\text{ ‰}$) [7]. Durch die Isotopenzusammensetzung der Wässer konnte auf eine überwiegend meteorische Bildung (aus der Versickerung von Niederschlägen) der Wässer geschlossen werden. Ein deutlicher Einfluss von Verdunstungseffekten oder Isotopenaustausch mit dem Gestein unter hohen Temperaturen wurde nicht erkannt. Die Isotopie der Wässer unterscheidet sich somit signifikant von Solen aus tiefen Geothermiebohrungen in den südlichen Regionen des Oberrheingrabens. Die Isotopie der Wässer ist leichter als sie für rezente bzw. holozän neugebildete Grundwässer von Wiesbaden angenommen wird und weist demnach auf eine Neubildung bei kühleren Klimabedingungen hin. Dies könnte auf höher gelegene Einzugsgebiete der Mittelgebirge oder auf die Grundwasserneubildung während einer anderen Klimaepoche (z. B. dem Pleistozän) hinweisen [7].

Isotopenhdrogeologische Untersuchungen mit Tritium

Tritium (^3H) ist ein radioaktives Isotop des Wasserstoffs. Mit einer Halbwertszeit von 12,32 Jahren wurde es in den vergangenen Jahrzehnten in vielen Studien zur Abschätzung von Grundwasserverweilzeiten und Grundwasseraltern genutzt (CLARK & FRITZ 1997) [8]. Tritium wird in der Stratosphäre kontinuierlich durch kosmische Strahlung gebildet. In den 1950er und 1960er Jahren gelangten zusätzlich große Mengen an Tritium in Folge von Wasserstoffbombentests in die Atmosphäre. Somit entstand eine anthropogene Markierung des Wasserkreislaufs.

Indem das Tritium-Eingangssignal des Niederschlags mit dem Signal im Grundwasser mit Hilfe von analytischen Modellen verglichen wird, können Aussagen zu Verweilzeiten von Grundwässern getroffen werden. Seit dem Ende der atmosphärischen Atombombentests 1963 hat durch den natürlichen Zerfall die Tritium-Konzentration im Niederschlag deutlich abgenommen, wodurch die Methodik in jüngerer Vergangenheit an Bedeutung verloren hat.

In Abbildung 82 sind die Tritium-Konzentrationen im Niederschlag auf der Wasserkuppe dargestellt, die innerhalb des GNIP-Projektes seit 1978 an der Messstation gemessen werden. Während im Jahr 1978 noch Tritium-Konzentrationen von bis zu 200 TU (Tritium Unit) gemessen wurden, zeigt sich ein deutlicher Rückgang der Tritium-Konzentrationen, die zuletzt im Jahr 2019 im jahreszeitlichen Verlauf zwischen ca. 5 und 13 TU lagen.

In Abbildung 83 sind alle (nach dem aktuellen Stand der Datenzusammenstellung) in Hessen gemessenen Tritium-Konzentrationen in Grundwässern nach Probenahmejahren sortiert dargestellt. Eine Unterteilung nach tiefen oder flachen Grundwasserleitern oder nach Regionen erfolgte nicht. Es wird deutlich, dass in den 1970er und 1980er Jahren in einigen Grundwasserleitern in Hessen noch hohe Tritium-Konzentrationen gemessen werden konnten. Vermutlich handelt es sich hierbei um relativ oberflächennahe Grundwässer mit geringen Verweilzeiten. Die höchsten Tritium-Konzentrationen von knapp 140 TU wurden im Jahr 1978 in der Hanau-Seligenstädter Senke in der Nähe von Babenhäusen (GruWaH Messstellen-ID: 12194; Filterstrecke 10–20 m u. GOK) gemessen. Niedrige Tritium-Kon-

