

Ökologisch- wasserwirtschaftliche Auswirkung des Grubenwasserkonzepts der RAG AG auf den Rhein

Teilprojekt Wasserwirtschaft



Grubenwassereinleitstelle Walsum

Projektbearbeitung:

Prof. Dr.-Ing. Lothar Kirschbauer
M.Eng. Hannah Pies

Koblenz, im Februar 2024

INHALTSVERZEICHNIS

1.	Einleitung	1
2.	Ausgangssituation	3
2.1.	Entwicklung von Abfluss, Temperatur und Leifähigkeit im Rhein nördlich von Duisburg-Ruhrort.....	4
2.2.	Niedrigwasserabflussverhältnisse des Rheins (IKSR, 2018).....	7
2.3.	Entwicklung der Grubenwassereinleitungen.....	8
2.4.	Auswertung der Chlorid-Messwerte an den Grubenwassereinleitungen	9
3.	Untersuchung der Auswirkungen der Grubenwassereinleitung auf die künftigen Temperatur- und Chloridverhältnisse im Rhein	14
3.1.	Das Gewässergütemodell QSIM der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Koblenz	14
4.	Untersuchte Szenarien	18
5.	Simulationsergebnisse	23
6.	Möglichkeit zur Reduzierung der Temperaturerhöhung im aufnehmenden Gewässer	33
7.	Verbesserung der Durchmischung mit dem aufnehmenden Gewässer	34
8.	Einleitung in eine Bundeswasserstraße	36
9.	Zusammenfassung	37

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 2-1:	Übersicht Grubenwassereinleitungen und zugehörige Bergwerke sowie Lage der Gewässermessstellen am Rhein (Systemplan) (rot=stillgelegte Bergwerke, grün=aktive Bergwerke)	3
Abb. 2-2:	Maximales Tagesmittel je Kalenderwoche der Wassertemperatur des Rheins für das Jahr 2018 (extremes Niedrigwasser) an der Messstation Rees (Datenquelle: BfG, 2020)	4
Abb. 2-3:	Tageswerte der Wassertemperatur an der Messstation Bimmen-Lobith für den Zeitraum 1990 bis 2006 Datenquelle: Rijkswaterstaat (12.05.2020)	5
Abb. 2-4:	Minimale, mittlere und maximale Wassertemperatur des Rheins für den Monat Juli im Zeitraum 1992 bis 2012 an der Messstation Duisburg-Ruhrort	5

Abb. 2-5: Gegenüberstellung der Messwerte für Abfluss, Temperatur und Leitfähigkeit an der Messstation Bimmen/Lobith (Bimmen/Kleve) (Datenquelle: BfG/FGG-Rhein, 2023)	6
Abb. 2-6: Mittlere Anzahl von Tagen mit Niedrigwasser unter dem Schwellenwert $GIQ_{1972-2000}$ für den Pegel Duisburg-Ruhrort/Rhein (BfG, 2021)	8
Abb. 2-7: Entwicklung der Grubenwassereinleitungen in den Rhein und die Nebengewässer (Datenquelle RAG AG)	9
Abb. 2-8: Chlorid-Messwerte für die Einleitstelle „Robert Müser“ an der Ruhr für den Zeitraum 2008 bis 2019	10
Abb. 2-9: Chlorid-Messwerte für die Einleitstelle „Friedlicher Nachbar“ an der Ruhr für den Zeitraum 2008 bis 2019	11
Abb. 2-10: Chlorid-Messwerte für die Einleitstelle „Heinrich“ an der Ruhr für den Zeitraum 2008 bis 2019	11
Abb. 2-11: Chlorid-Messwerte für die Einleitstelle „Haus Aden“ an der Lippe für den Zeitraum 2016 bis 2019	12
Abb. 2-12: Chlorid-Messwerte für die Einleitstelle „Walsum“ am Rhein für den Zeitraum 2016 bis 2019	13
Abb. 3-1: Modellierter Flussstrecke des freifließenden Rheins in Deutschland) (Hardenbicker, P. et. Al, 2017)	15
Abb. 3-2: Modellstruktur QSIM	16
Abb. 5-1: Verteilung der Zunahme der Chlorid-Konzentration entlang des Rheins für verschiedene Klimamodell-Ensembles und den Zeitraum 2031 bis 2060 (stündliche Werte)	25
Abb. 5-2: Verteilung der Zunahme der Chlorid-Konzentration entlang des Rheins für verschiedene Klimamodell-Ensembles und den Zeitraum 2031 bis 2060 (Tagesmittelwerte)	25
Abb. 5-3: Verteilung der Wassertemperatur entlang des Rheins für verschiedene Klimamodell-Varianten und den Zeitraum 2031 bis 2060	28
Abb. 5-4: Jahrgang der Wassertemperatur für das Jahr 2045 bei Rhein-km 770 für verschiedene Klimamodell-Ensembles	29
Abb. 5-5: Jahrgang der monatlichen Wassertemperaturen für verschiedene Simulationszeiträume und verschiedene Klimamodell-Ensembles sowie ohne und Grubenwassereinleitung bei Rhein-km 805	30
Abb. 5-6: Vergleich der Wassertemperaturen entlang des Rhein für das Klimamodell-Ensemble MIROC_CCLM_r1_RCP85 für verschiedene Simulationszeiträume und ohne und mit Grubenwassereinleitungen	31
Abb. 5-7: Gegenüberstellung von Abfluss, Wassertemperatur und Zunahme der Chlorid-Konzentration bei Rhein-km 800 für das Klimamodell-Ensemble ECE_CCLM_r12_RCP85 für den Zeitraum 2040 bis 2050	32

Abb. 6-1: Grubenwasserheizung, Rathaus Verbandsgemeinde (VG) Bad Ems	34
Abb. 7-1: Verlauf der Isothermen aus Naturmessungen (Momentaufnahme aus Überfliegung) (nach: Geiger, 1975)	35

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 3-1: Simulationsparameter für die Grubenwassereinleitungen Walsum und Lohberg	17
Tab. 4-1: Zusammenstellung der verwendeten Klimamodell-Ensembles	20
Tab. 4-2: Zusammenstellung der durchgeführten QSIM-Berechnungen	21
Tab. 5-1: Auswertung der Chlorid-Erhöhungen [mg/l] infolge der Grubenwassereinleitungen	24
Tab. 5-2: Auswertung der Chlorid-Erhöhungen [mg/l] infolge der Grubenwassereinleitungen hinsichtlich der Überschreitungstage	26
Tab. 5-3: Auswertung der Wassertemperatur [°C] im Rhein infolge der Grubenwassereinleitungen	27
Tab. 7-1: Richtwerte für zulässige Querströmungsgeschwindigkeiten an Bundeswasserstraßen und Hafenanlagen durch Entnahme- und Einleitungsbauwerke (verändert, nach: BAW, 2016)	35

1. Einleitung

Infolge des Steinkohlebergbaus im Ruhrgebiet musste in der Vergangenheit zur Grundwasserhaltung in den Bergwerken das anfallende Grundwasser abgepumpt und in die ortsnah gelegenen Gewässer Ruhr, Emscher, Lippe und Rhein eingeleitet werden. Durch die Aufgabe des Steinkohlebergbaus im Ruhrgebiet musste auch der künftige Umgang mit dem weiterhin anfallenden Grundwasser neu geregelt werden. Auf der Grundlage des vorliegenden „Konzepts zur langfristigen Optimierung der Grubenwasserhaltung der RAG Aktiengesellschaft für Nordrhein-Westfalen“ (RAG, 2014) sind langfristig (nach Umsetzung des Grubenwasserkonzeptes) nur noch sechs Grubenwassereinleitungen (gegenüber 14 Grubenwassereinleitungen in 2014) im Bereich des Ruhrgebietes vorgesehen. Über diese Einleitstellen sollen für das Ruhrgebiet in Summe im Jahr rd. 94,4 Mio. m³ (ca. 3 m³/s) Grubenwasser in die folgenden Gewässer aus den genannten Standorten der Pumpwerke eingeleitet werden.

- **Ruhr:** Heinrich (HE)
Friedlicher Nachbar (FN)
Robert Müser (RM) über Harpener Bach und Ölbach
- **Emscher:** frei von Grubenwassereinleitungen
- **Lippe:** Haus Aden (AD)
- **Rhein:** Lohberg (LO)
Walsum (WA)

In der folgenden Abbildung sind die Grubenwassereinleitungen nach Umsetzung des Grubenwasserkonzeptes der RAG dargestellt.

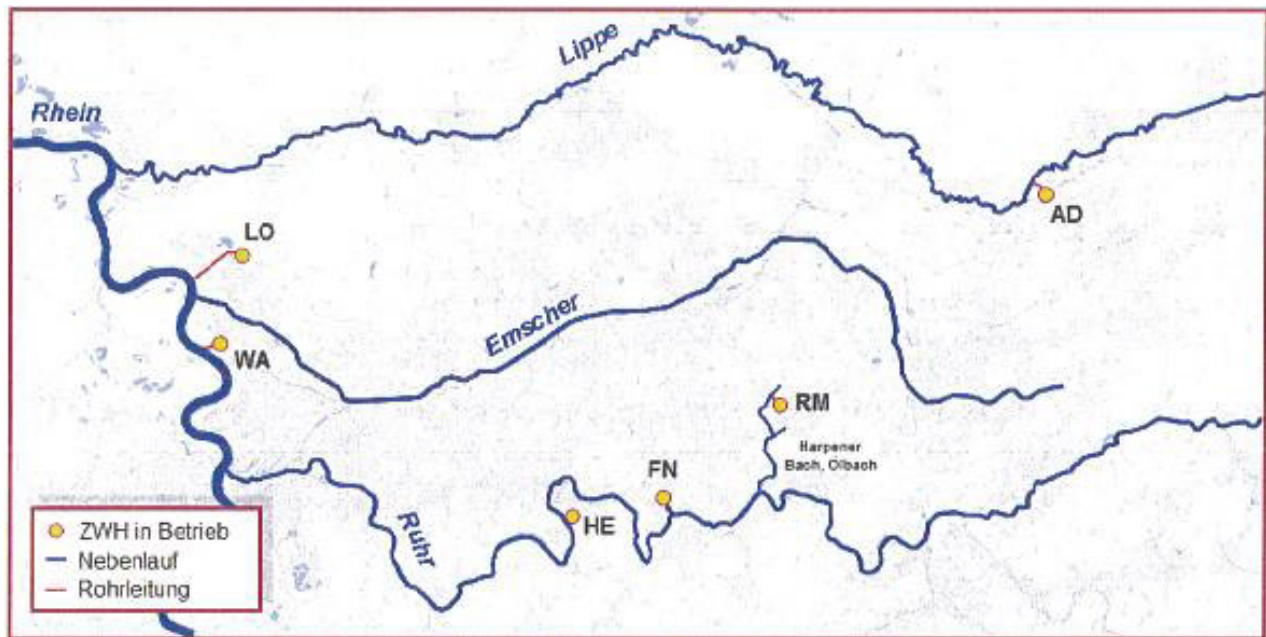


Abb. 1: Grubenwassereinleitungen nach Umsetzung des Grubenwasserkonzeptes der RAG (aus: Konzept zur langfristigen Optimierung der Grubenwasserhaltung der RAG Aktiengesellschaft für Nordrhein-Westfalen, Herne, August 2014)

Damit für die künftig geplanten Einleitstellen in Ruhr, Lippe und Rhein die geplanten und ggf. im Rahmen von Wasserrechtsanträgen bereits genehmigten Einleitungswassermengen und die ggf. geänderten künftigen Immissionswerte berücksichtigt werden können, ist zunächst eine Bestandserfassung der heutigen Einleitstellen und –wassermengen durchzuführen. Darauf aufbauend ist der Zeitplan zur Realisierung der möglicherweise noch fehlenden Anlagen zur Umsetzung der künftigen Grubenwassereinleitungen anzupassen. Ergänzend sind aus den aktuellen Beprobungen der Grubenwassereinleitungen die wesentlichen physikalisch-chemischen und chemischen Parameter zu erheben und den Einleitungsstellen zuzuordnen.

Aufbauend auf diesen Erhebungen ist das von der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) zur Verfügung gestellte Gewässergütemodell QSIM für das Rheingebiet zwischen Rhein-km 359 (südlich von Karlsruhe) und Rhein-km 865 (Bimmen) entsprechend der Einleitungsstellen für Grubenwasser aus dem Ruhrgebiet anzupassen.

Mit Hilfe des Gewässergütemodells QSIM sind dann für verschiedene Klimamodell-Ensembles die Auswirkungen der künftigen Grubenwassereinleitungen sowohl auf die Temperaturverhältnisse im Rhein als auch auf die Leitfähigkeit als Leitwert für den Salzgehalt im Rhein zu untersuchen. Da das Modell nur den Rhein betrachtet und die Nebengewässer als Einzelzuflüsse berücksichtigt, werden hier nur Aussagen über die künftigen Verhältnisse im Rhein getroffen.

Die Ergebnisse des Teilprojektes Wasserwirtschaft werden hiermit vorgelegt.

2. Ausgangssituation

Ein wichtiges Bindeglied zwischen der mengen- und güteorientierten Wasserwirtschaft ist der Wärmehaushalt der Gewässer. Erfolgen wärmebelastete Einleitungen (z.B. Kühlwasser- oder Grubenwassereinleitungen), die eine Veränderung der Fließgewässertemperatur nach sich ziehen, müssen diese Einleitungen aus einer ganzheitlichen, alle Ökofaktoren berücksichtigenden Sicht beurteilt werden. Nur so wird sichergestellt, dass die so zusätzlich belasteten Gewässer auch künftig ihre vielfältigen Funktionen sicher erfüllen können.

Betrachtet man die Grubenwassereinleitungen der Ruhrkohle AG im Bereich des Ruhrgebietes im End-Zustand, d.h. nach Aufgabe der Einleitungen in die Emscher und t.w. in die Lippe, so werden künftig die wesentlichen Einleitungen nur noch in den Rhein und die Ruhr erfolgen.

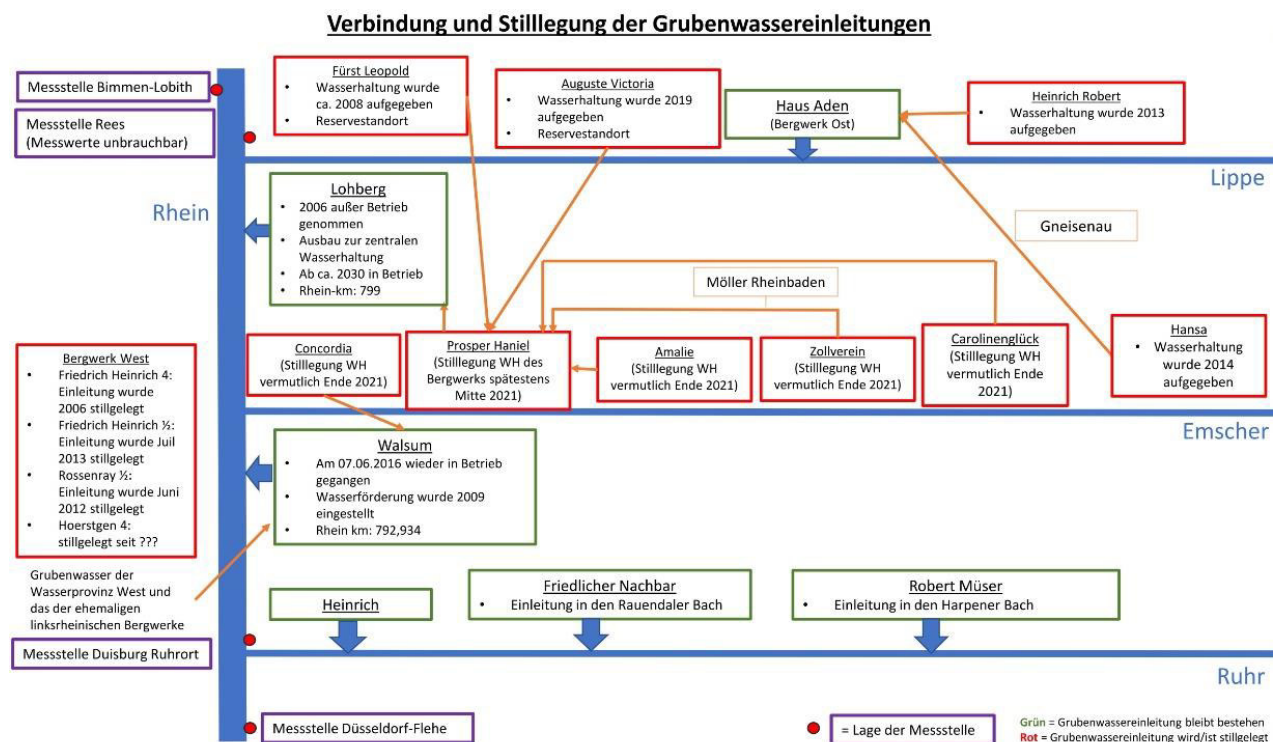


Abb. 2-1: Übersicht Grubenwassereinleitungen und zugehörige Bergwerke sowie Lage der Gewässermessstellen am Rhein (Systemplan)
 (rot=stillgelegte Bergwerke, grün=aktive Bergwerke)

Von daher wurden und werden zunächst die Temperaturentwicklungen an verschiedenen Messstellen entlang des Rhein oberhalb und unterhalb der vorhandenen Grubenwassereinleitungen in den Rhein sowie der bei Lohberg geplanten Grubenwassereinleitung untersucht. Dazu wurden Messdaten von der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW sowie von Rijkswaterstaat, Niederlande angefordert und bearbeitet.

2.1. Entwicklung von Abfluss, Temperatur und Leifähigkeit im Rhein nördlich von Duisburg-Ruhrort

Für die Auswertungen der Wassertemperaturverhältnisse im Rhein zwischen den Messstellen Duisburg-Ruhrort, in Fließrichtung vor den Grubenwassereinleitungen in den Rhein und der Grene zu den Niederlanden wurden die Daten der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) und von Rijkswaterstaat herangezogen. Die Lage der Messstellen kann Abbildung 2-1 entnommen werden

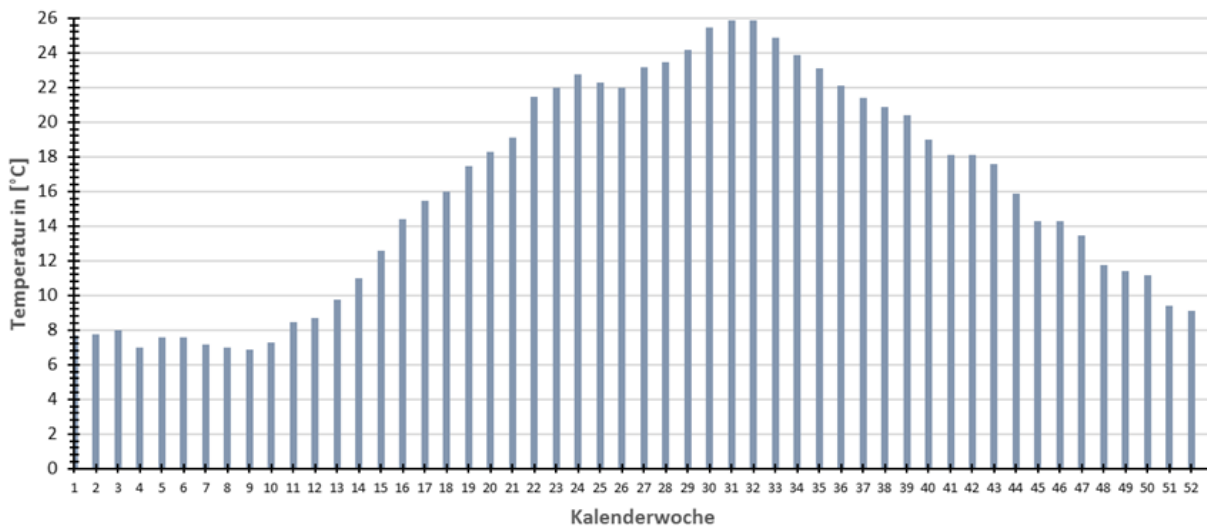


Abb. 2-2: Maximales Tagesmittel je Kalenderwoche der Wassertemperatur des Rheins für das Jahr 2018 (extremes Niedrigwasser) an der Messstation Rees
(Datenquelle: BfG, 2020)

In Abbildung 2-2 ist der Verlauf der Wassertemperatur am Rhein-Pegel Rees für das Jahr 2018 dargestellt. Im Jahr 2018 herrschten im Rhein in den Sommermonaten extreme Niedrigwasserabflüsse, was sich in den hohen Wassertemperaturen in den Kalenderwochen 31 und 32 (Ende Juli bis Mitte August) widerspiegelt. Hier lag das Tagesmittel der Wassertemperatur über einen Zeitraum von rd. Zwei Wochen bei ca. 26 °C . Danach nimmt die Wassertemperatur zum Jahresende hin beinahe kontinuierlich auf 9 °C ab.

In der folgenden Abbildung 2-3 sind für den Zeitraum 1.1.1990 bis 31.12.2006 für die Messstation Bimmen-Lobith die Werte der Wassertemperatur um 12 Uhr aufgetragen. Hier ist deutlich erkennbar, dass die Wassertemperatur in den Sommermonaten zeitweise bis maximal rd. 28 °C (z.B. 2003 und 2006) ansteigt und in den Wintermonaten zeitweise unter 6 °C abfällt. Die in Abbildung 2-3 dargestellte Trendlinie zeigt für den Zeitraum 1.1.1990 bis 31.12.2006 eine Zunahme der Wassertemperatur von rd. 0,6 °C.

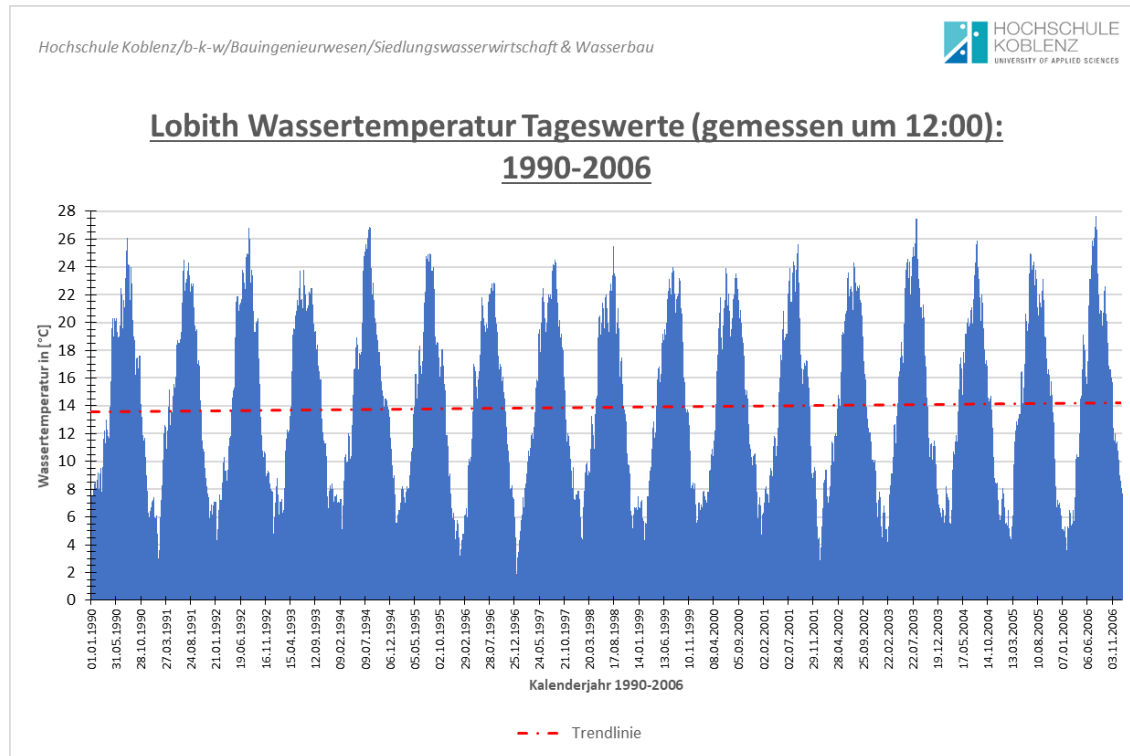


Abb. 2-3: Tageswerte der Wassertemperatur an der Messstation Bimmen-Lobith für den Zeitraum 1990 bis 2006
 Datenquelle: Rijkswaterstaat (12.05.2020)

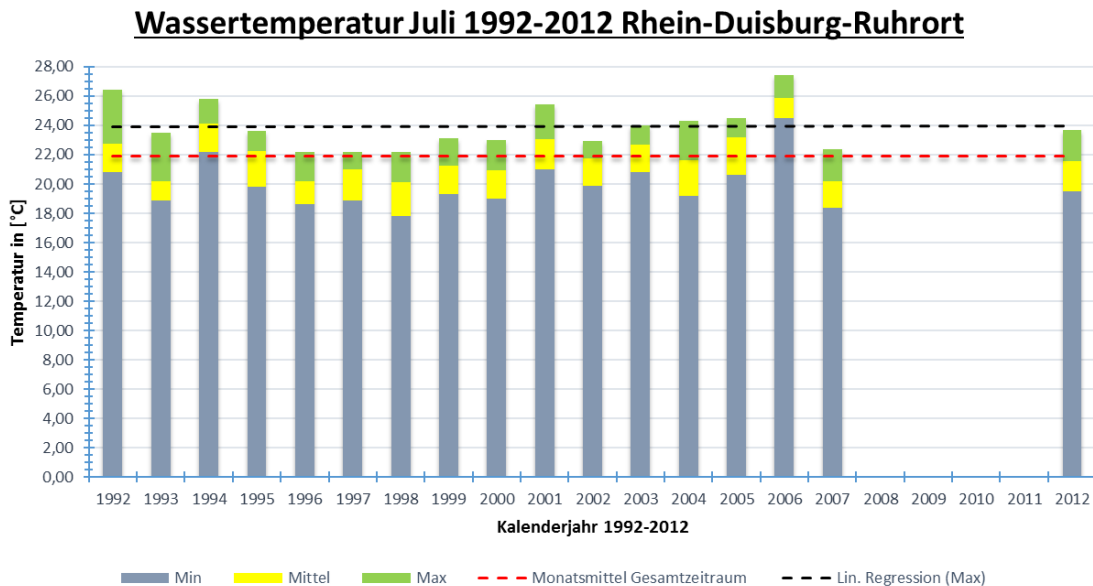


Abb. 2-4: Minimale, mittlere und maximale Wassertemperatur des Rheins für den Monat Juli im Zeitraum 1992 bis 2012 an der Messstation Duisburg-Ruhrort

Vergleicht man die in den Abbildungen 2-2 und 2-3 dargestellten Temperaturverläufe der Wassertemperatur des Rheins mit den in Abbildung 2-4 aufgetragenen minimalen, maximalen und mittleren Wassertemperaturen des Rheins für den Monat Juli, erkennt man zum einen die geringe Schwankungsbreite zwischen minimaler und maximaler Wassertemperatur im Sommer. Zum anderen zeigt die für die maximale Wassertemperatur im Juli eines jeden Jahres eingetragene Regressionsgerade im Zeitraum 1992 bis 2012 nur einen sehr geringen positiven Trend.

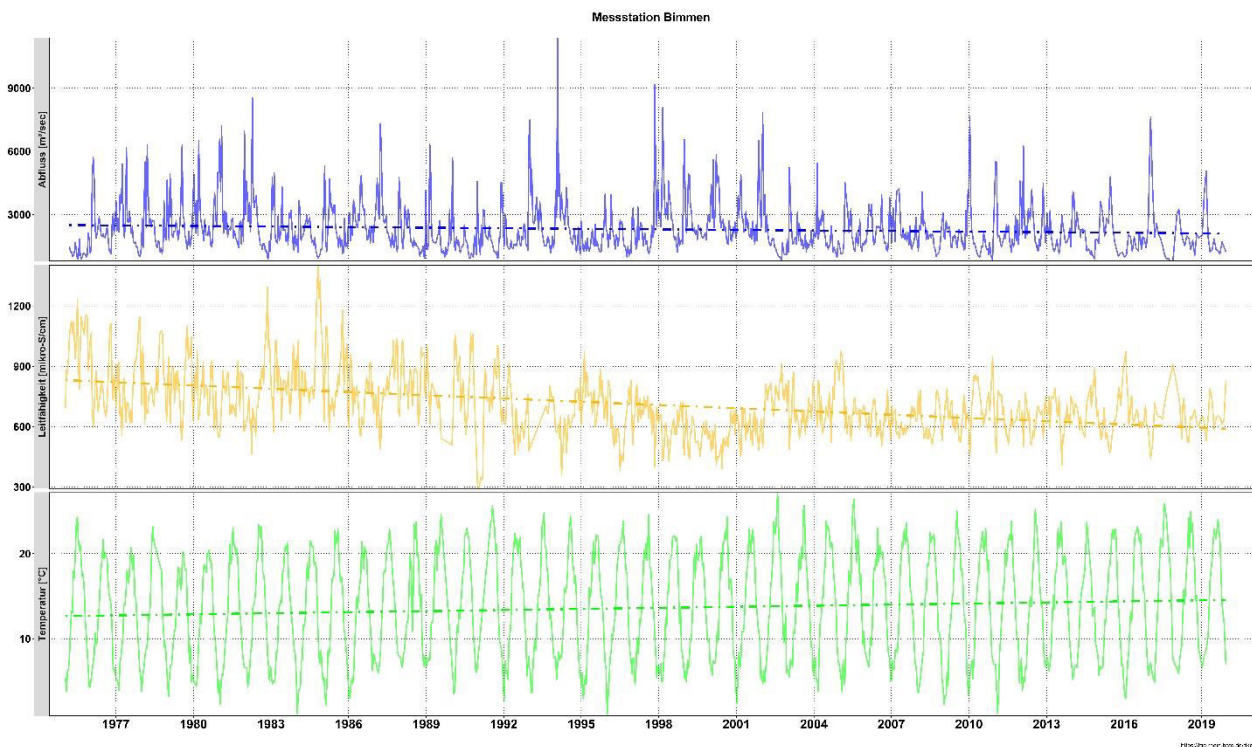


Abb. 2-5: Gegenüberstellung der Messwerte für Abfluss, Temperatur und Leitfähigkeit an der Messstation Bimmen/Lobith (Bimmen/Kleve)
(Datenquelle: BfG/FGG-Rhein, 2023)

In Abbildung 2-5 sind für die Messstation Bimmen/Lobith die gemessenen Abflüsse, die gemessene Wassertemperatur und die gemessene Leitfähigkeit für den Zeitraum Januar 1976 bis Dezember 2020 (45 Jahre) gegenübergestellt. Hierbei ist zu beachten, dass die Parameter teilweise an unterschiedlichen Tagen gemessen wurden. Es zeigt sich, dass die Leitfähigkeit als Indikator für den Salzgehalt des Rheins in den Jahren bis etwa 1992 teilweise über 1000 mikro-S/cm lag und seit 1992 dieser Wert nur noch an wenigen Tagen erreicht wurde. Über den Zeitraum von 45 Jahren zeigt sich ein deutlich negativer Trend, was auf eine abnehmende Salzbelastung im Rhein hinweist. Die Temperaturwerte hingegen stiegen im Zeitraum 1976 bis 2020 an und weisen einen positiven Trend auf. Im Gegensatz dazu zeigen die gemessenen Abflüsse am Pegel Bimmen/Lobith für den Zeitraum 1976 bis 2020 einen negativen Trend. Anhand der Messdaten ist damit zu rechnen, dass langfristig die Abflüsse und die Salzkonzentration im Rhein eher abnehmen und die Wassertemperatur eher zunehmen wird.

2.2. Niedrigwasserabflussverhältnisse des Rheins (IKSR, 2018)

Zum Abflussverhalten der Flüsse gehören nicht nur die Hochwässer, die in der Regel nur sehr kurzzeitig auftreten und durch ihre hohe Fließgeschwindigkeit und die damit verbundenen starken turbulenten Fließverhältnisse Auswirkungen auf die ökologischen Verhältnisse eines Gewässers (z.B. die Verdriftung von Lebewesen) haben. Wesentlich gravierender können die Auswirkungen von Niedrigwasserperioden z.B. auf die Temperaturverhältnisse sein. Im Gegensatz zu Hochwasserereignissen entwickeln sich Niedrigwasserperioden über einen längeren Zeitraum. Daher ist eine Bemessungsgröße für den Niedrigwasserabfluss der Wert MNM7Q. Diese Größe beschreibt den mittleren Niedrigwasserabfluss an 7 aufeinanderfolgenden Tagen. Für den Rhein-Pegel Lobith (kurz hinter der Grenze zu den Niederlanden) ergibt sich z.B. für den Zeitraum 1961 bis 2010 der mittlere Niedrigwasserabfluss an 7 aufeinanderfolgenden Tagen (MNM7Q) zu 1095 m³/s. Ausgeprägte Niedrigwassersituationen am Rhein entwickeln sich oft nach abnehmenden Abflüssen aus dem Alpen- und Voralpenraum ab September/Oktober und in trockenen oder sehr kalten Wintern. Für den Zeitraum 1961 bis 2010 lassen sich keine Trends für die Niedrigwassereinflüsse ermitteln, die Auswertung historischer Abflussreihen ergaben jedoch, das Niedrigwasser am Rhein in der ersten Hälfte des letzten Jahrhunderts deutlich ausgeprägter waren und mit geringeren Abflüssen und längeren Unterschreitungsdauern einhergingen als im Zeitraum 1961 bis 2010. Dieser Trend ist jedoch überwiegend der Speicherbewirtschaftung im Alpenraum und weniger der Klimaentwicklung zuzuschreiben.

„Niedrigwasser wirkt sich unmittelbar auf die Wasserqualität und Ökologie aus.“ Wobei keine gravierenden langanhaltenden negativen Auswirkungen auf die Gewässergüte des Rheins bei Niedrigwasserereignissen festgestellt wurden. Ökologische Probleme treten insbesondere bei sommerlichen Niedrigwasserereignissen auf und damit verbunden mit erhöhten Wassertemperaturen und den damit einhergehenden geringeren Sauerstoffgehalten. Durch die Einleitung von Grubenwässern mit erhöhten Temperaturen wird so den Gewässern zusätzliche Energie in Form von Wärme zugeführt, die zu Auswirkungen auf die Fauna des Gewässers hat. Zum anderen nimmt die Löslichkeit des Sauerstoffs im Wasser und damit der Sauerstoffgehalt mit zunehmender Wassertemperatur ab.

Untersuchungen der BfG zu Auswirkungen des Klimawandels auf die Niedrigwasserabflüsse zeigen kein eindeutiges Bild. So schwanken die Ergebnisse für den nahen Projektionszeitraum 2012 bis 2050 zwischen einer Abnahme um 10 % und einer Zunahme um 10 %. Für den fernen Projektionszeitraum 2071-2100 wird für die Sommerhalbjahre (Mai bis Oktober) mit einer deutlichen Niedrigwasserabflussminderung gerechnet. Von daher könnten Niedrigwasserereignisse im Sommerhalbjahr künftig am Rhein insbesondere hinsichtlich ihrer ökologischen Auswirkungen zunehmend bedeutsamer werden, da bei niedrigen Abflüssen die Wassertemperaturen im Sommer stärker ansteigen.

Im Zusammenhang mit der Entwicklung von Szenarien, wie mit geeigneten Maßnahmen den Auswirkungen des Klimawandels auf die Bundeswasserstraßen begegnet werden könnte (BfG, 2021), wurde u.a. für das Klimaszenario RCP8.5 (weiter wie bisher, siehe Abschnitt 4) für den Rhein-Pegel Duisburg-Ruhrort eine deutliche Zunahme der Tage mit einem Abfluss unter dem Gleichwertigen Abfluss (GIQ) ermittelt. Der GIQ ist der zum Gleichwertigen Wasserstand (GIW) korrespondierende Abfluss, der durchschnittlich an 20 eisfreien Tagen pro Jahr unterschritten wird. Für den Pegel Duisburg Ruhrort wurde ermittelt, dass der in 2012 für den GIQ festgelegte Wert im Jahr 2085 nicht mehr nur an 20 eisfreien Tagen im Mittel unterschritten wird sondern im Mittel an rd. 37 Tagen unterschritten wird. Je nach verwendetem Klimamodell schwankt die Vorhersage für die Unterschreitungstage zwischen rd. 24 und rd. 55 Tagen (siehe Abbildung 2-

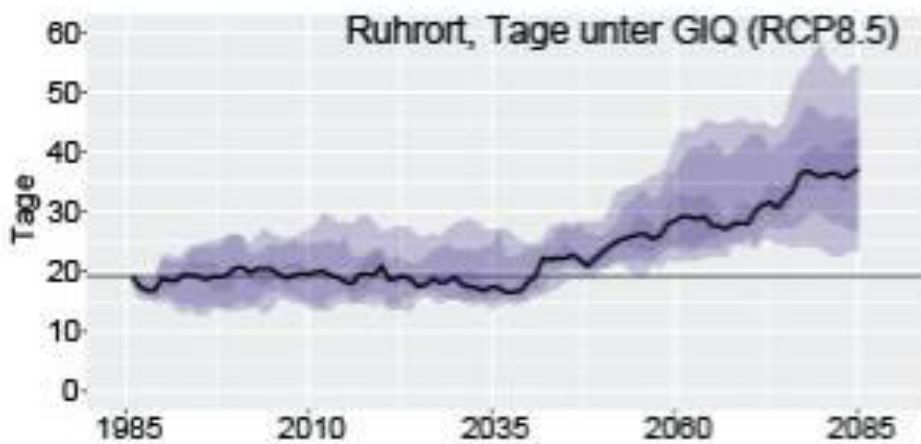


Abb. 2-6: Mittlere Anzahl von Tagen mit Niedrigwasser unter dem Schwellenwert $GIQ_{1972-2000}$ für den Pegel Duisburg-Ruhrort/Rhein (BfG, 2021)

2.3. Entwicklung der Grubenwassereinleitungen

In Abbildung 2-6 sind für den Zeitraum 2000 bis 2017 die Jahressummen der Grubenwassereinleitungen für den Rhein und die Nebengewässer Ruhr, Emscher und Lippe dargestellt. Die Grubenwassereinleitungen im Ruhrgebiet verteilten sich in der Vergangenheit auf den Rhein (geringster Anteil) und die Ruhr (größter Anteil). In beide Gewässer wurde im Mittel rd. 49 %, in die kleineren Gewässer Emscher und Lippe im Mittel rd. 51 % der Gesamteinleitungsmenge eingeleitet. Aufgrund der Konzeptes zur künftigen Verringerung der Pumpkosten durch einen für das oberflächennahe Grundwasser unschädlichen Anstieg des Tiefengrundwassers in den stillgelegten Bergwerksschächten und -stollen wurden die Pumpwassermengen in den vergangenen Jahren reduziert. Deutlich erkennbar ist die Abnahme der jährlichen

Einleitungswassermenge von rd. 97 Mio. m³ auf rd. 60 Mio. m³ in Abbildung 2-7. Die Einleitung an der Einleitstelle Walsum wurde zeitweise sogar eingestellt.

