

Sauerstoffgehalt und Wassertemperatur

Langjährige Entwicklung im Rheineinzugsgebiet

Sauerstoffgehalt

Der durchschnittliche Sauerstoffgehalt (Jahresmittel) ist im Zeitraum von 1976 bis 2022 im Rhein steigend (Abbildung 1). Er lag im Rhein (gemittelt an den Messstellen Öhningen, Karlsruhe, Mainz, Koblenz und Bimmen) 1976 bei 7,8 mg/l, 2022 bei 10,2 mg/l. In den 1970er Jahren konnten aufgrund der hohen Belastung des Rheins mit sauerstoffzehrenden und eutrophierenden Stoffen stellenweise Sauerstoffkonzentrationen von nur wenigen mg/l erfasst werden.¹ Beispielsweise wurden im Rhein bei Koblenz im September 1976 nur 2,4 mg/l (Einzelwert aus kontinuierlichen Messungen) Sauerstoff gemessen. Seit den 1980er Jahren liegt der durchschnittliche Sauerstoffgehalt (Jahresmittel) im Rhein stets über 9 mg/l.

Die Nebenflüsse Neckar, Schwarzbach, Main, Saar, Mosel und Emscher weisen einen geringeren Sauerstoffgehalt als der Rhein auf. Diese Nebenflüsse (außer Schwarzbach) zeigen über den gesamten Betrachtungszeitraum steigende Konzentrationen. 1976 konnte beispielsweise für den Main (Kahl am Main) ein Jahresmittelwert für Sauerstoff von nur 3,9 mg/l berechnet werden, 2022 lag der Jahresmittelwert bei 10,7 mg/l. 2022 betrug das Jahresmittel in der Mosel (Koblenz) 11,1 mg/l, in der Saar (Saarbrücken) 10,2 mg/l, im Neckar (Mannheim) 10,3 mg/l, im Schwarzbach (Trebur-Astheim) 8,5 mg/l und in der Emscher (Emscher-Mündung) 5,3 mg/l.

Bis heute werden im Rhein und in seinen Nebenflüssen kritische Sauerstoffminima (Extremwerte aus kontinuierlichen Messungen der 14-Tages-Periode) insbesondere in den Sommermonaten gemessen. Im Jahr 2022 wurde im Rhein der niedrigste Sauerstoffgehalt (Extremwerte aus kontinuierlichen Messungen der 14-Tages-Periode) von 5,7 mg/l an der Messstelle Koblenz erfasst. 2022 lagen die Sauerstoffminima (Extremwerte aus kontinuierlichen Messungen der 14-Tages-Periode) in den Nebenflüssen Neckar bei 4,7 mg/l (Mannheim), Main bei 5,4 mg/l (Kahl am Main), Schwarzbach bei 0,9 mg/l (Trebur-Astheim), Mosel bei 3,4 mg/l (Palzem) und Saar bei 2,6 mg/l (Kanzem). Für die Emscher liegen keine Sauerstoffminima (Extremwerte aus kontinuierlichen Messungen der 14-Tages-Periode) vor.