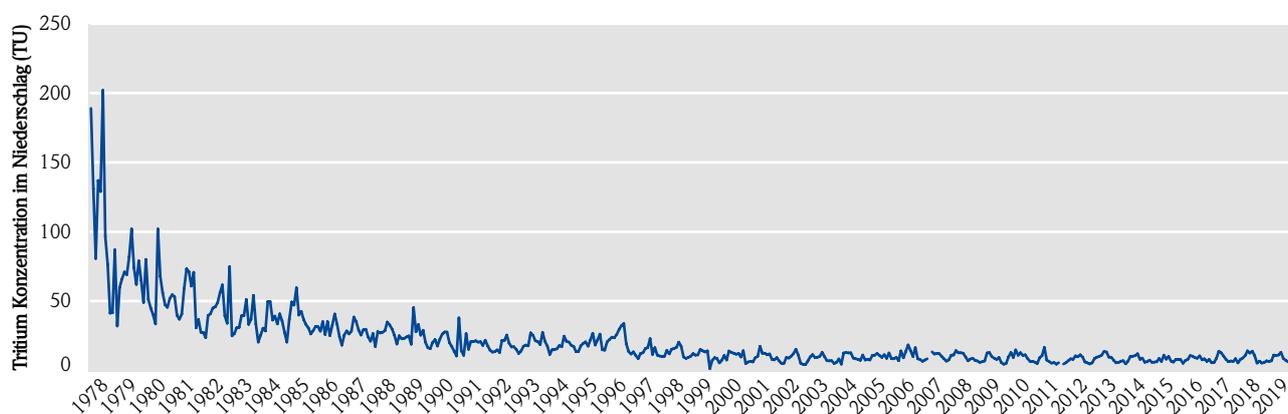


Abb. 82: Tritium-Werte der Niederschlagsstation an der Wasserkuppe (Quelle: IAEA)

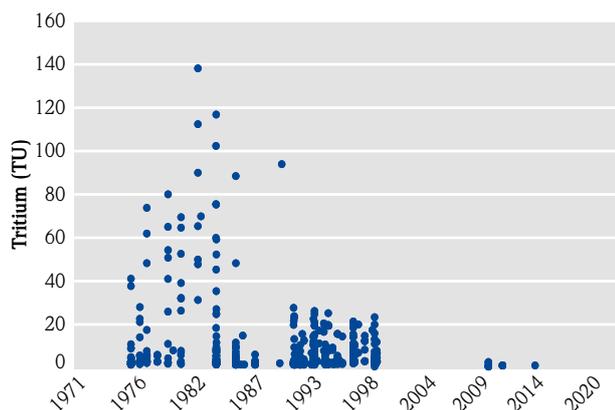


Abb. 83: Seit dem Jahr 1973 gemessene Tritium-Konzentrationen in hessischen Grundwässern

zentrationen, die in Grundwässern in den 1970er und 1980er Jahren gemessen wurden, weisen hingegen auf höhere Grundwasseralter hin. Beispielsweise hatte der Kochbrunnen in Wiesbaden, dessen stabile Isotopenzusammensetzung, wie weiter oben erwähnt, eine Grundwasserneubildung in einer anderen Klimaepoche vermuten lässt, im Jahr 1982 niedrige Tritium-Konzentrationen von nur 1,8 TU.

Mit dem Eingangssignal aus dem Niederschlag und den in Grundwässern gemessenen Tritium-Konzentrationen lassen sich über analytische Modelle mittlere Verweilzeiten berechnen. LEßMANN et al. (2001) [2] berechnete mittels Tritium und Kohlenstoff-14 die mittleren Verweilzeiten von Grundwässern im Vogelsberg. Die Messwerte wiesen auf ein ternäres Mischungssystem hin, welches aus jungem Erdalkali-Hydrogencarbonat-Wasser (Alter von wenigen Jahren), mittelaltem Erdalkali-Hydrogencarbonat-Wasser (Alter von bis zu wenigen Jahrzehnten) und altem Alkali-Hydrogencarbonat-Wasser (Alter bis zu mehreren Jahrtausenden) besteht.

Tritium konnte in der Vergangenheit auch genutzt werden, um die Abdichtung zu oberflächennahen Jungwässern eines Brunnens oder einer Grundwasser messstelle zu überprüfen. Der Lullusbrunnen wurde im Jahr 1904 durch eine 420 m tiefe Bohrung bis in den Plattendolomit ausgebaut und gilt als erste Heilquelle der Stadt Bad Hersfeld. Auf Grund von Mängeln beim Ausbau flossen dem Brunnen allerdings erhebliche Mengen an Wasser aus den darüber liegenden Grundwasserleitern des Buntsandsteins, Quartär und Tertiär zu, was unter anderem zu Verkeimungen des Brunnenwassers führte (FRITSCHÉ

2017) [9]. Im Jahr 1970 wurden erhöhte Tritium-Werte im Brunnenwasser gemessen, was die Vermutung eines oberflächennahen Zustroms bestätigte. Seit der Sanierung des Brunnens ist das Brunnenwasser wieder Tritium frei.