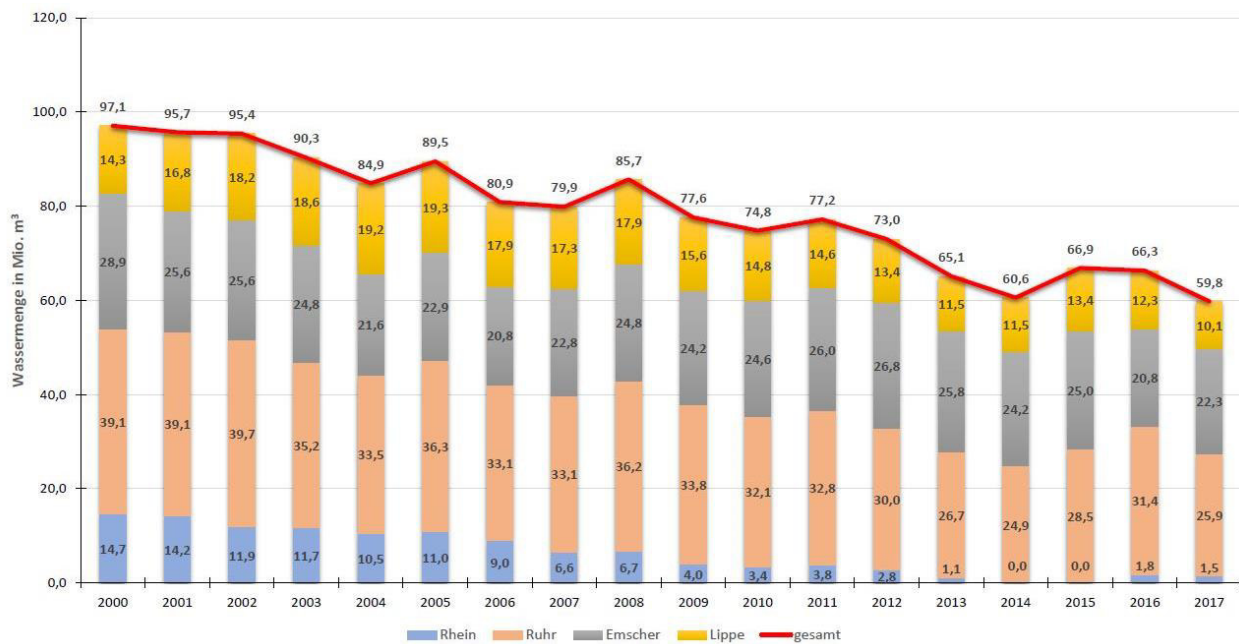


Abb. 2-7: Entwicklung der Grubenwassereinleitungen in den Rhein und die Nebengewässer (Datenquelle RAG AG)

2.4. Auswertung der Chlorid-Messwerte an den Grubenwassereinleitungen

Die Grubenwassereinleitstellen wurden im Rahmen des Projektes begangen. Die entsprechende Fotodokumentation sowie ein Luftbild der jeweiligen Einleitstelle ist in der Anlage beigefügt. In Abbildung 2-1 ist die Lage der Grubenwassereinleitstellen im Systemplan dargestellt.

Die Auswertungen der zur Verfügung gestellten Chlorid-Werte an den bestehenden Grubenwassereinleitungen zeigen erhebliche Unterschiede in den gemessenen Chlorid-Konzentrationen. In den folgenden Abbildungen sind die aus verschiedenen Quellen (RAG AG, ELWAS-web, Überwachung Direkteinleiter) stammenden Chlorid-Messwerte (soweit sie vorlagen) an den Grubenwassereinleitstellen Robert Müser (Ruhr), Friedlicher Nachbar (Ruhr), Heinrich (Ruhr), Haus Aden (Lippe) und Walsum (Rhein) aufgetragen.

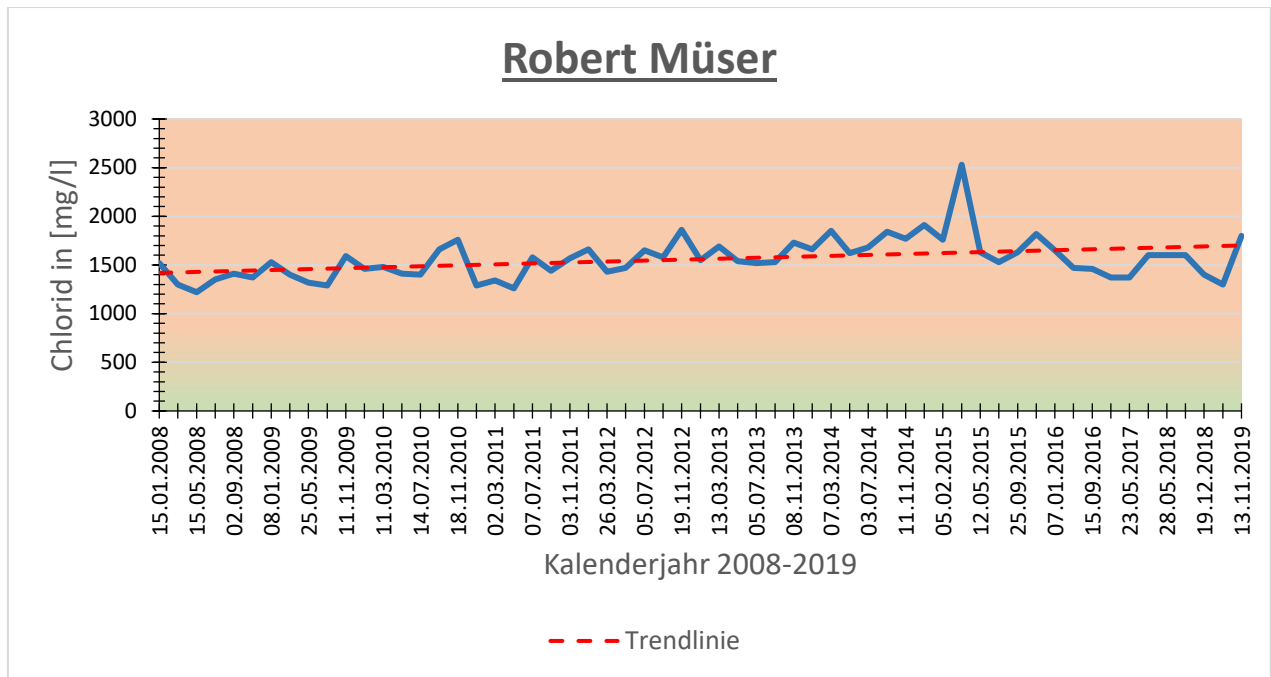


Abb. 2-8: Chlorid-Messwerte für die Einleitstelle „Robert Müser“ an der Ruhr für den Zeitraum 2008 bis 2019

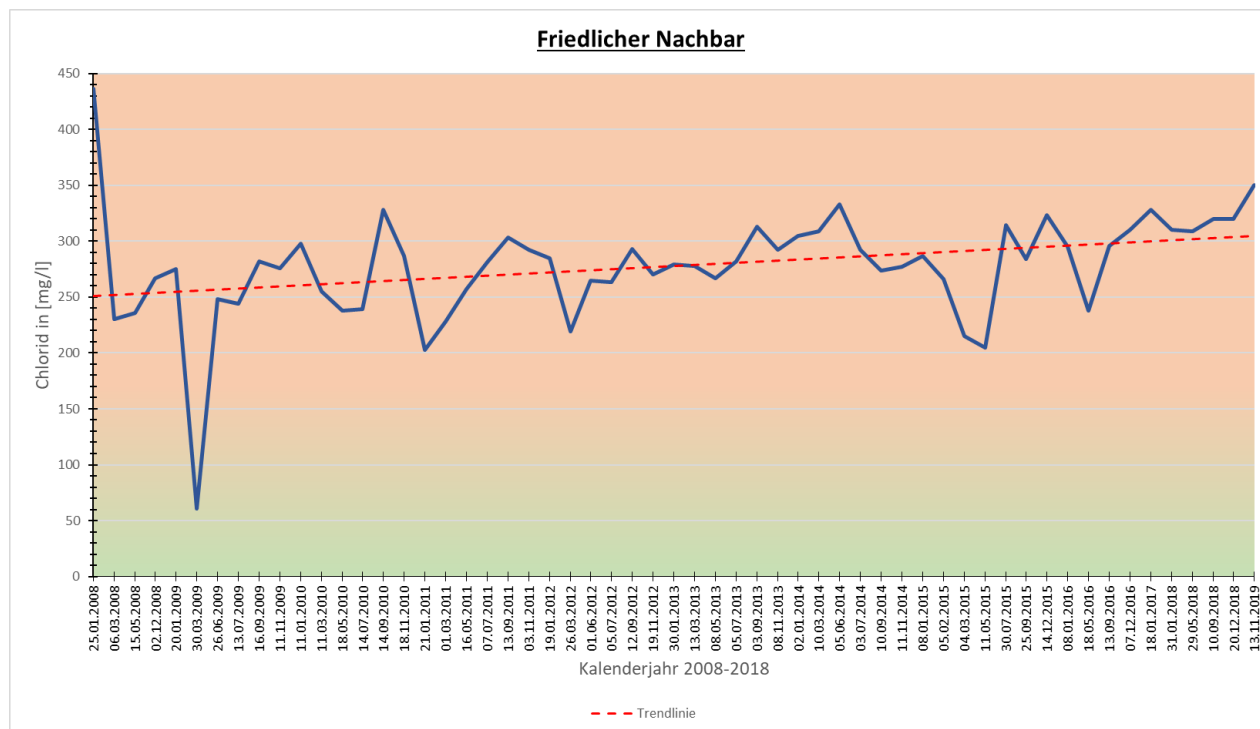


Abb. 2-9: Chlorid-Messwerte für die Einleitstelle „Friedlicher Nachbar“ an der Ruhr für den Zeitraum 2008 bis 2019

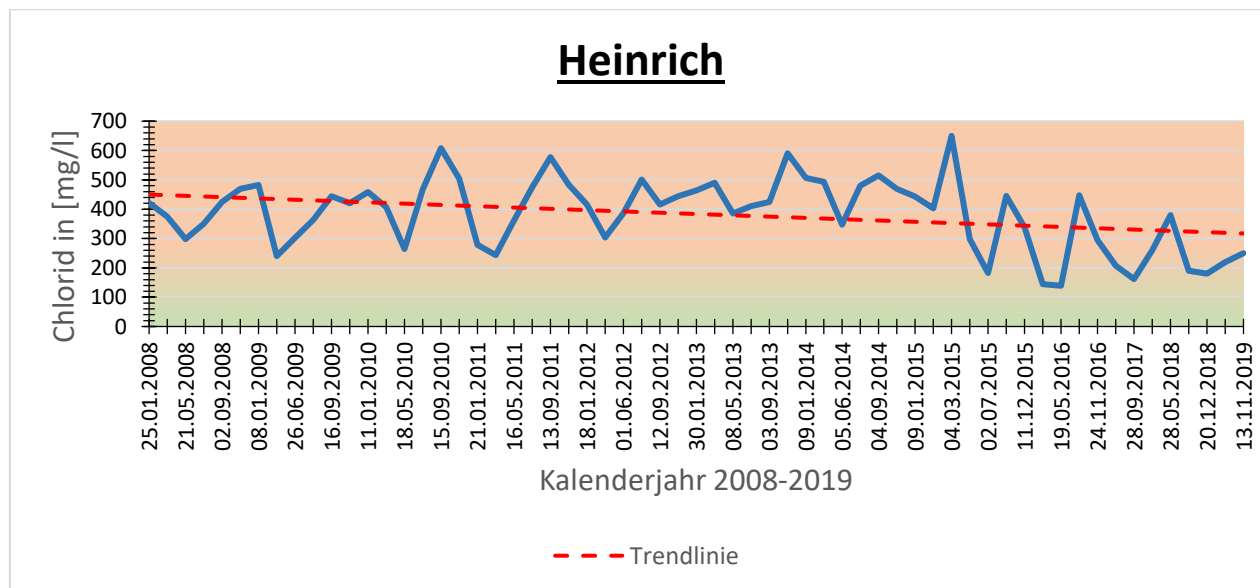


Abb. 2-10: Chlorid-Messwerte für die Einleitstelle „Heinrich“ an der Ruhr für den Zeitraum 2008 bis 2019

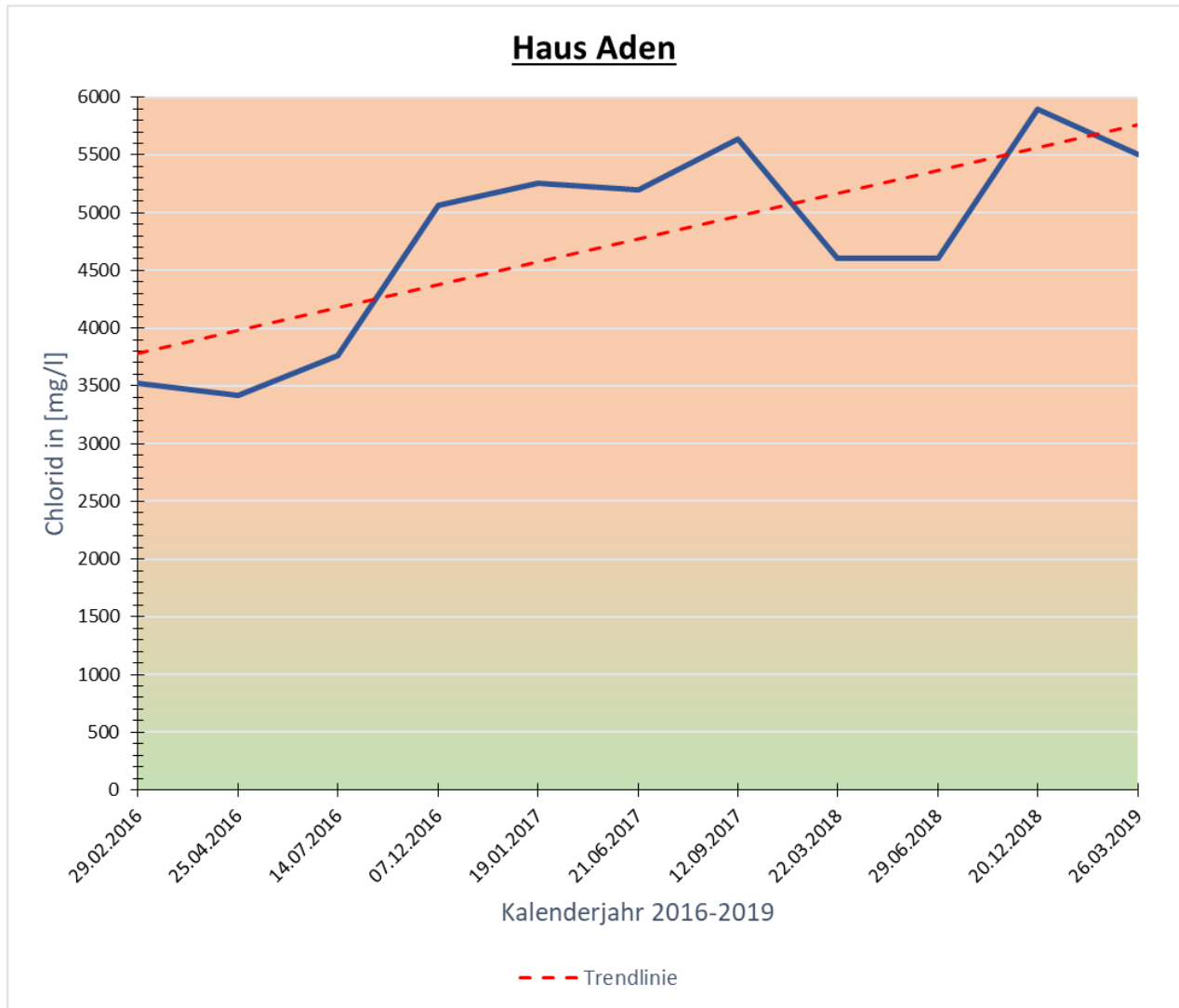


Abb. 2-11: Chlorid-Messwerte für die Einleitstelle „Haus Aden“ an der Lippe für den Zeitraum 2016 bis 2019

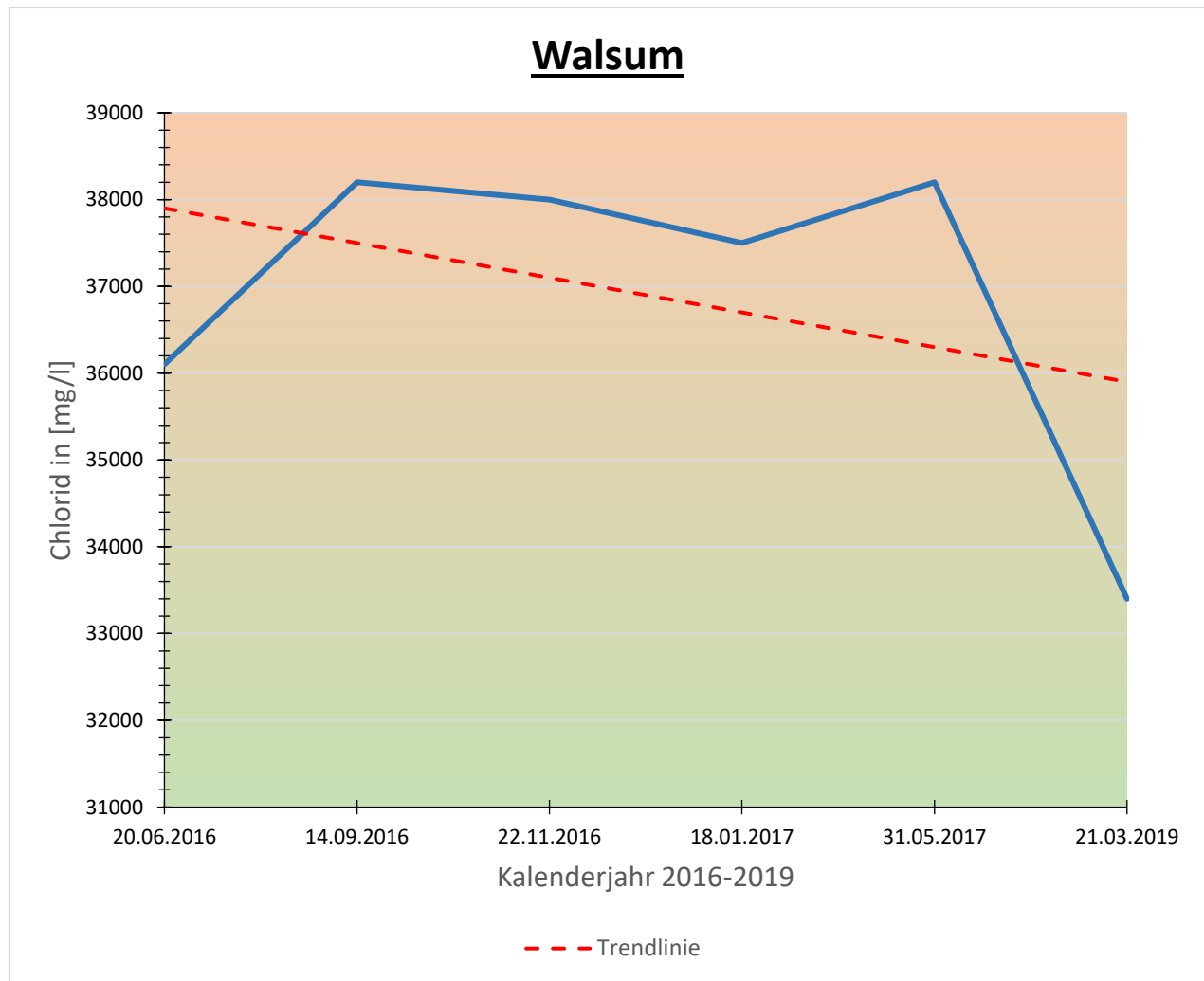


Abb. 2-12: Chlorid-Messwerte für die Einleitstelle „Walsum“ am Rhein für den Zeitraum 2016 bis 2019

An den Grubenwassereinleitstellen Robert Müser, Friedlicher Nachbar und Haus Aden ist eine Zunahme der Chlorid-Konzentration zu beobachten, bei den Grubenwassereinleitstellen Heinrich und Walsum ist dagegen eine Abnahme der Chlorid-Konzentrationen zu beobachten. Bei der Grubenwassereinleitstelle Walsum (siehe Abbildung 2-12) wurden die größten Chlorid-Konzentrationen mit Werten zwischen rd. 33.400 mg/l und rd. 38.200 mg/l ermittelt, wohingegen an der Grubenwassereinleitstelle „Friedlicher Nachbar“ (siehe Abbildung 2-) lediglich Chlorid-Konzentrationen zwischen rd. 60 mg/l und rd. 440 mg/l gemessen wurden.

Die unterschiedlichen Chlorid-Konzentrationen an den verschiedenen Einleitstellen können zum einen auf unterschiedliche geogene Vorbelastungen in den verschiedenen Bergwerken aber auch durch die Lage der Messstellen und eine ggf. vorhandenen Durchmischung mit Oberflächenwasser vor der eigentlichen Probenahme beruhen. In der Anlage sind die verschiedenen Einleitstellen die künftig betrieben werden dokumentiert. Hier ist erkennbar, dass eine Einleitung unmittelbar in ein Gewässer und in einen See erfolgt.

3. Untersuchung der Auswirkungen der Grubenwassereinleitung auf die künftigen Temperatur- und Chloridverhältnisse im Rhein

Zur Untersuchung der Auswirkungen der künftigen Grubenwassereinleitungen an den Einleitstellen Walsum bei Rhein-km 792 und Lohberg bei Rhein-km 799 erfolgten verschiedene Simulationsläufe mit dem von der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz entwickelten und für Untersuchungen zur Wasserqualität u.a. des Rheins eingesetzten Gewässergütemodells QSIM (BfG 2012). Für die Simulationsläufe wurden die Auswirkungen verschiedener Szenarien der Klimaentwicklung (Klimamodelle) untersucht. Im Folgenden wird zunächst auf das Gewässergütemodell QSIM und die untersuchten Klimaszenarien eingegangen. Daran anschließend werden dann die Ergebnisse der Simulationsläufe diskutiert.

3.1. Das Gewässergütemodell QSIM der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Koblenz

Das von der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) in Koblenz entwickelte Gewässergütemodell QSIM beschreibt die komplexen chemischen und biologischen Vorgänge in Fließgewässern. Mit Hilfe des Modells, das hydraulische und ökologische Modellbausteine miteinander verknüpft, lassen sich z.B. die Einflüsse von Ausbaumaßnahmen und Einleitungen auf den Stoffhaushalt sowie die Temperaturschichtungen und in deren Folge auftretenden vertikale Stoffgradienten mit einem quasi-2D-Ansatz abbilden. So können z.B. die Jahrgänge des Sauerstoffhaushaltes und andere Wasserbeschaffenheitsparameter sowie biologische Größen entlang eines Flusslaufes errechnet werden. Hierzu nutzt das Gewässergütemodell QSIM einen deterministischen Ansatz. D.h. die auf den Stoffhaushalt eines Gewässers wirkenden Prozesse werden in Form von Differenzial- und algebraischen Gleichungen beschrieben, ohne einen Einfluss des Zufalls. Hierbei werden die betrachteten Zustandsgrößen als gleichverteilt über den gesamten Querschnitt betrachtet (vollständige Durchmischung). Das Modell QSIM wurde bereits an vielen Gewässern Deutschlands für unterschiedliche Fragestellungen angewendet (BfG, 2012).

Da das bestehende QSIM-Modell der BfG die Verhältnisse im Rhein simuliert und die größeren Zuflüsse Ruhr und Lippe im Bereich der Grubenwassereinleitungen lediglich als Einzelzuflüsse simuliert werden, können nur Aussagen über die Auswirkungen der Grubenwassereinleitung in den Rhein getroffen werden. Hierzu wurde von der Bundesanstalt für Gewässerkunde der aktuelle Datensatz zur Simulation der Temperaturerhöhungen im Rhein in Abhängigkeit der Klimaänderungen sowie die aktuelle Version des Programms QSIM zur Verfügung gestellt. In enger Abstimmung mit der BfG wurde das Modell um die beiden Grubenwassereinleitstellen

Walsum und Lohberg erweitert und die aktuellen Entwicklungen bei den Wärmeinleitungen aus den Kraftwerken im Rheineinzugsgebiet berücksichtigt.

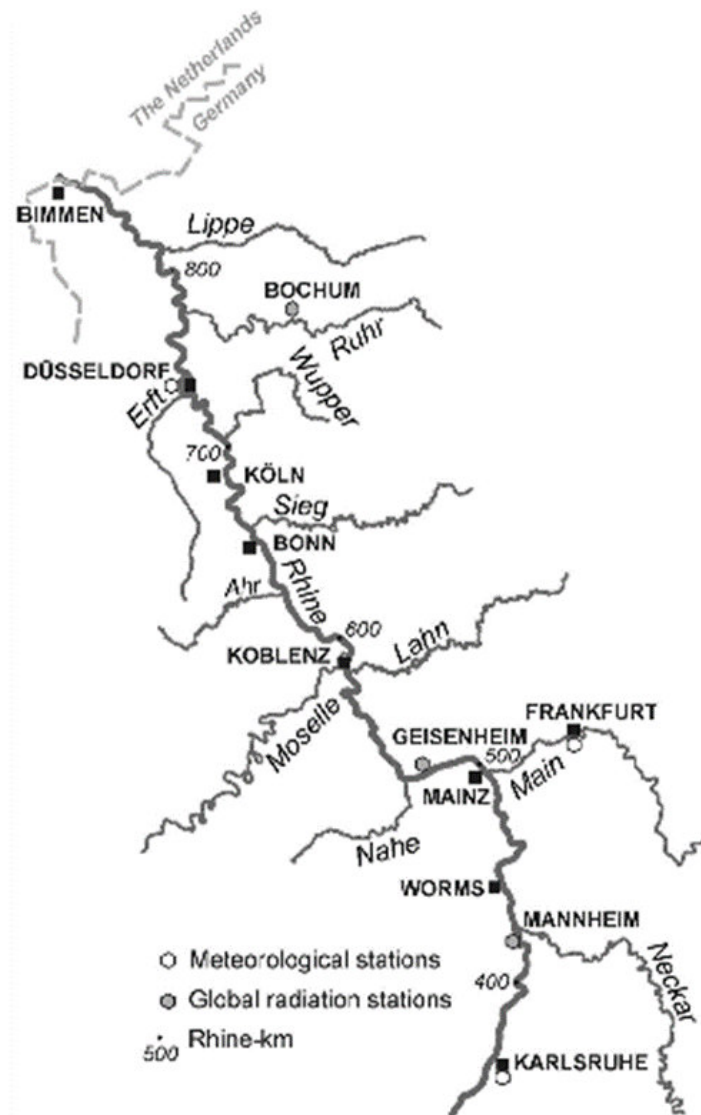


Abb. 3-1: Modellierter Flusstrecke des freifließenden Rheins in Deutschland)
(Hardenbicker, P. et. Al, 2017)

Bei der Erzeugung von elektrischer Energie und bei der Produktion verschiedenster Bedarfsgüter entsteht Wärme, die häufig über nahegelegene Gewässer abgeführt wurde. Daher gab und gibt es entlang des Rheins und auch seiner Hauptnebegewässer zahlreiche Einleitungen aus z.B. Kohle- und Atomkraftwerken, deren Abwärme den Rhein belasteten. Dabei galt, es die Wärmebelastung so zu begrenzen, dass die Gewässer ihre vielfältigen Funktionen erfüllen konnten (LAWA, 1977). Die größeren Wärmeeinleiter in den Rhein wurden in der Vergangenheit in das Modell QSIM der BfG für den Rhein berücksichtigt.

Mittelrhein_9xWetter_Grube (25.11.2020 15:17:36)
 Netz Rhein Netz

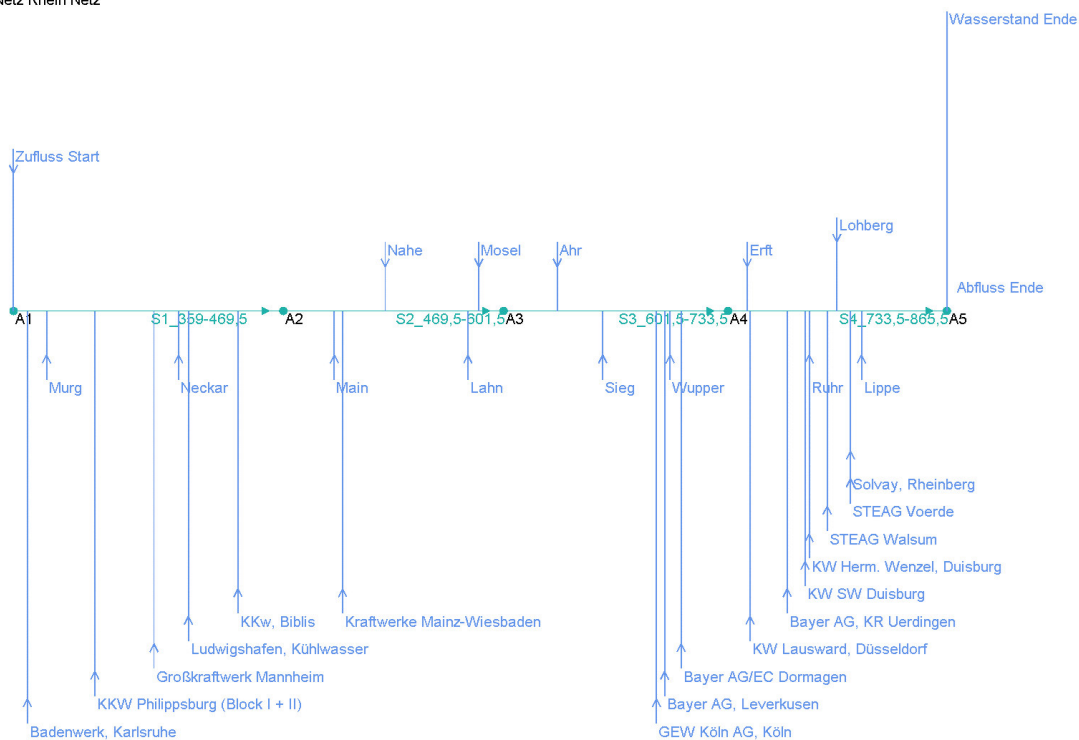


Abb. 3-2: Modellstruktur QSIM

Das Modell umfasst den Bereich des frei fließenden Rheins von Karlsruhe (Rhein-km 359,0) bis zur holländischen Grenze (Rhein-km 865,5). Aus Abbildung 3-2 können zum einen die zufließenden Gewässer (Murg; Neckar; usw.) als auch die Wärmeeinleitungen aus den Kraftwerkszuflüssen entlang des Rheins (Badenwerk, Karlsruhe; KKW Philippsburg (Block I + II); usw.) entnommen werden. Die größeren Kraftwerke entlang des Rheins, soweit sie noch in Betrieb sind, sind im Modell mit 50 % der jeweils maximalen Wärmeeinleitung implementiert. Durch die zwischenzeitliche Stilllegung der Kernkraftwerke Biblis und Philippsburg wurden deren Wärmeströme zu Null gesetzt. Die Wassertemperaturen der Zuflüsse Ruhr und Lippe, in die zukünftig weiterhin Grubenwasser eingeleitet wird (siehe Abbildung 1-1 und Abbildung 2-1) wurden nicht geändert. Damit sind die bisherigen Grubenwassereinleitungen in diese Gewässer indirekt mit enthalten, Veränderungen dieser Wärmeeinleitungen sind nicht enthalten. Hintergrund hierfür ist, dass die Nebengewässer des Rhein nicht im Detail modelliert werden.

Durch die bereits erfolgten und künftig noch geplanten Stilllegungen von Kohle- und Kernkraftwerken musste für das angepasste QSIM-Modell ein Bezug zu früheren Berechnungen hergestellt werden. Dies ist in Tabelle 4-2 in der Spalte „KW“ durch die Angabe „alt“ kenntlich gemacht. Zur Darstellung der Auswirkungen der Grubenwassereinleitungen wurde bei den Modellrechnungen in den verschiedenen Szenarien in Berechnungen mit und ohne Berücksichtigung der Grubenwassereinleitungen unterschieden. Weiter wurde für mehrere Rechenläufe ein konservativer Tracer für die Grubenwassereinleitungen berücksichtigt. Hiermit

soll die Auswirkungen der eingeleiteten Chlorid-Konzentrationen (Annahme: vollständige Durchmischung) dargestellt werden. Aktuell werden die insgesamt 26 Rechenläufe ausgewertet und sowohl tabellarische als auch grafisch aufbereitet.

Zur Untersuchung der Auswirkungen der Grubenwassereinleitungen auf die Temperatur und den Chloridgehalt im Rhein unterhalb der Einleitstellen Walsum und Lohberg wurden für die Einleitungen folgende Annahmen getroffen:

Tab. 3-1: Simulationsparameter für die Grubenwassereinleitungen Walsum und Lohberg

Einleitung	Zeitraum	Q (m ³ /s)	Wassertemperatur	Chlorid/Tracer (mg/L)
Lohberg	2031-2060	0,688	35	18159
Walsum	2031-2060	0,125	29	30596

Die Ermittlung dieser Größen erfolgte anhand der vorliegenden Monitoringberichten für die verschiedenen Einleitstellen. Anhand der Daten ergibt sich aus den Einleitfrachten und -mengen der heutigen Einleitungen aus den Gruben Franz Haniel, Amalie, Zollverein, Carolinenglück und Auguste Victoria für die künftige Einleitung über die Einleitstellen Lohberg in den Rhein einen Wassermenge von 0,688 m³/s mit einer mittleren Chlorid-Konzentration von 18.159 mg/l. Für die Einleittemperatur wurde die im Rahmen der „Potenzialstudie Warmes Grubenwasser“ (LANUV, 2018) mit der RAG für den Zeitraum 2035 und später abgestimmte zukünftige Wassertemperatur von 35 °C gewählt, da an dieser künftigen Einleitstelle noch keine Monitoringergebnisse vorliegen.

Für die bestehende Einleitstelle Walsum, über die künftig auch die Grubenwässer aus der Einleitung Concordia eingeleitet werden, ergibt sich aus den Einleitfrachten und -mengen der beiden heutigen Einleitungen künftig eine Einleitmenge von 0,125 m³/s bei einer mittleren Chlorid-Konzentration von 30.596 mg/l. Aus den vorliegenden Monitoringberichten ergibt sich an der Einleitung Walsum eine Einleittemperatur von 29 °C. Diese Höhe der künftigen Einleittemperatur stimmt auch mit der Einleittemperatur überein, die im Rahmen der „Potenzialstudie Warmes Grubenwasser“ (LANUV, 2018) mit der RAG für den Zeitraum 2035 und später abgestimmte wurde.

Für die Simulationen wurden sowohl die Einleittemperatur als auch die Einleitkonzentration als konstant über die Zeit angenommen. Die Chlorid-Belastung wurde als konservativer Tracer im Modell gerechnet und durch die Modellkonzeption (QSIM ist ein 1-D-Modell) wird das eingeleitete Wasser und damit die eingeleitete Chlorid-Konzentration als sofort vollständig durchmischt angesetzt. Da die Chlorid-Grundkonzentration im Rhein mit Null angesetzt wurde, wird durch die

Simulation die Erhöhung der Chlorid-Konzentration im Rhein durch die Grubenwassereinleitungen Lohberg und Walsum ermittelt. Damit können die unmittelbaren Auswirkungen aufgezeigt werden, unabhängig von einer, durch andere Einleitungen bedingten, Veränderung der Chlorid-Konzentration im Rhein.

4. Untersuchte Szenarien

Für die künftige Entwicklung sowohl der Abflüsse als auch der Wassertemperaturen im Rhein wurden verschiedene Klimamodell-Ensembles berechnet und für die verschiedenen Klimamodell-Ensembles die Auswirkungen der Einleitungen an den Einleitstellen Lohberg und Walsum auf die Wassertemperatur und auf die Erhöhung der Chlorid-Konzentration untersucht.

Grundlage der Klimamodellsimulationen bilden die verschiedenen Szenarien für die Entwicklung der atmosphärischen Treibhausgase. Dazu werden Annahmen über den künftigen zeitlichen Verlauf der Konzentrationen der Treibhausgase in der Luft getroffen. Diese Szenarien bilden dann die Anfangs- und Randbedingungen für die eigentlichen Simulationen. Häufig werden dazu in der Wissenschaft die RCP-Szenarien verwendet (Representative Concentration Pathways, RCP). Die Szenarien beschreiben die Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre mit Hilfe der anthropogenen Steigerung der Rückstrahlung (Strahlungsantrieb) in W/m^2 .

Im Wesentlichen werden dabei 4 Szenarien unterschieden (nach: Brien et al, 2020)

- **RCP8.5 (weiter wie bisher):**
Das CO_2 -Äquivalent beträgt im Jahr 2100 über 1370 ppm
- **RCP6.0:**
Szenario der Stabilisierung des Strahlungsantriebs im Jahr 2100 mit einem CO_2 -Äquivalent von ca. 850 ppm
- **RCP4.5 (moderates Szenario):**
Anstieg des CO_2 -Äquivalents bis 2100 auf 650 ppm
- **RCP2.6 (Klimaschutzszenario):**
Anstieg der Treibhausgaskonzentration bis 2020 auf ca. 490 ppm, danach Rückgang der Konzentration. Das Szenario entspricht in etwa dem $2^\circ C$ -Ziel der Vereinbarungen des Weltklimagipfels von Paris

Bei den durchgeführten Simulationsrechnungen wurde vom „Worst-Case-Szenario“ ausgegangen, d.h. der Temperaturanstieg verläuft weiter wie bisher (RCP8.5). Damit ergeben sich für den Rhein im Hinblick auf die Wassertemperatur und auf die Chloridkonzentration, die von der Entwicklung des Abfluss abhängig ist, die maximalen Auswirkungen.