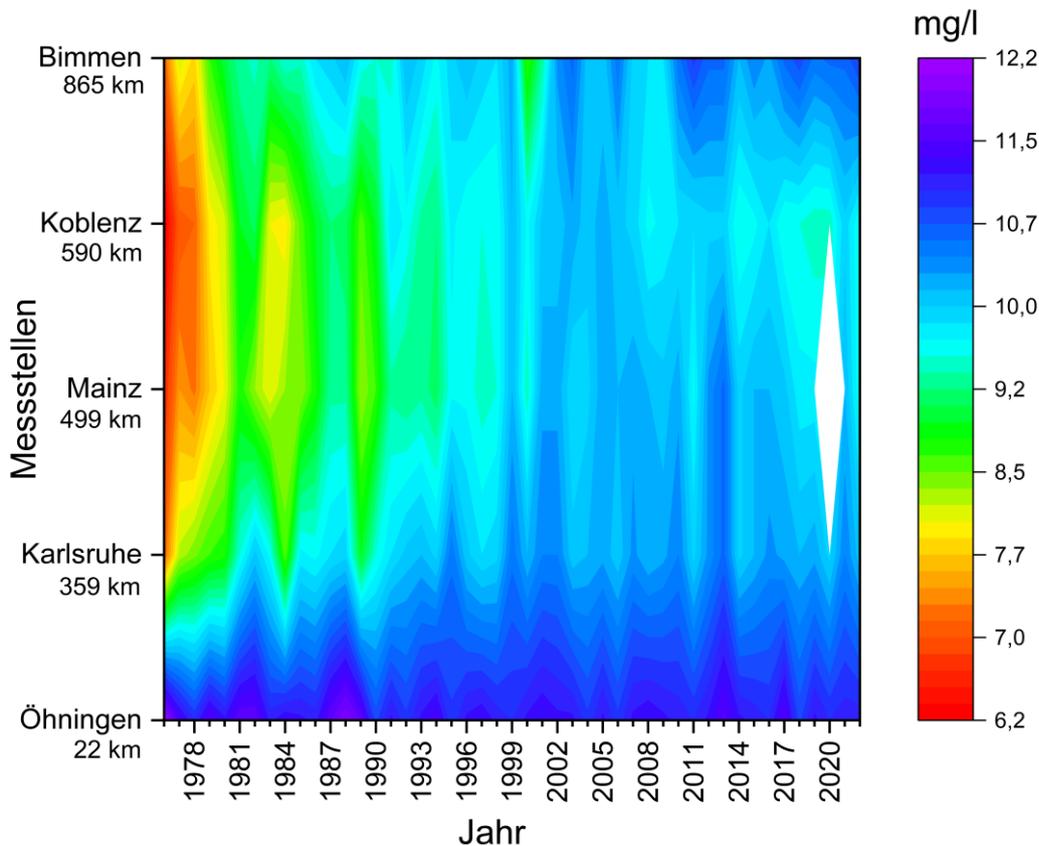


Abbildung 1: Sauerstoffgehalt in mg/l (Jahresmittelwerte) von rot (niedrig) zu blau (hoch) entlang der Fließstrecke des Rheins (von unten nach oben) von 1976 bis 2022 (von links nach rechts). Datenlücken sind weiß dargestellt. Mainz: keine Daten für 2020 (Stationsumbau).

Wassertemperatur

Die durchschnittliche Wassertemperatur im Rhein (gemittelt an den Messstellen Öhningen, Karlsruhe, Mainz, Koblenz, Bad Honnef, Bimmen) ist über den betrachteten Zeitraum von 1976 bis 2022 steigend (Abbildung 2). Der Temperaturanstieg ist analog zu den Lufttemperaturdaten nicht kontinuierlich erfolgt, insbesondere ein Temperatursprung in den Jahren 1987/1988 trug zu einem höheren Temperaturniveau bei.^{2,3} Die durchschnittliche Wassertemperatur (Jahresmittel) im Rhein hat sich im Zeitraum nach 1987, im Vergleich zum Zeitraum davor, um 1 °C erhöht.

Ein steigender Trend der durchschnittlichen Wassertemperatur (Jahresmittel) ist auch in allen Nebenflüssen im betrachteten Zeitraum 1976 bis 2022 zu beobachten, wobei es für die Nebenflüsse Schwarzbach und Emscher erst ab 2015 Zeitreihen gibt. Auch in den Nebenflüssen Saar, Mosel, Neckar und Main ist ein Temperatursprung ab den Jahren 1987/1988 sichtbar. Vermutlich ist dieser Effekt auf eine Kombination aus natürlichen klimatischen Veränderungen (z. B. Änderung von ozeanographischen und meteorologischen Zirkulationen) und einem sich langsam entwickelnden Erwärmungstrend durch verschiedene Faktoren (natürlich und anthropogen) zurückzuführen.^{3,4} Im Rhein sowie in seinen Nebenflüssen können bis heute mehrfach hohe Wassertemperaturen von teilweise über 25 °C in den Sommermonaten gemessen werden. Das Temperaturmaximum (Extremwert aus kontinuierlichen Messungen der 14-Tages-Periode) im Rhein von 29,4 °C wurde an der Messstelle Bimmen im Jahr 1990 (August) erfasst. Hinsichtlich der Nebenflüsse lag dieses im Schwarzbach (Trebur-Astheim) bei 31,1 °C im Juli 2022.