Zusammenfassung und Ausblick

Stabile und instabile Isotope können ein gutes Werkzeug darstellen, um verschiedene hydrogeologische Fragestellungen zu beantworten, die Verweilzeiten, Alter und Herkunft von Grundwässern sowie Prozesse (z. B. Verdunstung) oder Mischungsverhältnisse zwischen Grundwässern und Oberflächen- bzw. Bodenwässern betreffen. In Hessen wurden Isotopenuntersuchungen in der Vergangenheit oft projektbezogen an einem bestimmten Ort zu einer bestimmten Zeit durchgeführt. Da die stabilen Isotope $\delta^{18}\text{O}$ und δD auch immer einen Fingerabdruck des Wasserkreislaufs darstellen, wäre insbesondere im Hinblick auf den Klimawandel und dessen Einfluss auf den Wasserkreislauf in Hessen ein langfristiges Monitoring der Grundwässer sinnvoll.

Auf Grund der Abnahme der Tritium-Konzentrationen im Niederschlag, kann Tritium in der Isotopenhydrologie heutzutage nur noch eingeschränkt genutzt werden. Eine quantitative Methode zur Altersbestimmung liefert nach wie vor die Tritium-Helium-Methode, bei der neben Tritium auch das Zerfallsprodukt Helium gemessen wird und das Grundwasseralter aus dem Verhältnis zwischen den Konzentrationen von Tritium und tritiogenem Helium (Zerfallsprodukt von Tritium) berechnet werden kann (SÜLTENFUß & MASSMANN 2004) [10]. Anderweitig gibt es neben Tritium auch andere Spurenstoffe, die über den Niederschlag in das Grundwasser eingetragen werden (z. B. SF₆, CFCs), die zur Bestimmung von Verweilzeiten und Alter von Grundwässern genutzt werden können.

Literatur

- [1] SCHÄFFER, R. et al. 2021: Mineral, thermal and deep groundwater of Hesse, Germany. *Earth System Science Data* 13.10: 4847–4860.
- [2] LEBMANN, B. 2001: Hydrochemische und isoto-
penhydrologische Untersuchungen an Grund-
wässern aus dem Vulkangebiet Vogelsberg. *Grundwasser* 6.2: 81–85.
- [3] KÄMMERER, D. 1998: Hydrogeologische Unter-
suchungen zur Grundwasserversauerung im
südlichen Taunus. *Geologische Abhandlungen
Hessen*. Band 103.
- [4] FRIEDRICH, R. 2007: Grundwassercharakteri-
sierung mit Umwelttracern: Erkundung des
Grundwassers der Odenwald-Region sowie
Implementierung eines neuen Edelgas-Massen-
spektrometersystems. Dissertation zur Erlan-
gung der Doktorwürde. Ruprecht-Karls-Univer-
sität Heidelberg.
- [5] GEYH, M.A. & RAMBOW, D. 1997: Isotopenhydro-
geologische Untersuchungen an Grundwässern
aus dem Buntsandstein Nordhessens. *Geolo-
gisches Jahrbuch Hessen* 125.
- [6] IAEA. 2022: Global Network of Isotopes in Preci-
pitation (GNIP).
- [7] Hydroisotop. 2011: Isotopenhydrologische Unter-
suchungen an den Heilwässern von Wiesbaden.
- [8] CLARK, I.D. & FRITZ, P. 1997: *Environmental Isoto-
pes in Hydrogeology*. CRC Press.
- [9] FRITSCH, J.-G. 2009: HLNUG Gutachtenarchiv-
Nr. 5124/322.
- [10] SÜLTENFUß, J. & MASSMANN, G. 2004: Datierung
mit der ³He-tritium-Methode am Beispiel der
Uferfiltration im Oderbruch. *Grundwasser* 9.4:
221–234.

5 Zusammenfassung 2021

Das Jahr 2021 ist unter hydrologischen Gesichtspunkten als insgesamt durchschnittlich einzustufen. Mit einer mittleren Jahrestemperatur von 9,0 °C und 745 mm Jahresniederschlag war 2021 ein normal warmes und normal nasses Jahr. Im Jahresverlauf allerdings war das Geschehen wechselhaft, es war geprägt durch nasse und kühle Zeiträume, vor allem zu Beginn des Jahres und im Sommer, sowie trockene und wärmere Phasen im Herbst und zum Jahresende.

Nur zwei Monate, Februar und Juli, wiesen im Vergleich mit der langjährigen Reihe im Jahr 2021 deutlich mehr Abfluss auf, im Juni und August waren die Abflüsse ausgeglichen. Der Monat mit der größten negativen Differenz zum langjährigen Mittel war, wie bereits im vergangenen Jahr, der November. Ende Januar begann ein Hochwasser, welches vor allem einen Streifen nördlich des Mains bis zur Linie Marburg - Bad Hersfeld betraf. Südlich und nördlich dieses Bandes kam es, den Rhein ausgenommen, nicht zu Meldestufenüberschreitungen. Vom Julihochwasser war vor allem der nördliche Landesteil betroffen. Bisher geltende Höchstwasserstände an Pegeln wurden übertroffen.

