



Anja Rohn
Hans-Joachim Mälzer

Herausforderungen der Klimawandel-Auswirkungen für die Trinkwasserversorgung

Arbeitsbericht

Gefördert durch:



HERAUSFORDERUNGEN DER KLIMAWANDEL-AUSWIRKUNGEN FÜR DIE TRINKWASSERVERSORGUNG

Aktivität A 4.1.1 im BMBF-Verbundprojekt *dynaklim* (D4.1.1.1)

Anja Rohn
Hans-Joachim Mälzer

**IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasser gGmbH,
Mülheim an der Ruhr**

www.iww-online.de

dynaklim-Publikation Nr. 3 / November 2010



Abstract

Im Rahmen einer Literatur- und Internetrecherche wurden die Herausforderungen des Klimawandels an die Trinkwasserversorgung auf der Grundlage von Erfahrungsberichten, Expertenmeinungen und Prognosen herausgearbeitet. Weiterhin wurden Trenduntersuchungen am Beispiel der Ruhr durchgeführt und die Abhängigkeit der Wasserqualität von den wetterabhängigen Parametern Wasserführung und Wassertemperatur untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass der Klimawandel in NRW im Vergleich zu anderen Regionen der Welt zwar moderater verläuft, aber dass es trotzdem bereits Erfahrungen mit den Auswirkungen gibt, die einen Anpassungsbedarf im Bereich der Wasserversorgung deutlich machen. So werden die Grundwasserneubildung und die Wasserführung in Oberflächengewässern saisonal stärkeren Schwankungen unterliegen, was sich lokal und temporär sowohl auf die Gewinnungsanlagen als auch auf die Wasserqualität negativ auswirken kann. Eine Temperaturerhöhung lässt Veränderungen von chemischen und biologischen Prozessen in Gewässern und Böden erwarten und kann zu niedrigeren Sauerstoffkonzentrationen führen. Außerdem ist eine Gefährdung der Trinkwasserhygiene im Verteilungsnetz nicht auszuschließen. Es muss damit gerechnet werden, dass einzelne Aufbereitungsprozesse im Hinblick auf eine veränderte Rohwasserbeschaffenheit, stärkere Qualitätsschwankungen und eine Temperaturerhöhung optimiert oder erweitert werden müssen. Die kurzfristigen Anpassungsmöglichkeiten im laufenden Betrieb der einzelnen Anlagen an stärkere Qualitätsschwankungen sollten deshalb kritisch überprüft und ggf. verbessert werden. Wesentliche Anpassungsstrategien in der Wasserversorgung sind Trinkwasserverbundsysteme, die Stärkung des Multibarrierensystems und die Flexibilisierung von Aufbereitungsstufen.

Zusammenfassung

Die Literatur- und Internetrecherche zu den Herausforderungen des Klimawandels an die Trinkwasserversorgung führte zu folgenden Ergebnissen:

Auswirkungen auf den Wasserverbrauch:

Aufgrund von längeren und häufigeren Trocken- und Hitzeperioden wird es längere Zeiträume mit Spitzenwasserbedarf geben, die wiederum zu Nutzungskonkurrenzen zwischen Trinkwasserversorgern, Landwirtschaft und Industrie führen können. Ob dies zu Engpässen bei der Trinkwasserversorgung führt, hängt von lokalen Faktoren (z. B. demographischer Wandel, Bewässerungsbedarf, Industrierwasserbedarf) ab und muss individuell geprüft werden.