Laut dem IKSR-Fachbericht² nahm die Anzahl der Tage mit Wassertemperaturen von z. B. 22 °C oder 25 °C im Rhein pro Jahr im vergangenen Jahrzehnt, im Vergleich zu den beiden Jahrzehnten zuvor, deutlich zu. Die langjährigen Konzentrationsverläufe sind unter: <https://fgg-rhein.bafg.de> zu finden.

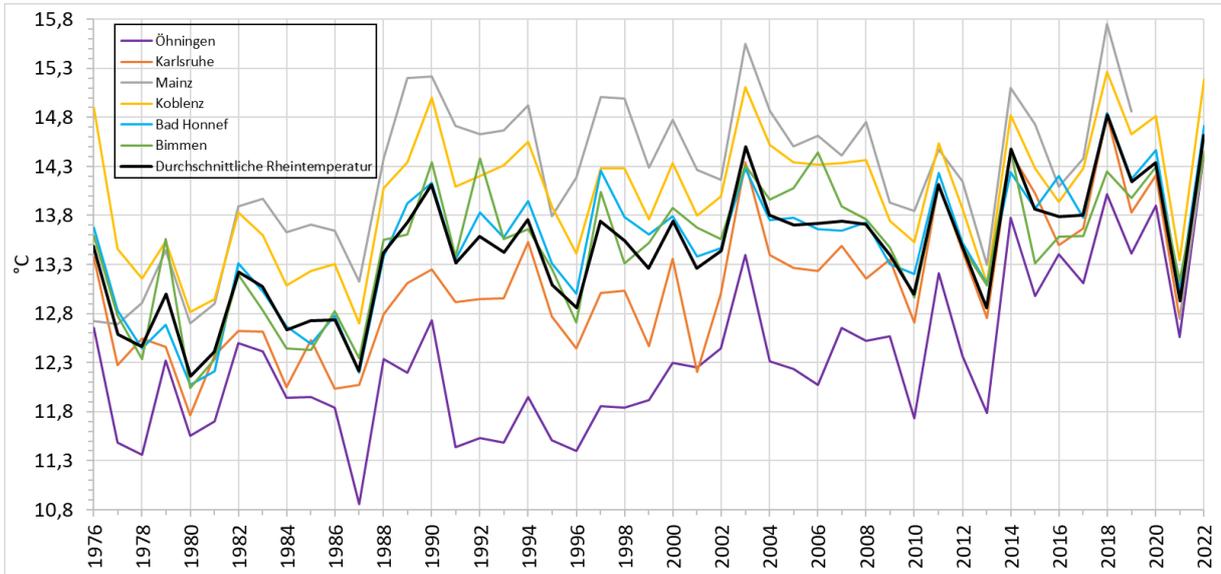


Abbildung 2: Wassertemperatur in °C (Jahresmittelwerte) der Rheinmessstellen von 1976 bis 2022 und durchschnittliche Rheintemperatur (gemittelt über die Messstellen). Mainz: keine Daten für 2020 (Stationsumbau).