Die beiden großen Talsperren in Hessen (Diemel und Eder) waren im Vergleich zum langjährigen Mittel seit einigen Jahren das erste Mal wieder voller als im Durchschnitt. Das Julihochwasser in Nordhessen zeigte sich jeweils als kleiner Peak in der Tagesmittelganglinie. In den beispielhaft gezeigten kleineren Talsperren waren aufgrund ihrer Lage die Hochwasserspitzen Anfang des Jahres sehr viel markanter ausgeprägt. Die Stauziele konnten im Großen und Ganzen gut gehalten werden.

Die physikalisch-chemische Beschaffenheit der oberirdischen Fließgewässer in Hessen wird stark beeinflusst durch die vor Ort herrschenden meteorologischen und hydrologischen Verhältnisse. Steigende Wasserstände und Hochwasser im Februar stellten den Betrieb kontinuierlich messender Gewässergütemessstationen an den größeren hessischen Gewässern vor besondere Herausforderungen und führten lokal zu kurzzeitigen Messunterbrechungen und einer erschwerten Probenahme. Extremwetterereignisse, wie das Gewitter an der Fulda im Juli 2021, überlagerten die saisonalen und tageszeitlichen Schwankungen der

kontinuierlich gemessenen Parameter. Aus Vorsorgegründen und zur Beurteilung der Auswirkungen, auch im Hinblick auf den Klimawandel, gewinnen zeitlich hochaufgelöste Messdaten immer mehr an Bedeutung.

Zur Ermittlung des ökologischen Zustands der Fließgewässer wurden seitens des HLNUG im Jahr 2021 Untersuchungen zu Fischen, Makrophyten, Diatomeen und an wenigen Probestellen zum Makrozoobenthos beauftragt. Bei den Fischen wurde an 90 % und bei den Makrophyten an ca. 67 % der untersuchten Gewässerabschnitte der sehr gute bzw. gute ökologische Zustand noch nicht erreicht.

Im Rahmen der Gewässerstrukturkartierung wurde der morphologische Zustand von renaturierten Fließgewässerabschnitten auch im Jahr 2021 durch das HLNUG erfasst. Nach Aufbereitung der Kartierergebnisse werden diese im Laufe des Jahres 2022 im WRRL-Viewer (wrrl.hessen.de) dargestellt.

Insgesamt konnte 2021 ebenso wie schon 2020 eine erfreuliche Entwicklung der Trophie-Klassifizierung in den hessischen Seen festgestellt werden. An zwölf von 24 Messstellen kam es zu leichten bis starken Verbesserungen. Lediglich an fünf Messstellen zeigten sich deutlich schlechtere Werte, so dass die Trophieklasse im Vergleich zur vorherigen Untersuchung herabgestuft wurde. Der 2021 erstmalig untersuchte Steinbruchsee Nieder-Ramstadt bekam die Einstufung oligotroph.

Das Flächenmittel der Grundwasserneubildung betrug für das Jahr 2021 für Hessen 75 mm und lag damit um 26 % deutlich unter dem langjährigen Mittelwert der Referenzperiode 1971–2000. Die unterdurchschnittliche Grundwasserneubildung im Jahr 2021 ist auf die unterdurchschnittlichen Niederschläge in den neubildungsrelevanten Monaten, die hohen Verdunstungsraten und die daraus resultierende niedrige Sickerwasserrate zurückzuführen.

Die vier aufeinanderfolgenden niederschlagsreichen Monate Mai bis August sorgten für eine vorübergehende Stabilisierung der Grundwasserstände. Im Juli konnten sogar verbreitet Anstiege des Grundwasserstands beobachtet werden, was für das hydrologische

Sommerhalbjahr eher untypisch ist und eine Ausnahme darstellt. Auch wenn sich die Grundwassersituation im Vergleich zum Jahr 2020 leicht verbessert hat, konnten die aus den trockenen Vorjahren resultierenden Defizite im Grundwasser noch nicht wieder ausgeglichen werden. Denn die Defizite im Grundwasser waren weniger auf den Witterungsverlauf des Jahres 2021, sondern immer noch zum großen Teil auf das hohe Niederschlagsdefizit des extrem trockenen Jahres 2018, zurückzuführen.