Auswirkungen auf das Grundwasser:

Die Grundwasserneubildung wird zukünftig saisonal stärker schwanken. Im Mittel wird in NRW mit einer leichten Zunahme gerechnet und das Speichervolumen der Grundwasserleiter als groß genug eingeschätzt, so dass im Winter aufgebaute Vorräte im Sommer genutzt werden können. Der Grundwasserschutz kann lokal und temporär durch eine Schwächung der Bodenfilterwirkung infolge Rissbildung bei starker Austrocknung herabgesetzt sein. Außerdem könnte sich in einigen Regionen die Nitratproblematik verschärfen. Die Grundwasserqualität könnte auch beeinträchtigt werden, wenn Überschwemmungen zunehmen und infolgedessen Altlasten aus Sedimenten und Böden eingetragen werden. Unter bestimmten geologischen Voraussetzungen ist bei geringerem Auflagedruck des Grundwassers ein Aufsteigen von im Untergrund lagernden Salzwässern möglich.

Auswirkungen auf Oberflächengewässer:

Auch in den Oberflächengewässern werden stärkere Schwankungen der Wasserführung erwartet. Die Wasserversorger müssen sich auf unvorhergesehene zeitlich begrenzte höhere Schadstoffkonzentrationen einstellen. Außerdem sind langsame, schleichende Veränderungen durch eine Temperaturerhöhung möglich, die durch das Schmelzwasser der Gletscher, geringere Sauerstoffkonzentrationen, längere Vegetationsperioden und durch Veränderungen in der Mikrobiologie verursacht werden können.

Auswirkungen auf Talsperren:

Durch die Häufung von Extremereignissen kommt es zu stärkeren Zuflussschwankungen, was teilweise schon bei der Talsperrenbewirtschaftung zu Nutzungskonflikten zwischen Hochwasserschutz und Trinkwasserversorgung geführt hat. Außerdem wurden auch schon Qualitätsveränderungen festgestellt, wie z. B. ein steigender Anteil organischer Stoffe und, verbunden mit dem Temperatureinfluss auf Schichtung und Zirkulation, stärkeres Algenwachstum sowie erhöhte Biomassekonzentrationen.

Mögliche Folgen für die Wassergewinnung:

Durch zeitweise starkes Absinken der Wasserstände in den Gewinnungsanlagen kann es zur Kavitationsgefährdung von Rohwasserpumpen, zum Ausfall von Hebeanlagen, zu Verockerungsprozessen und zu einem erhöhten Energiebedarf der Förderanlagen kommen. Außerdem wurde schon von einem erhöhten Instandsetzungsbedarf an Brunnen in solchen Zeiten berichtet, wenn Korrosionsschäden an die Oberfläche treten. Besonders empfindlich reagieren Wasserfassungen aus kleinen oberflächennahen Einzugsgebieten, wie Quellwassernutzungen aber auch sogenannte Versorgungsinseln, die nicht mit anderen Gewinnungsgebieten verbunden sind. Unter Umständen müssen Wasserversorger auch mit einer Einschränkung von Wasserentnahmen aus Flüssen bei extremem Niedrigwasser rechnen.

Mögliche Folgen für die Wasseraufbereitung:

Höhere Schadstoffkonzentrationen im Rohwasser erfordern zeitweise höhere Zugabemengen an Chemikalien, mehr Spülwasser und es fällt somit mehr Schlamm an. Es ist möglich, dass einzelne Aufbereitungsprozesse im Hinblick auf eine veränderte Rohwasserbeschaffenheit, stärkere Qualitätsschwankungen und eine Temperaturerhöhung optimiert oder erweitert werden müssen. Die Effektivität der Uferpassagen sollte untersucht werden, wenn der Sauerstoffgehalt im Wasser niedriger ist, die Konzentrationen im Gewässer stark ansteigen oder bei kürzeren Verweilzeiten aufgrund von Hochwasser. Die Denitrifikation zur Trinkwasseraufbereitung aus Grundwasser kann lokal größere Bedeutung bekommen und teilweise erforderlich sein. Bei extremen Niedrigwasserereignissen könnten erhöhte Bromidkonzentrationen im Ruhrwasser ggf. zu Einschränkungen des Einsatzes der Ozonung bei der Trinkwasseraufbereitung führen. Hierzu besteht u. U. weiterer Untersuchungsbedarf.