Die Simulation der Temperaturerhöhung für die zukünftige Entwicklung unterscheidet sich je nach Global- und Regionalmodell-Kette. Für die durchgeführten Untersuchungen wurde aus der Liste der Klimaprojektionen (DWD-Referenz-Ensembles von 2018) (DWD, o.J.) folgende Ensembles ausgewählt:

Tab. 4-1: Zusammenstellung der verwendeten Klimamodell-Ensembles

GCM	RCM	Realisierung	Ensemble-Bezeichnung
ECE	RACMO	r1	ECE_RACMO_r1_RCP85
	RACMO	r12	ECE_RACMO_r1_RCP85
	REMO	r12	ECE_REMO_r12_RCP85
	CCLM	r12	ECE_CCLM_r12_RCP85
MIROC5	CCLM	r1	MIRCO5_CCLM_r1_RCP85

Erläuterung (nach (ReKliEs-De, 2017))

GCM: Global Climate Modell

RCM: Regional Climate Modell

ECE: EC-EARTH European Centre – Earth System Model

MIROC5: Model for Interdisciplinary Research On Climate (Globales Klimamodell von der Universität Tokio und der Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology)

RACMO: Dynamisches Regionales Klimamodell des Königlich-Niederländischen Meteorologischen Instituts zusammen mit dem Dänischen Meteorologischen Institut

REMO: Dynamisches Regional-Modell, entwickelt vom MPI für Meteorologie in Hamburg, aktuell weiterentwickelt von GERICS

CCLM: COSMO-CLM (dynamisches regionales Klimamodell

r1: Realisierung innerhalb des Szenariums zur genaueren Abschätzung der Bandbreite möglichen Klimaänderungen und deren Auswirkungen

r12: Realisierung innerhalb des Szenariums zur genaueren Abschätzung der Bandbreite möglichen Klimaänderungen und deren Auswirkungen

Unter Berücksichtigung der o.g. Faktoren ergeben sich für die Simulationsrechnungen folgende Varianten:

Tab. 4-2: Zusammenstellung der durchgeführten QSIM-Berechnungen

Szenario	Einleitung	Zeitraum	Hydrax	QSim	KW	Temp	Tracer
Stationär	-	-	EH5	-	-	-	-
ECE_CCLM_r12	ohne	1971-2000	EH6	EQ03	alt	x	-
ECE_CCLM_r12	mit	2031-2060	EH35	EQ04	neu	x	-
ECE_RAC_r12	ohne	1971-2000	EH9	EQ06	alt	x	-
ECE_RAC_r12	mit	2031-2060	EH36	EQ07	neu	x	-
ECE_RAC_r1	ohne	1971-2000	EH12	EQ09	alt	x	-
ECE_RAC_r1	mit	2031-2060	EH38	EQ10	neu	x	-
ECE_REM_r12	ohne	1971-2000	EH15	EQ12	alt	x	-
ECE_REM_r12	mit	2031-2060	EH37	EQ13	neu	x	-
MIROC5-CCLM-r1	ohne	1971-2000	EH18	EQ15	alt	x	-
MIROC5-CCLM-r1	ohne	2031-2060	EH19	EQ16	alt	x	-
MIROC5-CCLM-r1	ohne	2031-2060	EH19	EQ32	neu	x	-
MIROC5-CCLM-r1	ohne	1971-2000	EH18	EQ33	neu	x	-
MIROC5-CCLM-r1	mit	2031-2060	EH34	EQ34	neu	-	x
MIROC5-CCLM-r1	mit	2031-2060	EH34	EQ35	neu	x	-
ECE_CCLM_r12	mit	2031-2060	EH35	EQ37	neu	-	x
ECE_CCLM_r12	ohne	1971-2000	EH6	EQ38	neu	x	-
ECE_CCLM_r12	ohne	2031-2060	EH7	EQ39	neu	x	-
ECE_RAC_r1	ohne	1971-2000	EH12	EQ40	neu	x	-
ECE_RAC_r1	ohne	2031-2060	EH13	EQ41	neu	x	-
ECE_RAC_r1	mit	2031-2060	EH38	EQ42	neu	-	x
ECE_RAC_r12	ohne	1971-2000	EH9	EQ43	neu	x	-
ECE_RAC_r12	mit	2031-2060	EH36	EQ44	neu	-	x
ECE_RAC_r12	ohne	2031-2060	EH10	EQ45	neu	x	-
ECE_REM_r12	ohne	1971-2000	EH15	EQ46	neu	x	-
ECE_REM_r12	mit	2031-2060	EH37	EQ47	neu	-	x
ECE_REM_r12	ohne	2031-2060	EH16	EQ48	neu	x	-

Die verschiedenen Spalten in Tabelle 4-2 haben folgende Bedeutung:

- Szenario: siehe hierzu Tabelle 4-1
- Einleitung: mit oder ohne Grubenwassereinleitung an den Einleitstellen Lohberg und Walsum zum Vergleich der Auswirkungen
- Zeitraum: Betrachtungszeitraum,
 - 1971-2000 „Vergangenheit“, Vergleich mit den aus anderen Projekten vorliegenden Berechnungsergebnissen, Grundlage für den Vergleich der Auswirkungen
 - 2031-2060 „Nahe Zukunft“, Berechnung mit den verschiedenen Szenarien zur Ermittlung der Veränderungen gegenüber der „Vergangenheit“
- Hydrax: interne Bezeichnung für die hydrologische Simulation
- QSIM: interne Bezeichnung für den Rechenlauf

- KW: Beschreibung, welche Wärmemengen aus den Kraftwerken für das Modell angesetzt wurden,
 - alt: ursprünglich im Modell implementierte Wärmeeinleitungen, siehe Abschnitt 3.1
 - neu: aktuell berücksichtigten Wärmeeinleitungen nach Stilllegung von Kernkraftwerken und Steinkohlekraftwerken
- Temp: Die Temperatur wurde im Simulationslauf modelliert
- Tracer: Die Chlorid-Einleitung wurde als Tracer im Simulationslauf modelliert.

5. Simulationsergebnisse

In diesem Abschnitt werden die sich aus den verschiedenen Simulationsläufen gemäß Tabelle 4-2 ergebenden Veränderungen beschrieben. Zunächst wird auf die Entwicklung der künftigen Chlorid-Konzentration im Rhein infolge eingeleiteten Chlorid-Frachten aus den Einleitungen Walsum bei Rhein-km 792 und Lohberg bei Rhein-km 799 eingegangen. Da die Chlorid-Belastung als konservativer Tracer in der Modellierung betrachtet wurde, erfolgt kein Abbau der Chlorid-Belastung sondern in Fließrichtung lediglich eine geringe Abnahme durch den in Fließrichtung zunehmenden Abfluss. Hierbei ist zu beachten, dass die ermittelten Konzentration jeweils auf die Grundkonzentration im Rhein aufaddiert werden muss. Die ermittelten Werte für die Chlorid-Konzentration geben somit die Zunahme der Grundkonzentration infolge der Einleitungen an. Für die Messstelle Lobith ergibt sich aus den vorliegenden Messwerten eine Grundkonzentration im Rhein von im Mittel 126,36 mg/l. Der Median für diesen Zeitraum beträgt 114,3 mg/l und der max. Wert wurde am 17.10.1991 mit 319 mg/l gemessen.

In Tabelle 5-1 sind für verschiedene Klimamodell-Ensembles und den Zeitraum „Nahe Zukunft“ (1.1.2031 bis 31.12.2060) die mittlere, minimale und maximale Konzentrationserhöhung sowie der Median der Konzentrationserhöhung bei Rhein-km 791,5 (in Fließrichtung vor den beiden Einleitungen), an den beiden Einleitungsstellen, bei Rhein-km 805 (Höhe Ossenbergl, Stadt Rheinberg) und bei Rhein-km 865,5 (Modellende, Grenze zu den Niederlanden) zusammengestellt.

Aus Tabelle 5-1 wird ersichtlich, dass die maximale Erhöhung der Chlorid-Konzentration im Rhein bei Rhein-km 805 infolge der beiden Grubenwassereinleitung zukünftig je nach Klimamodell-Ensemble zwischen rd. 31 mg/l und rd. 35,5 mg/l beträgt. Der Mittelwert für die Erhöhung der Chlorid-Konzentration beträgt an dieser Stelle zwischen rd. 9,1 mg/l und 10,3 mg/l.

In Abbildung 5-1 und 5-2 sind in Box-Whisker-Plots für die verschiedenen betrachteten Klimamodell-Ensembles die Verteilung der Zunahme der Chlorid-Konzentration (Tracer-Konzentration) entlang des Rheins aufgetragen, in Abbildung 5-1 für die stündlichen Simulationswerte und in Abbildung 5-2 für die Tagesmittelwerte. Hierbei ist nur ein minimaler Unterschied zwischen den Darstellungen feststellbar.

In der Anlage sind die Box-Whisker-Plots für die einzelnen Klimamodell-Ensembles beigefügt.

Tab. 5-1: Auswertung der Chlorid-Erhöhungen [mg/l] infolge der Grubenwassereinleitungen

Auswertung Chlorid-Erhöhung [mg/l] infolge der Grubenwassereinleitungen

Lauf	Klima-Modell	Rhein-km	791,5	792,0	799,0	805,0	865,5
EQ42	ECE_RACMO_r1_RCP85	Mittelwert	0,000	2,415	10,297	10,297	10,092
	(1.1.2031 - 31.12.2060)	Minimum	0,000	0,248	1,057	0,951	1,051
		Maximum	0,000	7,585	32,318	32,318	31,675
		Median	0,000	2,170	9,254	9,253	9,044
EQ47	ECE_REMO_r12_RCP85	Mittelwert	0,000	2,252	9,602	9,602	9,402
	(1.1.2031 - 31.12.2060)	Minimum	0,000	0,069	1,153	1,320	0,209
		Maximum	0,000	7,772	33,112	33,112	32,771
		Median	0,000	2,011	8,576	8,576	8,383
EQ34	MIROC5_CCLM_r1_RCP85	Mittelwert	0,000	2,422	10,329	10,329	10,147
	(1.1.2031 - 31.12.2060)	Minimum	0,000	0,311	1,328	1,328	0,007
		Maximum	0,000	7,281	31,025	31,025	30,714
		Median	0,000	2,163	9,226	9,226	9,052
EQ37	ECE_CCLM_r12_RCP85	Mittelwert	0,000	2,135	9,104	9,104	8,923
	(1.1.2031 - 31.12.2060)	Minimum	0,000	0,162	1,303	1,303	0,046
		Maximum	0,000	8,314	35,416	35,415	34,948
		Median	0,000	1,952	8,325	8,324	8,14
EQ44	ECE_RACMO_r12_RCP85	Mittelwert	0,000	2,124	9,060	9,059	8,888
	(1.1.2031 - 31.12.2060)	Minimum	0,000	0,113	1,051	0,018	0,473
		Maximum	0,000	8,168	34,798	34,797	34,338
		Median	0,000	1,931	8,234	8,234	8,074

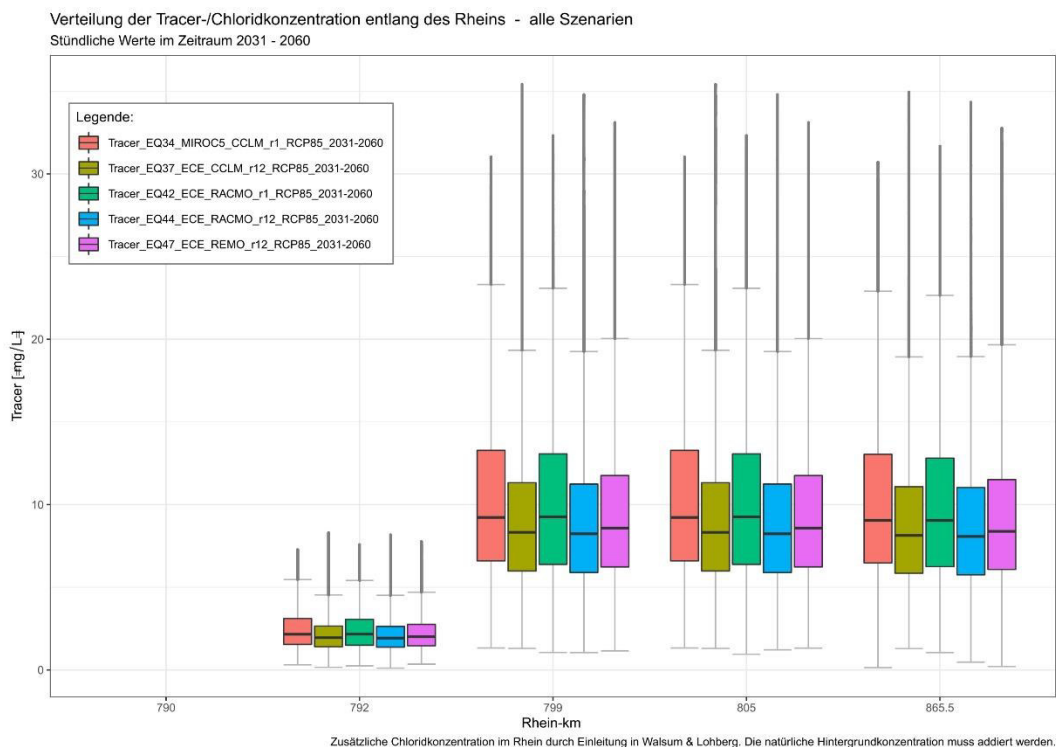


Abb. 5-1: Verteilung der Zunahme der Chlorid-Konzentration entlang des Rheins für verschiedene Klimamodell-Ensembles und den Zeitraum 2031 bis 2060 (stündliche Werte)

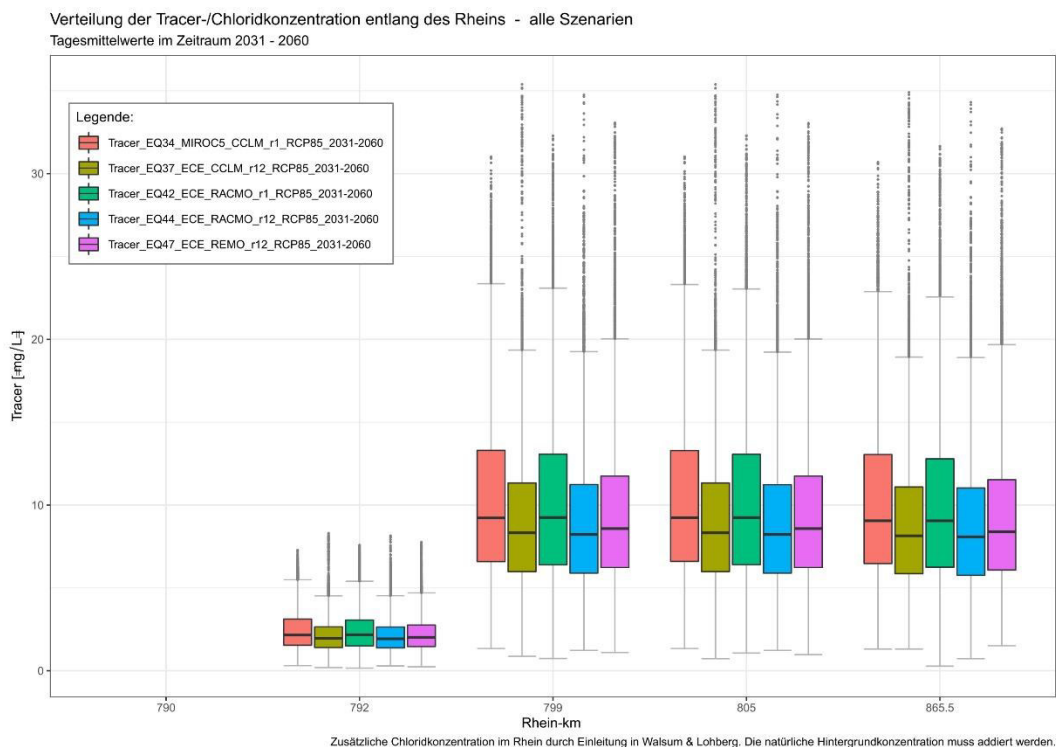


Abb. 5-2: Verteilung der Zunahme der Chlorid-Konzentration entlang des Rheins für verschiedene Klimamodell-Ensembles und den Zeitraum 2031 bis 2060 (Tagesmittelwerte)

Wertet man die Konzentrationserhöhungen hinsichtlich der Anzahl der Tage aus, bei denen sich eine Erhöhung der Chlorid-Konzentration im Rhein unterhalb der Grubenwassereinleitungen zwischen mehr als 5 mg/l bis größer 30 mg/l einstellt, ergeben sich die in Tabelle 5-2 zusammengestellten Dauern (Tage). Anhand der Tabelle wird deutlich, dass sich eine Erhöhung der Chlorid-Konzentration um mehr als 30 mg/l im Simulationszeitraum von 30 Jahren (10950 Tage) lediglich an rd. 130 Tagen oder bei ca, 1,1 % der Simulationsdauer ergibt (siehe Tabelle 5-2).

Tab. 5-2: Auswertung der Chlorid-Erhöhungen [mg/l] infolge der Grubenwassereinleitungen hinsichtlich der Überschreitungstage

Konzentrations- erhöhung [mg/l]	Rhein-Kilometer			
	791 5	792	806	865 5
> 5	0	401	9681	9599
> 10	0	0	4768	4623
> 15	0	0	1916	1824
> 20	0	0	536	511
> 25	0	0	137	120
> 30	0	0	7	6

Für die Simulation der Wassertemperatur wurden ebenfalls die verschiedenen Klimamodell-Ensembles berechnet. Damit hier die Auswirkungen der Klimaveränderungen und die Auswirkungen aus den Grubenwassereinleitungen differenziert werden können, wurden die verschiedenen Klimamodell-Ensembles für verschiedene Zeiträume (1971 – 2000) und 2031 - 2060) sowie ohne Einleitung an den beiden Grubenwassereinleitungen Walsum (Rhein-km 792) und Lohberg (Rhein-km 799) für die Zeiträume 1971 - 2000 und 2031 – 060 und mit Einleitung an den beiden Grubenwassereinleitungen für den Zeitraum 2031 – 2060 durchgeführt. Die Ergebnisse der Simulationsläufe sind in Tabelle 5-3 zusammengestellt. Darüber hinaus wurden verschiedene Box-Whisker-Plots um die Temperaturentwicklung entlang des Rheins im Bereich der Grubenwassereinleitungen bis zur Grenze zu den Niederlanden darzustellen.

Tab. 5-3: Auswertung der Wassertemperatur [°C] im Rhein infolge der Grubenwassereinleitungen

Auswertung Wassertemperaturen [°C] infolge der Grubenwassereinleitungen

Lauf	Klima-Modell	Einleitung	Rhein-km	790,0	792,0	799,0	805,0	865,5
EQ40	ECE_RACMO_r1_RCP85	ohne	Mittelwert	12,703	12,749	12,746	12,741	12,696
	(1.1.2071 - 31.12.2000)		Minimum	1,630	1,730	1,700	1,670	1,420
			Maximum	29,070	29,160	29,150	29,150	29,050
			Median	12,095	12,160	12,160	12,150	12,130
EQ41	ECE_RACMO_r1_RCP85	ohne	Mittelwert	14,083	14,131	14,126	14,121	14,059
	(1.1.2031 - 31.12.2060)		Minimum	1,530	1,670	1,640	1,600	1,340
			Maximum	29,770	29,850	29,850	29,850	29,930
			Median	13,555	13,610	13,610	13,600	13,540
EQ10	ECE_RACMO_r1_RCP85	mit	Mittelwert	14,083	14,132	14,133	14,129	14,067
	(1.1.2031 - 31.12.2060)		Minimum	1,530	1,680	1,670	1,650	1,380
			Maximum	29,770	29,850	29,850	29,850	29,940
			Median	13,555	13,610	13,620	13,610	13,550
EQ46	ECE_REMO_r12_RCP85	ohne	Mittelwert	12,561	12,607	12,604	12,599	12,553
	(1.1.2071 - 31.12.2000)		Minimum	0,850	0,940	0,920	0,910	0,760
			Maximum	28,350	28,430	28,440	28,450	28,420
			Median	11,850	11,890	11,885	11,875	11,830
EQ48	ECE_REMO_r12_RCP85	ohne	Mittelwert	14,038	14,083	14,079	14,073	14,014
	(1.1.2031 - 31.12.2060)		Minimum	1,490	1,540	1,520	1,510	1,400
			Maximum	29,300	29,350	29,360	29,360	29,370
			Median	13,490	13,550	13,550	13,535	13,495
EQ13	ECE_REMO_r12_RCP85	mit	Mittelwert	14,038	14,084	14,085	14,081	14,021
	(1.1.2031 - 31.12.2060)		Minimum	1,490	1,540	1,540	1,530	1,410
			Maximum	29,300	29,350	29,360	29,370	29,370
			Median	13,490	13,560	13,550	13,540	13,500
EQ33	MIROC5_CCLM_r1_RCP85	ohne	Mittelwert	12,491	12,536	12,529	12,527	12,483
	(1.1.2071 - 31.12.2000)		Minimum	0,810	0,890	0,850	0,820	0,620
			Maximum	27,790	27,880	27,900	27,910	27,790
			Median	12,020	12,065	12,060	12,070	12,010
EQ32	MIROC5_CCLM_r1_RCP85	ohne	Mittelwert	14,285	14,332	14,324	14,320	14,254
	(1.1.2031 - 31.12.2060)		Minimum	2,140	2,200	2,170	2,160	1,980
			Maximum	29,950	30,060	30,050	30,040	29,900
			Median	13,800	13,850	13,835	13,820	13,770
EQ35	MIROC5_CCLM_r1_RCP85	mit	Mittelwert	14,285	14,334	14,333	14,329	14,262
	(1.1.2031 - 31.12.2060)		Minimum	2,140	2,200	2,190	2,180	2,000
			Maximum	29,950	30,060	30,050	30,050	29,900
			Median	13,800	13,850	13,850	13,835	13,780

In Abbildung 5-3 sind für drei Klimamodell-Varianten die Verteilung der Wassertemperatur dargestellt. Dies sind die Wassertemperaturen bei Rhein-km 790 (vor der Grubenwassereinleitung Walsum), bei Rhein-km 792 (Grubenwassereinleitung Walsum), bei Rhein-km 799 (Grubenwassereinleitung Lohberg) sowie unterhalb der Einleitungen bei Rhein-km 805 (Höhe Ossenberg, Stadt Rheinberg) und bei Rhein-km 865,5 (Modellende, Grenze zu den Niederlanden). Der Grafik ist zu entnehmen, dass die Wassertemperatur des Rheins im Zeitraum 2031 bis 2060 gegenüber dem Zeitraum 1971 bis 2000 im Mittel um ca. 1,3 °C zunimmt. Die zusätzliche Zunahme infolge der Grubenwassereinleitungen mit im Mittel rd. 0,1 °C fällt dabei kaum ins Gewicht.

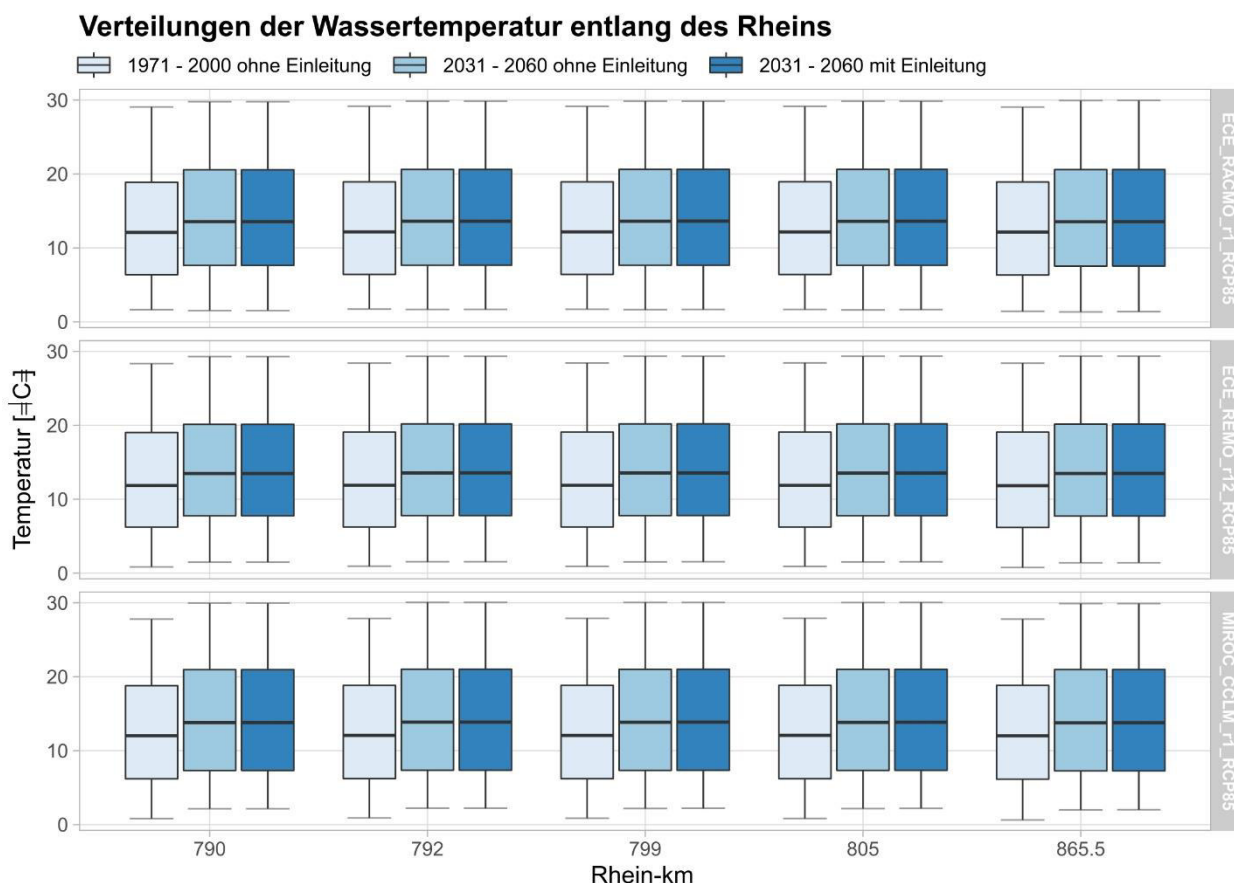


Abb. 5-3: Verteilung der Wassertemperatur entlang des Rheins für verschiedene Klimamodell-Varianten und den Zeitraum 2031 bis 2060

In der folgenden Abbildung 5-4 ist für Rhein-km 770 (vor den Grubenwassereinleitungen) für das Jahr 2045 für verschiedene Klimamodell-Ensembles der Verlauf der Wassertemperatur über das Jahr dargestellt. Hier zeigt sich je nach Klimamodell-Ensemble zwar ein geringfügig anderer Verlauf, aber prinzipiell zeigen alle Verläufe ein Temperaturmaximum in den Sommermonaten Juni bis August und ein Temperaturminimum im Zeitraum Dezember bis Februar. Weitere Jahressganglinien für die Wassertemperatur können der Anlage entnommen werden.

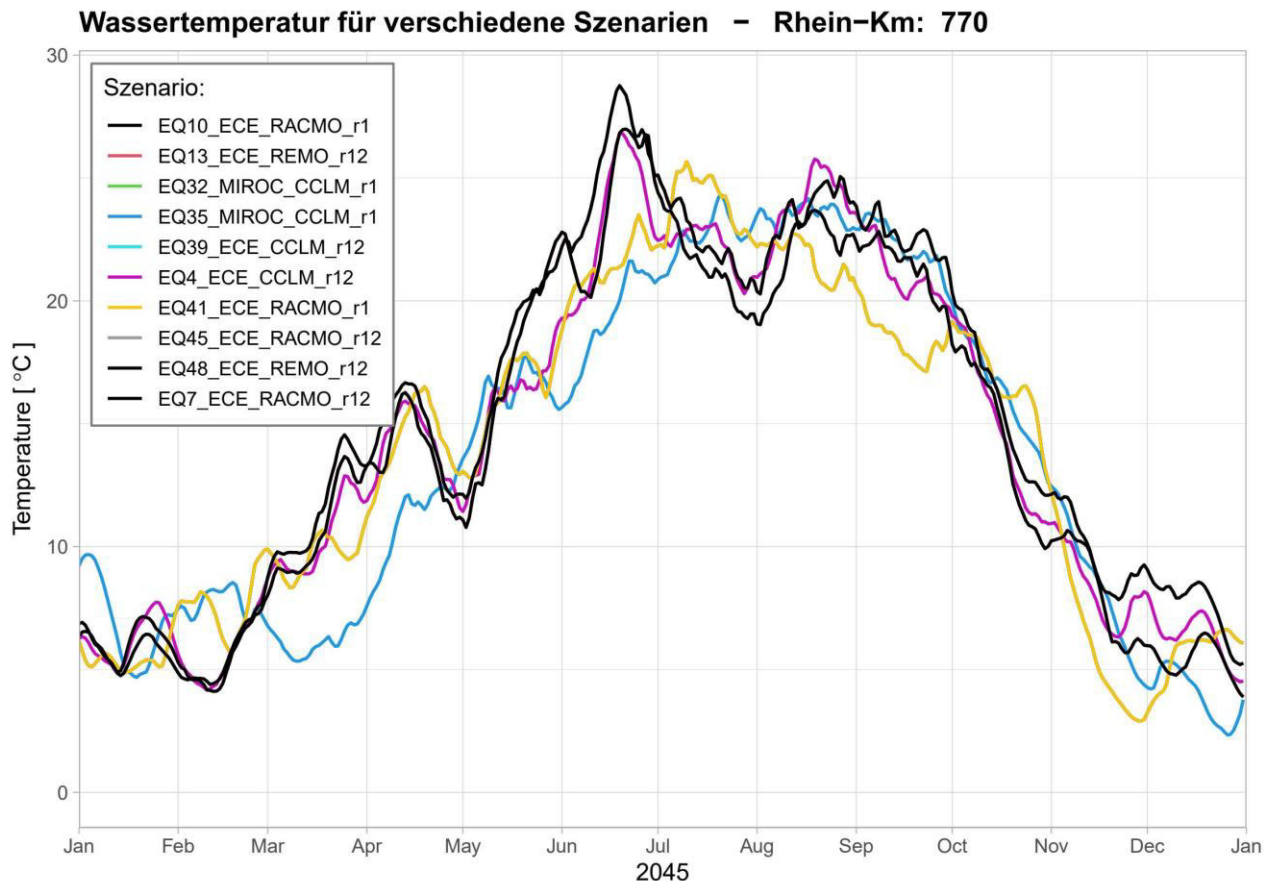


Abb. 5-4: Jahressgang der Wassertemperatur für das Jahr 2045 bei Rhein-km 770 für verschiedene Klimamodell-Ensembles

In Abbildung 5-5 sind die monatlichen Wassertemperaturen für die verschiedenen Simulationszeiträume 1971 bis 2000 und 2031 bis 2060 („Nahe Zukunft“) sowohl ohne Einleitung (1971 bis 2000 und 2031 bis 2060) als auch mit den Grubenwassereinleitungen (2031 bis 2060) für verschiedene Klimamodell-Ensembles bei Rhein-km 805 aufgetragen. Hier ist ebenfalls deutlich der Jahressgang der Wassertemperatur zu erkennen. Gleichzeitig erkennt man, dass im Zeitraum 2031 bis 2060 die Wassertemperaturerhöhung in den Sommermonaten größer ist als in den Wintermonaten. Auch hier zeigt sich, dass der Unterschied zwischen der Simulation ohne und mit Grubenwassereinleitung vernachlässigbar ist

Monatliche Wassertemperaturen – Rhein-km: 805

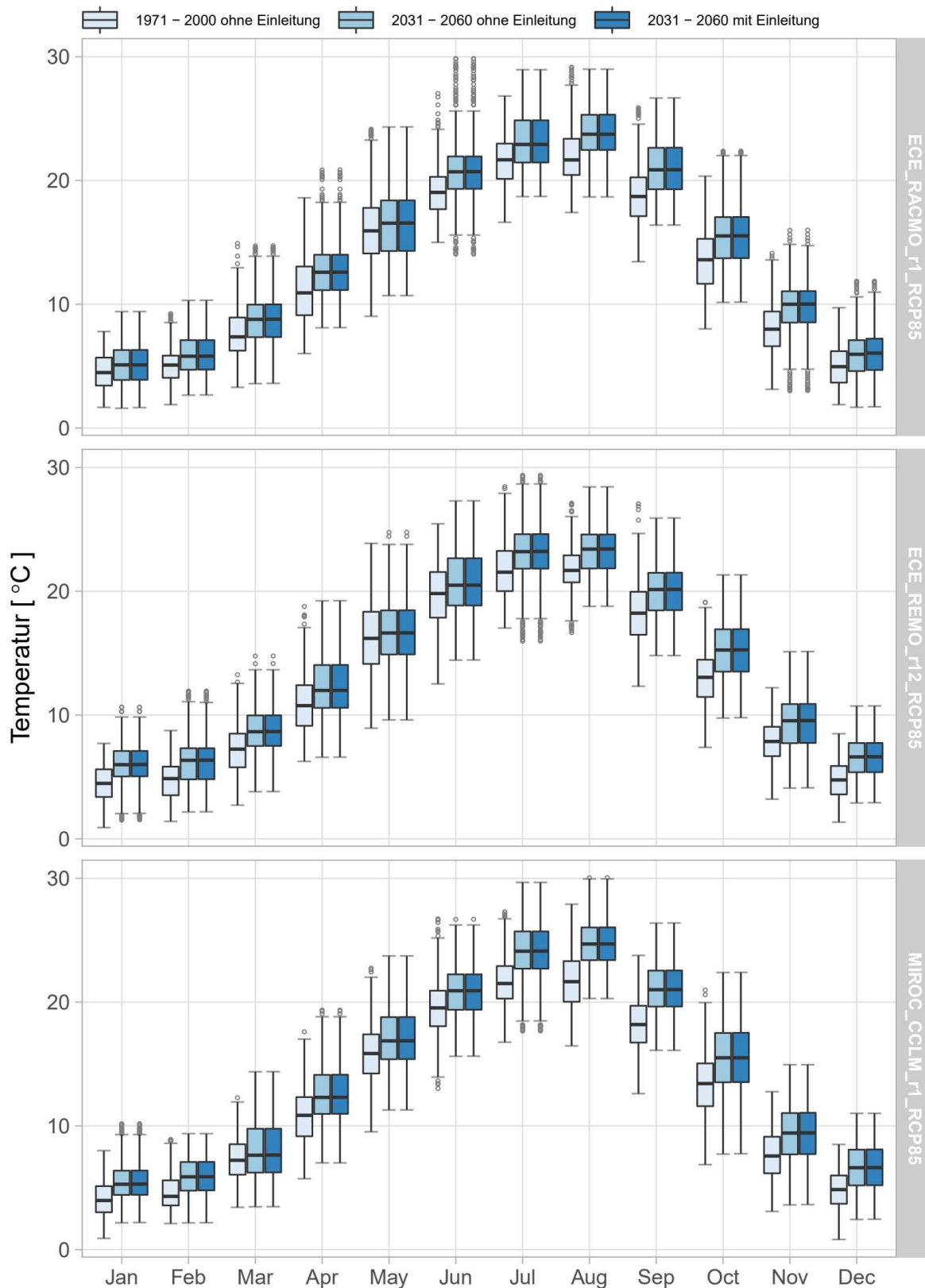


Abb. 5-5: Jahrgang der monatlichen Wassertemperaturen für verschiedene Simulationszeiträume und verschiedene Klimamodell-Ensembles sowie ohne und Grubenwassereinleitung bei Rhein-km 805

Auch Abbildung 5-6 zeigt, dass sich die Grubenwassereinleitungen auf die Wassertemperatur des Rheins kaum auswirken, In Abbildung 5-6 ist dargestellt, wie sich für die Modellvariante mit den Klimamodell-Ensembles MIROC_CCLM_r1_RCP85 (siehe Tabelle 4-1) die Wassertemperaturen entlang des Rheins von Rhein-km 790 bis Rhein-km 865,5 im Mittel der Simulationszeitraume 1971 bis 2000 und 2031 bis 2060 entwickeln. Für den Zeitraum 2031 bis 2060 ist der Unterschied ohne und mit Grundwassereinleitung vernachlässigbar gering.

Vergleich der Wassertemperatur entlang des Rheins

Szenario: MIROC_CCLM_r1_RCP85

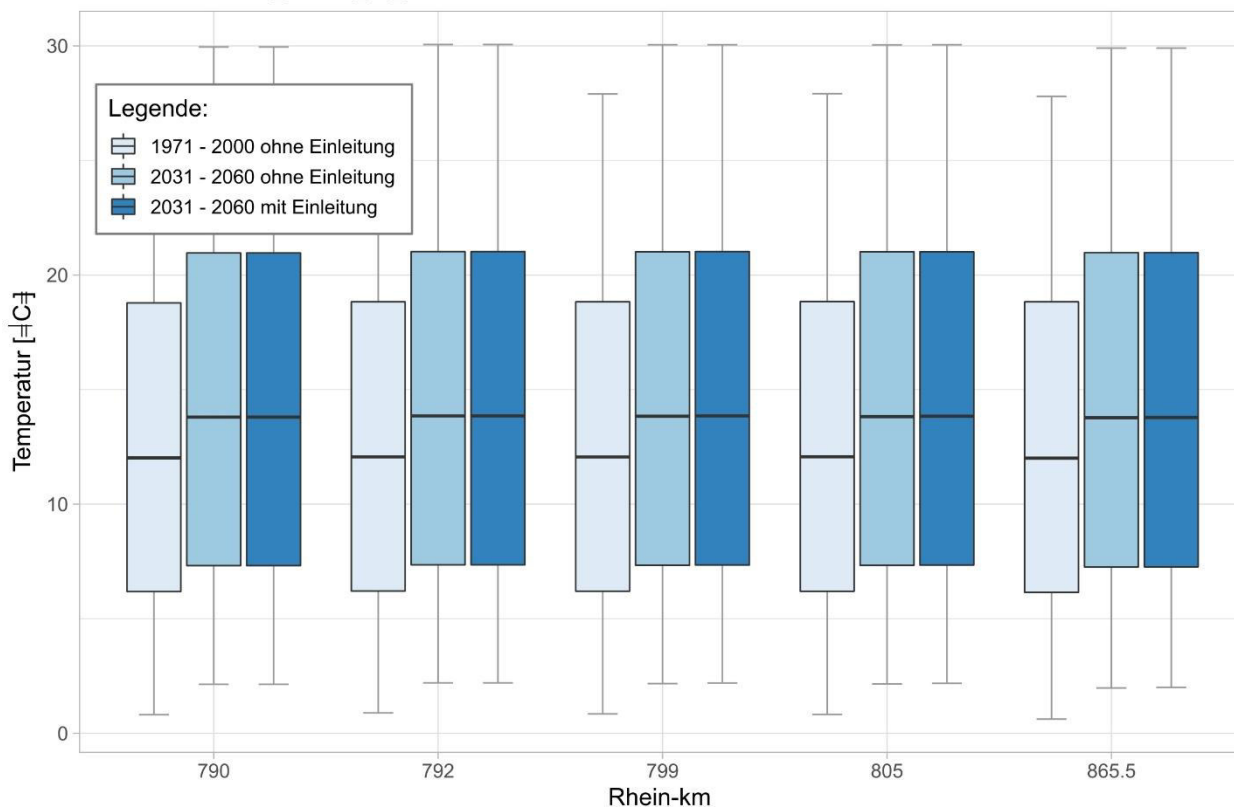


Abb. 5-6: Vergleich der Wassertemperaturen entlang des Rhein für das Klimamodell-Ensemble MIROC_CCLM_r1_RCP85 für verschiedene Simulationszeiträume und ohne und mit Grubenwassereinleitungen

Abschließend werden die Ganglinienverläufe für den Abfluss, die Wassertemperatur und die Zunahme der Chlorid-Konzentration für das Klimamodell-Ensemble EXE_CCLM_r12-RCP85 (siehe Tabelle 4-1) für den Zeitraum 2040 bis 2050 für Rhein-km 800 (unterhalb der Grubeneinleitungen gegenübergestellt. In Abbildung 5-7 ist für den Zeitraum 2040 bis 2050 und das Klimamodell-Ensemble ECE_CCLM_r12_RCP85 der prognostizierte Jahresverlauf des Abflusses erkennbar, mit teilweise erheblichen Niedrigwasserzeiträumen in den Sommermonaten aber auch kurzen Hochwasserabflüssen. Deutlich erkennbar ist auch der Jahresgang der Wassertemperatur mit Spitzenwerte von über 20 °C. Die Zunahme der Chlorid-Konzentration schankt zwischen rd. 2 mg/l und rd. 25 mg/l. Hierbei ist zu beobachten, dass hohe Chlorid-Konzentrationen teilweise auf Zeiten mit hoher Wassertemperaturen folgen und bedingt durch die stärkere Durchmischung bei höheren Abflüssen die Zunahme der Chlorid-Konzentration geringer ausfällt. In der Anlage sind die Ganglinie für den gesamten Zeitraum 2031 bis 2060 für Rhein-km 800 dargestellt.