6 Übersicht Berichte

Der Gewässerkundliche Jahresbericht wird seit 2007 veröffentlicht (Abbildung 84). Die Berichte können auf der WEB-Seite des HLNUG unter <https://www.hlnug.de/themen/wasser/messwerteberichte/jahresberichte> heruntergeladen werden.

[hlnug.de/themen/wasser/messwerteberichte/jahresberichte](https://www.hlnug.de/themen/wasser/messwerteberichte/jahresberichte) heruntergeladen werden.

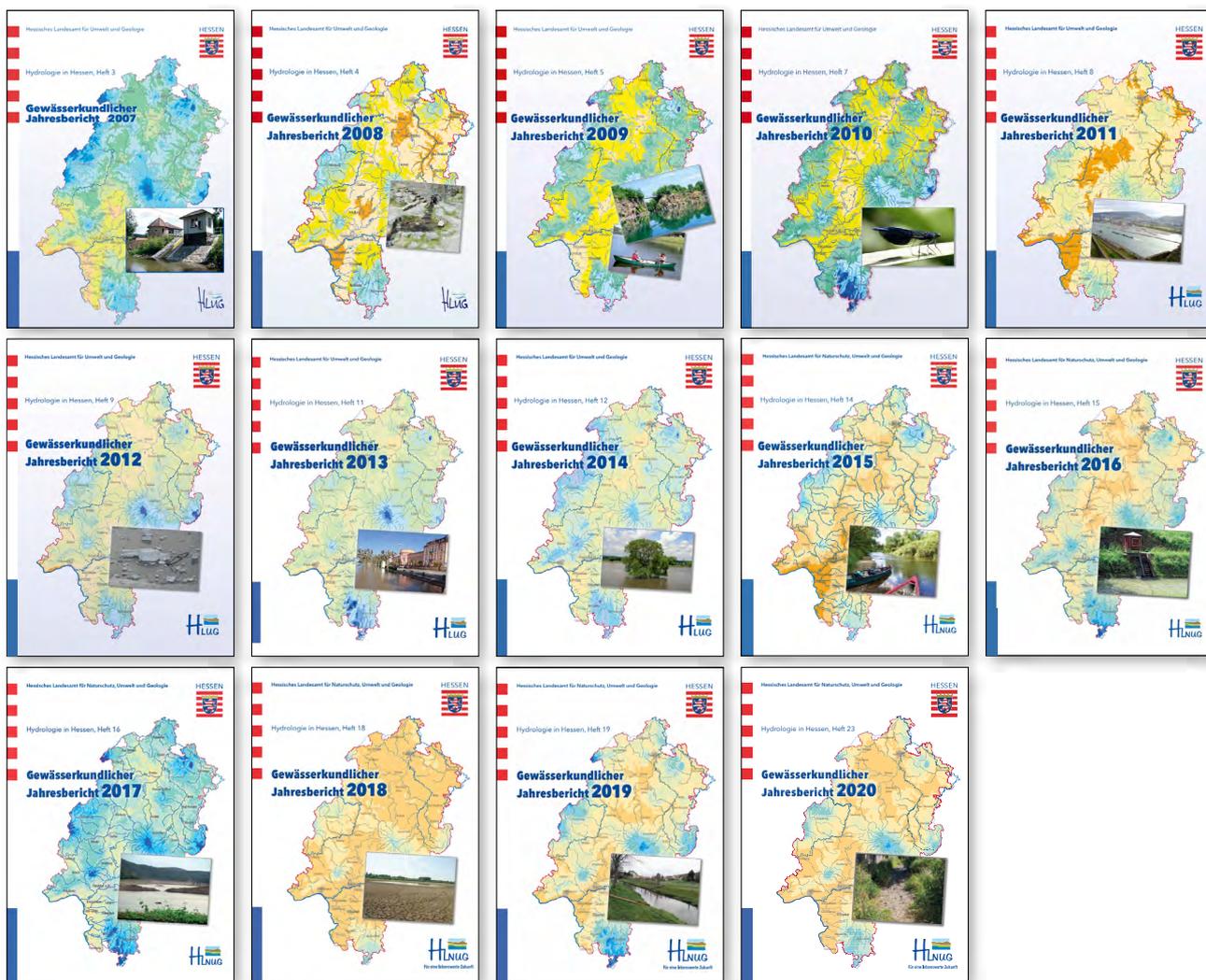


Abb. 84: Übersicht über die bisher veröffentlichten Berichte



Hessisches Landesamt für
Naturschutz, Umwelt und Geologie
Für eine lebenswerte Zukunft

www.hlnug.de



Das HLNUG auf Twitter:
https://twitter.com/hlnug_hessen