Mögliche Folgen für das Verteilungsnetz:

Im Verteilungsnetz ist eine Gefährdung der Trinkwasserhygiene durch eine Temperaturerhöhung nicht auszuschließen. Diese könnte durch Aufkeimungen, schnellere Zehrung von Desinfektionsmitteln und durch andere Mikroorganismen verursacht werden. Die Dimensionierung der Rohre muss vor dem Hintergrund des ansteigenden Spitzenwasserbedarfs und des demographischen Wandel kritisch überprüft werden, auch um Stagnation zu vermeiden. In Trockenperioden besteht eine erhöhte Rohrbruchgefahr durch starkes Austrocknen von Böden.

Um negative Auswirkungen des Klimawandels zu vermeiden und um die Verletzbarkeit der Wasserversorgung zu reduzieren werden auch in Deutschland schon Anpassungsstrategien verfolgt:

Anpassungsstrategien zur Sicherung der Wasserquantität:

Trinkwasserverbundsysteme insbesondere der Verbund unterschiedlicher Wasserressourcen (z. B. Grundwasser und Talsperre) sind ein bereits weit verbreitetes Instrument, um einen überregionalen Ausgleich zwischen Wassermangel- und Wasserüberschussgebieten zu schaffen. Die Verfolgung eines ökologischen Grundwassermanagements dient ebenfalls einer sicheren Wasserversorgung. Dazu gehört die gezielte Verteilung der Grundwasserförderung, die Einhaltung zulässiger Fördermengen sowie von Mindestdurchflussmengen in Oberflächengewässern (für die Uferfiltration). Die Anreicherung von Grundwasser mit Oberflächenwasser ist eine geeignete Strategie, um lokal zu starke Grundwasserspiegelabsenkungen zu vermeiden. Um temporäre Versorgungsengpässe zu vermeiden, können teilweise auch zusätzliche Speicherkapazitäten Erfolg führend sein. Für die Stauanlagenbewirtschaftung ist es in manchen Regionen erforderlich, neue geeignete Konzepte zu entwickeln.

Anpassungsstrategien zur Sicherung der Wasserqualität:

Das Wissen über die Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserqualität ist bisher nur sehr gering, so dass es in diesem Sinne auch kaum Anpassungsstrategien gibt, sondern nur Empfehlungen. So könnten teilweise erweiterte Aufbereitungsstrategien notwendig werden, z. B. vor dem Hintergrund einer verschärften Spurenstoffproblematik in Niedrigwasserperioden. Wenn zu viele Chemikalien für die Aufbereitung nötig sind, müssen ggf. chemische Verfahren durch andere (z. B. physikalische) ersetzt werden. Ggf. kann der Nitrat- und PSM-Problematik durch verbindliche Vereinbarungen mit der Landwirtschaft vorgebeugt werden. Als vorteilhaft wird auch die Modulbauweise von Aufbereitungssystemen gesehen, weil damit eine gewisse Flexibilität erreicht wird. Verteilungsnetze müssen u. U. häufiger gespült oder mit Möglichkeiten der Nachdesinfektion versehen werden. Die Vermeidung von Stichleitungen und das Tieferlegen von Leitungen sind ebenfalls vorbeugende Optionen.

Zur Konkretisierung möglicher Anforderungen an die Projektregion wurden Workshops und Gespräche mit Unternehmen, Verbänden und Institutionen aus dem Versorgungsgebiet der Emscher-Lippe-Region sowie aus Partnerregionen (Luxemburg, Region Arnheim/Niederlande) durchgeführt. Dabei

wurden Erfahrungsberichte und Prognosen diskutiert und eine gemeinsame Einschätzung des möglichen Anpassungs- und Untersuchungsbedarfs erarbeitet. Es konnten folgende Themenfelder in der Emscher-Lippe-Region identifiziert werden, für die in Zukunft ein Handlungs- bzw. Klärungsbedarf gesehen wird:

- Überflutungssicherheit der Anlagen bei Hochwasser
- intensive Auseinandersetzung mit den Prognosen des Dargebots
- Auswirkungen höherer Temperaturen auf die Mikrobiologie und infolge dessen auf Umsetzungs- und Abbauprozesse
- Rohrnetz: biologische Stabilität, Rohrbruchgefahr, Rohrdimensionierung

Grundwasserwerke:

- Verschärfung der Nitratproblematik
- Nutzungskonflikte mit der Landwirtschaft (lokal starke Absenkung des Grundwasserspiegels)

Oberflächenwasserwerke:

- Quantifizierung von Qualitätsveränderungen in Oberflächengewässern, Gefahr durch Remobilisierungen und Abschwemmungen
- Effektivität der Uferpassage
- Robustheit und Flexibilität der Aufbereitung (Partikel, Nährstoffe, Schwermetalle, organische Spurenstoffe)
- Anpassung der Bewirtschaftungsstrategie von Oberflächengewässern zur Vermeidung von Niedrig- und Hochwässern, Ausbau von Speicherkapazitäten

Aktuellen Handlungsbedarf sehen die Wasserversorger in der Projektregion vorrangig im Hochwasserschutz aufgrund negativer Erfahrungen in der Vergangenheit.

Zur Ermittlung von Anpassungserfordernisse insbesondere in der Wasseraufbereitung müssen Qualitätsveränderungen des Rohwassers infolge klimatischer Erscheinungen zunächst identifiziert werden. Um Ansatzpunkte dafür zu finden, wurden entsprechende Trendanalysen am Beispiel der Ruhr durchgeführt und die Abhängigkeit von den wetterabhängigen Parametern Wasserführung und Wassertemperatur untersucht. Die Qualitätsparameter, die einen signifikanten Trend aufwiesen, sind in Tab. 1 zusammengefasst.

Tab. 1: Wasserführungs- und / oder temperaturabhängige Qualitätsparameter der Ruhr

Parameter	Wasserführungs- abhängigkeit (Q)	Temperaturabhängigkeit (WT)
Trübung, Nitrat, Aluminium	↑ wenn Q ↑	
DOC, SAK, Arsen		↑ wenn WT ↑
DTPA, Carbamazepin, Amidotrizoesäure	↑ wenn Q ↓	
Leitfähigkeit, Bromid, Sulfat, Natrium, Kalium, Kupfer, Nickel	↑ wenn Q ↓	↑ wenn WT ↑
Sauerstoff	↓ wenn Q ↓	↓ wenn WT ↑

Hinsichtlich der Rohwasserqualität sind im Mittel keine gravierenden Veränderungen zu erwarten, aber bei einer Zunahme von Extremwetterereignissen (Hitzeperioden, Hochwässer) muss mit Konzentrationserhöhungen gerechnet werden, die sich auf die Effektivität der Aufbereitung auswirken können.