Abfluss, Temperatur und Chloridkonzentration – Rhein-km: 800

Szenario: ECE_CCLM_r12_RCP85

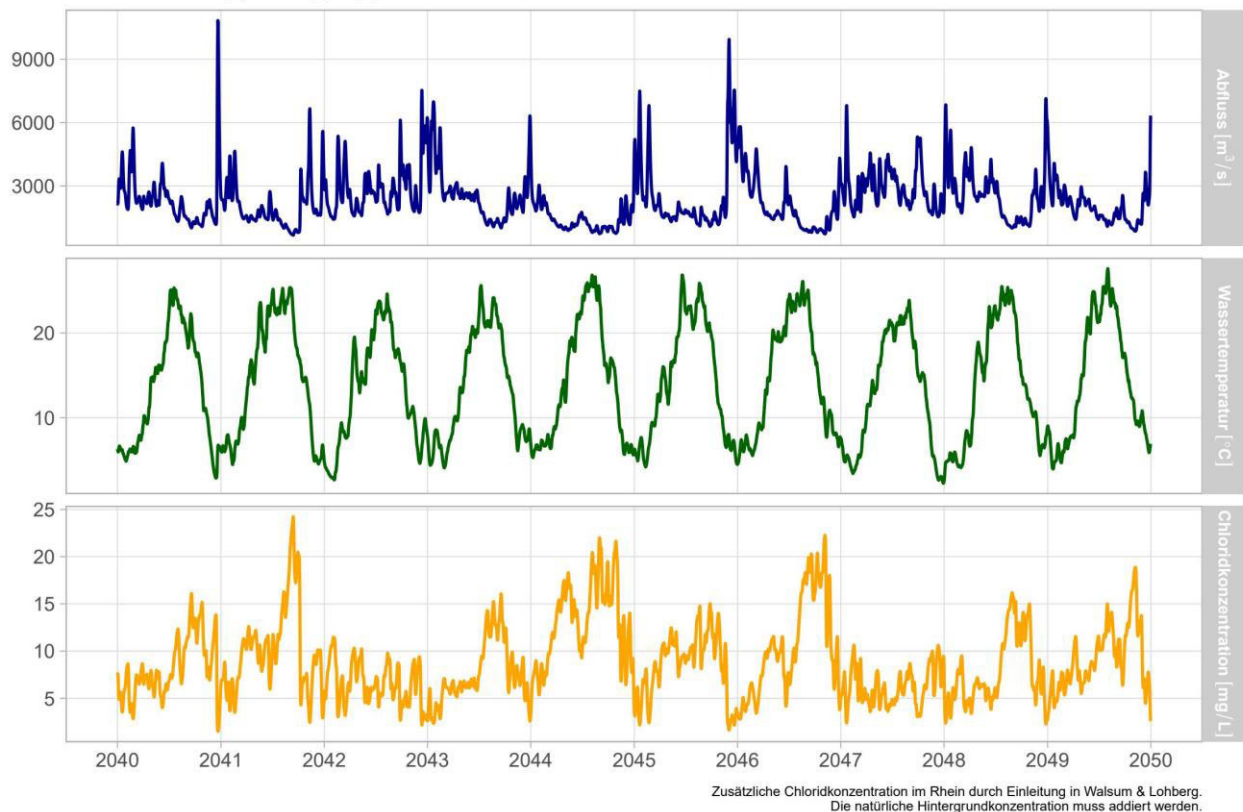


Abb. 5-7: Gegenüberstellung von Abfluss, Wassertemperatur und Zunahme der Chlorid-Konzentration bei Rhein-km 800 für das Klimamodell-Ensemble ECE_CCLM_r12_RCP85 für den Zeitraum 2040 bis 2050

6. Möglichkeit zur Reduzierung der Temperaturerhöhung im aufnehmenden Gewässer

Die aktuelle wasserrechtliche Erlaubnis nach §§ 8 und 9 WHG vom 04.06.2020 (BezReg, 2020) sieht vor, dass bei einem Abfluss unterhalb von MNQ (mittlerer Niedrigwasserabfluss) von 1070 m³/s am Pegel Duisburg -Ruhrort kein Grubenwasser an der Grubenwassereinleitung Walsum in den Rhein eingeleitet werden darf. Hier wäre es aus ökologischen Gründen zur Reduzierung der Temperaturerhöhung im aufnehmenden Gewässer (in diesem Fall der Rhein) bei kritischen Temperaturwerten im Gewässer eine temperaturabhängige Steuerung der jeweiligen Grubenwassereinleitung zu realisieren. Durch das im unterirdischen System der Bergwerke aktivierbare Speichervolumen könnten in Zeiten hoher Fließgewässertemperaturen (z.B. im Juli und August) die Einleitung gestoppt werden und dafür in Zeiten geringerer Fließgewässertemperaturen (in der restlichen Zeit) das genutzte Speichervolumen wieder abgebaut werden. Hierdurch würden sich zusätzliche Pumpkosten ergeben, da zur Schaffung einer Pufferkapazität für einen Einleitungsfrei zu haltenden Zeitraum der Grundwasserspiegel in den stillgelegten Bergwerkschächten nicht bis zur maximalen, grundwasserunschädlichen Höhe ansteigen kann, sondern sich zwischen einem niedrigeren, für den Pufferspeicher erforderlichen Wasserstand und dem maximal zulässigen Grundwasserstand bewegen würde. Dies wäre aber im Hinblick auf die mit der Klimaveränderung erhöhten Wassertemperatur im Rhein aus ökologischen Gründen sinnvoll.

Eine weitere Alternative wäre eine weitergehende Nutzung der Wärmeenergie im Grubenwasser zu Heiz- bzw. Kühlzwecken. Ein entsprechende Projekt wurde z.B. in der Verbandsgemeinde Bad Ems zur Beheizung des Rathauses aus dem Grubenwasserabfluss eines ehemaligen Bergwerkes realisiert (siehe Abbildung 6-1) oder das Pilotprojekt am Standort „Robert Müser“. Hier wird seit 2012 über ein kaltes Nahwärmenetz die Hautfeuerwache Bochm sowie eine Gesamt- und eine Grundschule beheizt (LANUV, 2018). In der „Potenzialstudie Warmes Grundwasser“ (LANUV, 2018) konnte gezeigt werden, dass in NRW erhebliche energetische Potenziale durch Nutzung des warmen Grubenwassers in Verbindung mit leistungsfähigen Wärmepumpen vorhanden sind. In der Studie wurde auch nachgewiesen, dass eine energetische Grubenwassernutzung technische umsetzbar ist und so zu einer CO₂-Reduktion beigetragen werden kann.

Rathaus der VG Bad Ems - Grubenwasserheizung



Beheizung eines historischen Rathauses mit Abwärme aus industriellem Altbergbau

- Individuell konstruierte Wärmetauscher im Bergwerk
- Kalte Nahwärme vom Bergwerk in den Rathauskeller
- Hocheffizienzwärmepumpe – hydraulische und thermische Anpassung des Gebäudes
- Pilotprojekt des Landes Rheinland-Pfalz zur innovativen Niedrigtemperaturwärmeversorgung im historischen Gebäudebestand



Pilotprojekt zur innovativen Niedrigtemperaturwärmeversorgung im Gebäudebestand
Gefördert durch das Land Rheinland-Pfalz

22. ETAG RLP | TH BINGEN | 29.08.20



Rheinland-Pfalz
MINISTERIUM FÜR UMWELT,
ENERGIE, ERNÄHRUNG
UND FORSTEN

Kalte Nahwärme in NBG

Abb. 6-1: Grubenwasserheizung, Rathaus Verbandsgemeinde (VG) Bad Ems

7. Verbesserung der Durchmischung mit dem aufnehmenden Gewässer

Des Weiteren sind Untersuchungen zur Verbesserung der Einleitsituation erforderlich. Damit soll erreicht werden, dass die Vermischung des eingeleiteten Grubenwassers mit dem Flusswasser schneller und turbulenter erfolgt. So soll eine Einleitfahne entlang des Ufers im Abstrom der Einleitung verhindert bzw. verringert werden.

In Abbildung 7-1 ist für eine Warmwassereinleitung aus einem Kraftwerk mit Hilfe einer Luftbildauswertung die Verteilung der Warmwassereinleitung im Fluss dargestellt. Erkennbar ist, dass sich das warme Wasser aus der Einleitung zunächst unterhalb der Einleitung entlang des Ufers bewegt und so gut wie keine Durchmischung über den Querschnitt erfolgt. Hier könnte durch den Einbau von Störkörpern und Buhnen eine bessere Durchmischung erreicht werden. Hilfreich wäre auch eine natürliche Gewässereinleitung unterhalb der Grubenwassereinleitung, durch die das Wasser aus der Grubenwassereinleitung Richtung Strommitte „gedrückt“ würde.

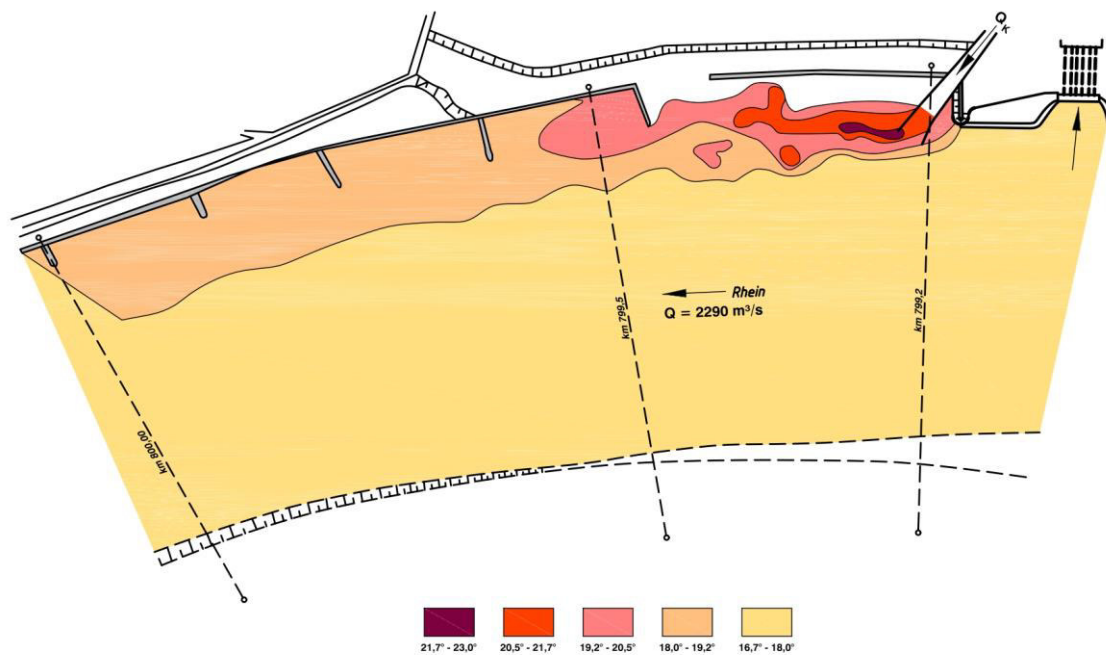


Abb. 7-1: Verlauf der Isothermen aus Naturmessungen (Momentaufnahme aus Überfliegung) (nach: Geiger, 1975)

Bei der Einleitung sowohl in die Ruhr als auch in den Rhein ist auch auf die zulässige Querströmungsgeschwindigkeit im Bereich der Einleitungsstelle zu achten. Diese darf zwischen 0,4 m/s und 2,0 m/s liegen (siehe Tabelle 7-1).

Tab. 7-1: Richtwerte für zulässige Querströmungsgeschwindigkeiten an Bundeswasserstraßen und Hafenanlagen durch Entnahme- und Einleitungsbauwerke (verändert, nach: BAW, 2016)

Quelle	zul. Quergeschwindigkeit	Bezug für zul. v_E
BMV, 1963	0,30 m/s	Uferlinie bzw. Fahrrinnengrenze
VBD, 1983	0,60 m/s - 2,0 m/s	Einleitungsstelle
DVWK, 1984	0,60 m/s - 2,0 m/s	Einleitungsstelle
BMV, 1991	0,40 m/s - 2,0 m/s	Einleitungsstelle
BÖB, 1999	0,60 m/s - 1,5 m/s	Einleitungsstelle

Neben der zulässigen Querströmungsgeschwindigkeit sollte durch zusätzliche Störmaßnahmen im Bereich der Einleitstelle eine möglichst große lokale Turbulenz erzeugt werden.

8. Einleitung in eine Bundeswasserstraße

Bei der Einleitung von Wasser in eine Bundeswasserstraße (wie z.B. dem Rhein) handelt es sich im Sinne des § 9 Wasserhaushaltsgesetz (WHG) um eine Benutzung einer Bundeswasserstraße, für die nach § 31 Bundeswasserstraßengesetz (WaSTRG) eine strom- und schiffahrtspolizeiliche Genehmigung durch das zuständige Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt (WSA) erforderlich ist. Bei der Einleitung in eine Bundeswasserstraße ist neben der Einleitmenge die Einleitgeschwindigkeit und die dadurch ausgelöste Querströmungsgeschwindigkeit von großer Bedeutung. Hierzu gibt es aktuell verschiedene Angaben für die zulässige Querströmungsgeschwindigkeit. Die zulässige Quergeschwindigkeiten an einer Einleitungs-/ Entnahmestelle gelten jeweils orthogonal zur Kursachse der gewerblichen Schifffahrt. Bei Wasserstraßenbereichen mit hohem Sportbootanteil können ggf. weitere Untersuchungen erforderlich werden (BMVI, 2018). Nach Zimmermann (1990) wurde von der Wasserstraßenschifffahrtsverwaltung (WSV) lange Zeit in der Regel eine Quergeschwindigkeit von 0,30 m/s an der Grenze zur Wasserstraße zugelassen. Zimmermann (1990) schlägt Einleitungsgeschwindigkeiten von 1,5 m/s im Einleitungsbauwerk an freifließenden Flüssen vor. Mit dem Erlass WS 12/5257.21/10 vom 16.03.2018 „Querströmungen an Binnenwasserstraßen durch Entnahme- und Einleitungsbauwerke“ (BMVI, 2018) wurde für Binnenschifffahrtskanäle ein vereinfachtes Verfahren zur grafischen Ermittlung der maximalen Querströmungsgeschwindigkeit eingeführt. Dieses Verfahren kann auch auf fließende und staugeregelte Wasserstraßen übertragen werden (BMVI, 2018) Ein weiterführendes BAW-Merkblatt „Querströmungen an Bundeswasserstraßen durch Einleitungs- und Entnahmebauwerke (MQE)“ befindet sich in der Bearbeitung (BMVI, 2018). In Abhängigkeit der Einleitungs-/Entnahmebreite ergeben sich für den Begegnungsverkehr zulässige Querströmungsgeschwindigkeiten zwischen 0,3 m/s und 1,5 m/s.

9. Zusammenfassung

Infolge des Steinkohlebergbaus im Ruhrgebiet musste in der Vergangenheit zur Grundwasserhaltung in den Bergwerken das anfallende Grundwasser abgepumpt und in die ortsnahe gelegenen Gewässer Ruhr, Emscher, Lippe und Rhein eingeleitet werden. Durch die Aufgabe des Steinkohlebergbaus im Ruhrgebiet musste auch der künftige Umgang mit dem weiterhin anfallenden Grundwasser neu geregelt werden. Auf der Grundlage des vorliegenden „Konzepts zur langfristigen Optimierung der Grubenwasserhaltung der RAG Aktiengesellschaft für Nordrhein-Westfalen“ (RAG, 2014) sind langfristig (nach Umsetzung des Grubenwasserkonzeptes) nur noch sechs Grubenwassereinleitungen (gegenüber 14 Grubenwassereinleitungen in 2014) im Bereich des Ruhrgebietes vorgesehen. Über diese Einleitstellen sollen für das Ruhrgebiet in Summe im Jahr rd. 94,4 Mio. m³ (ca. 3 m³/s) Grubenwasser in die Gewässer eingeleitet werden.

Im Rahmen der hier vorgelegten wasserwirtschaftlichen Untersuchungen zu den Auswirkungen der Grubenwassereinleitungen in den Rhein an den Einleitstellen Walsum (bestehend) und Lohberg (geplant) wurden für verschiedene Klimamodell-Ensembles und für den Zeitraum „Nahe Zukunft“ (2031 bis 2060) die Auswirkungen auf die Wassertemperatur und die Zunahme der Chlorid-Konzentration im Rhein mit Hilfe des an der Bundesanstalt für Gewässerkunde für den Rheinn aufgestellte und betreute Gewässergüte-Modell QSIM simuliert.

Die Untersuchung der Zunahme der Chlorid-Konzentration im Rhein infolge der beiden Grubenwassereinleitungen Walsum und Lohweg haben gezeigt, dass sich zukünftig je nach Klimamodell-Ensemble unterhalb der Einleitungen Erhöhungen der Chlorid-Konzentration im Rhein in der Spitze zwischen rd. 31 mg/l und rd. 35,5 mg/l ergeben. Der Mittelwert für die Erhöhung der Chlorid-Konzentration beträgt unterhalb der Einleitungen zwischen rd. 9,1 mg/l und 10,3 mg/l.

Die Untersuchungen der Wassertemperatur haben gezeigt, dass die Wassertemperatur sich durch die Grubenwassereinleitungen Walsum und Lohberg nur um rd. 01 °C gegenüber der prognostizierten Wassertemperatur ohne Einleitung ändert. Durch die Klimaveränderung zeigen die Modellrechnungen mit den verschiedenen Klimamodell-Ensembles, dass sich die Wassertemperatur im Bereich der Grubenwassereinleitungen und bis zur Grenze zu den Niederlanden um rd. 1,3 °C erhöhen wird.

Damit konnte gezeigt werden, dass die künftigen Grubenwassereinleitungen hinsichtlich der Wassertemperatur einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Wassertemperatur im Rhein haben. Hinsichtlich der Erhöhung der Chlorid-Konzentration ergeben sich zwar geringe zusätzliche Zunahmen der Chlorid-Konzentrationen im Rhein. Diese könnten jedoch durch einen in Abhängigkeit des Rheindurchflusses gesteuerte Einleitung von Grubenwasser reduziert werden. Dadurch könnte in Niedrigwasserzeiten mit hohen Wassertemperaturen die Einleitung einer zusätzlichen Chlorid-Fracht unterbunden werden und dafür in Zeiten größerer Abflüsse diese Chloridfracht zusätzlich eingeleitet werden, was zwar in diesen Zeiten zu einer zusätzlichen Konzentrationserhöhung führen würde, die aber auf Grund der größeren Abflussmenge günstiger ausfallen würde.

Literaturverzeichnis

- Bezirksregierung Arnsberg (BezReg), Abteilung 6 Bergbau und Energie in NRW (2020):
Wasserrechtliche Erlaubnis nach §§ 8, 9 WHG, Zentrale Wasserhaltung der Schachtanlage
Walsum in Duisburg. Arnsberg 04.06.2020
- Brienen, S.; Walter, A.; Brendel, C.; Fleischer, C.; Ganske, A.; Haller, M.; Helms, M.; Höpp, S.;
Jensen, C.; Jochumsen, K.; Möller, J.; Krähenmann, S.; Nilson, E.; Rauthe, M.;
Razafimaharo, C.; Rudolph, E.; Rybka, H.; Schade, N.; Stanley, K.; (2020):
Klimawandelbedingte Änderungen in Atmosphäre und Hydrosphäre: Schlussbericht des
Schwerpunktthemas Szenarienbildung (SP-101) im Themenfeld 1 des BMVI-
Expertennetzwerks.
DOI: 10.5675/ExpNBS2020.2020.02
- Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) (2012):
QSim - das Gewässergütemodell der BfG, Koblenz, 02/2012.
DOI: 10.5675/BfG_QSim,
https://www.bafg.de/DE/08_Ref/U2/QSIM/QSim.pdf
- Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) (2021):
Stress an den deutschen Flüssen.
in: Binnenschifffahrt 02/2021. 76. Jahrgang. Schifffahrts-Verlag »Hansa« GmbH&Co.KG.
Hamburg
- Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) (2016):
Stellungnahme über die Ein- und Ausfahrbedingungen im unteren Vorhafen der neuen
Schleuse Obernau unter Berücksichtigung des Kraftwerksbetriebs. Karlsruhe,
https://www.gdws.wsv.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Planfeststellungsverfahren/600_Obernau/Gutachten/06_baw_stellungnahme_ueber_die_ein-und_ausfahrbedingungen_im_uvh_unter_beruecksichtigung_des_kraftwerksbetriebs.pdf.pdf
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (2018): Querströmungen an
Binnenwasserstraßen durch Entnahme- und Einleitungsbauwerke. Erlass WS
12/5257.21/10 vom 16.03.2018
https://izw.baw.de/publikationen/tr-w/0/2018-03-16_Querstroemungserlass.pdf
- Deutscher Wetterdienst (o.J.):
Datensätze auf der Basis der RCP – Szenarien, online: aufgerufen: 01.02.2022
https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaforschung/klimaprojektionen/fuer_deutschland/fuer_dtld_rcp-datensatz_node.html
- Gehrig, W. (1975): Simulation von Warmwassereinleitungen in einen Fluss im Wasser-baulichen
Modell
in: Zimmermann, C; Kobus, H.; Geldner, P: Wärmeeinleitungen in Strömungen. Techn.
Verlag Resch KG. Gräfeling
- Hardenbicker, P. et. Al (2017):
Water temperature increases in the river Rhine in response to climate change. Regional
Environmental Change 17:299-308
- Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR) (2018):
FACT SHEET: Bestandsaufnahme zu den Niedrigwasserverhältnissen am Rhein. Koblenz.
04.07.2018

- Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) (1977):
Grundlagen für die Beurteilung der Wärmebelastungen von Gewässern – Teil 1:
Binnengewässer, 2. verbesserte Auflage. Mainz
- Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) (2018):
Potenzialstudie Warmes Grubenwasser. LANUV-Fachbericht 90. Recklinghausen
- Pulina, Bernd (1993):
Bestimmung der zulässigen Strömungsgröße für seitliche Einleitungsbauwerke an
Bundeswasserstraßen. In: Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 70. Karlsruhe:
Bundesanstalt für Wasserbau. S. 5-26
- RAG Aktiengesellschaft (Hrg.) (2014):
Konzept zur langfristigen Optimierung der Grubenwasserhaltung der RAG Aktien-
gesellschaft für Nordrhein-Westfalen. Herne
- RAG Aktiengesellschaft (Hrg.) (2016):
Aufgaben für die Ewigkeit – Grubenwasserhaltung, Poldermaßnahmen und Grundwasser-
management im Ruhrgebiet. Herne
- Regionale Klimaprojektionen Ensemble für Deutschland (ReKliEs-De) (2017): Ergebnisbericht,
DOI: 10.2312/WGCC/ReKliEsDe_Ergebnisbericht
online:
<https://reklies.hlnug.de/fileadmin/tmpl/reklies/dokumente/ReKliEs-De-Ergebnisbericht.pdf>
- Transferstelle Bingen (TSB), Institut für geothermisches Ressourcenmanagement (igem):
Grubenwasserwärmenutzung zur Beheizung des Rathauses der Verbandsgemeinde Bad
Ems
Online:
https://www.tsb-energie.de/fileadmin/Redakteure/PDF/Projektsteckbriefe/TSB_K_Bad_Ems_VG_Geothermie_Rathaus_de.pdf
- Zimmermann, Claus (1990):
Zur Frage zulässiger Querströmungen an Bundeswasserstraßen.
in: Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 67. Karlsruhe: Bundesanstalt für
Wasserbau. S. 175-206

Anlagen

Dokumentation der bestehenden Grubenwasser-Einleitstellen der RAG

Begehung der Einleitstellen und Probenahmen

am 18.10.2019

Anwesende: Prof. Dr. Lothar Kirschbauer (Hochschule Koblenz)

PD Dr. Carola Winkelmann (Universität Koblenz-Landau)

Hannah Pies (Hochschule Koblenz)

Ruth Minor (Hochschule Rhein-Waal)

Christoph Knoblauch (Hochschule Rhein-Waal)

Grubenwassereinleitstellen: Walsum (WA)
Lohberg (LO)
Heinrich (HE)
Friedlicher Nachbar (FN)
Robert Müser (RM)
Haus Aden (AD)

1. Einleitstelle Walsum

Navi: Rheinfähre Walsum-Orsay GmbH, 47179 Duisburg

Einleitung in den Rhein



Abbildung 1: Lage Einleitstelle Walsum

Probenahmen:

1. Direkt an der Einleitstelle, Gitterrost
2. Direkt an der Einleitstelle, großes Rohr
3. Hafen
4. Auslaufkanal unmittelbar vor Rhein



Abbildung 2: Foto Einleitstelle Walsum

2. Eventuell zukünftige Einleitestelle Lohberg

Navi: DLRG Ortsgruppe Dinslaken e.V. Rettungsstation, Frankfurter Straße 434a, 46562 Voerde (Niederrhein)

Einleitung in den Rhein über den Lohberger Entwässerungsgraben



Abbildung 3: Lage geplante Einleitestelle Lohberg

Probenahmen:

1. Am Rhein oberhalb des Lohberger Entwässerungsgraben



Abbildung 4: Foto geplante Einleitestelle Lohberg

3. Einleitstelle Zeche Heinrich

Navi: Zeche Heinrich, Schacht 3, Langenberger Straße 500, 45277 Essen

Einleitung in die Ruhr

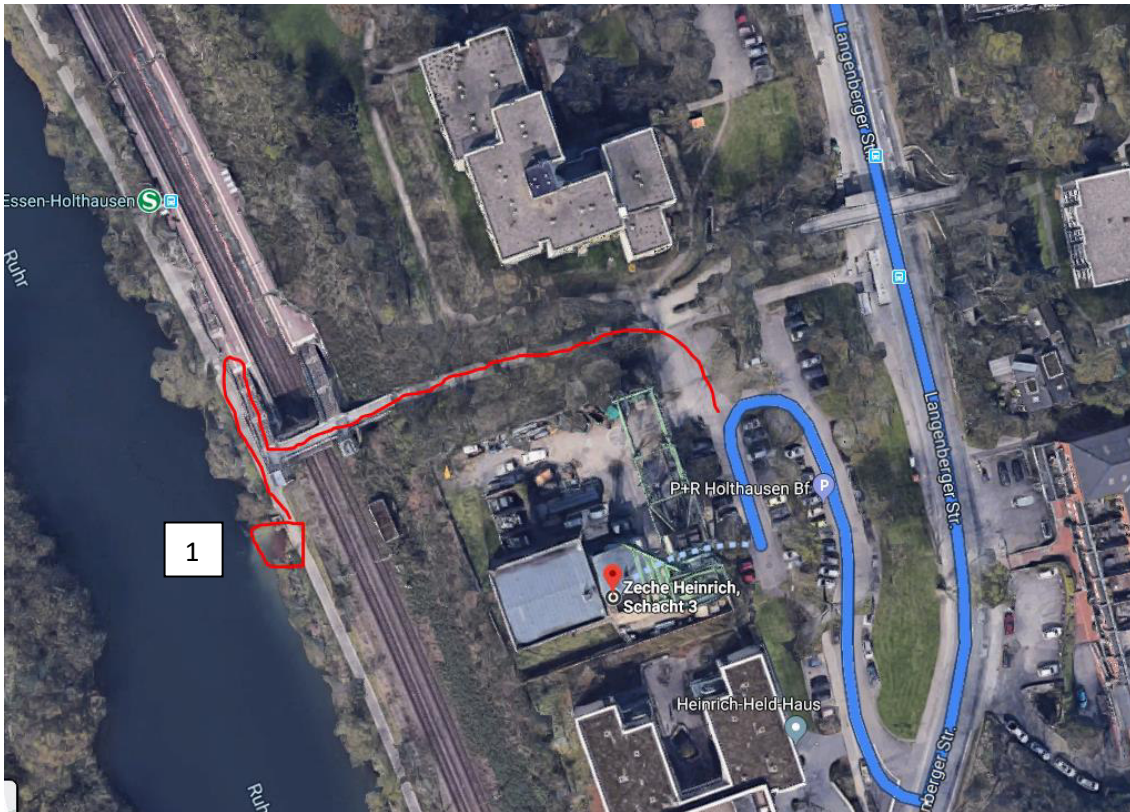


Abbildung 5: Lage Einleitstelle Heinrich

Probenahmen:

1. Direkt an der Einleitstelle



Abbildung 6: Foto Einleitstelle Heinrich

4. Einleitstelle Friedlicher Nachbar

Navi: Rauendahlstraße 59, 44797 Bochum (Tierschutzhof im Ruhrtal eV)

Einleitung in die Ruhr, direkt an der Einleitstelle

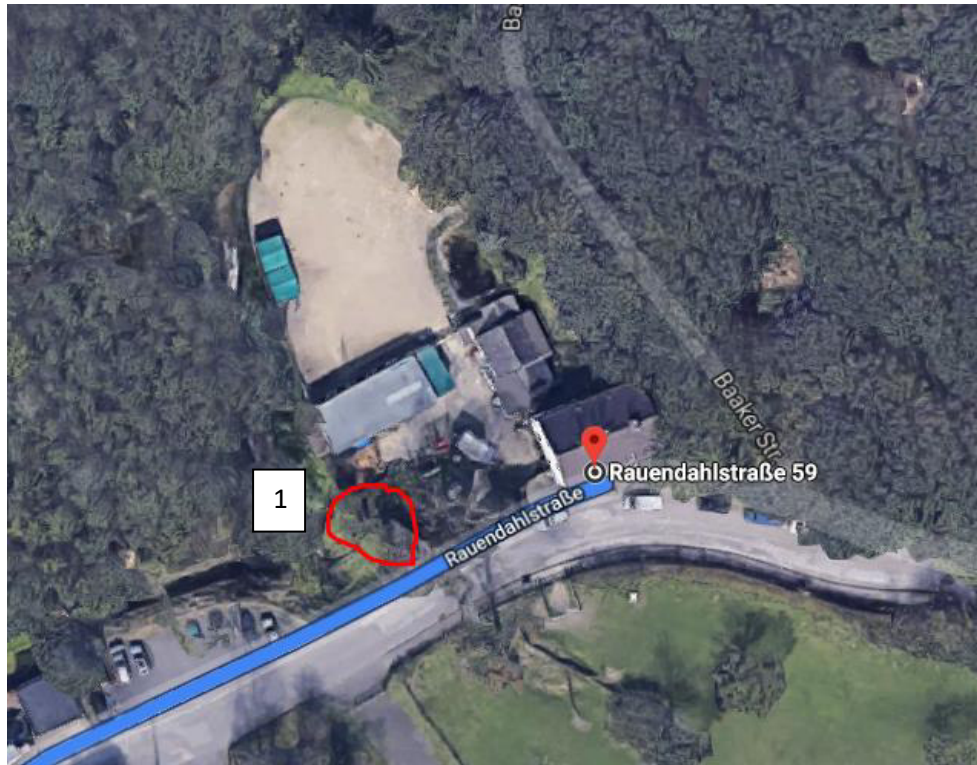


Abbildung 7: Lage Einleitstelle Friedlicher Nachbar



Abbildung 8: Foto Einleitstelle Friedlicher Nachbar

4.1. Einleitstelle Friedlicher Nachbar

Navi: Rauendahlstraße 76, 44797 Bochum

Einleitung in die Ruhr



Abbildung 9: Lage Einleitstelle Friedlicher Nachbar, Graben zur Ruhr

Probenahmen:

1. Direkt an der Einleitstelle
2. Direkt an der Einleitung in die Ruhr
3. Ruhr, unterhalb der Einleitstelle



Abbildung 10: Foto Einleitstelle Friedlicher Nachbar, Graben zur Ruhr

5. Einleitestelle Robert Müser

Navi: Harpener Teiche, Werner Straße, 44894 Bochum

Einleitung in die Ruhr (starker Schwefelgeruch)



Abbildung 11: Lage Einleitestelle Robert Müser

Probenahmen:

1. Direkt an der Einleitestelle, Vermischung mit dem See
2. Direkt an der Einleitestelle, ohne Vermischung mit dem See



Abbildung 12: Lage Einleitestelle Robert Müser

6. Einleitstelle Haus Aden

Navi: Hammer Straße (bis Abzweigung: am Rothenbach), 44532 Lünen

Einleitung in die Lippe



Abbildung 13: Lage Einleitstelle Haus Aden

Probenahmen:

1. Aus dem Rohr
2. Direkt unterhalb des Auslaufs
3. Oberhalb der Einleitung



Abbildung 14: Foto Einleitstelle Haus Aden

Aufgestellt: Hannah Pies / Lothar Kirschbauer

Koblenz, den 30.10.2019

Monitoringergebnisse 2013-2019

für die bestehenden Grubenwassereinleitungen

Monitoringergebnisse 2013-2019

Wassermenge in Mio. m3/a

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Lippe	11,5	11,5	13,5	12,3	10,1	11,1	7,2
Emscher	25,9	24,1	25,0	20,9	22,4	22,2	18,5
Ruhr	26,6	25,0	28,5	31,3	25,8	30,4	25,6
Rheingraben Nord	1,1	0,0	0,0	1,8	1,5	1,8	2,2
Summe Rhein:	65,1	60,6	67,0	66,3	59,8	65,5	53,5

Wassermenge in l/s

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Lippe							
Emscher							
Ruhr							
Rheingraben Nord							
Summe Rhein:							

Rheingraben Nord: Wassermenge in Mio. m3/a

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Walsum	0,0	0,0	0,0	1,8	1,5	1,8	2,2
Friedrich Heinrich 1/2	1,1	-	-	-	-	-	-

Rheingraben Nord: Chloridkonzentration-Jahresmittelwerte in mg/l:

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Walsum:	0,00	0,00	0,00	39.700,00	39.020,00	32.850,00	35.183,00
Friedrich Heinrich 1/2:	24.033,00	-	-	-	-	-	-

Lippe: Wassermenge in Mio. m3/a

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Heinrich Robert	0,4	-	-	-	-	-	-
Haus Aden	8,6	8,6	11,1	11,9	9,9	10,7	6,9
Auguste Victoria	2,5	2,5	2,4	0,4	0,2	0,4	0,3
Fürst Leopold	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-

Lippe: Chloridkonzentration-Jahresmittelwerte in mg/l:

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Heinrich Robert	65.133,00	-	-	-	-	-	-
Haus Aden	4.637,00	4.637,00	4.840,00	4.840,00	5.418,00	4.905,00	6.477,00
Auguste Victoria	40.817,00	40.817,00	49.808,00	41.600,00	72.983,00	66.050,00	86.250,00
Fürst Leopold	-	-	-	-	-	-	-

Emscher: Wassermenge in Mio. m3/a

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Hansa	0,9	0,3	-	-	-	-	-
Carolinenglück	7,2	6,8	6,5	1,9	4,9	5,0	5,0
Zollverein	6,3	6,3	7,0	7,1	6,6	7,1	6,6
Amalie	5,6	5,3	5,8	6,4	5,3	5,5	4,6
Concordia	2,0	2,0	2,2	2,1	2,2	2,2	2,0
Franz Haniel	3,9	3,4	3,5	3,4	3,4	2,4	0,3

Emscher: Chloridkonzentration-Jahresmittelwerte in mg/l:

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Hansa	26.717,00	26.650,00	-	-	-	-	-
Carolinenglück	18.933,00	16.933,00	12.230,00	12.433,00	12.717,00	11.775,00	11.150,00
Zollverein	23.207,00	27.625,00	29.983,00	29.746,00	24.712,00	24.655,00	27.267,00
Amalie	2.257,00	2.358,00	2.451,00	2.160,00	2.943,00	2.358,00	2.821,00
Concordia	22.417,00	23.117,00	26.767,00	28.730,00	24.083,00	24.100,00	25.167,00
Franz Haniel	24.400,00	19.360,00	25.950,00	26.200,00	22.583,00	26.925,00	23.900,00

Ruhr: Wassermenge in Mio. m3/a

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Robert Müser	7,3	6,8	7,2	7,2	7,4	8,8	7,9
Heinrich	14,0	12,5	14,3	15,7	12,5	14,9	12,3
Friedlicher Nachbar	5,3	5,7	7,0	8,4	5,9	6,7	5,4

Ruhr: Chloridkonzentration-Jahresmittelwerte in mg/l:

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Robert Müser	1.593,00	1.737,00	1.796,00	1.420,00	1.652,00	1.485,00	1.696,00
Heinrich	461,00	469,00	390,00	238,00	303,00	331,00	368,00
Friedlicher Nachbar	285,00	298,00	268,00	278,00	374,00	310,00	349,00

Ermittlung der für die Simulation anzusetzenden Einleitmengen und -konzentrationen an den Einleitstellen Lohberg und Walsum

Ermittlung der künftigen Einleitmengen und -konzentrationen für Lohberg und Walsum

zukünftige Einleitstellen:

Lohberg:

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Mittelwert	
Franz Haniel	24.400,00	19.360,00	25.950,00	26.200,00	22.583,00	26.925,00	23.900,00		mg/l
Franz Haniel	3,9	3,4	3,5	3,4	3,4	2,4	0,3		Mio. m3/a
	123,67	107,81	110,98	107,81	107,81	76,10	9,51		l/s
	3017503,81	2087265,35	2880041,86	2824708,27	2434747,59	2049086,76	227359,21		Chloridfracht
	95160000,00	65824000,00	90825000,00	89080000,00	76782200,00	64620000,00	71700000,00		kg/a
	95160,00	65824,00	90825,00	89080,00	76782,20	64620,00	7170,00		t/a
	2.257,00	2.358,00	2.451,00	2.160,00	2.943,00	2.358,00	2.821,00		mg/l
Amalie	5,6	5,3	5,8	6,4	5,3	5,5	4,6		Mio. m3/a
Amalie	177,57	168,06	183,92	202,94	168,06	174,40	145,87		l/s
	400786,40	396289,95	450780,06	438356,16	494606,16	411244,29	411485,29		mg/s
Zollverein	23.207,00	27.625,00	29.983,00	29.746,00	24.712,00	24.655,00	27.267,00		mg/l
Zollverein	6,3	6,3	7	7,1	6,6	7,1	6,6		Mio. m3/a
	199,77	199,77	221,97	225,14	209,28	225,14	209,28		l/s
	4636101,60	5518692,92	6655282,85	6697000,25	5171841,70	5550814,94	5706563,93		mg/s
Carolinenglück	18.933,00	16.933,00	12.230,00	12.433,00	12.717,00	11.775,00	11.150,00		mg/l
Carolinenglück	7,2	6,8	6,5	1,9	4,9	5	5		Mio. m3/a
	228,31	215,63	206,11	60,25	155,38	158,55	158,55		l/s
	4322602,74	3651204,97	2520769,91	749070,90	1975941,78	18666914,00	1767820,90		mg/s
Fürst Leopold	-	-	-	-	-	-	-		mg/l
Fürst Leopold	0	0	0	-	-	-	-		m3/a
									l/s
									mg/s
Auguste Victoria	40.817,00	40.817,00	49.808,00	41.600,00	72.983,00	66.050,00	86.250,00		mg/l
Auguste Victoria	2,5	2,5	2,4	0,4	0,2	0,4	0,3		Mio. m3/a
	79,27	79,27	76,10	12,68	6,34	12,68	9,51		l/s
	3235746,45	3235746,45	3790563,17	527650,94	462855,15	837772,70	820490,87		mg/s
Lohberg (gesamt)	25,5	24,3	25,2	19,2	20,4	20,4	16,8		Chloridfracht
	808,60	770,55	799,09	608,83	646,88	646,88	532,72		Mio. m3/a
	15612740,99	14889199,64	16297437,85	11236786,53	10539992,39	10715832,70	8933720,19	688	l/s
	19.308,37	19.322,87	20.395,08	18.456,42	16.293,59	16.565,42	16.769,87	18.159	mg/s
									mg/l
									Chloridkonzentration

Walsum:

Walsum	39.700,00	39.020,00	32.850,00	35.183,00					mg/l
	1,8	1,5	1,8	2,2					Mio m3/a
	57,08	47,56	57,08	69,76					l/s
	2265981,74	1855974,12	1875000,00	2454420,35					mg/s
	71460000	58530000	59130000	77402600					kg/a
	71460	58530	59130	77402,6					t/a

Concordia

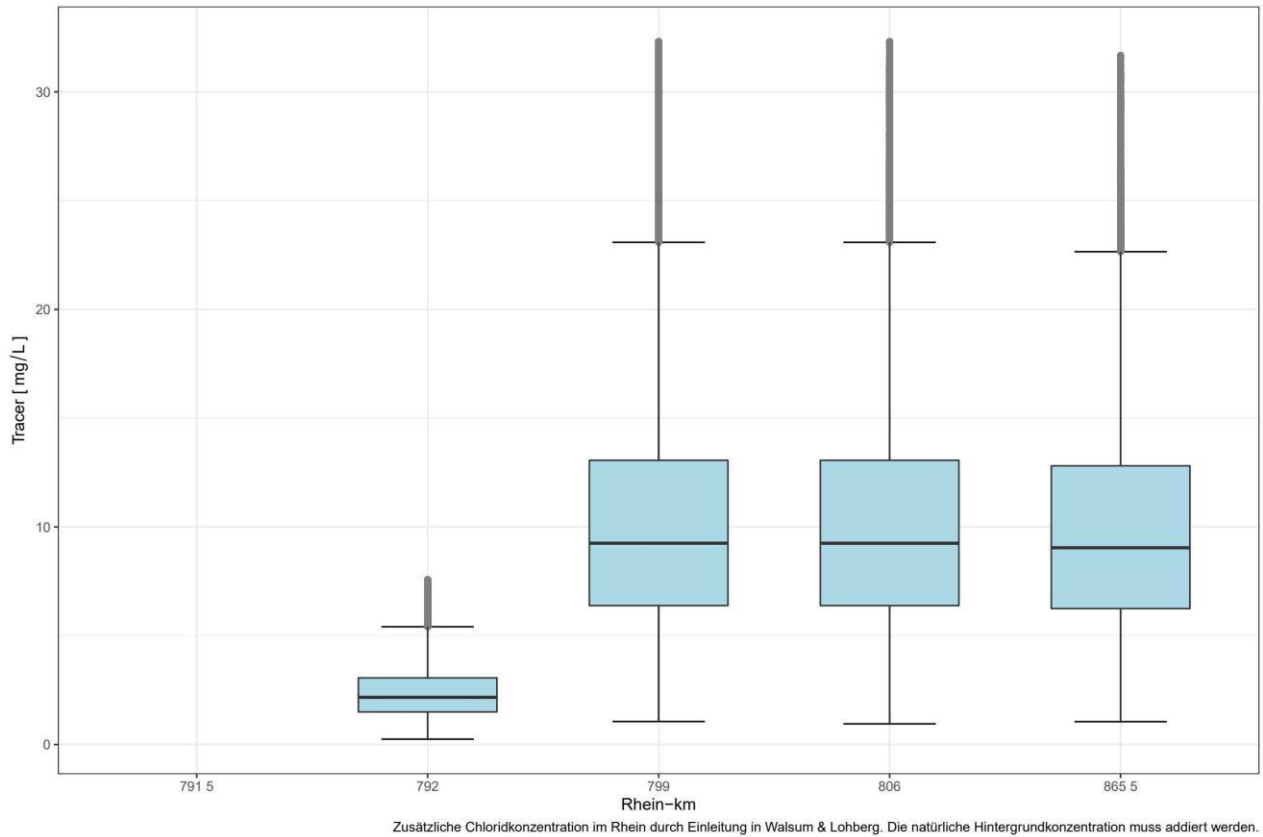
Concordia	28.730,00	24.083,00	24.100,00	25.167,00					mg/l
	2,1	2,2	2,2	2,0					Mio m3/a
	66,59	69,76	69,76	63,42					l/s
	1913146,88	1680067,225	1681253,171	1596080,67					mg/s
	60333000	52982600	53020000	50334000					kg/a
	60333	52982,6	53020	50334					t/a

Walsum (gesamt)

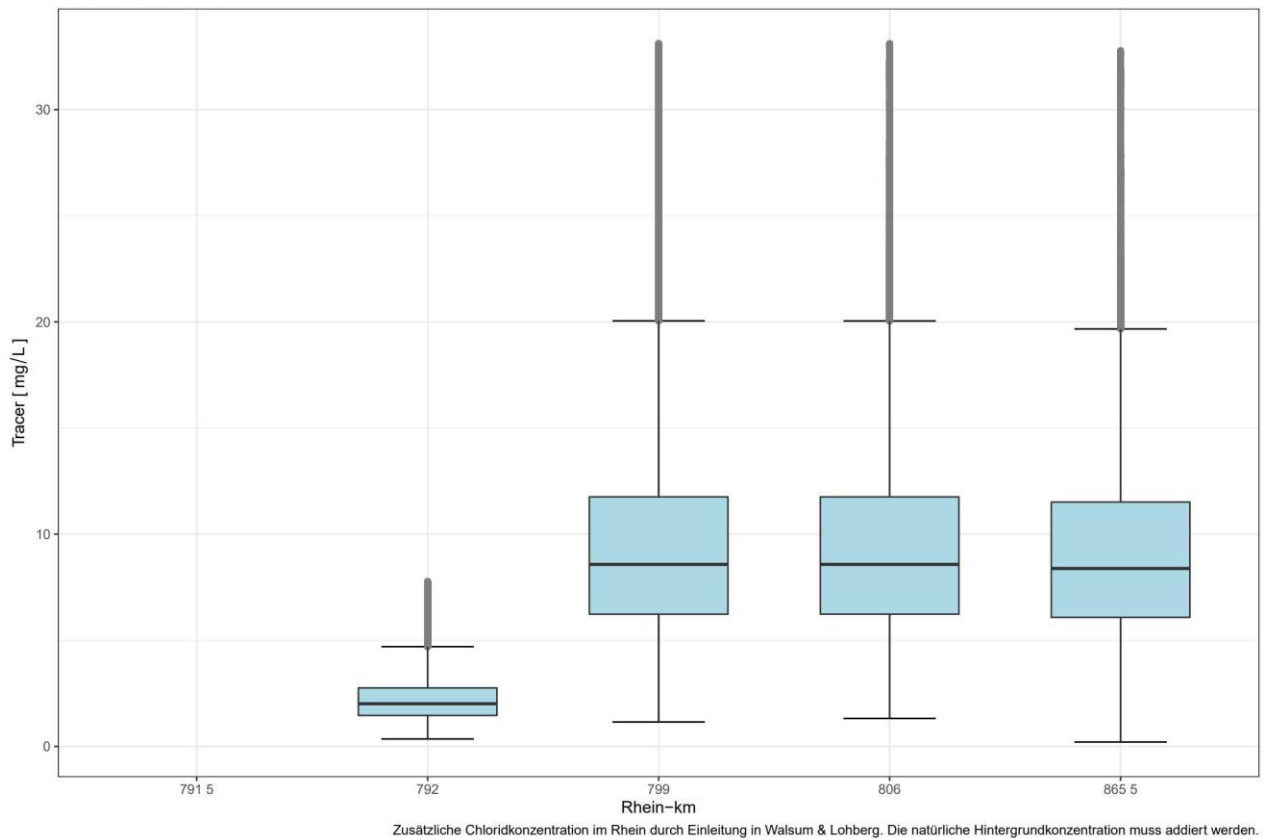
Walsum (gesamt)	3,9	3,7	4,0	4,2					Mio m3/a
	123,67	117,33	126,84	133,18					l/s
	4179128,61	3536041,35	3556253,17	4050501,01					mg/s
	33793,08	30138,54	28037,50	30413,48					mg/l

**Verteilung der Zunahme der
Chlorid-Konzentration entlang des Rheins
für den Zeitraum 2031 bis 2060
(Klimamodell-Ensembles jeweils getrennt dargestellt)**

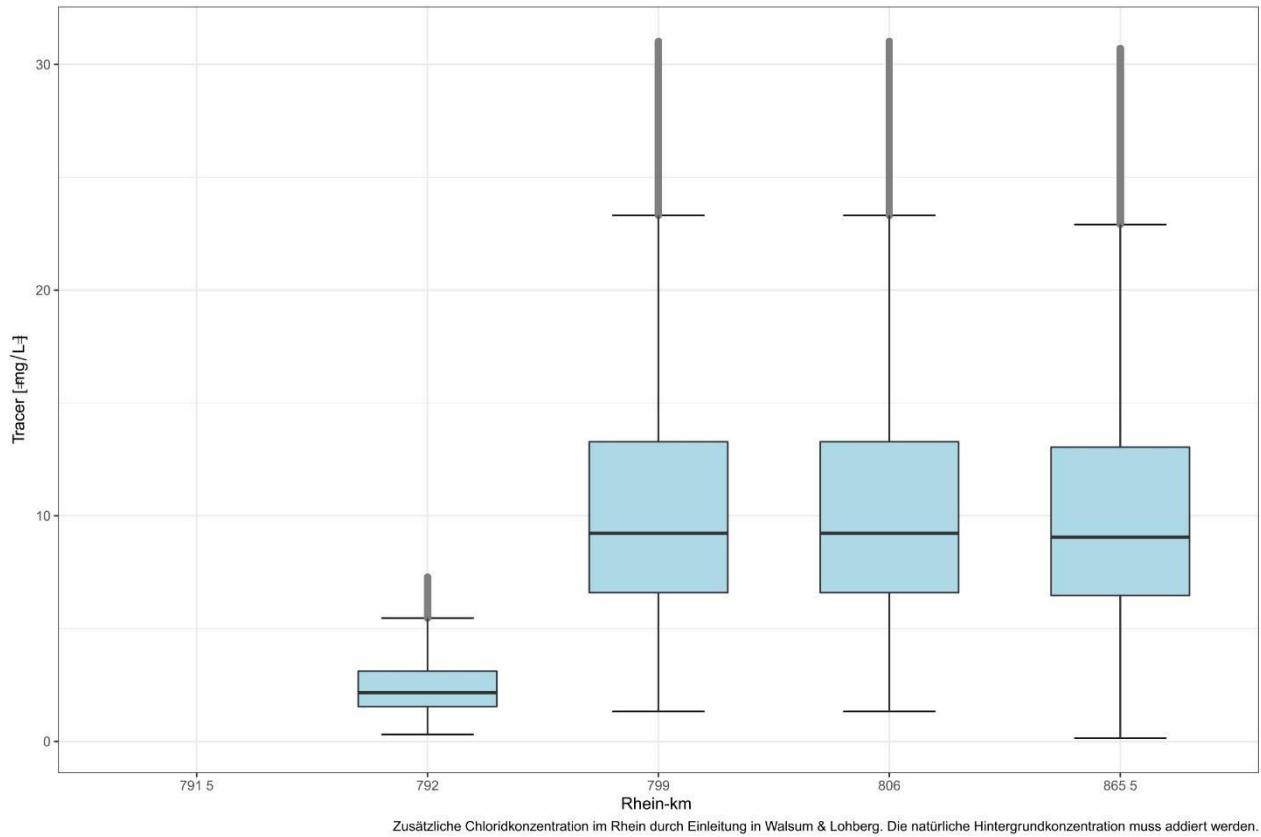
Verteilung der Tracer-/Chloridkonzentration entlang des Rheins – Szenario: Tracer_EQ42_ECE_RACMO_r1_RCP85_2031–2060
 Zeitraum 2031 – 2060



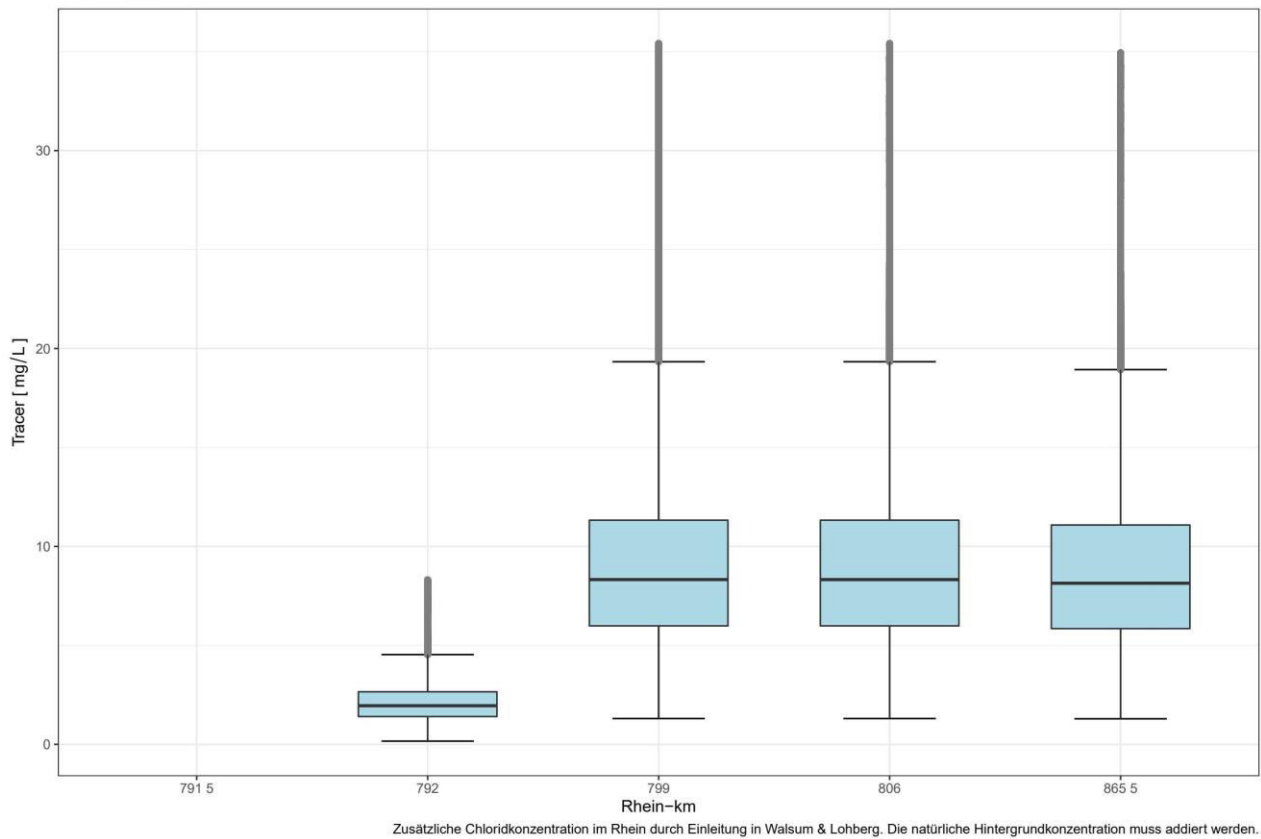
Verteilung der Tracer-/Chloridkonzentration entlang des Rheins – Szenario: Tracer_EQ47_ECE_REMO_r12_RCP85_2031–2060
 Zeitraum 2031 – 2060



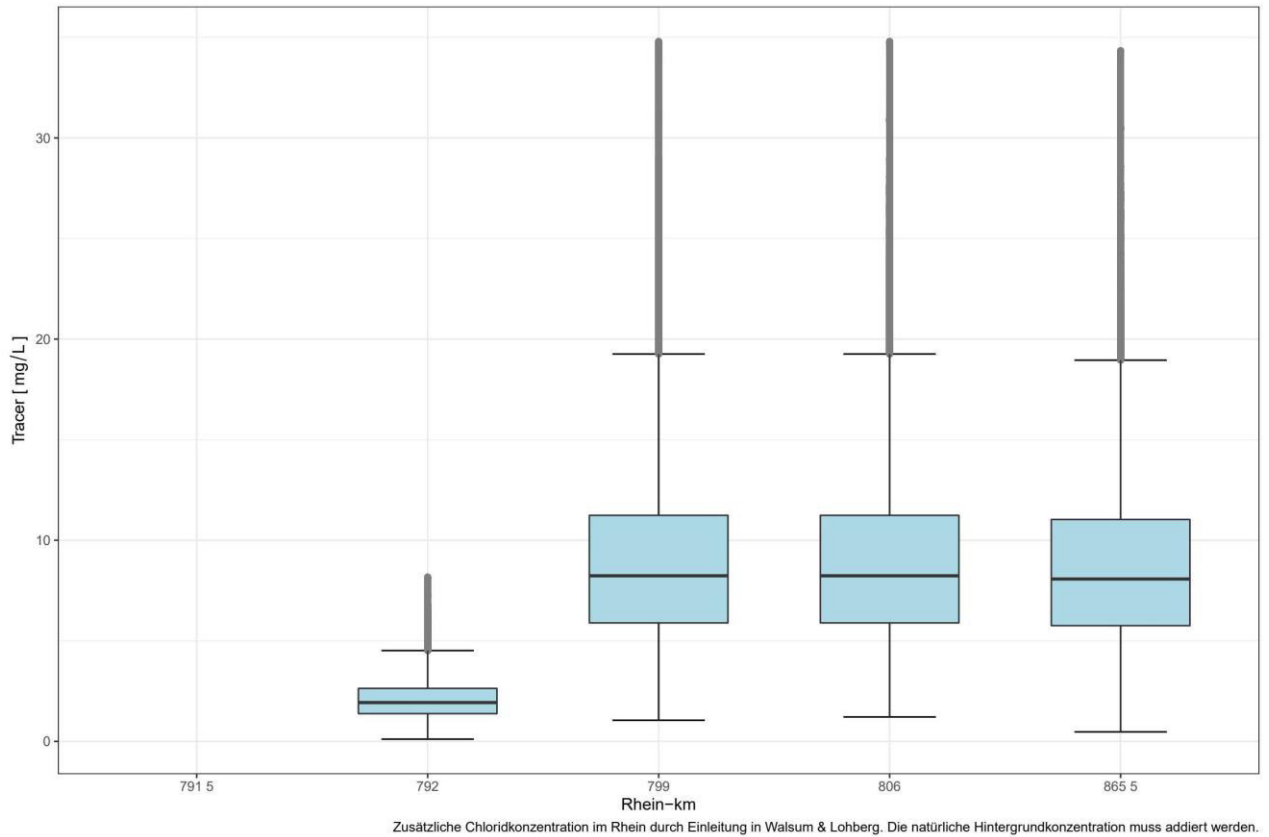
Verteilung der Tracer-/Chloridkonzentration entlang des Rheins - Szenario: Tracer_EQ34_MIROC5_CCLM_r1_RCP85_2031-2060
 Zeitraum 2031 - 2060



Verteilung der Tracer-/Chloridkonzentration entlang des Rheins - Szenario: Tracer_EQ37_ECE_CCLM_r12_RCP85_2031-2060
 Zeitraum 2031 - 2060

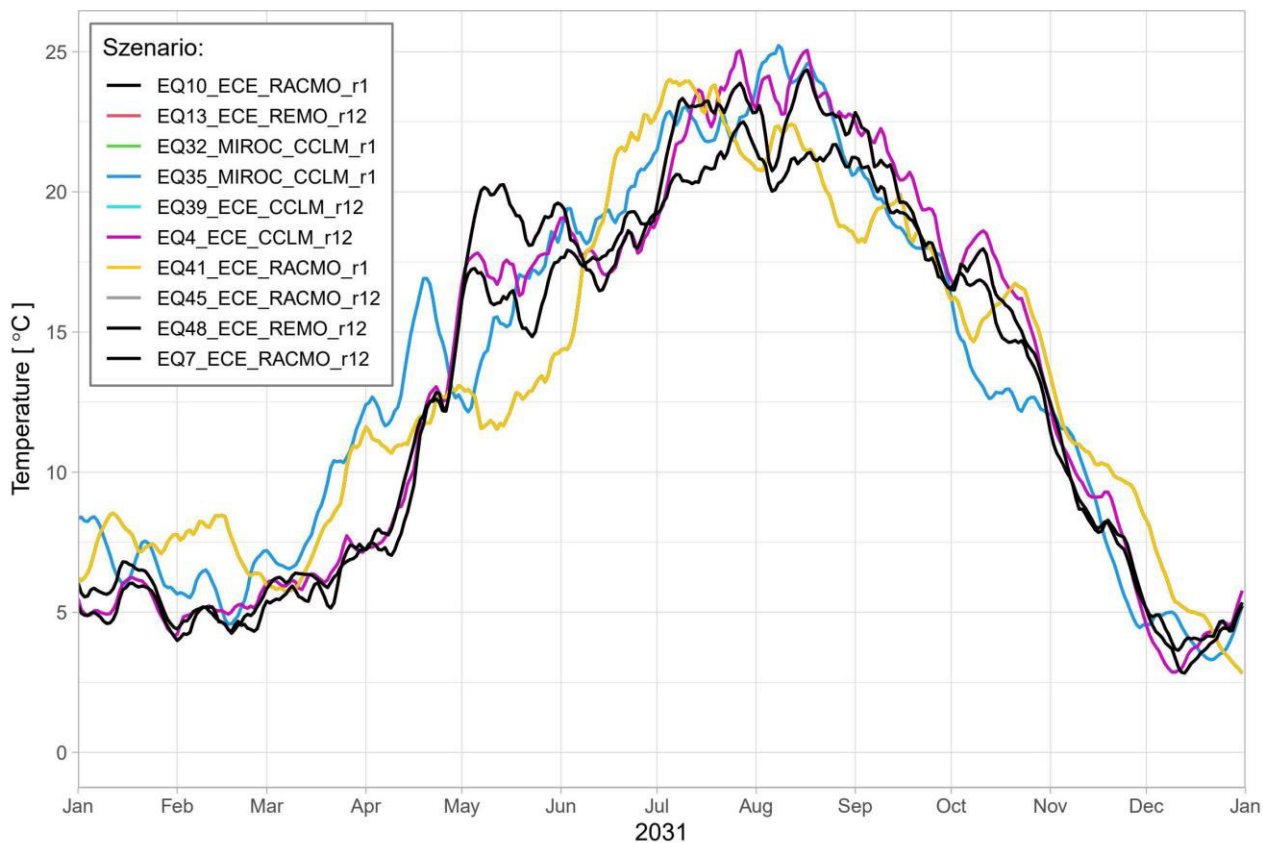


Verteilung der Tracer-/Chloridkonzentration entlang des Rheins – Szenario: Tracer_EQ44_ECE_RACMO_r12_RCP85_2031-2060
Zeitraum 2031 – 2060

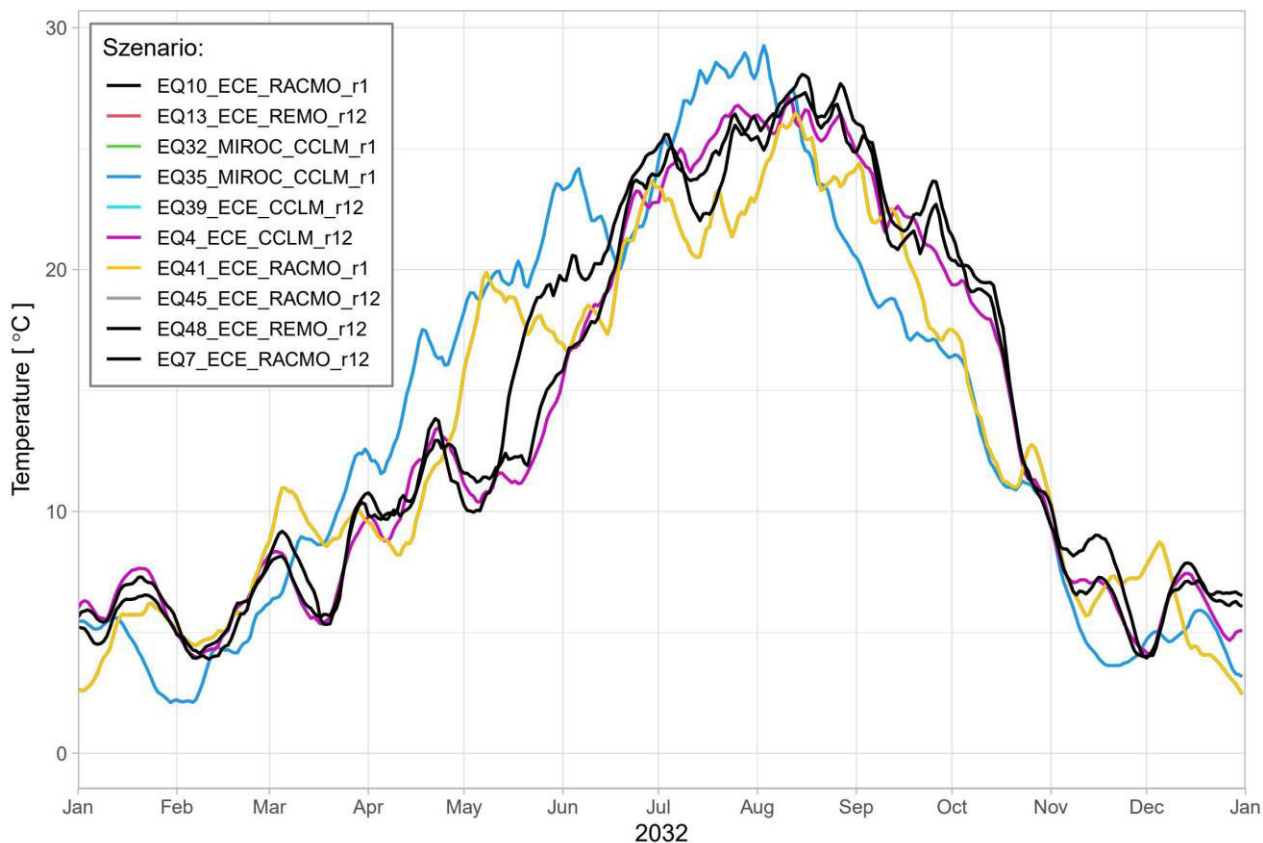


Jahresgang der Wassertemperatur für die Jahre 2031 bis 2060 bei Rhein-km 770 für verschiedene Klimamodell-Ensembles

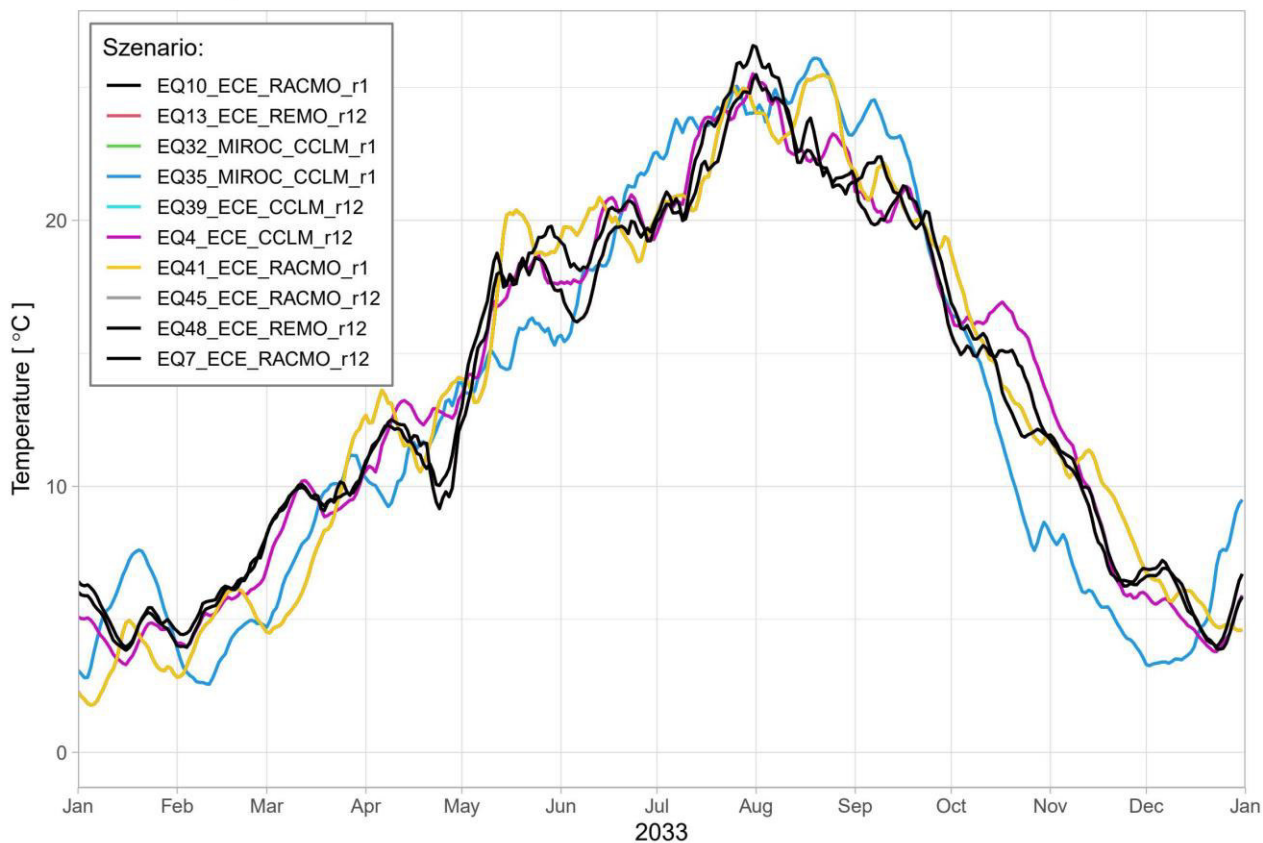
Wassertemperatur für verschiedene Szenarien - Rhein-Km: 770



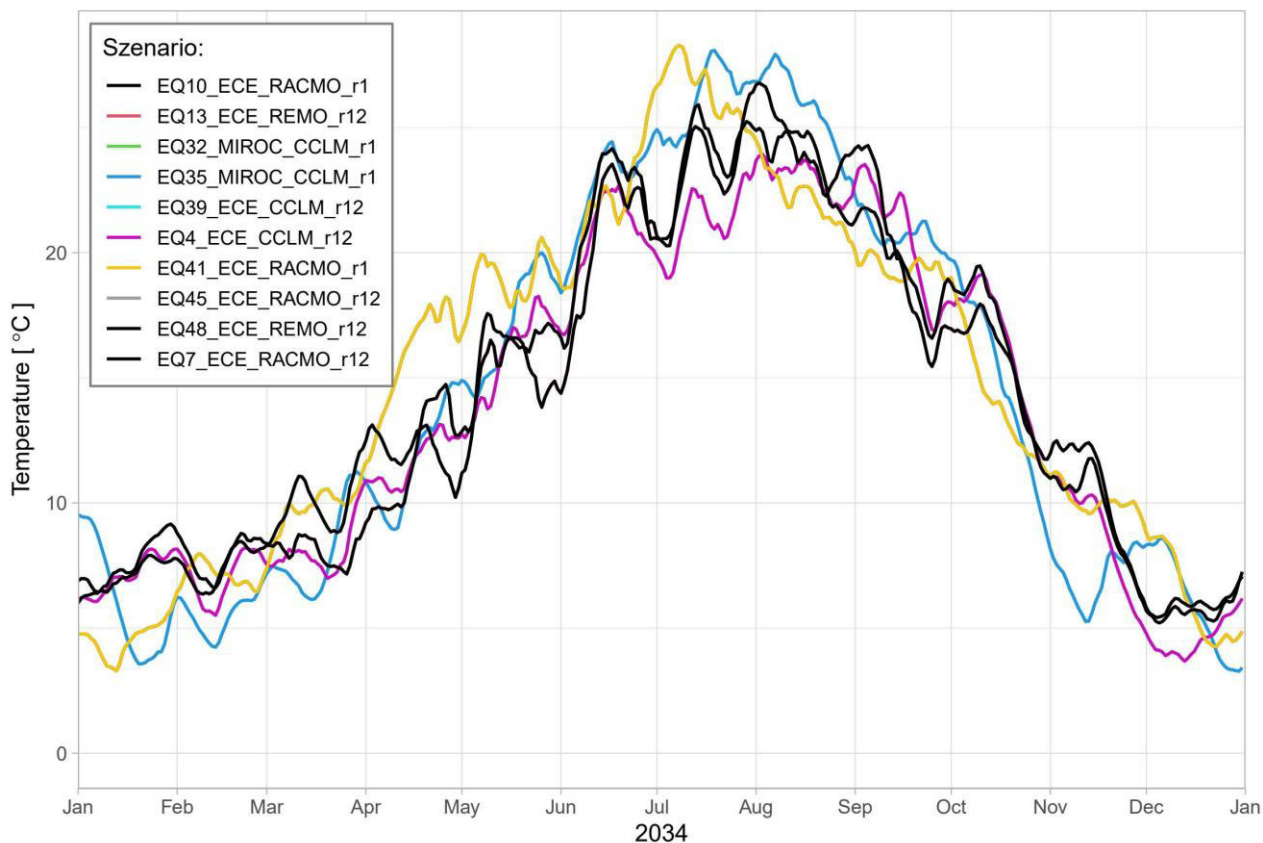
Wassertemperatur für verschiedene Szenarien - Rhein-Km: 770



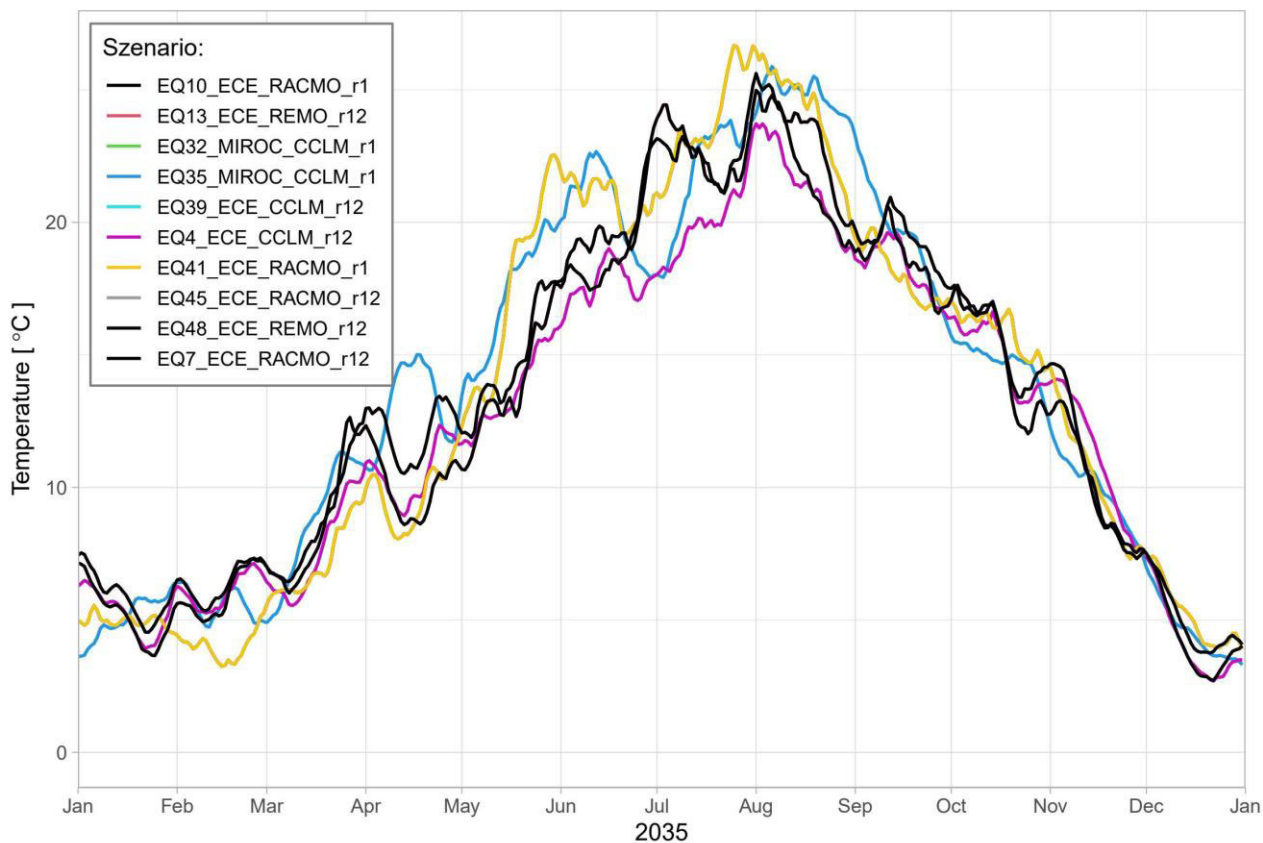
Wassertemperatur für verschiedene Szenarien - Rhein-Km: 770