Die Wassertemperatur beeinflusst die Löslichkeit des Sauerstoffs im Gewässer. Der Sauerstoffgehalt kann mit steigender Wassertemperatur (Abbildung 3) sinken. Daneben kann es auch insbesondere in Sommermonaten durch einen erhöhten Sauerstoffverbrauch (z. B. durch Algen in der Nacht) zusätzlich zu starken Schwankungen der Sauerstoffkonzentration kommen. Die Abflussmenge hat hierbei einen geringen Einfluss auf den Sauerstoffgehalt, ist allerdings zum Beispiel im Hinblick auf die Wassertemperatur und das Management von Wärmeeinleitungen (z. B. durch Kraftwerke) von erheblicher Bedeutung.

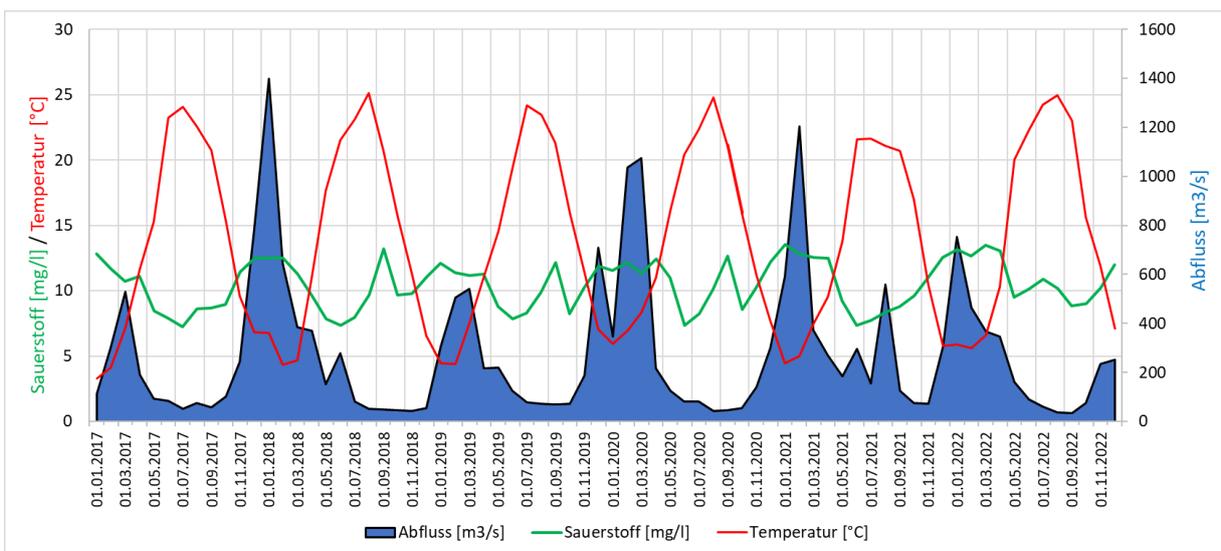


Abbildung 3: Monatsmittelwerte der Wassertemperatur und des Sauerstoffgehalts sowie der Abflussdaten von 2017 bis 2022 der Mosel (Koblenz) im Jahresverlauf.

Gesetzlicher Hintergrund

Gemäß Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) sollen alle Gewässer mindestens einen guten ökologischen Zustand bzw. bei stark veränderten Gewässern ein gutes ökologisches Potenzial aufweisen. Die Wassertemperatur und der Sauerstoffgehalt gehören zu den allgemeinen physikalisch-chemischen Qualitätskomponenten,⁵ die nach der Oberflächengewässerverordnung (OGewV) zusätzlich zu den biologischen Qualitätskomponenten zu untersuchen sind.