Die kurzfristigen Anpassungsmöglichkeiten im laufenden Betrieb der einzelnen Anlagen an stärkere Qualitätsschwankungen sollten deshalb kritisch überprüft und ggf. verbessert werden.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Vorgehensweise	1
3. Ergebnisse der Literatur- und Internetrecherche	2
3.1 Prognosen zum Klimawandel in NRW	2
3.2 Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf die Trinkwasserversorgung	3
3.2.1 Auswirkungen auf das Wasserdargebot	3
3.2.2 Auswirkungen auf die Rohwasserqualität	4
3.2.3 Folgen für Wassergewinnung und –aufbereitung	6
3.2.4 Folgen für das Verteilungsnetz	7
3.3 Anpassungsstrategien.....	8
3.3.1 Sicherung des Wasserdargebots	8
3.3.2 Sicherung der Wasserqualität	9
3.3.3 Maßnahmen in wasserarmen Ländern.....	11
4. Konkretisierung möglicher Anforderungen an die Emscher-Lippe-Region	12
4.1 Erfahrungsaustausch mit Wasserversorgungsunternehmen, Verbänden und Institutionen	12
4.1.1 Erfahrungsaustausch mit Wasserversorgungsunternehmen, Verbänden und Institutionen aus dem Versorgungsgebiet der Emscher-Lippe-Region	13
4.1.2 Erfahrungsaustausch mit Wasserversorgungsunternehmen, Verbänden und Institutionen aus Luxemburg	14
4.1.3 Erfahrungsaustausch mit dem niederländischen Wasserversorgungsunternehmen Vitens	15
4.2 Trenduntersuchungen zur Oberflächenwasserqualität am Fallbeispiel der Ruhr.....	17
5. Schlussfolgerungen	23
6. Literaturverzeichnis	25
7. Anhang	28
7.1 Schlagwortliste	28
7.2 Liste der Wasserversorger	29
7.3 Teilnehmerkreis Workshops.....	31
7.4 Fragen zur Vorbereitung der Workshops	31
7.5 Ruhrqualitätsparameter	33
7.5.1 Langzeitganglinien an drei Probenahmestellen im Verlauf der Ruhr.....	33
7.5.2 Wasserführungs- und Temperaturabhängigkeit	36
7.5.3 Ganglinien von Wasserinhaltsstoffen im Ruhrwasser und nach der Bodenpassage	43

1. Einleitung

Klimawandelbedingte Veränderungen des Wasserdargebots, des Wasserbedarfs und der Wasserqualität stellen neue Anforderungen an die Wasserversorgung. Obwohl in einem wirtschaftlich und klimatisch begünstigten Land wie Deutschland der Klimawandel deutlich moderater ausfallen wird als in vielen anderen Regionen der Erde, sollten frühzeitig notwendiger Anpassungsbedarf identifiziert und geeignete Maßnahmen in Entscheidungsprozesse der Wasserversorger integriert werden. Sich an den Klimawandel anzupassen bedeutet vor allem, die negativen Seiten der Klimafolgen für Mensch und Umwelt zu reduzieren und Vorkehrungen zu treffen, die dazu dienen, Wohlstand, Lebensqualität und Zukunftsmöglichkeiten möglichst zu erhalten (BMU, 2009). Auf den Globalen Wandel erst zu reagieren, wenn erhebliche negative Folgen eintreten, wäre mehr als fahrlässig. Werden nicht frühzeitig vorbeugende Maßnahmen getroffen, ist auch in einigen Regionen Deutschlands von einer hohen Vulnerabilität auszugehen. Deshalb müssen Wissenschaft, Politik, Wirtschaft und Bürger zusammen arbeiten, um Anpassungsstrategien zu entwickeln (Zebisch et al., 2005). Aus regionaler Perspektive geht es dabei darum, Auswirkungen des Klimawandels auf regionale Planungs- und Entscheidungsprozesse zu berücksichtigen, regionale Netzwerke zu schaffen sowie Technologien, Verfahren und Konzepte zur Anpassung in den jeweiligen Regionen zu entwickeln und zu erproben (BMU, 2009).

Aus einem von Schetula et al. (2008) durchgeführten Gruppendelphi zum Thema „Handlungs- und Planungsziele für die Anpassung der Wasserwirtschaft an die Klimafolgen“ ging hervor, dass die Prioritäten regional zum Teil sehr unterschiedlich gesehen werden. Generell zeigte sich, dass in vielen Handlungsfeldern bereits Maßnahmen durchgeführt wurden, deren direkter Zusammenhang mit dem Thema Klimawandel teilweise allerdings umstritten ist. Bei der Entwicklung zukünftiger Strategien ist deshalb zwischen neuen, modifizierten und zu intensivierenden Maßnahmen zu unterscheiden.

Voraussetzung für eine Definition des konkreten Handlungsbedarfs in der Wasserversorgung der Emscher-Lippe-Region ist, dass bisherige Erfahrungen, Anpassungsstrategien und Prognosen hinsichtlich ihrer Relevanz für die Region beurteilt werden.