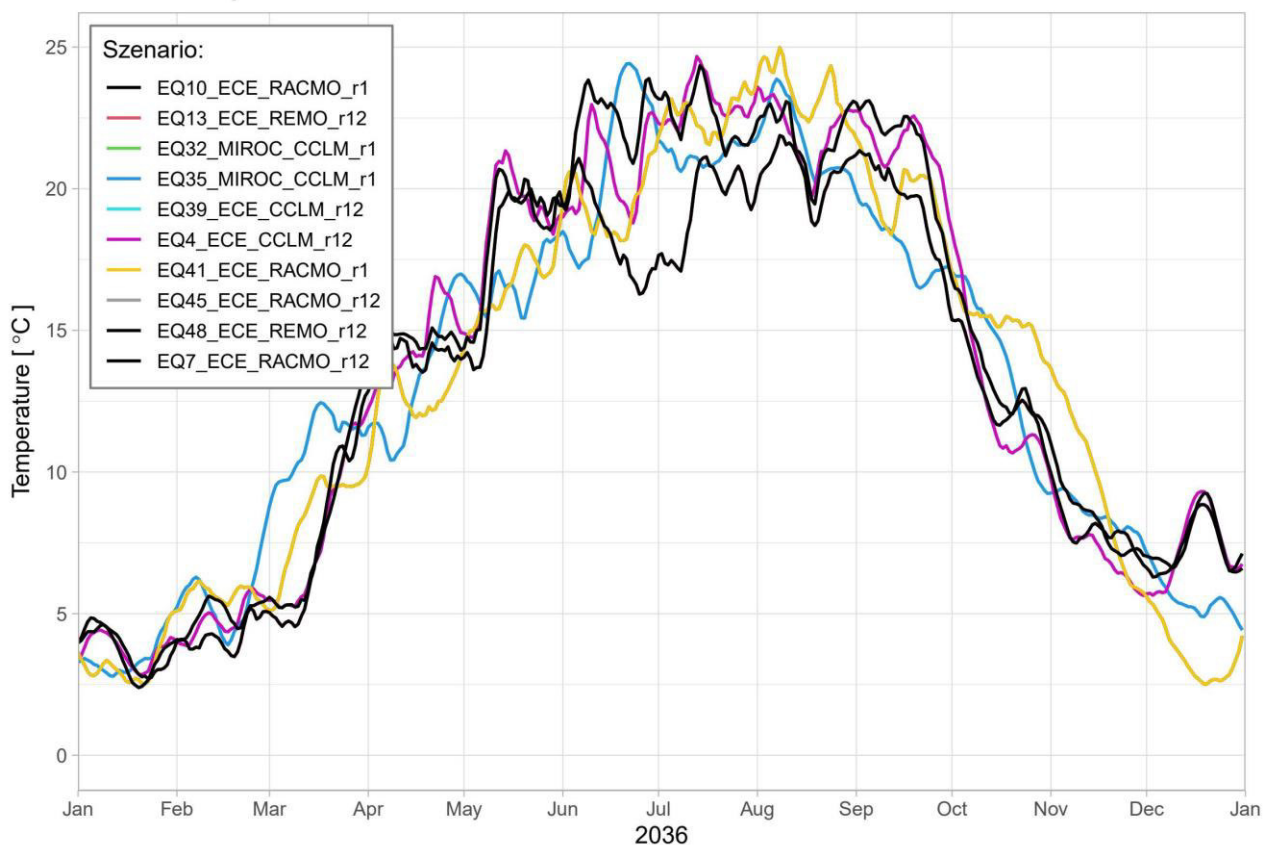
Wassertemperatur für verschiedene Szenarien - Rhein-Km: 770



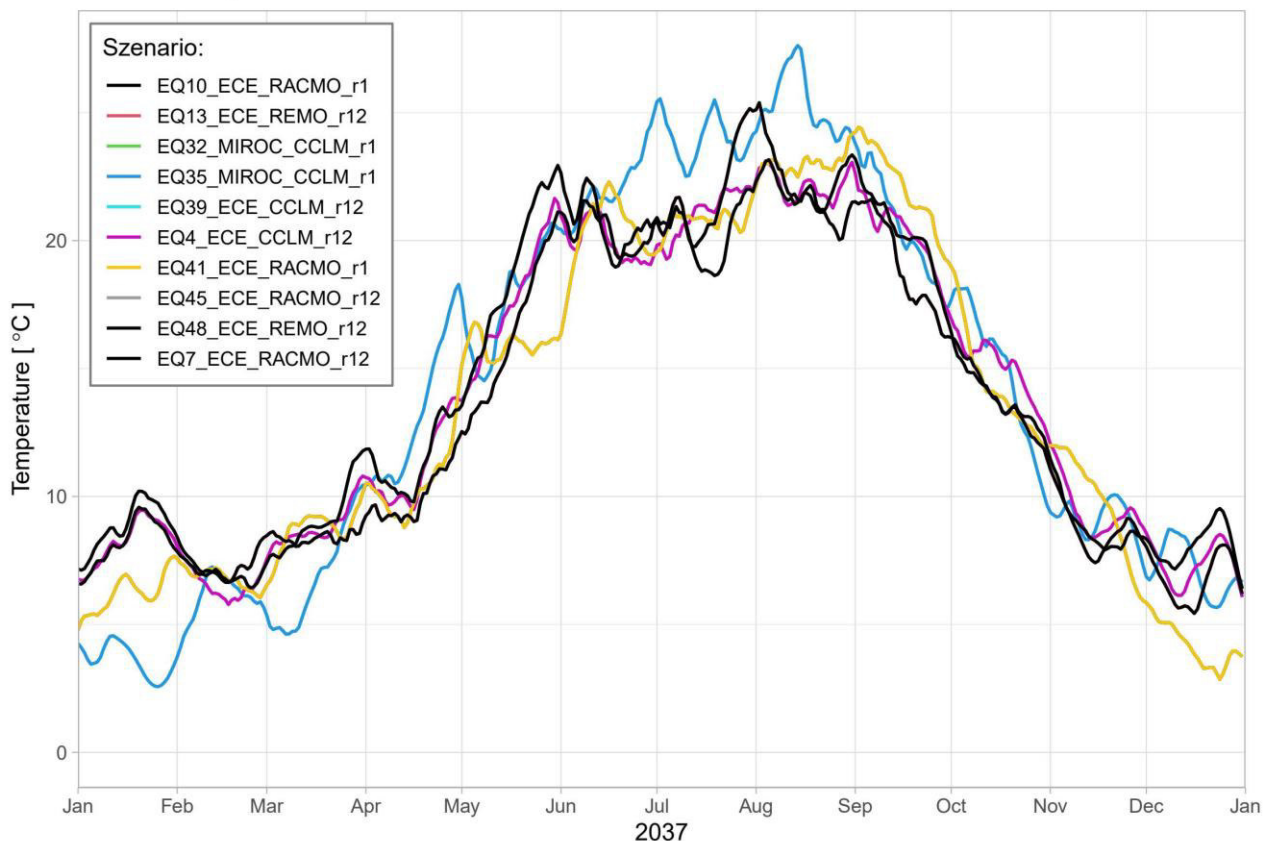
Wassertemperatur für verschiedene Szenarien - Rhein-Km: 770



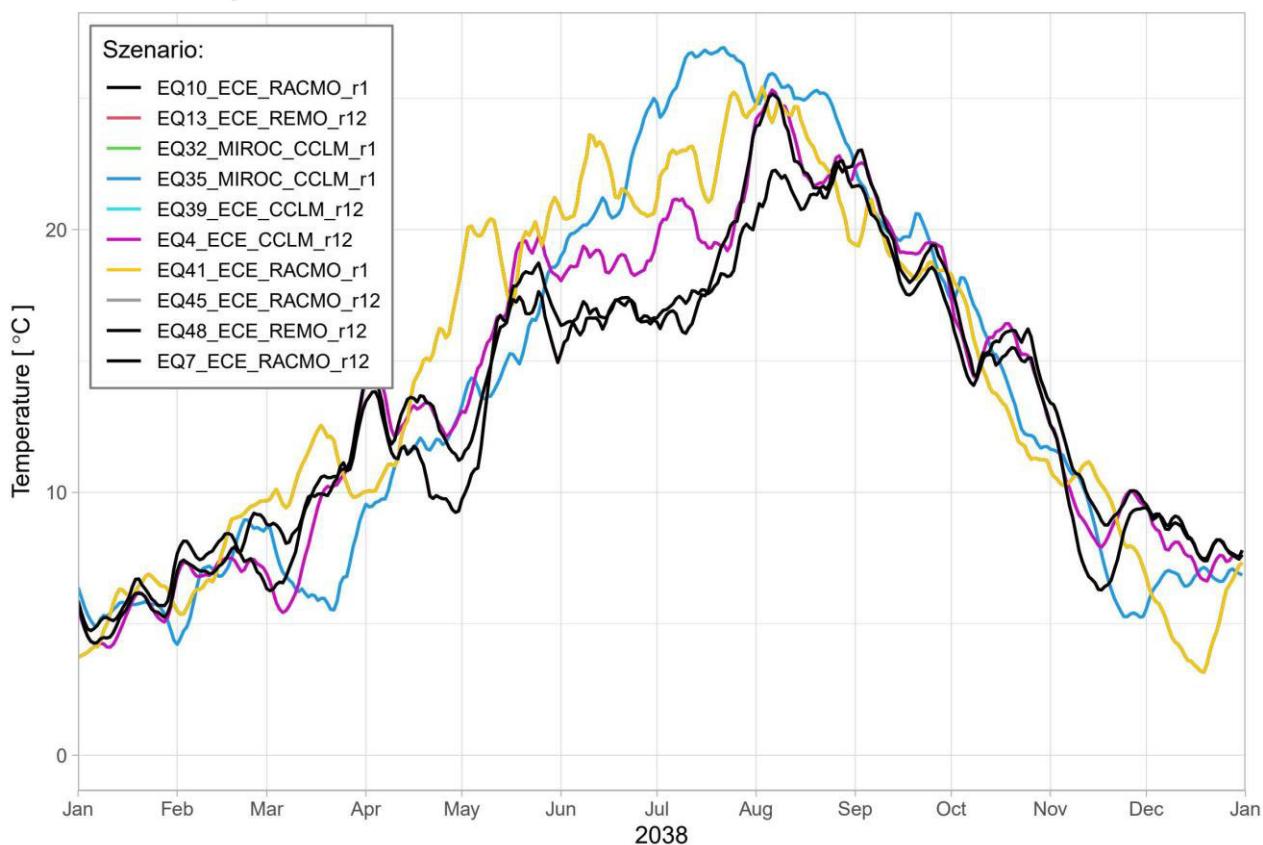
Wassertemperatur für verschiedene Szenarien - Rhein-Km: 770



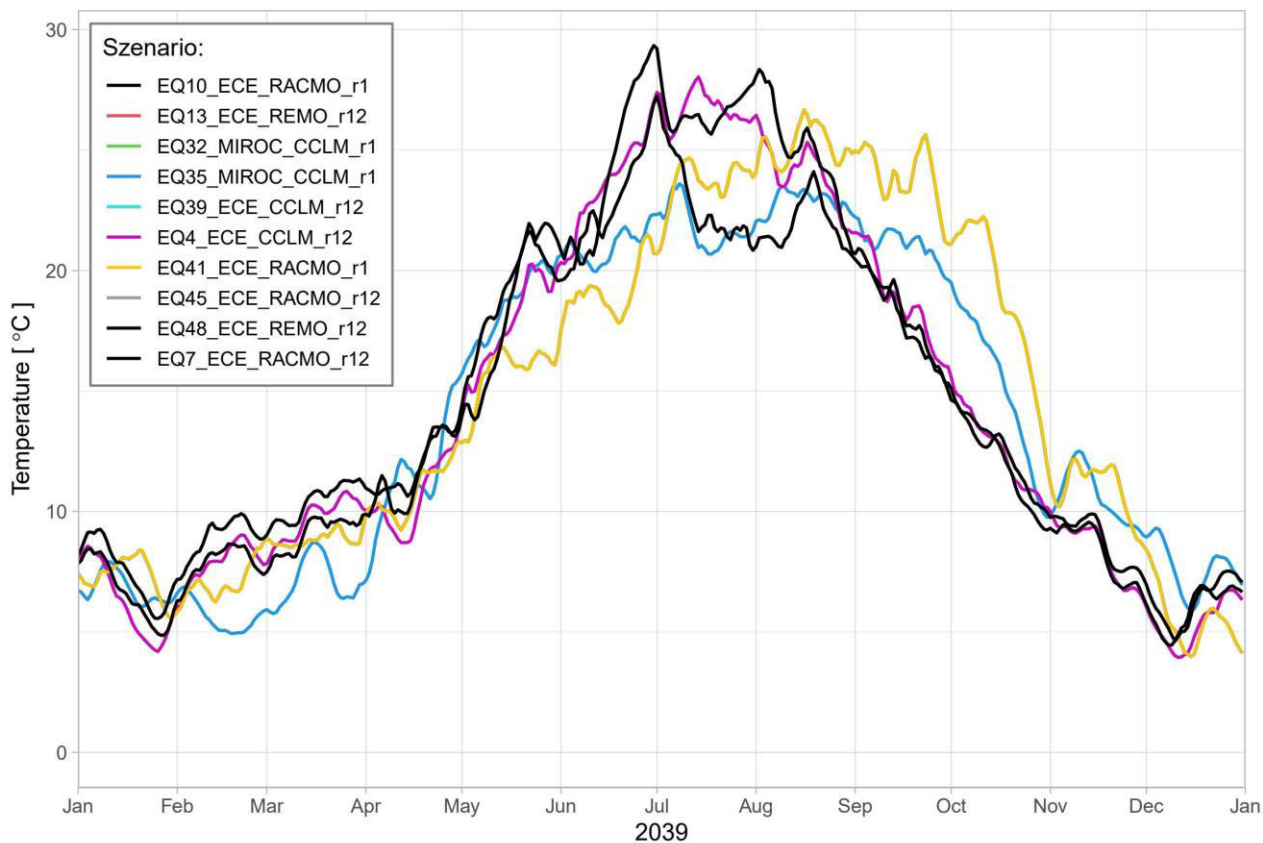
Wassertemperatur für verschiedene Szenarien - Rhein-Km: 770



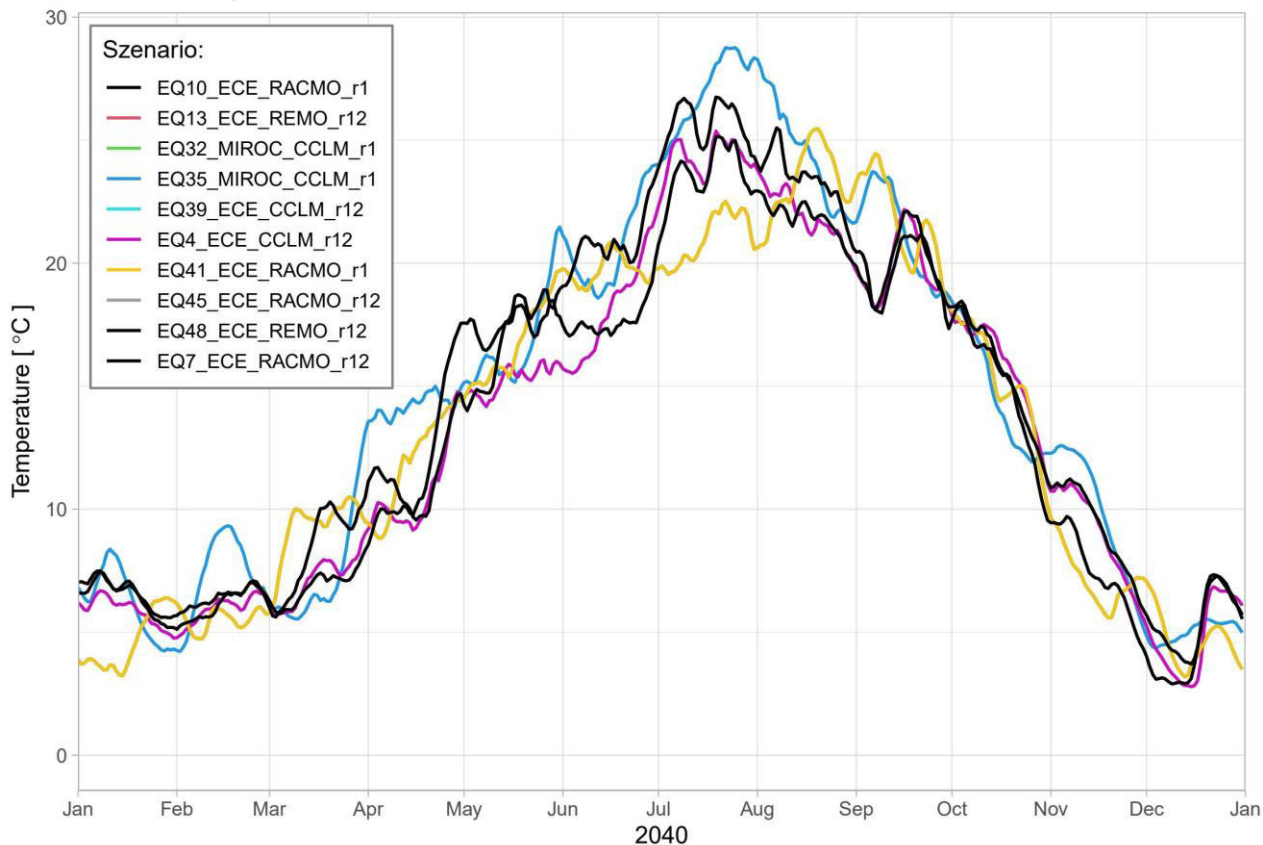
Wassertemperatur für verschiedene Szenarien - Rhein-Km: 770



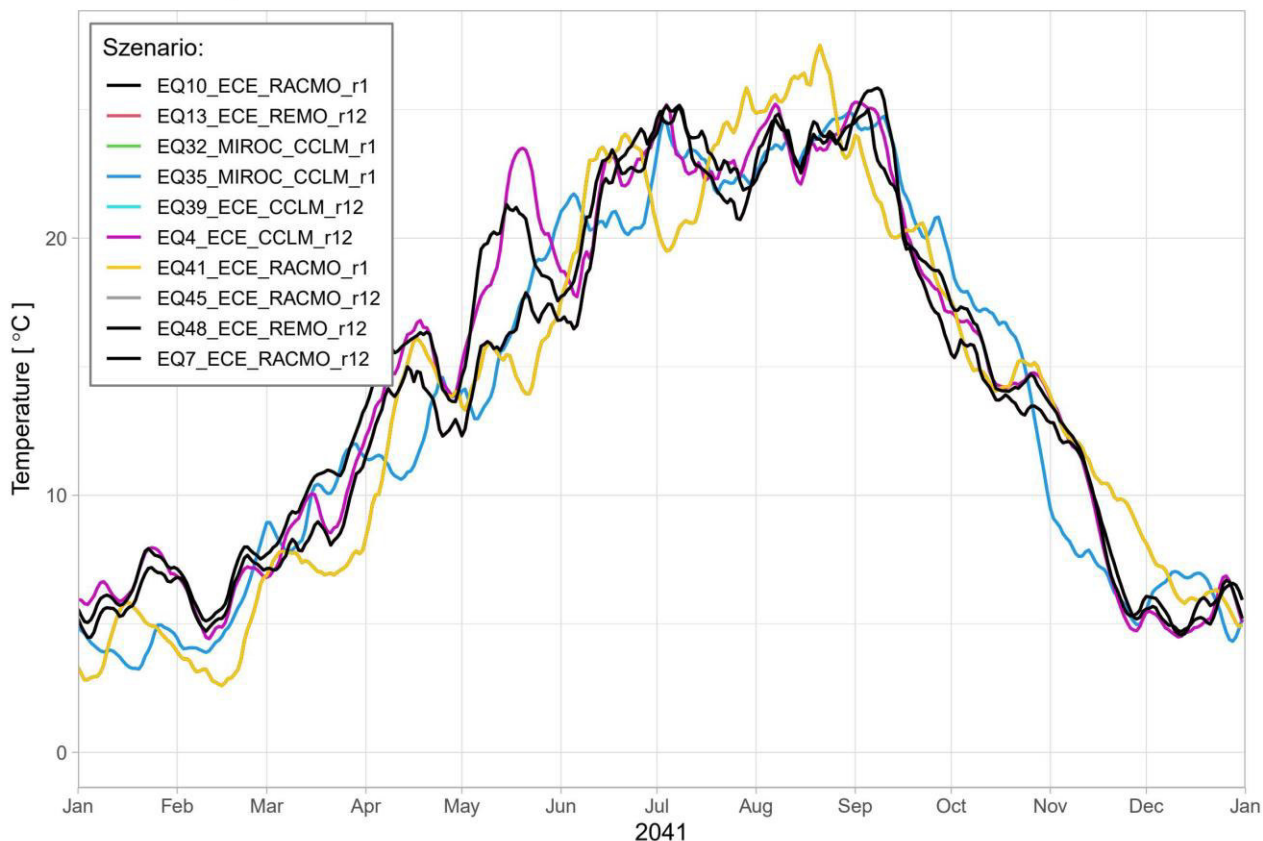
Wassertemperatur für verschiedene Szenarien - Rhein-Km: 770



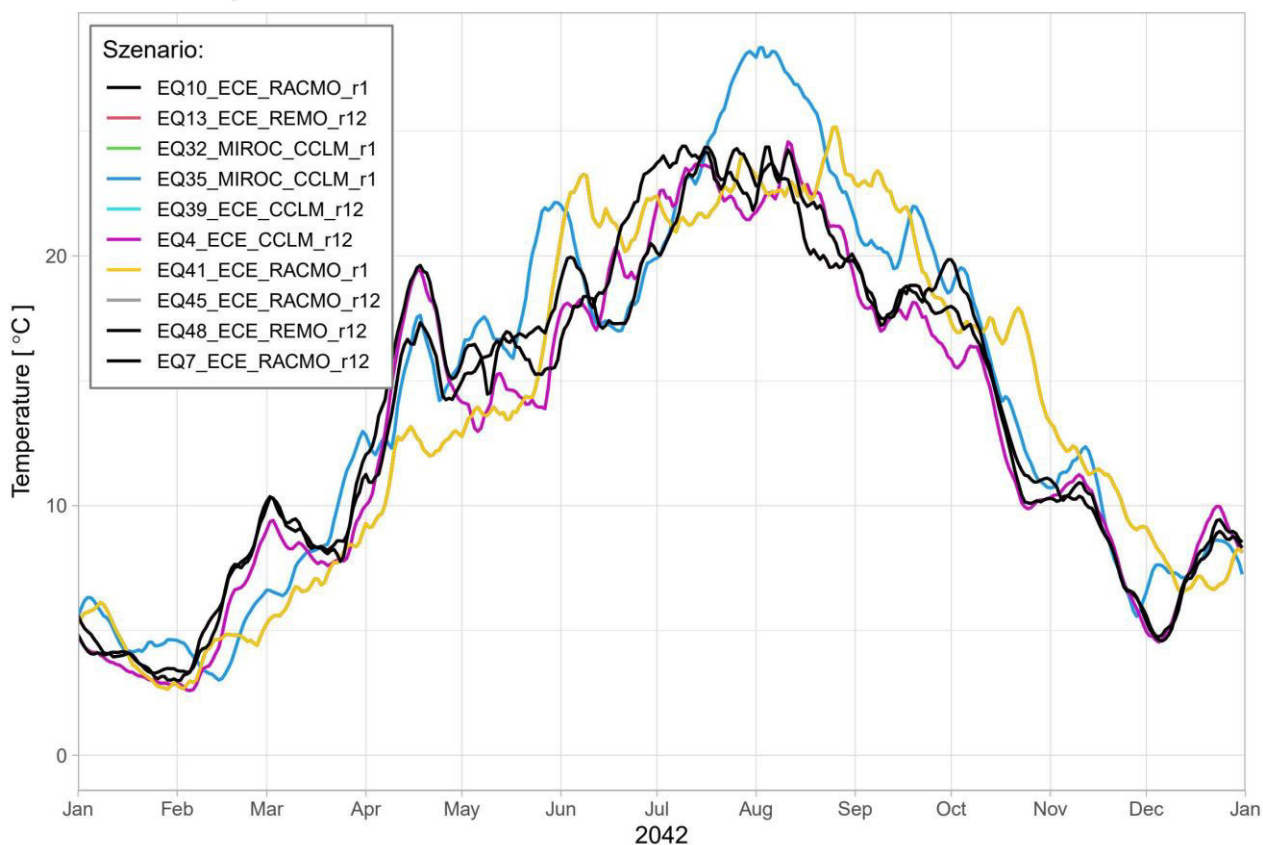
Wassertemperatur für verschiedene Szenarien - Rhein-Km: 770



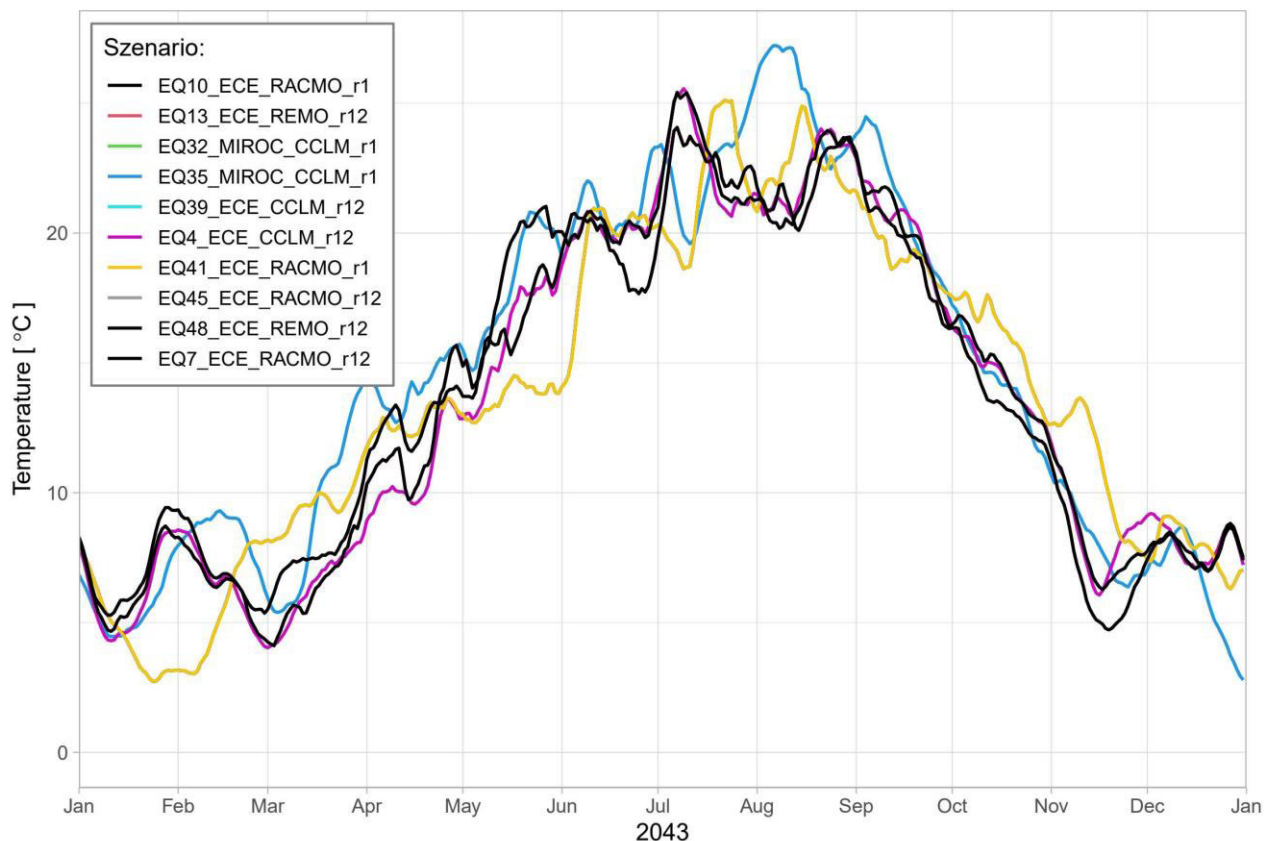
Wassertemperatur für verschiedene Szenarien - Rhein-Km: 770



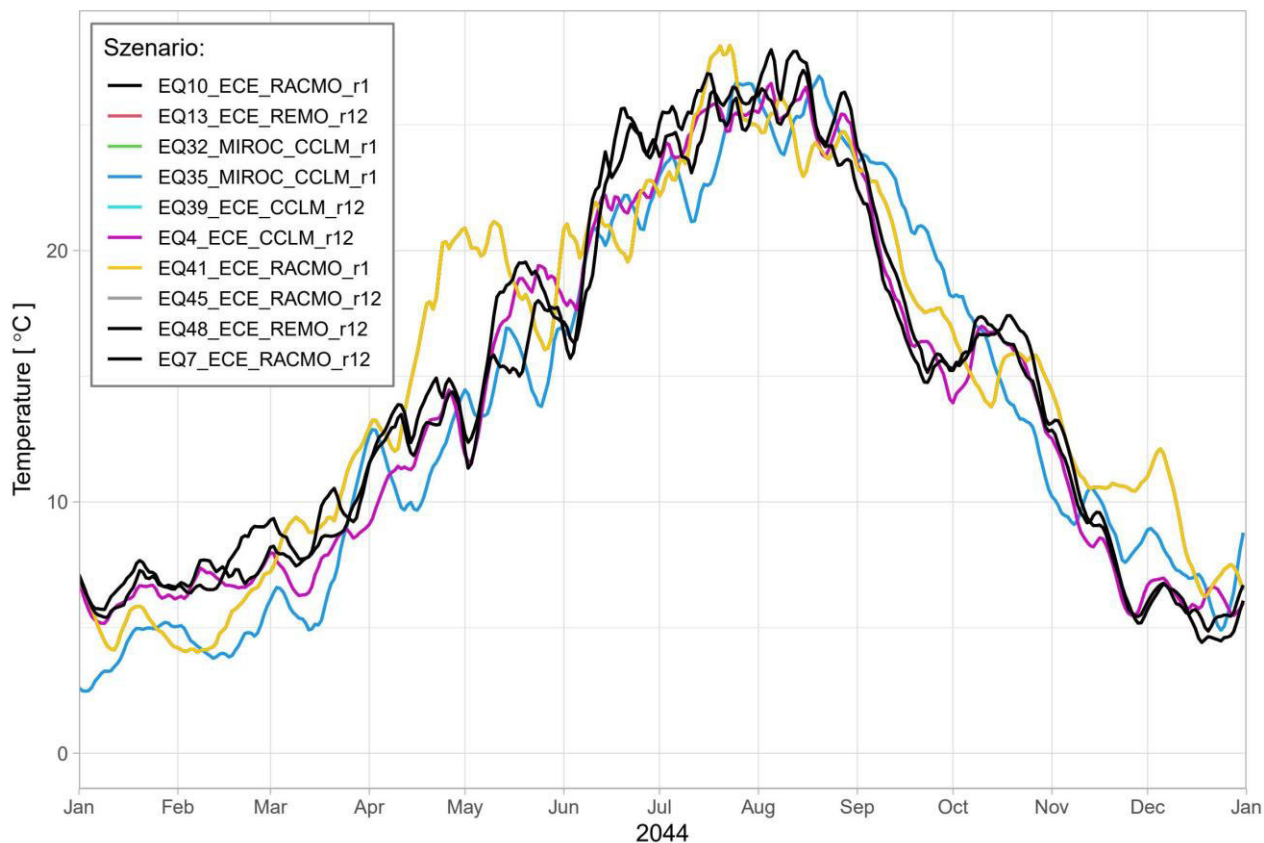
Wassertemperatur für verschiedene Szenarien - Rhein-Km: 770



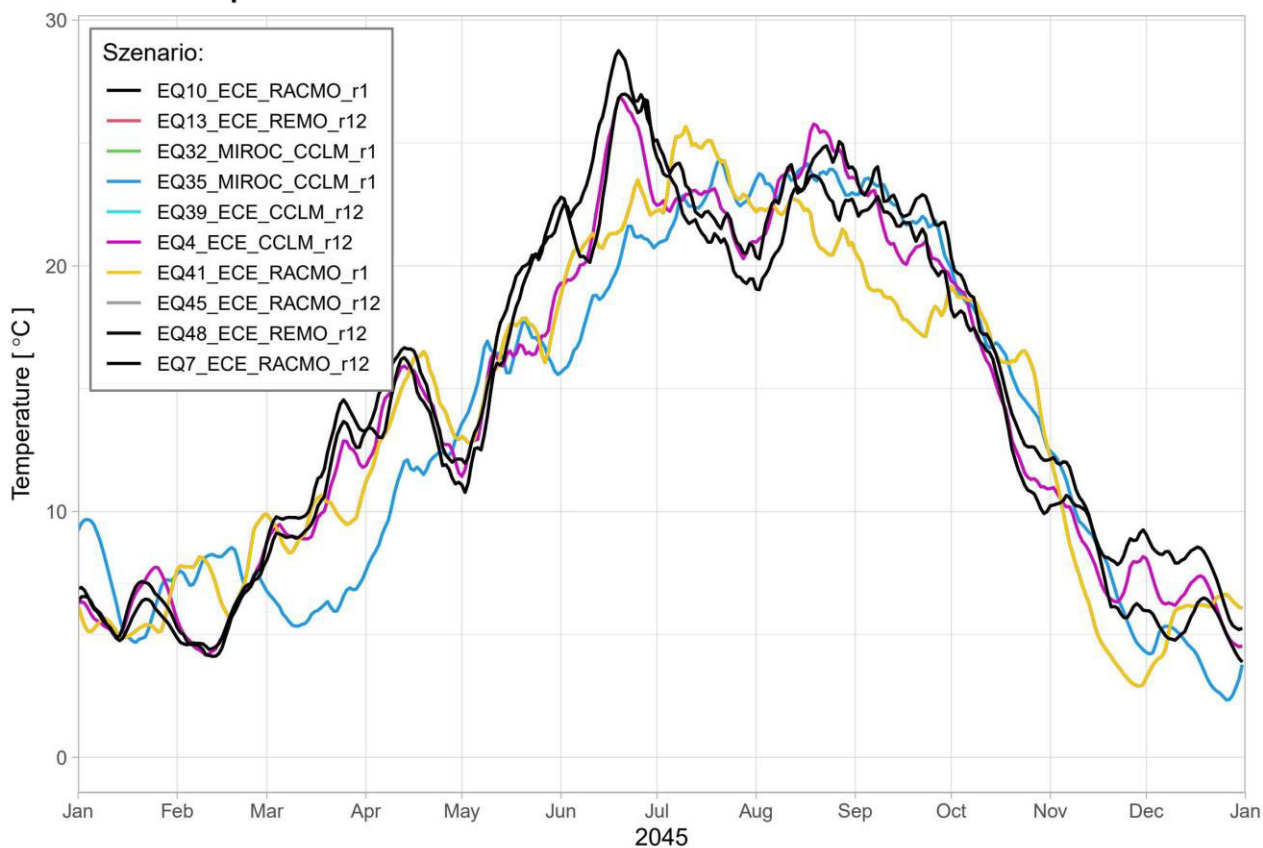
Wassertemperatur für verschiedene Szenarien - Rhein-Km: 770



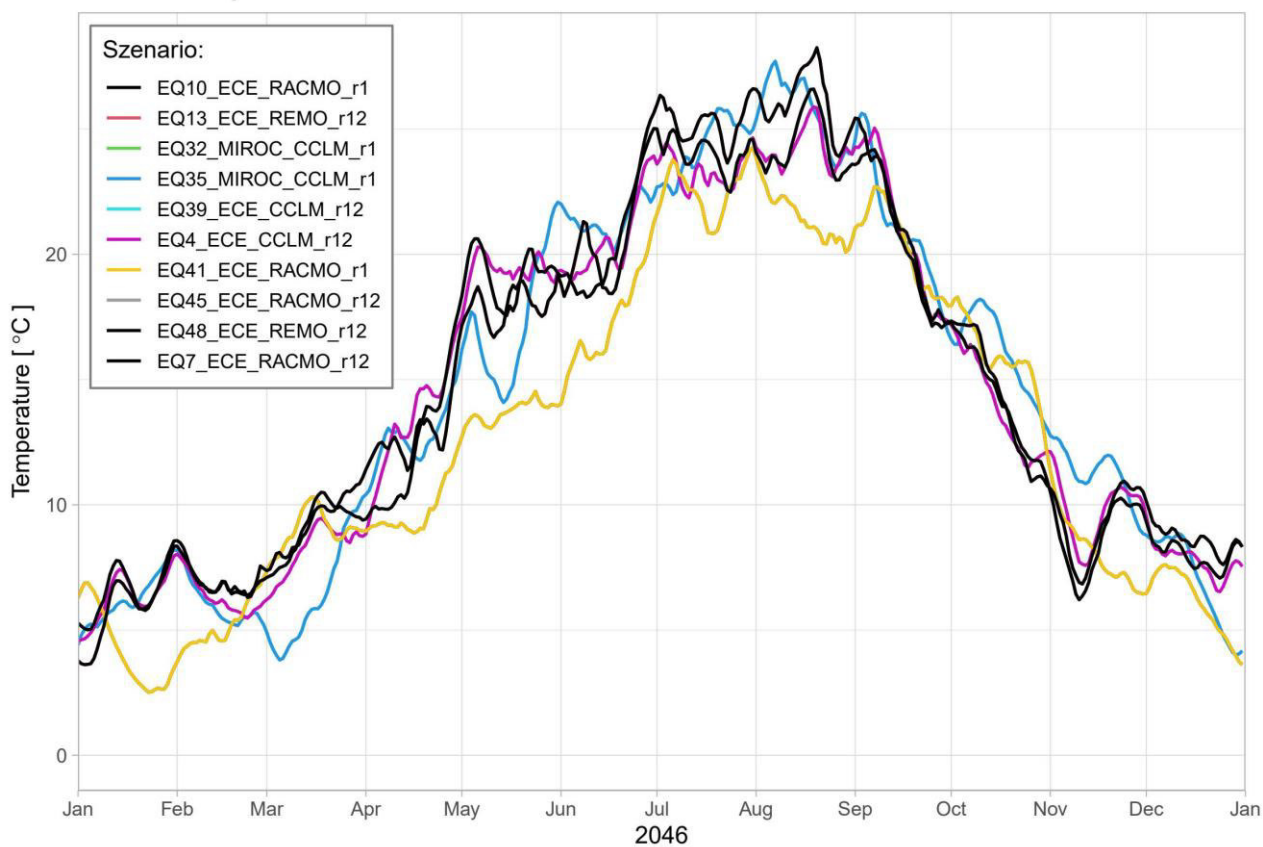
Wassertemperatur für verschiedene Szenarien - Rhein-Km: 770