Hierfür sind in der OGewV spezifische Orientierungswerte für eine tolerierbare Temperaturerhöhung (maximale zulässige Differenz zwischen den Temperaturen oberhalb und unterhalb einer Einleitungsstelle für Abwärme) und Maximaltemperaturen in den Sommer- und Wintermonaten für einen guten ökologischen Zustand bzw. ein gutes ökologisches Potential angegeben.⁵ Die spezifischen Orientierungswerte (Maximaltemperatur) eines Gewässers liegen je nach Gewässertyp und zugeordneter Fischgemeinschaft zwischen 20 °C und 28 °C für die Sommermonate April bis November und bei 8 °C bis 10 °C für die Wintermonate Dezember bis März.⁵ Tolerierbare Temperaturerhöhungen in den Sommer- bzw. Wintermonaten liegen zwischen ≤ 1 °C bis ≤ 3 °C.⁵

Die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) empfiehlt wasserrechtlich festgelegte Temperaturgrenzwerte bezüglich der Kühlwasserentnahme und -einleitung, die abhängig von dem jeweiligen Kraftwerksstandort und Gewässertyp sind.² Bei Niedrigwassersituationen gelten länderspezifische Stufenpläne für die industriellen Wärmeeinleiter, um den Wärmeeintrag ins Gewässer zu regulieren, bei Bedarf sogar einzustellen.² Aufgrund erwarteter Klimaänderungen könnte künftig die Anpassung und regelmäßige Überprüfung von vorhandenen Konzepten betreffend der Wärmelast und Wärmereduzierung an Bedeutung gewinnen.⁶

Als Orientierungswert für den guten ökologischen Zustand bzw. das gute ökologische Potenzial für den Sauerstoffgehalt wird je nach Gewässertyp ein „Minimalwert als arithmetisches Mittel aus den Jahresminimalwerten von maximal drei aufeinander folgenden Kalenderjahren“ von > 4 mg/l bis > 8 mg/l Sauerstoff, für den sehr guten Zustand von > 7 mg/l bis > 9 mg/l Sauerstoff genannt.⁵

Kurzinformationen/Eigenschaften

Der **gelöste Sauerstoff** bildet die Lebensgrundlage der meisten Organismen im Wasser und ist essentieller Bestandteil für aerobe Stoffwechselprozesse im Gewässer. Sauerstoff gelangt durch Diffusion aus der Luft ins Gewässer und wird zusätzlich durch die Gewässermorphologie sowie durch die Photosynthese aquatischer Organismen eingebracht.⁷ Der Sauerstoffgehalt wird durch verschiedene physikalische, chemische und biologische Faktoren beeinflusst, u. a. durch die Verwirbelung von Wasser und Luft (z. B. an Wehren, Totholz, Rauschen), das Vorkommen von Algen (tagsüber Sauerstoffproduktion, Nachts Sauerstoffzehrung) und Wasserpflanzen, den mikrobiellen Abbau organischer Stoffe, die Wassertemperatur, die Stauhaltung von Flüssen oder die Einleitung von Abwässern.^{1,7} Er ist abhängig vom temperaturabhängigen Sättigungsvermögen des Wassers. Bei niedrigen Wassertemperaturen steigt das Sättigungsvermögen und der Sauerstoffgehalt kann zunehmen, bei höheren Temperaturen sinkt das Sättigungsvermögen und der Sauerstoffgehalt kann abnehmen.^{8,9,10}

Die **Wassertemperatur** ist ein wichtiges Maß für den Energiehaushalt eines Flusses und beeinflusst nahezu alle physikalischen, chemischen oder biologischen Prozesse, z. B. neben der Sauerstofflöslichkeit auch alle stofflichen Umsetzungsprozesse im Gewässer.^{1,9} Die natürliche Wassertemperatur wird maßgeblich durch meteorologische Einflüsse (z. B. Lufttemperatur, Sonneneinstrahlung) sowie durch weitere Faktoren (Gewässermorphologie, Wasserführung, Fließgeschwindigkeit, Trübung, Wärmeaustausch mit dem Grundwasser etc.) bestimmt.⁹ Kühlwassereinleitungen von Kraftwerken, die Einleitungen von Abwässern sowie strukturelle Veränderungen wie mangelnde Ufervegetation (fehlende Beschattung) sowie das Management der Gewässer für Transportzwecke sind anthropogene Faktoren, die die Wassertemperatur beeinflussen können.^{9,11}

Insbesondere bei Niedrigwasserphasen kann es bei gleichbleibenden Wärmeeinleitungen zu einer kritischen Erhöhung der Wassertemperatur und gleichzeitig zu einer Verringerung des gelösten Sauerstoffs im Gewässer kommen, sodass empfindliche aquatische Lebensgemeinschaften geschädigt werden können.