Deshalb wurde in Aktivität A4.1.1 eine Literatur- und Internetrecherche durchgeführt, mit dem Ziel, aufgrund von bisherigen Erfahrungen und Prognosen alle Teilaspekte in der Wasserversorgung zusammenzutragen, die im Rahmen des Klimawandels in Deutschland berücksichtigt werden müssen.

Die Ergebnisse der Recherche bilden die Grundlage für Diskussionen mit den regionalen Wasserversorgern und für die weitere Bearbeitung verschiedener *dynaklim*-Aktivitäten mit einem Bezug zur Wasserversorgung.

2. Vorgehensweise

Schwerpunkt der Aktivität 4.1.1 war eine Literatur- und Internetrecherche zu Erfahrungsberichten aus der Wasserversorgung mit Bezug zum Klimawandel. Die Recherche wurde anhand von Schlagworten durchgeführt. Dabei wurden die Schlagworte „Wasser“ und „Klima“ mit einer Vielzahl weiterer Schlagworte kombiniert und sowohl deutsch als auch englisch recherchiert. Die Schlagwortliste ist in Anhang 7.1 zu finden. Im Internet wurde vorrangig mit der Suchmaschine „Google Scholar“ nach relevanten Publikationen gesucht. Weiterhin wurde eine Metasuche in den Datenbanken der Universitätsbibliothek Duisburg-Essen durchgeführt, d.h., eine Recherche in nationalen und internationalen Bibliothekskatalogen, Fachdatenbanken der Ingenieur- und Naturwissenschaften sowie Zeitschriftendatenbanken. Außerdem erfolgte eine gezielte Suche nach Erfahrungsberichten auf den Internetpräsenzen der ca. 60 größten deutschen Wasserversorgungsunternehmen (WVU). Dabei wurden auch WVU einbezogen, die im Hinblick auf das zu versorgende Gebiet interessant sind und ähnliche

Bedingungen wie die Emscher-Lippe-Region aufweisen, d.h. Versorger von eher ländlichen Gebieten und Versorger von Ballungsgebieten. Die Liste dieser WVU kann in Anhang 7.2 eingesehen werden. Sie wurde um WVU ergänzt, die im Rahmen der Literaturrecherche gefunden wurden, weil sie von Erfahrungen bzw. Anpassungsstrategien zum Klimawandel berichteten.

Zur Konkretisierung der Erfahrungen wurde ein Workshop unter Beteiligung von Wasserversorgungsunternehmen, Verbänden und Institutionen durchgeführt. Hier wurden die Ergebnisse der Recherche vorgestellt und gemeinsam die Erfahrungen der Teilnehmer sowie mögliche Anpassungsstrategien diskutiert. Ergebnis der Veranstaltung war eine gemeinsame Einschätzung des weiteren Untersuchungsbedarfs in Form einer ersten Sammlung von möglichen Anforderungen an die zukünftige Wasserversorgung.

Ein Ergebnis sowohl der Literaturrecherche als auch des Workshops war, dass für die Beurteilung der Auswirkung des Klimawandels auf die Gewässerqualität zunächst einmal Trenduntersuchungen notwendig sind. Um einen Einstieg in diese Thematik zu finden, wurden im Rahmen der Aktivität 4.1.1 die Entwicklung von Qualitätsparameter in Abhängigkeit von Wasserführung und Temperatur am Fallbeispiel der Ruhr untersucht.

Sowohl die Ergebnisse der Literaturrecherche, als auch die Ergebnisse des Workshops und der Trenduntersuchungen wurden in der Auftaktveranstaltung der *dynaklim*-Plattform „Wasser“ am 01.06.2010 in Essen vorgestellt.

3. Ergebnisse der Literatur- und Internetrecherche

3.1 Prognosen zum Klimawandel in NRW

Zur Abschätzung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Anforderungen an die Trinkwasserversorgung wurden die Prognosen des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen zu Grunde gelegt (MUNLV, 2009). Diese wurden größtenteils mit dem dynamischen Modell CCLM erstellt.