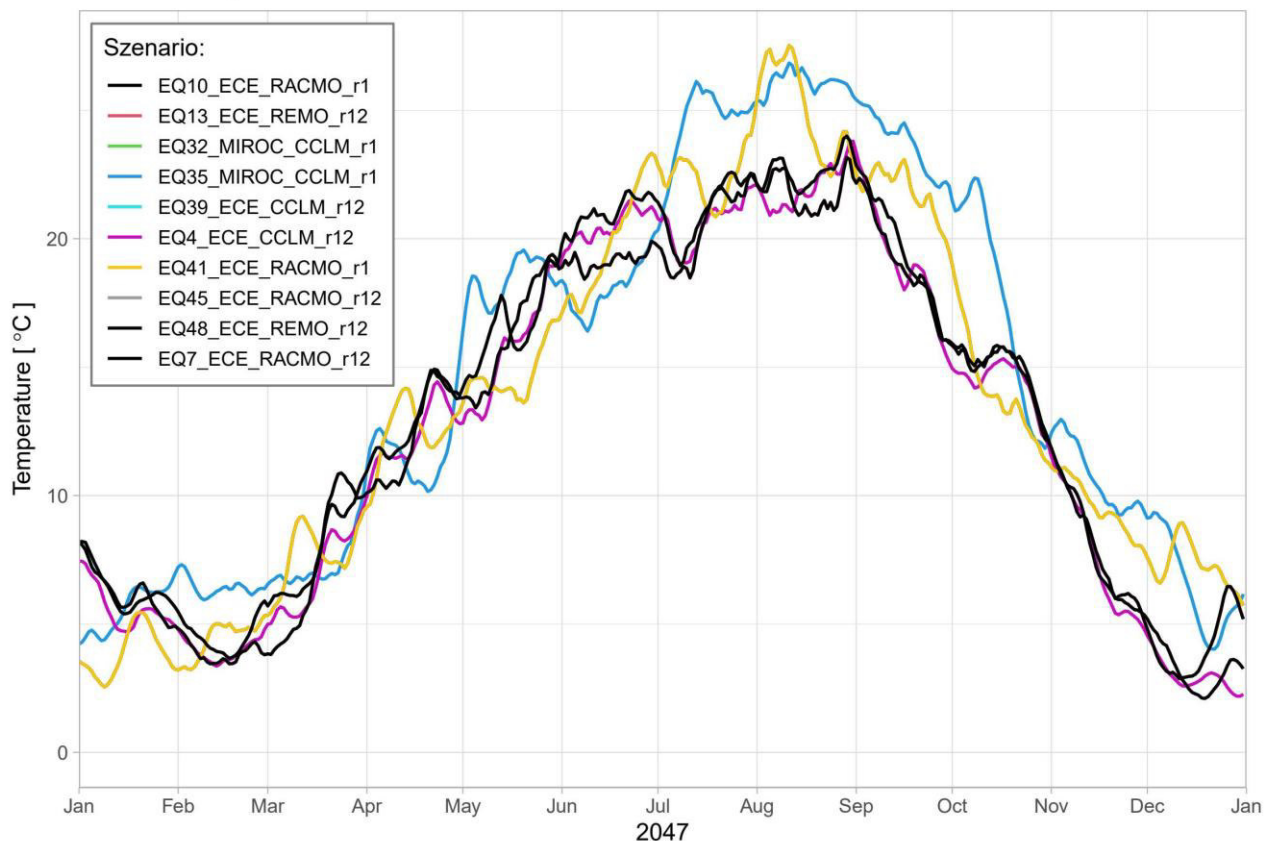
Wassertemperatur für verschiedene Szenarien - Rhein-Km: 770



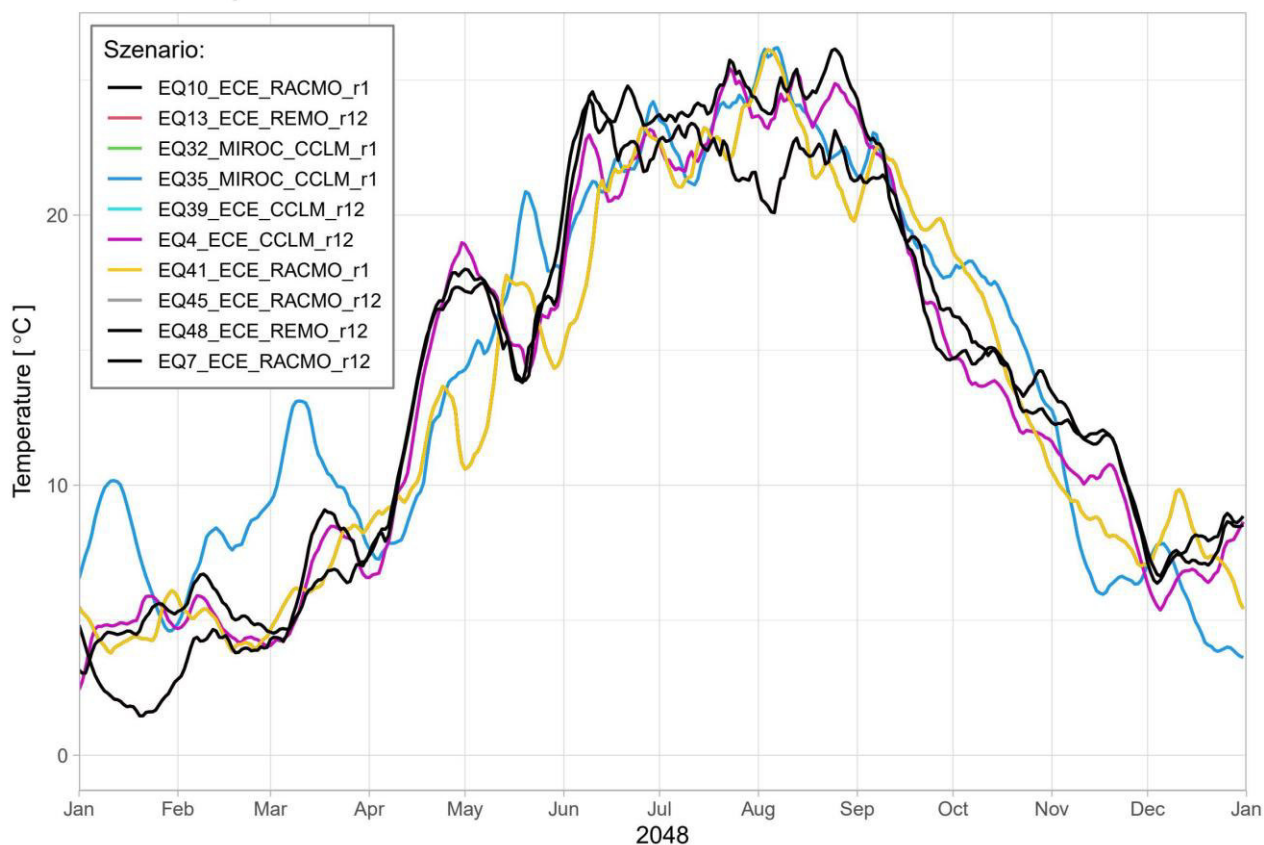
Wassertemperatur für verschiedene Szenarien - Rhein-Km: 770



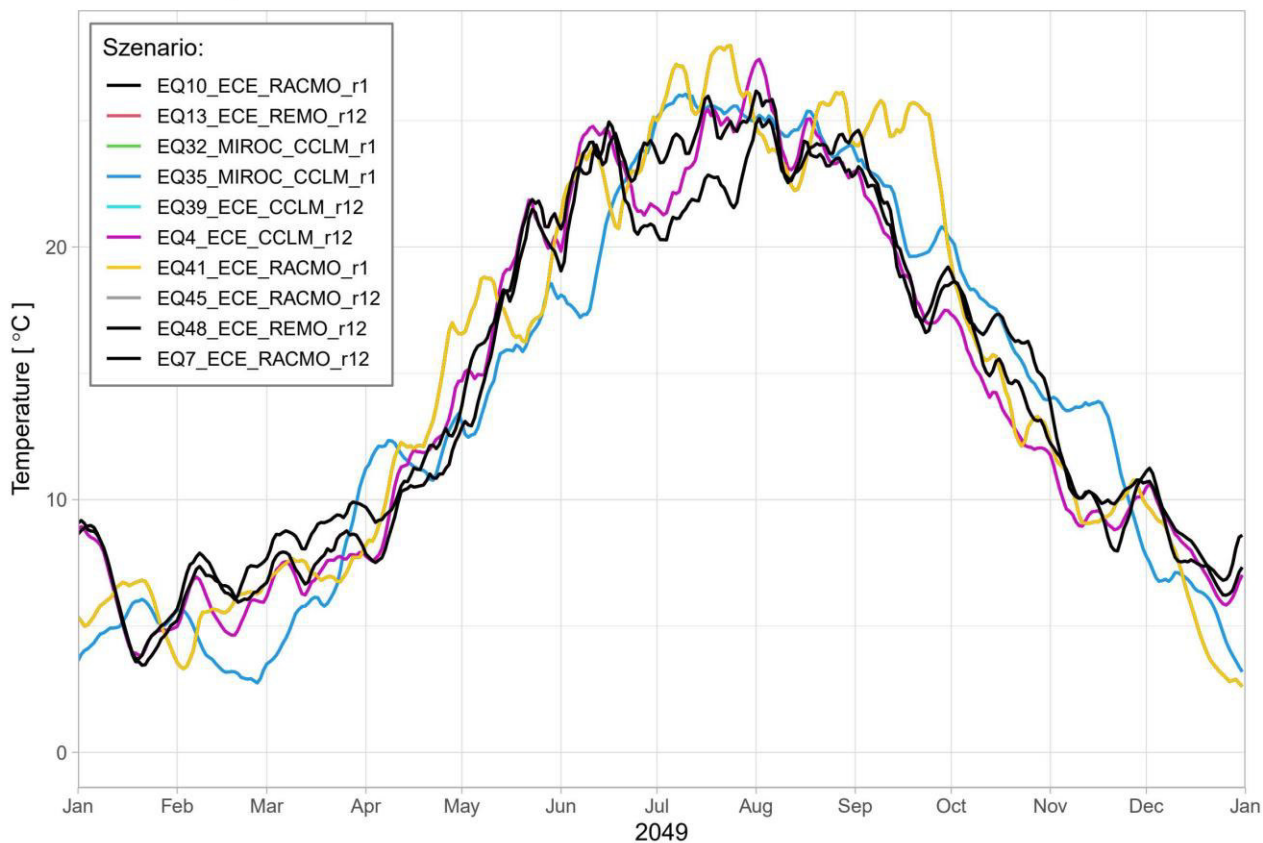
Wassertemperatur für verschiedene Szenarien - Rhein-Km: 770



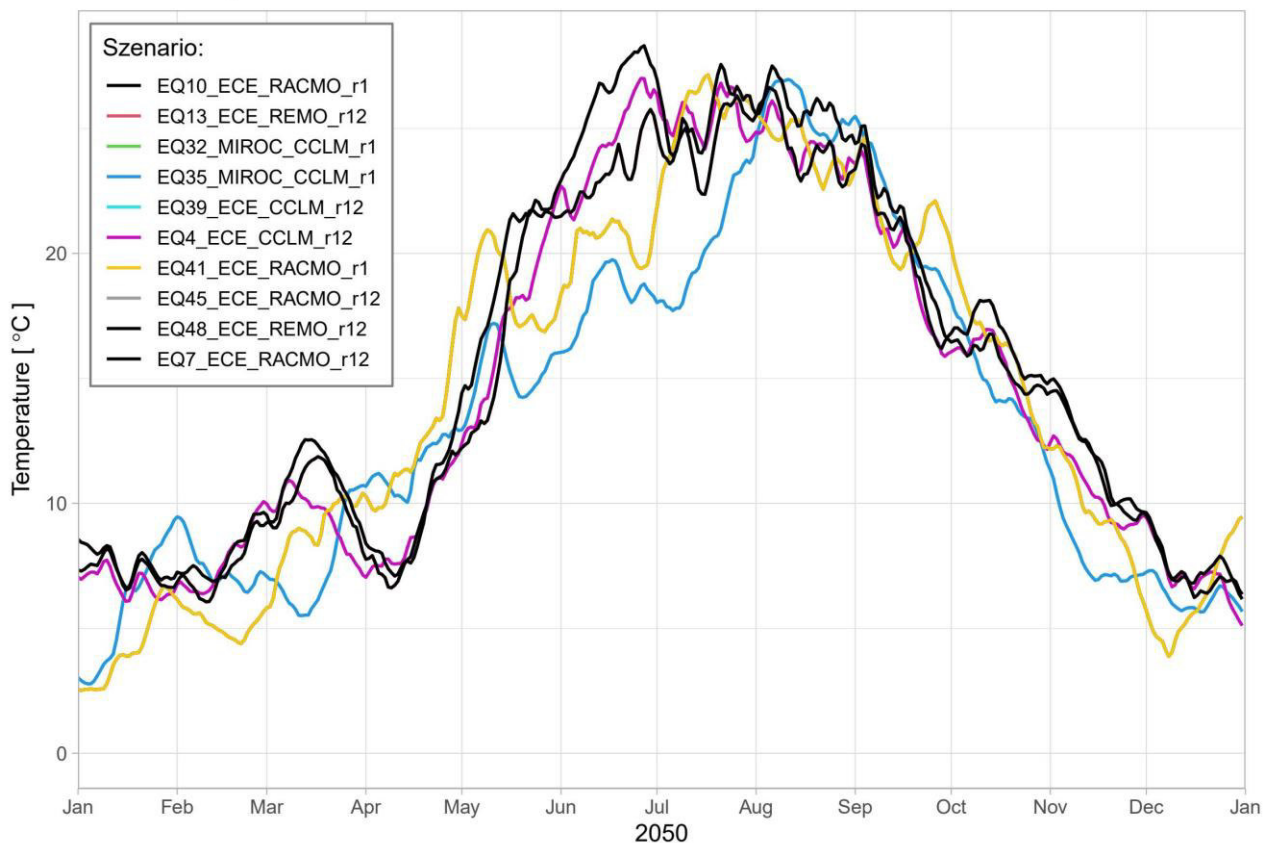
Wassertemperatur für verschiedene Szenarien - Rhein-Km: 770



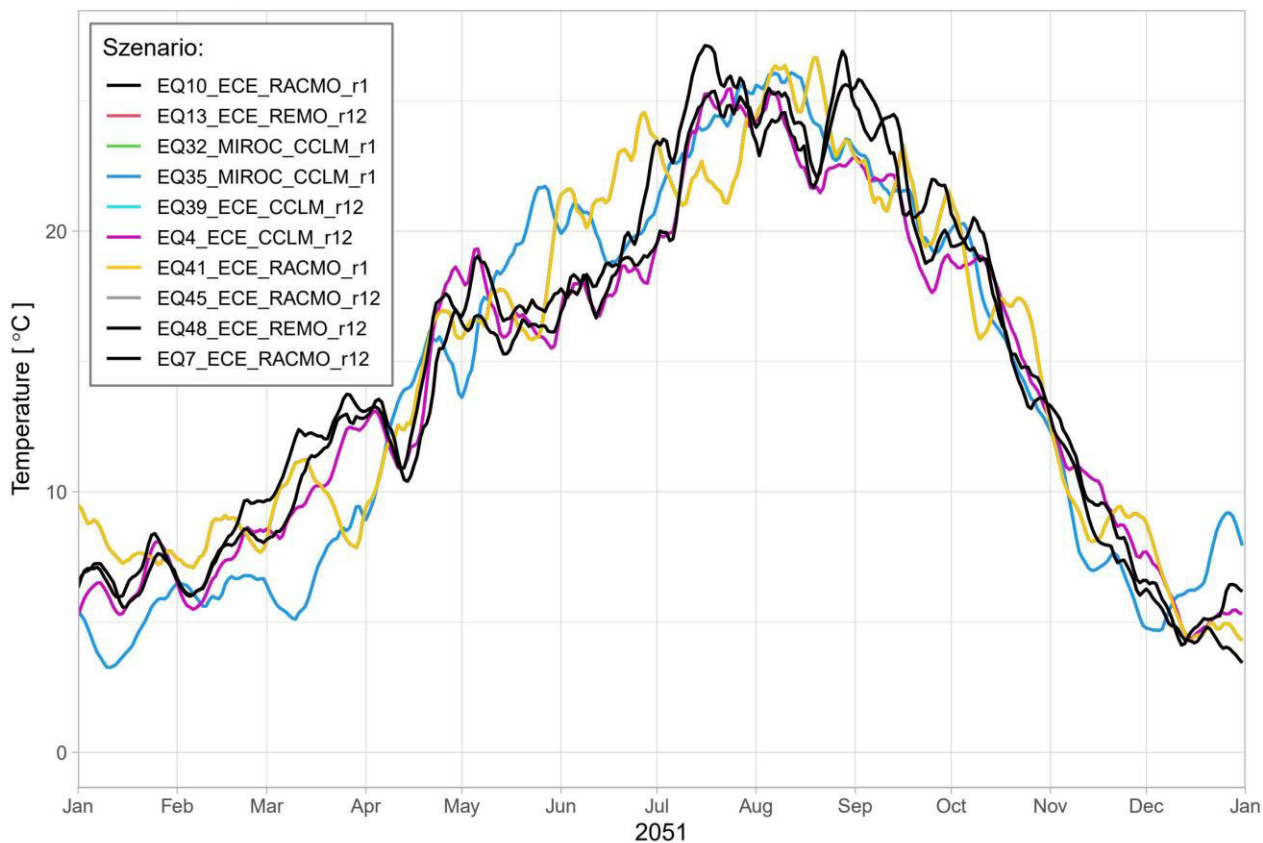
Wassertemperatur für verschiedene Szenarien - Rhein-Km: 770



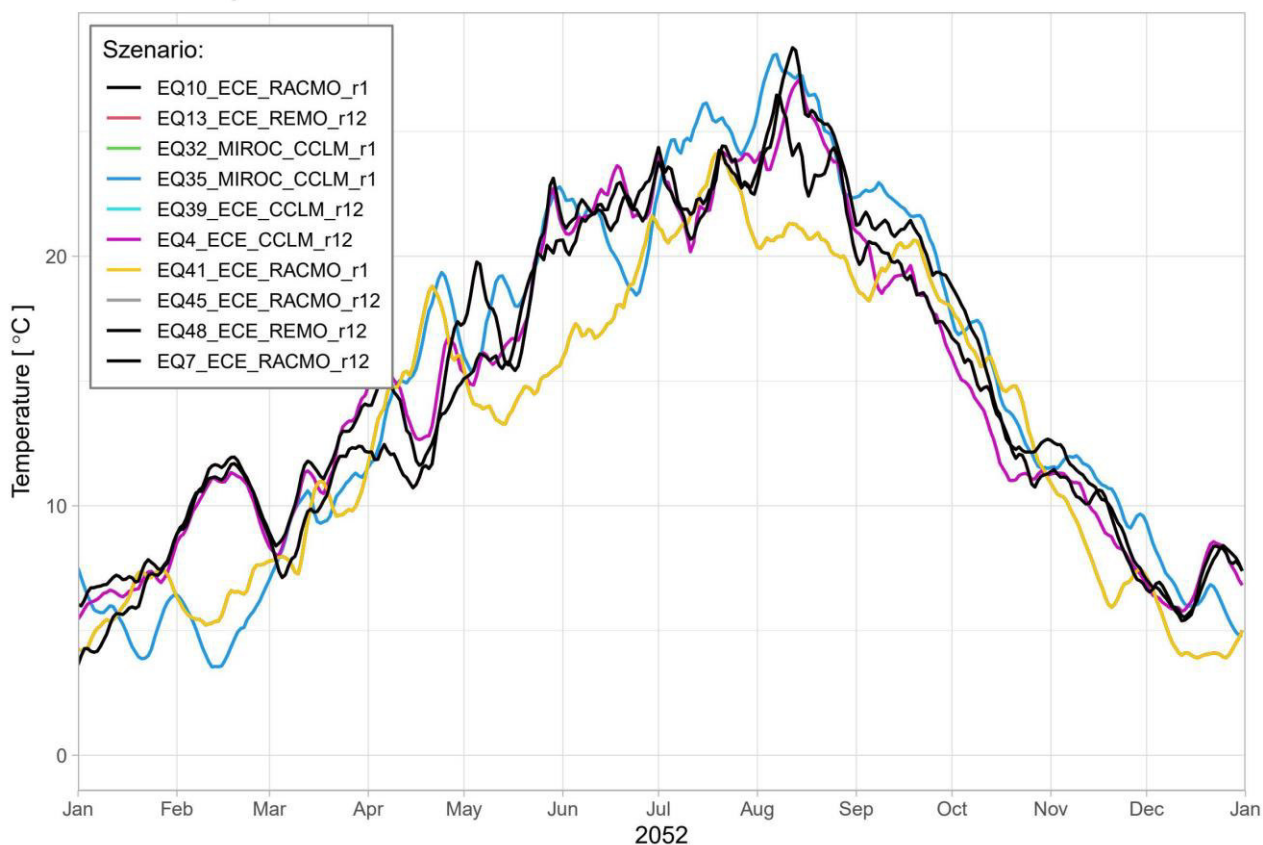
Wassertemperatur für verschiedene Szenarien - Rhein-Km: 770



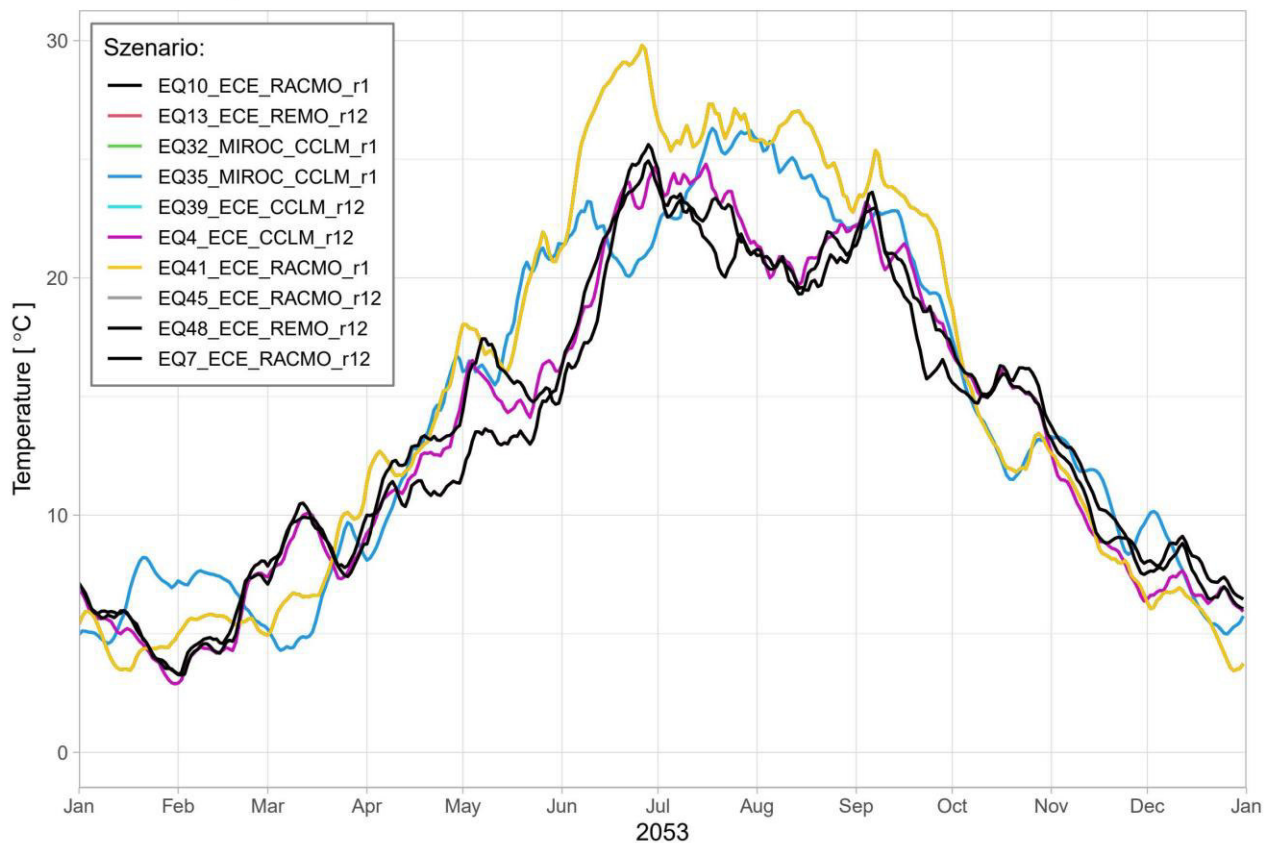
Wassertemperatur für verschiedene Szenarien - Rhein-Km: 770



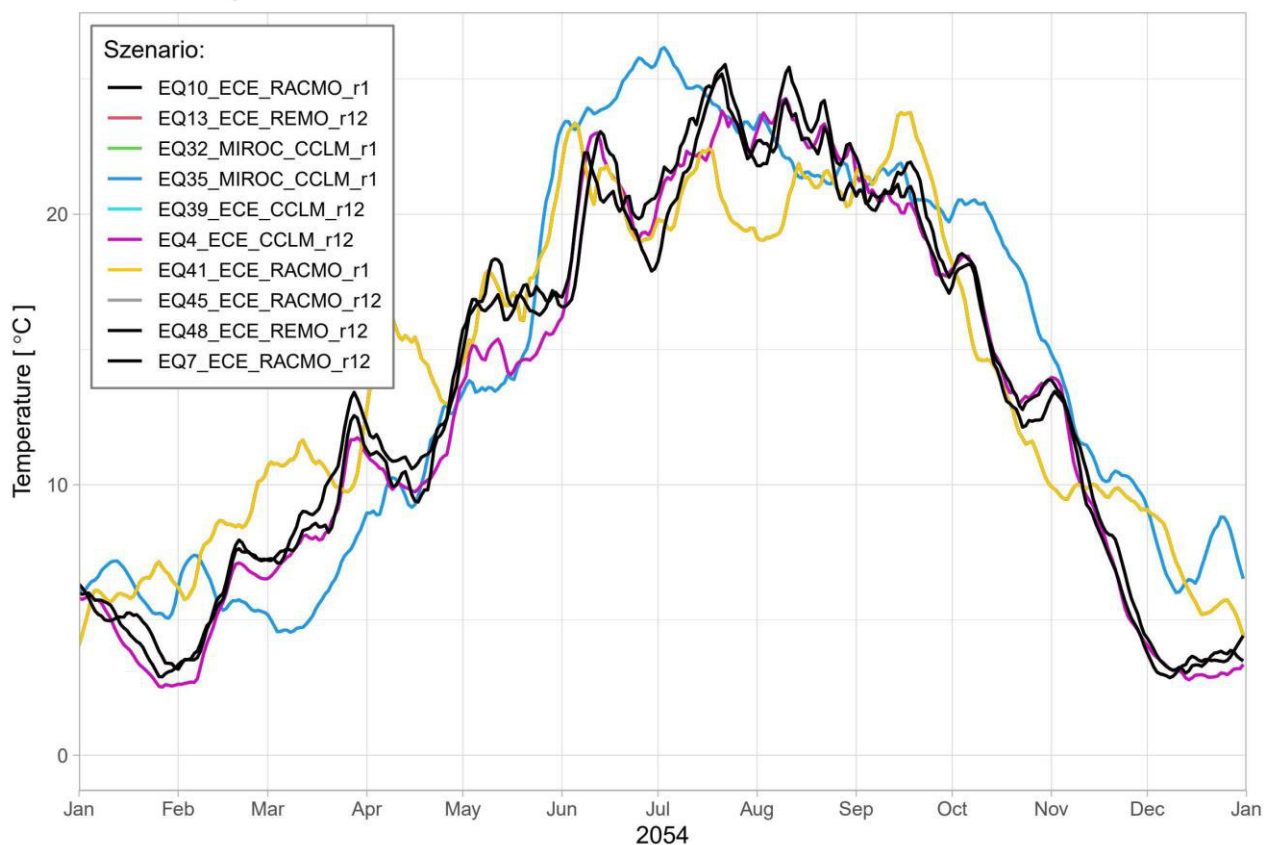
Wassertemperatur für verschiedene Szenarien - Rhein-Km: 770



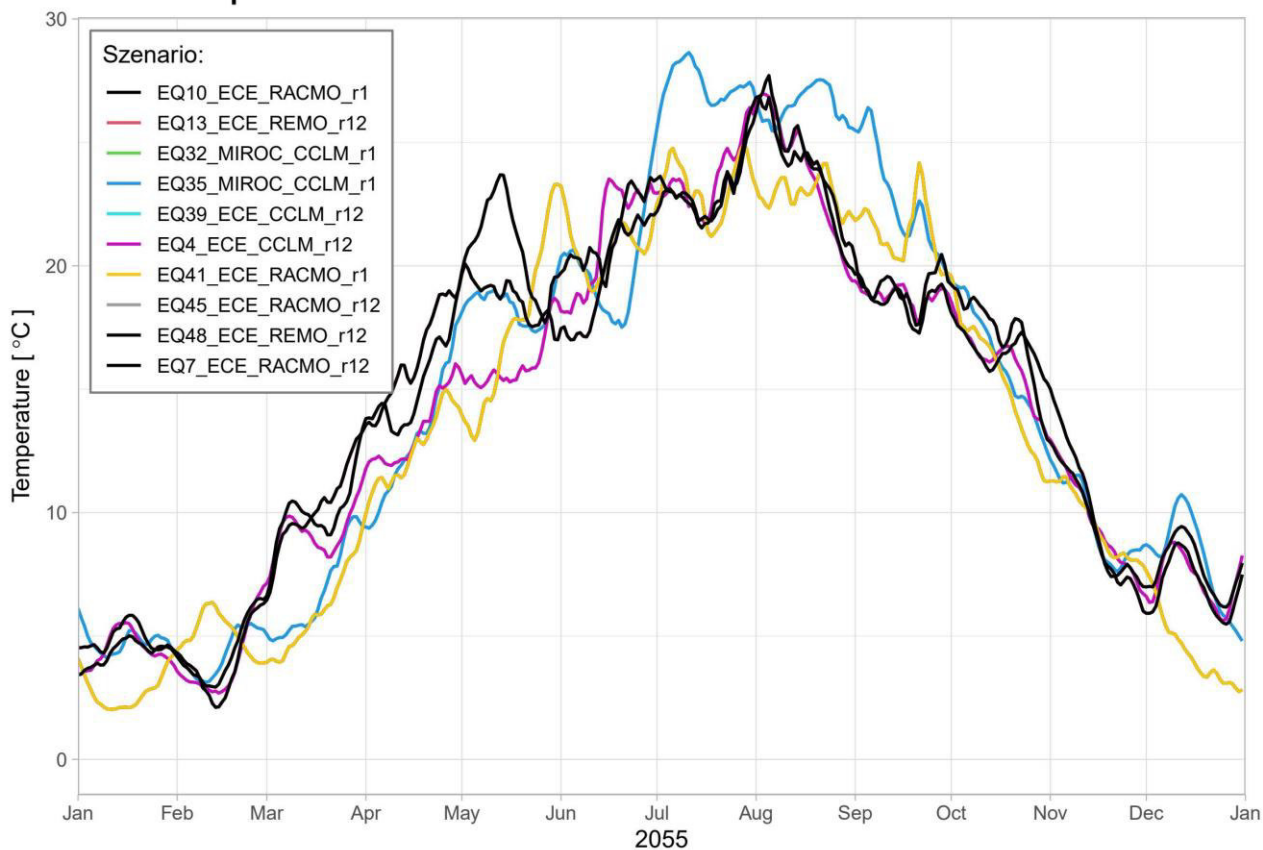
Wassertemperatur für verschiedene Szenarien - Rhein-Km: 770



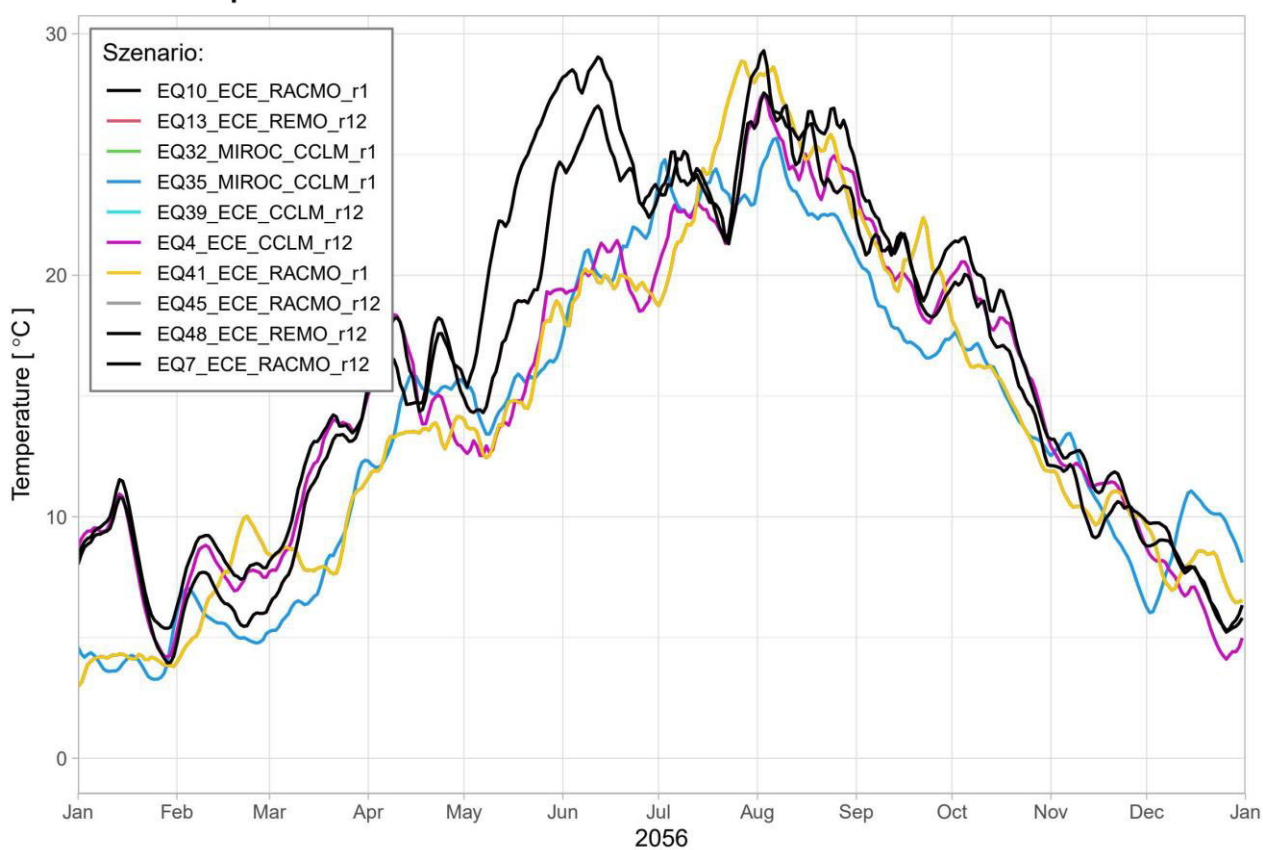
Wassertemperatur für verschiedene Szenarien - Rhein-Km: 770



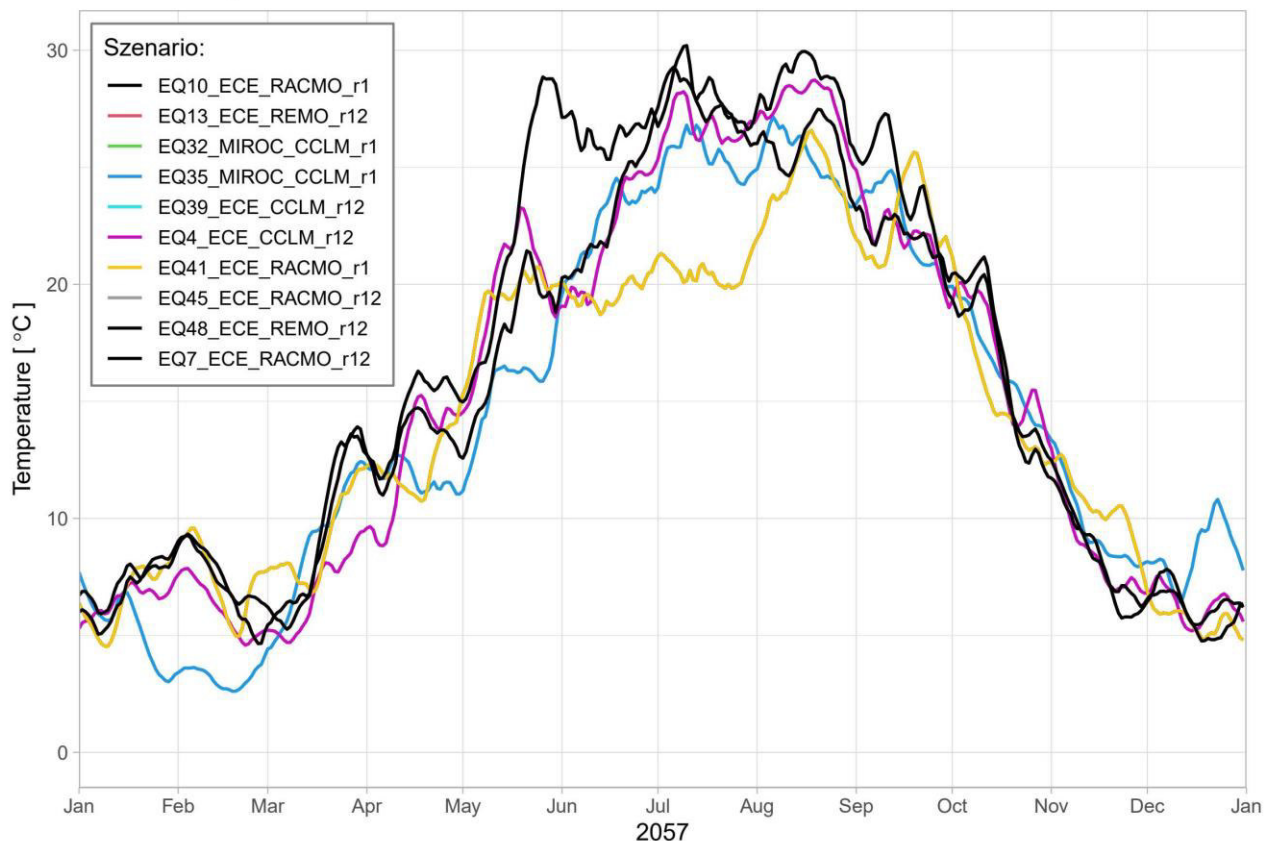
Wassertemperatur für verschiedene Szenarien - Rhein-Km: 770