Was kann jeder/jede tun, um einen Beitrag zur Erhaltung bzw. Verbesserung der Gewässerqualität zu leisten?

Durch die Installation und Verbesserung von Anlagen zur Abwasserreinigung konnte der Eintrag von sauerstoffzehrenden organischen Inhaltsstoffen ins Gewässer reduziert werden. Neben der Regulierung von Kühlwassereinleitungen durch Kraftwerke unmittelbar am Rhein können auch Verringerungen der Wärmebelastung von Nebenflüssen zu einem naturnäheren Temperaturregime des Rheins führen.² Insbesondere trug der Anstieg der Lufttemperatur, verursacht durch Klimaveränderungen in den vergangenen Jahrzehnten, zu einer Temperaturerhöhung auch im Wasser bei.^{2,12} Aufgrund dieser Veränderung liegt es nahe, dass sommerliche Hitzeperioden, verbunden mit geringerer Wasserführung und folglich mit kritischen Lebensbedingungen im Gewässer, zukünftig häufiger auftreten und aquatische Lebensgemeinschaften schädigen können.^{4,13} Zur Verbesserung der Situation können Sie u. a. wie folgt beitragen:

- 1) Achten Sie auf klimaschonendes Handeln: Sparen Sie Energie. Setzen Sie eher auf erneuerbare Energien statt auf Energie aus fossilen Brennstoffen (Kohle, Öl, Gas).
- 2) Reduzieren Sie Ihren persönlichen Fußabdruck hinsichtlich des Kraftverkehrs, Konsums und Transports. Konsumieren Sie bewusst und nutzen Sie umweltfreundliche Transportmittel.
- 3) Reduzieren oder vermeiden Sie Wasserentnahmen aus Gewässern bei Niedrigwasser und fördern Sie die Wasserrückhaltefähigkeit in der Stadt und auf dem Land (z. B. Entsiegelung von Flächen). Mit Wasserspeichereinrichtungen wie z. B. Zisternen können Sie für trockene Perioden vorsorgen.¹³

Quellen

- ¹ [Flussgebietsgemeinschaft Rhein, ehemals Deutsche Kommission zur Reinhaltung des Rheins \(FGG-Rhein, 2001\)](#)
- ² [Internationale Kommission zum Schutz des Rheins \(IKSR, 2013\)](#)
- ³ [Sippel, S. et al. \(2020\): Late 1989s abrupt cold season temperature change in Europe consistent with circulation variability and long-term warming](#)
- ⁴ [Umweltbundesamt \(UBA, 2023\)](#)
- ⁵ [Bundesministerium der Justiz: Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer, zuletzt geändert am 09.12.2020 \(OGewV, 2016\)](#)
- ⁶ [Bayrisches Landesamt für Umwelt \(LfU, n.a.\)](#)
- ⁷ [Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz \(NLWKN, 2021\)](#)
- ⁸ [Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen \(LANUV, n.a.\)](#)
- ⁹ [Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen \(LANUV, n.a.\)](#)
- ¹⁰ [Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg \(UM, 2023\)](#)
- ¹¹ [Flussgebietsgemeinschaft Weser \(FGG Weser, n.a.\)](#)
- ¹² [Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie \(LfULG, 2011\)](#)
- ¹³ [Ministerium für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten Rheinland-Pfalz \(MUEEF, 2017\)](#)

Kontaktpersonen bei Fragen zum Thema Sauerstoffgehalt und Wassertemperatur:

Anna-Lena Gerloff und Dr. Lars Düster
Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)
G4-Radiologie und Gewässermonitoring
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz
Tel.: +49-(0)261-1306-5464
E-Mail: gerloff@bafg.de