Im Vergleich zu anderen Regionen der Welt verläuft der Klimawandel in NRW moderater. Es wird hier eine Erwärmung von 1,9 °C im Zeitraum 2031-2060 im Vergleich zur Referenzperiode 1961-1990 prognostiziert. Die stärkste Temperaturzunahme wird in den Sommermonaten (in einigen Monaten bis zu 3 °C) zu verzeichnen sein. Folgen der Erwärmung sind der Rückgang der Anzahl an Schneetagen und mehr Winterniederschläge in Form von Regen. Die jährlichen Niederschlagsmengen werden um 5 % zunehmen, wobei hier eine deutliche Verschiebung in die Wintermonate zu erwarten ist (Zunahme um 10-20 % in den Wintermonaten und Abnahme in den Sommermonaten um bis zu 20 %). Die Niederschlagsverteilung innerhalb von NRW wird verstärkt heterogen sein, d. h. es wird eine Zunahme in gebirgigen Gebieten und eine Abnahme in der Niederrheinischen Bucht erwartet. Weiterhin muss mit häufigeren Wetterextremereignissen wie Hitzewellen und Starkregen gerechnet werden. (MUNLV, 2009)

Eine besondere, prioritäre Rolle im Rahmen von Anpassungsstrategien kommt dem Schutz vor Extremereignissen zu (UFZ, 2008).

3.2 Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf die Trinkwasserversorgung

3.2.1 Auswirkungen auf das Wasserdargebot

Da sich die Trinkwasserversorgung derzeit noch verstärkt mit anderen Problemen, wie Umweltchemikalien oder erhöhten Nitratkonzentrationen, auseinandersetzen muss, wird der Klimawandel bisher eher als sekundäres Problem eingestuft. Ein Grund dafür ist möglicherweise, dass vergangene Extremwetterereignisse bisher noch nicht zu ernststen Versorgungsengpässen geführt haben (Köster, 2008).

Die Zeiträume mit Spitzenwasserbedarf werden sich aber aufgrund von längeren Trockenperioden und mehr Hitzetagen verlängern. Allerdings gibt es noch keine langfristigen Prognosen darüber, ob dies tatsächlich zu einer Erhöhung des Trinkwasserbedarfs in Deutschland führt. Einige Experten gehen davon aus, dass der Trinkwasserbedarf in Deutschland insgesamt stärker vom demographischen Wandel abhängen wird als von den Klimaveränderungen (Kämpf et al., 2008). Zusätzlich zum Trinkwasserbedarf ist ein deutlicher Anstieg des Wasserbedarfs für die Bewässerung von landwirtschaftlichen Nutzflächen in den Sommermonaten zu erwarten.

Trotz unterschiedlicher Einschätzung der Entwicklung des Wasserbedarfs gibt es schon Erfahrungen, die darauf hindeuten, dass eine Häufung von Hitzetagen bzw. Trockenperioden zukünftig zu versorgungskritischen Situationen führen kann, wenn nicht entsprechend vorgesorgt wird. In Baden-Württemberg wurden bspw. während der Extremhitzeperiode im Sommer 2003 in Gemeinden, die nur eigen gewonnenes Wasser zur Verfügung haben (Versorgungsinseln) die ersten Probleme erkennbar (Haakh, 2007).

Der Erftverband hat unter acht Wasserversorgungsunternehmen in seinem Tätigkeitsgebiet eine Umfrage zur Entwicklung von Wasserbedarfsspitzen im Zusammenhang mit klimatischen Einflüssen durchgeführt. Es ergab sich, dass im Trockenjahr 2003 nur zum Teil Verbrauchsspitzen auftraten. Diese erwiesen sich jedoch für die meisten Wasserversorger als unkritisch, da sie durch den stetigen Rückgang des mittleren Wasserbedarfs erheblich unter den Spitzenwerten früherer Jahrzehnte lagen. Bei einigen Versorgungsunternehmen waren im Sommer 2003 keine deutlichen Abgabespitzen festzustellen. Lediglich eines der befragten Wasserversorgungsunternehmen geriet an die Leistungsgrenze der Rohwasserförderung (Simon, 2009).