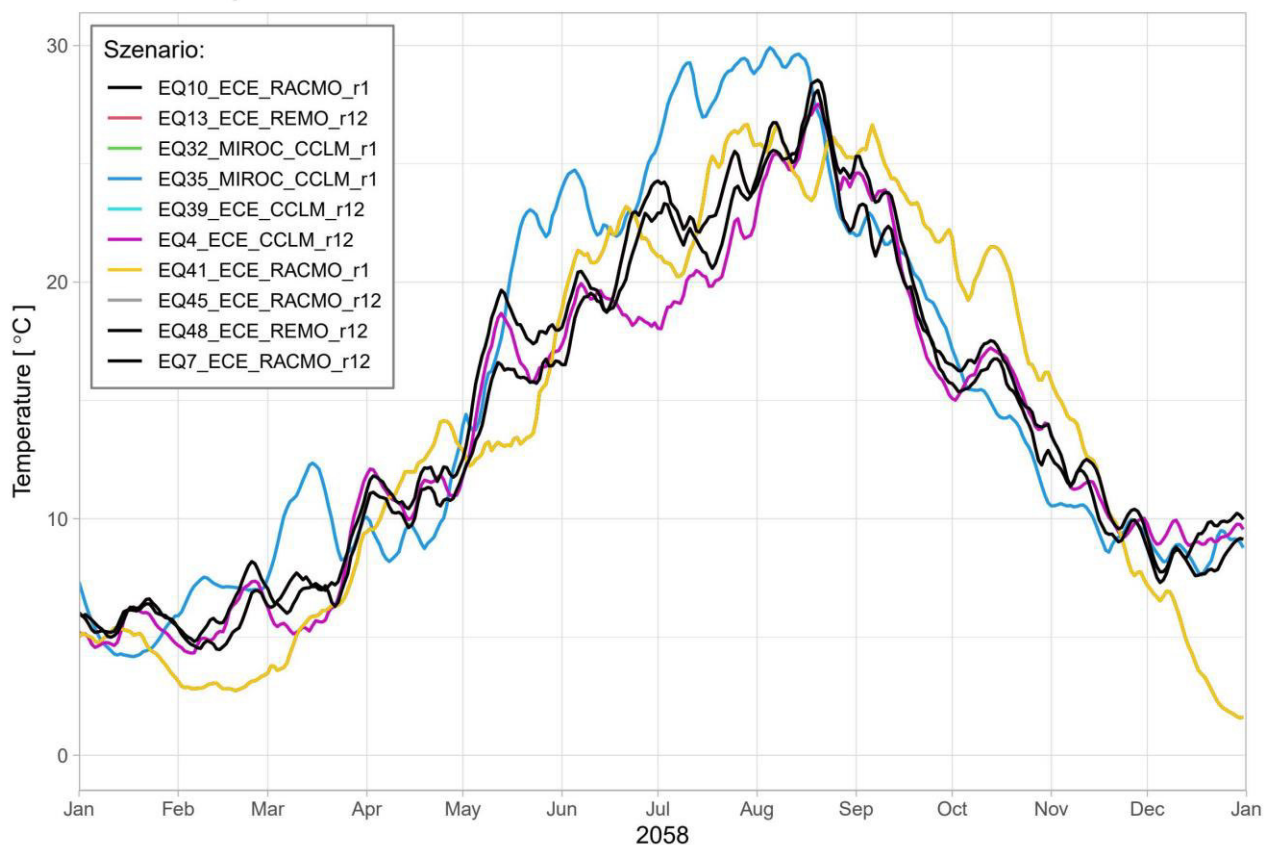
Wassertemperatur für verschiedene Szenarien - Rhein-Km: 770



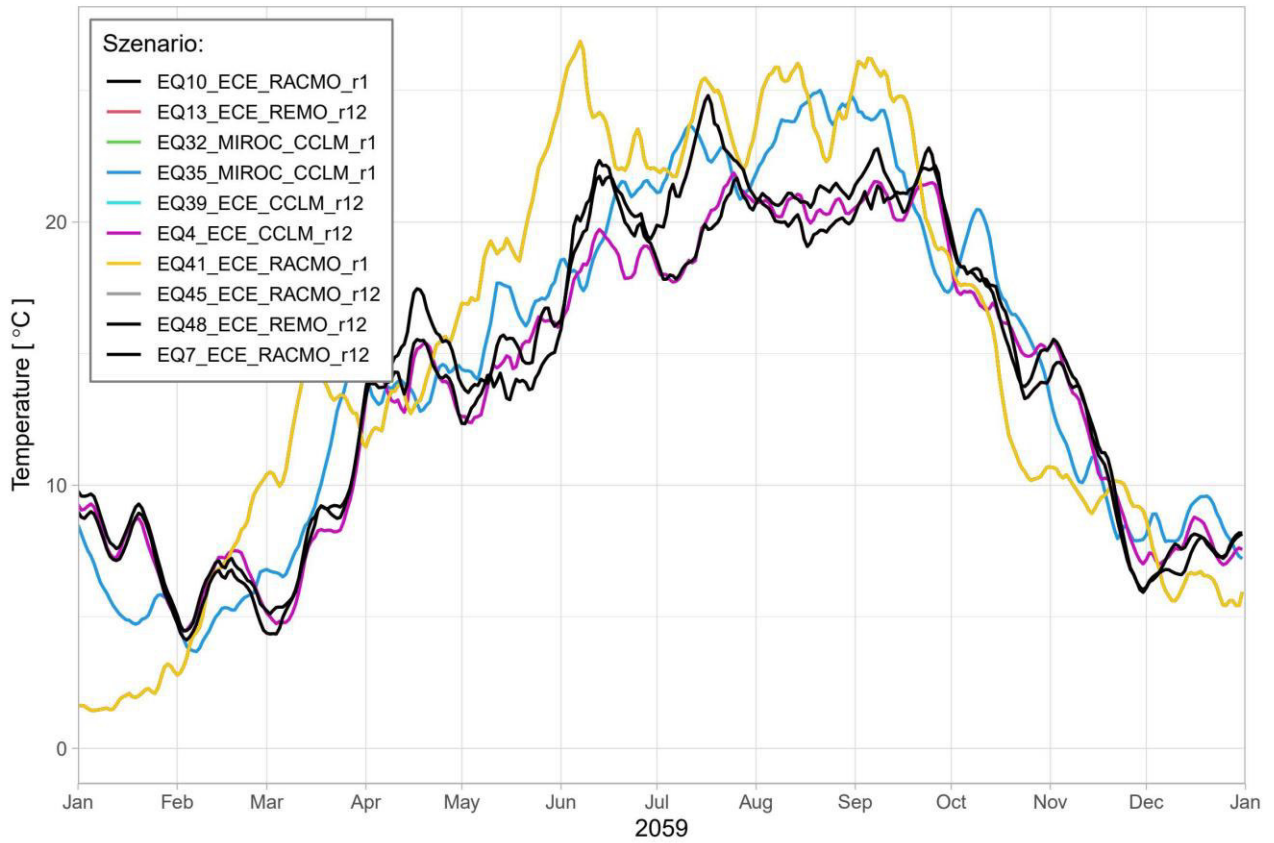
Wassertemperatur für verschiedene Szenarien - Rhein-Km: 770



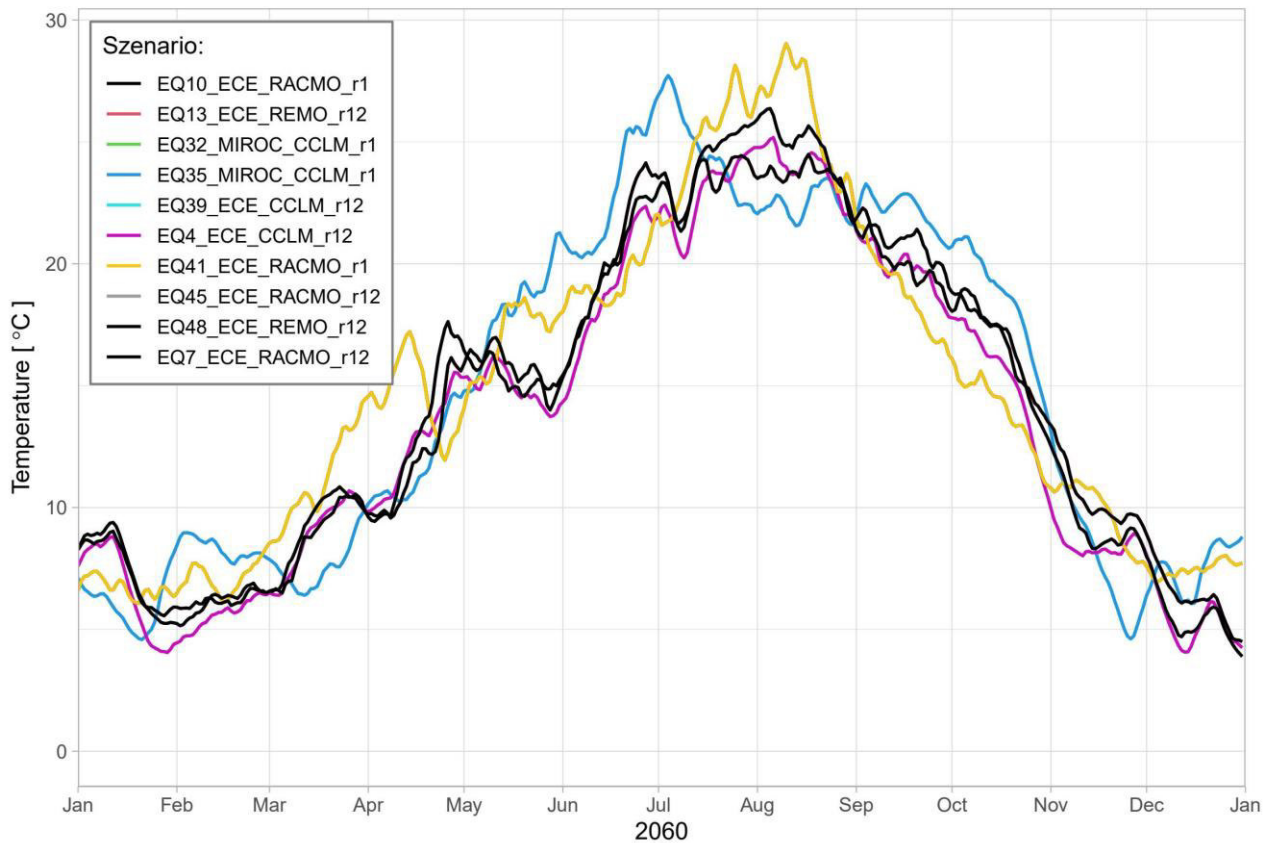
Wassertemperatur für verschiedene Szenarien - Rhein-Km: 770



Wassertemperatur für verschiedene Szenarien - Rhein-Km: 770



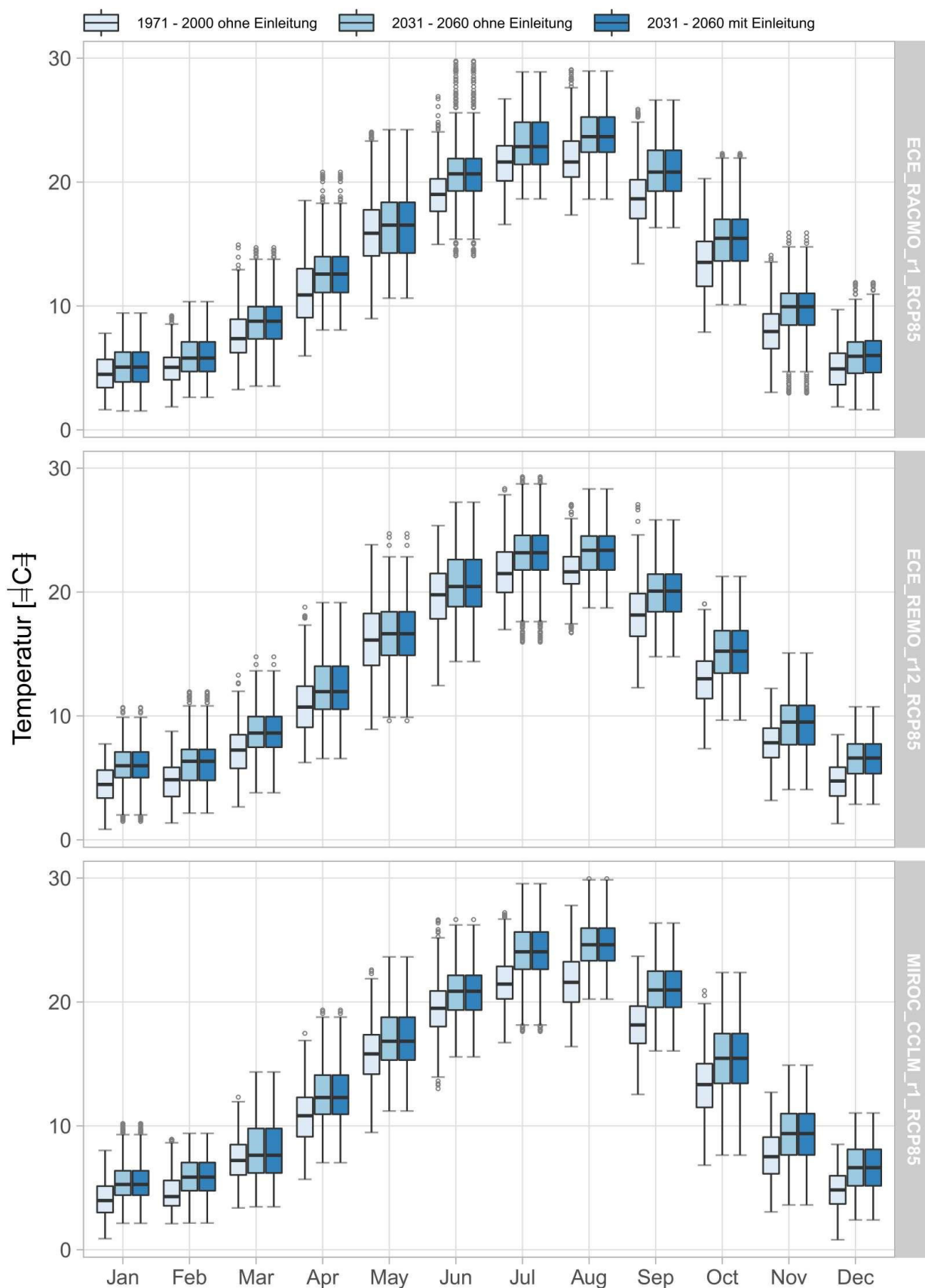
Wassertemperatur für verschiedene Szenarien - Rhein-Km: 770



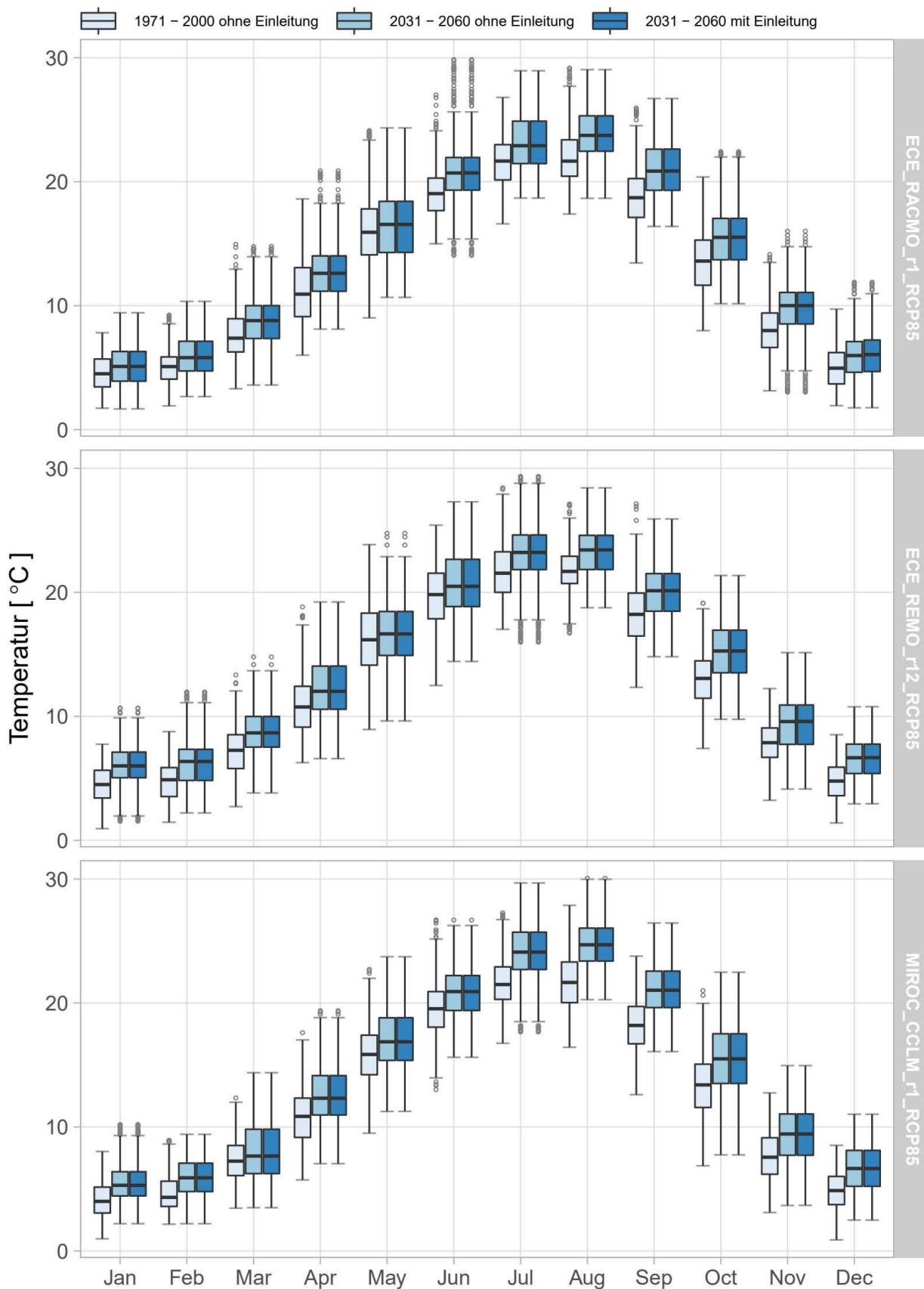
**Jahresgang der monatlichen
Wassertemperaturen für verschiedene
Simulationszeiträume und verschiedene
Klimamodell-Ensembles sowie ohne und mit
Grubenwassereinleitung bei**

Rhein-km 790	vor den Grubenwassereinleitungen
Rhein-km 792	Walsum
Rhein-km 799	Lohberg
Rhein-km 805	Höhe Ossenberg, Stadt Rheinberg
Rhein-km 865,5	Modellende, Grenze Niederlande

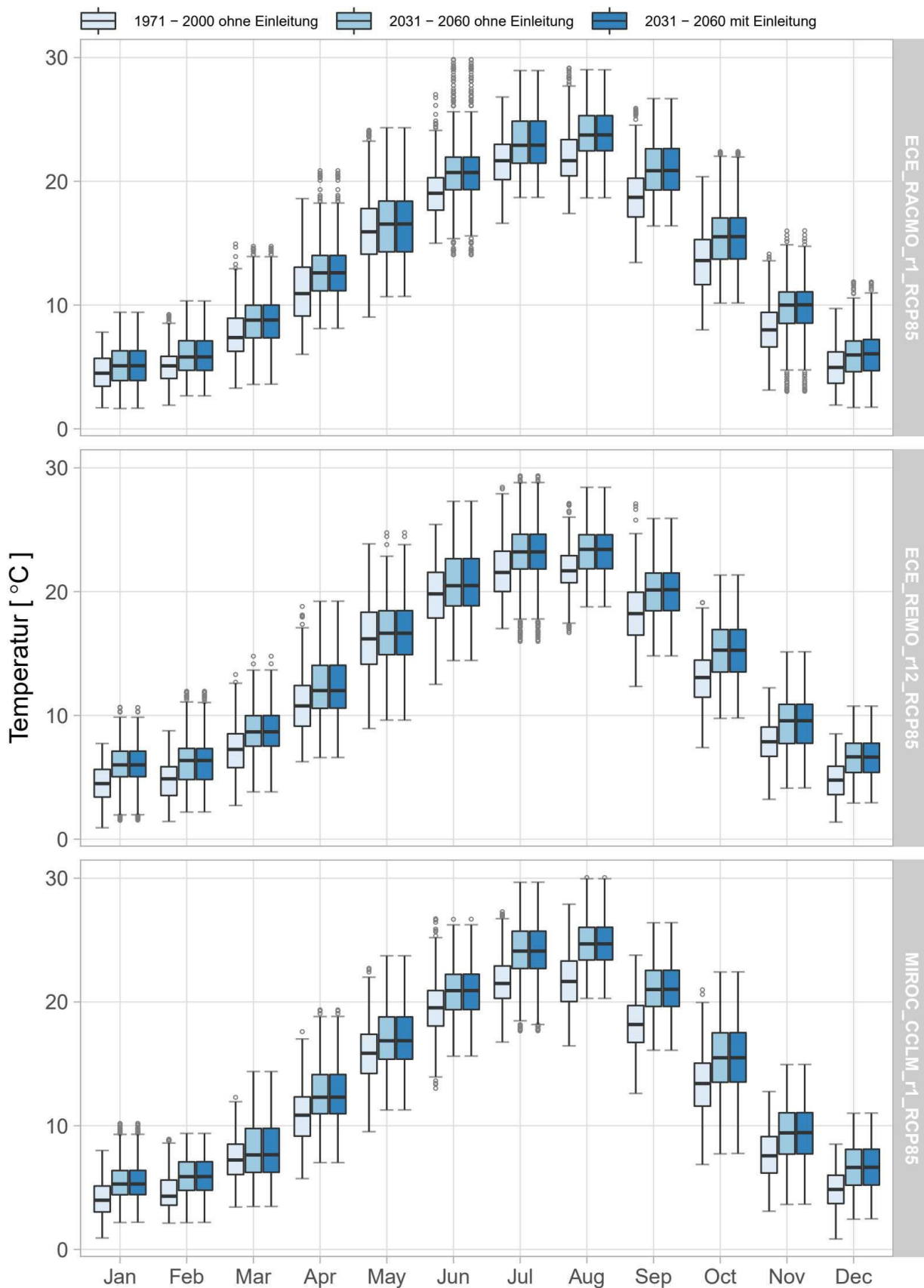
Monatliche Wassertemperaturen - Rhein-km: 790



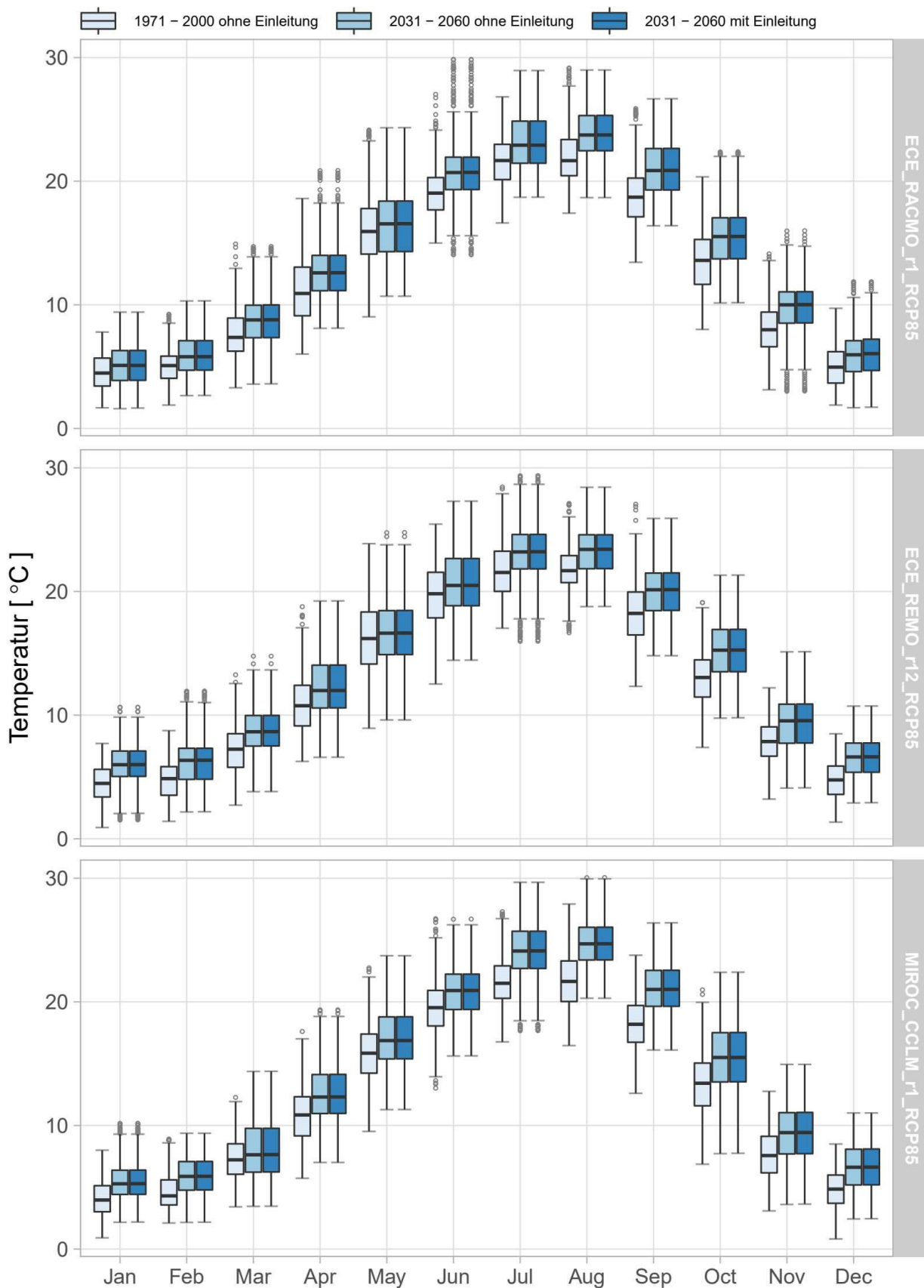
Monatliche Wassertemperaturen – Rhein-km: 792



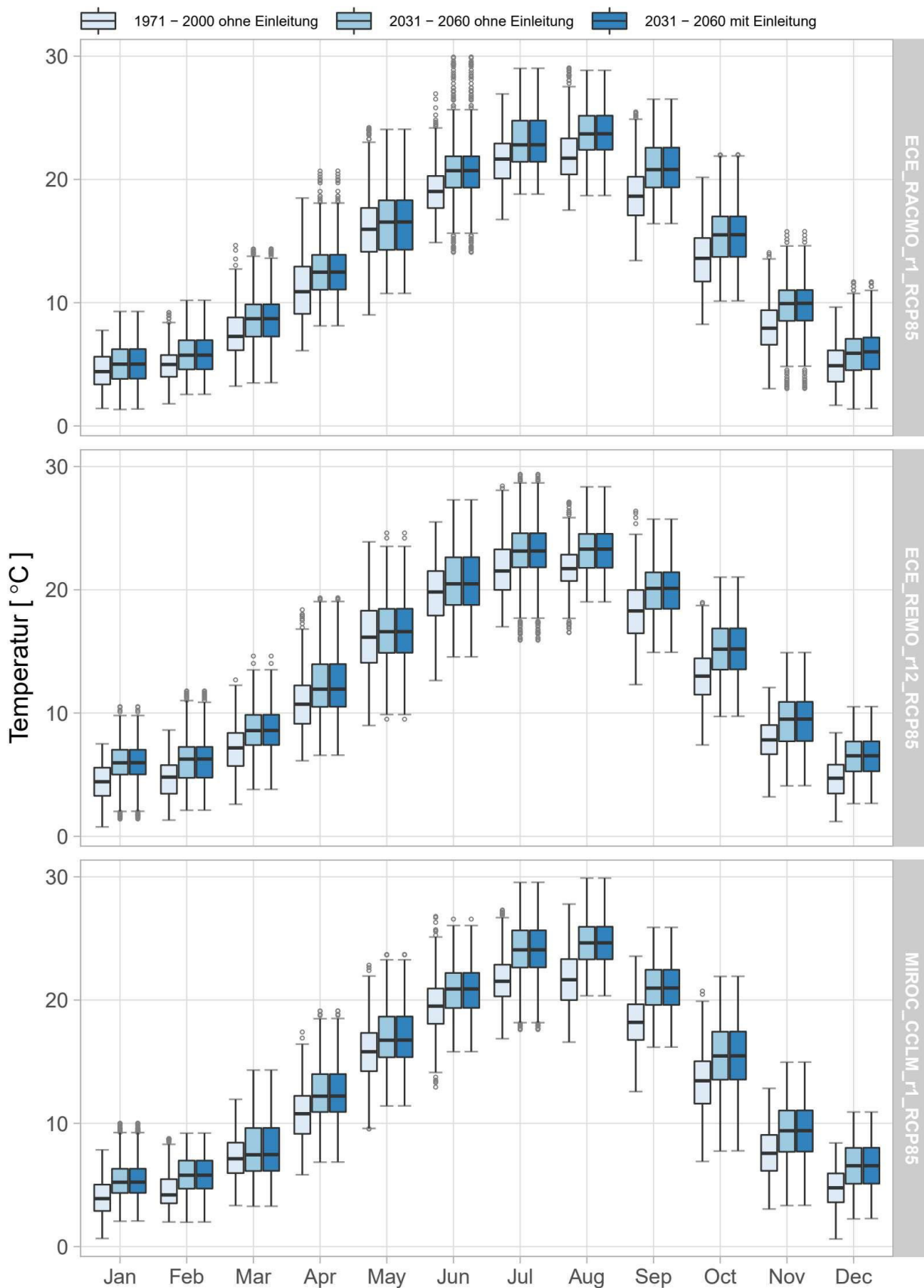
Monatliche Wassertemperaturen – Rhein-km: 799



Monatliche Wassertemperaturen – Rhein-km: 805



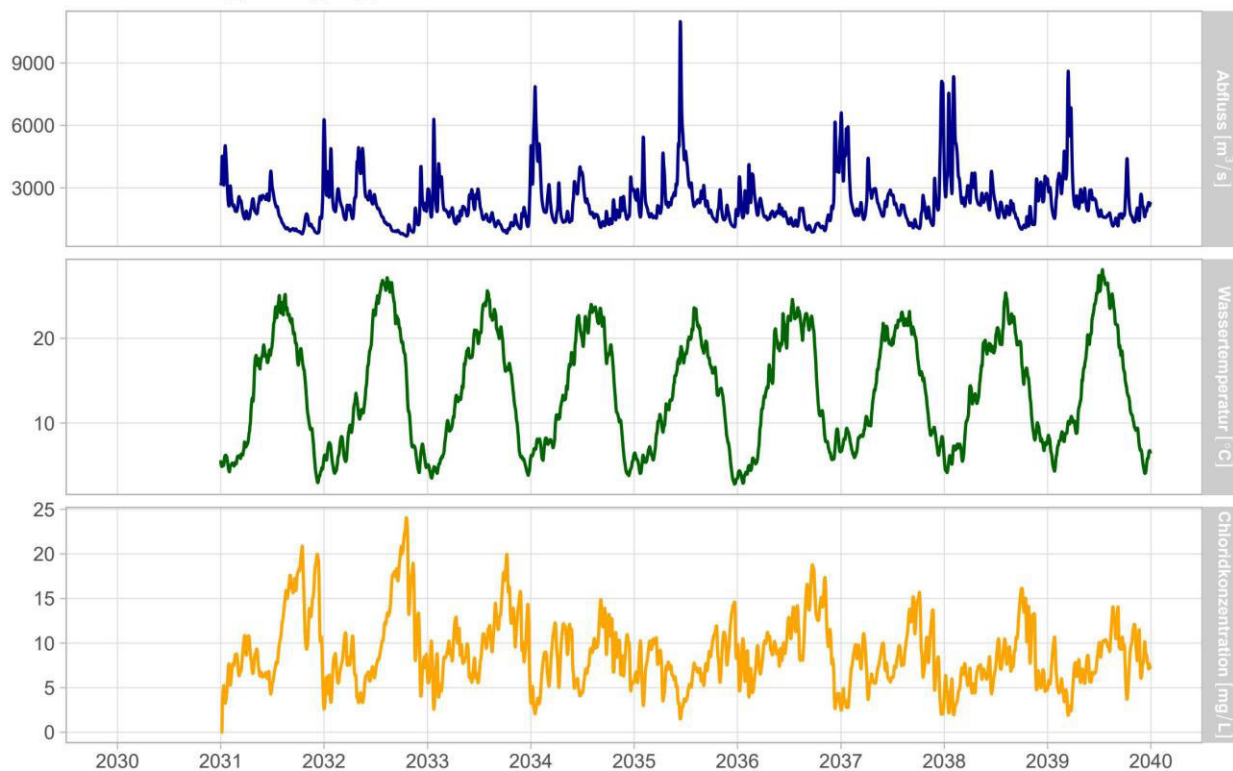
Monatliche Wassertemperaturen – Rhein-km: 865.5



**Gegenüberstellung von
Abfluss, Wassertemperatur und Zunahme der
Chlorid-Konzentration bei Rhein-km 800
für das Klimamodell-Ensemble
ECE_CCLM_r12_RCP85
für den Zeitraum 2031-2060**

Abfluss, Temperatur und Chloridkonzentration – Rhein-km: 800

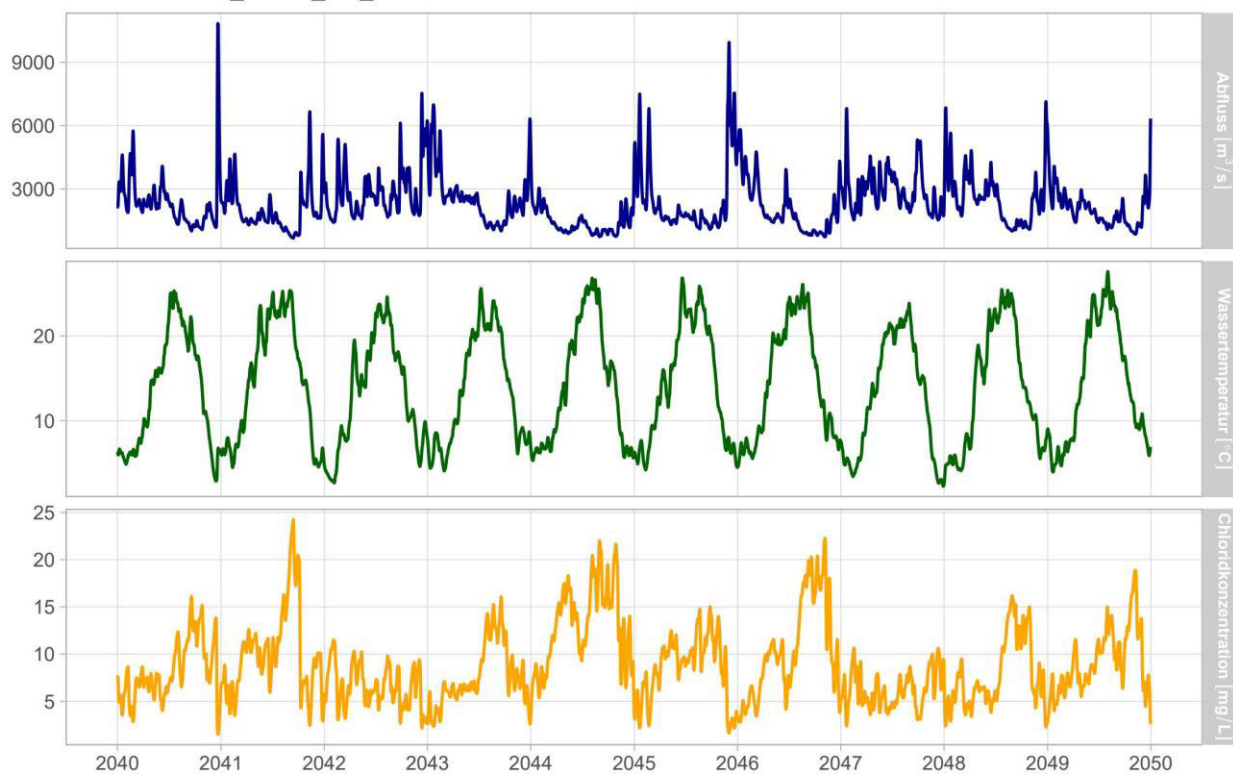
Szenario: ECE_CCLM_r12_RCP85



Zusätzliche Chloridkonzentration im Rhein durch Einleitung in Walsum & Lohberg.
Die natürliche Hintergrundkonzentration muss addiert werden.

Abfluss, Temperatur und Chloridkonzentration – Rhein-km: 800

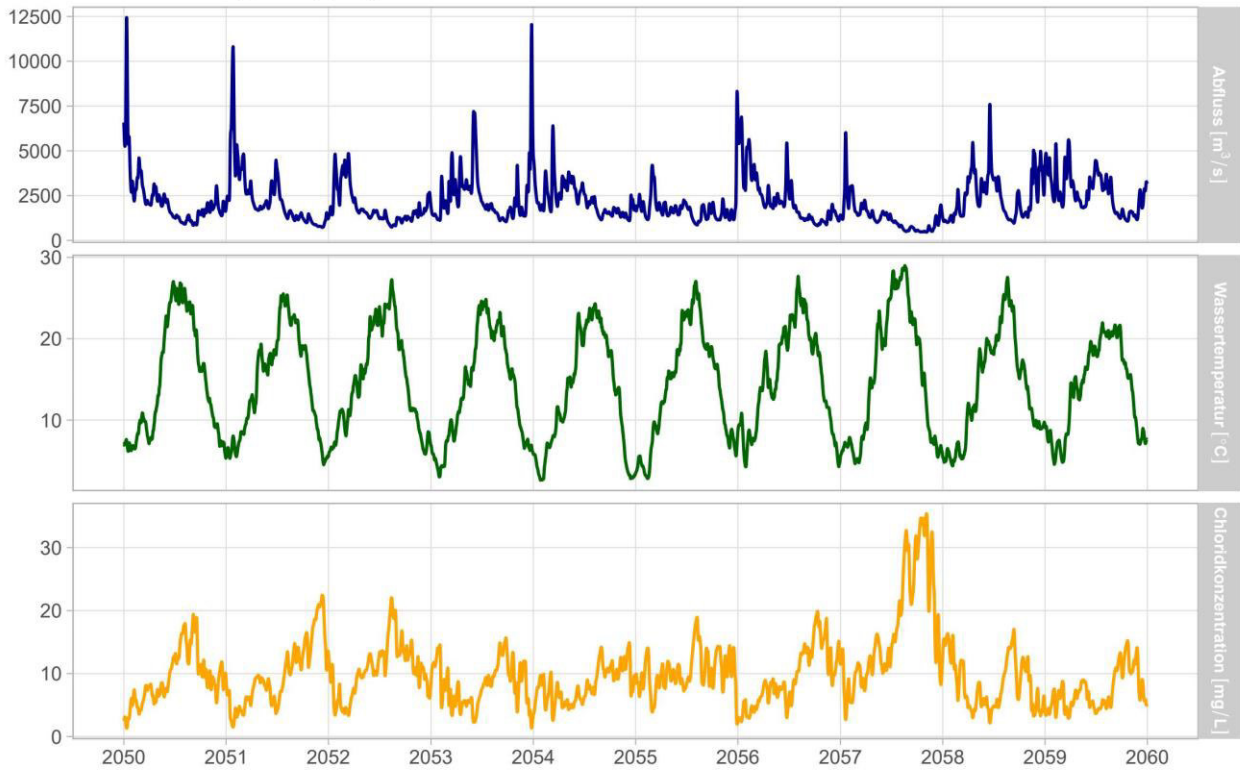
Szenario: ECE_CCLM_r12_RCP85



Zusätzliche Chloridkonzentration im Rhein durch Einleitung in Walsum & Lohberg.
Die natürliche Hintergrundkonzentration muss addiert werden.

Abfluss, Temperatur und Chloridkonzentration – Rhein-km: 800

Szenario: ECE_CCLM_r12_RCP85



Zusätzliche Chloridkonzentration im Rhein durch Einleitung in Walsum & Lohberg.
Die natürliche Hintergrundkonzentration muss addiert werden.