In Bayern haben sich in längeren Trockenperioden, wie im Sommer 2003, überwiegend Quellwassernutzungen, bei denen es sich um relativ kleine Wassereinzugsgebiete mit geringer Pufferwirkung handelt, als problematisch erwiesen (LGL, 2005).

In NRW wird die Grundwasserneubildung saisonal stärker schwanken als bisher und im Mittel eher leicht zunehmen. Das Speichervolumen der Grundwasserleiter wird als groß genug eingeschätzt, um den in den nassen Wintermonaten aufgebauten Vorrat in den trockeneren Sommern nutzen zu können (Bucher, 2007).

Infolge der klimatischen Veränderungen kann sich die Betriebssicherheit der Talsperren an der Ruhr verringern. Es wird prognostiziert, dass sich die statistische Wahrscheinlichkeit des Trockenfallens der Talsperren von einem Wiederkehrintervall von 500 auf 200 Jahre erhöht (MUNLV, 2009). In Sachsen wurde in den letzten Jahren bereits eine Verschiebung des mittleren Zuflusses zu den Talsperren beobachtet, die mit einer Häufung von Extremereignissen, sowohl von Niedrigwasser- als auch von Hochwasserereignissen einherging (Winkler, 2007). Aufgrund der Erfahrungen mit dem Extremhochwasser 2002 in Sachsen wird eindringlich gefordert, die Sicherheit von Stauanlagen bei solchen Ereignissen zu überprüfen (Sieber, 2002). Deshalb werden an das Management von Talsperren im Hinblick auf die Trinkwasserversorgung und den Hochwasserschutz im Zuge des Klimawandels zukünftig höhere Anforderungen gestellt.

Der Wupperverband hat ebenfalls das Thema der Erweiterung des Hochwasserschutzes seit einigen Jahren in den Focus gerückt. Die Notwendigkeit wurde z. B. im Sommer 2007 deutlich, als lokale

Starkregen zu Überflutungen von Bächen im Einzugsgebiet des Wupperverbandes führten. Es wurde zunächst ein Hochwasserschutzkonzept erarbeitet, in dem vergangene Hochwässer analysiert wurden, um eine Priorisierung von erforderlichen Maßnahmen vornehmen zu können (Wupperverband, 2008).

3.2.2 Auswirkungen auf die Rohwasserqualität

Hinsichtlich der Rohwasserqualität werden sowohl langsame Veränderungen über einen längeren Zeitraum prognostiziert, als auch die Zunahme kurzzeitiger unvorhergesehener Beeinträchtigungen.

Oberflächengewässer

Zeitlich begrenzte höhere Schadstoffkonzentrationen in Oberflächengewässern sind zu erwarten, wenn in trockenen und heißen Sommern die Wasserführungen und somit die Verdünnungen von Schadstoffeinträgen aus industriellen und kommunalen Kläranlagen sinken. Infolge von Überflutungen durch Starkregenereignisse wird sich die Qualität von Oberflächengewässern und Grundwässern ebenfalls kurzzeitig ändern. Außerdem könnte eine häufigere Mischwasserentlastung aus entsprechenden Kanalisationen in die Vorfluter und eine höhere Entlastungshäufigkeit von Regenrückhaltebecken nötig sein. (Haakh, 2007). Folge davon sind erhöhte Einträge von Sedimenten, Krankheitserregern, Rückständen von Pestiziden, Schwermetallen und Phosphor, der zusammen mit höheren Wassertemperaturen das Algenwachstum fördert. Durch Überlaufen von Abwassersystemen kann es zur Verschmutzung von Straßen und ggf. unter ungünstigen Bedingungen zur Infiltration in Trinkwassersysteme kommen. (EUWID, 2009)

Es wird vermutet, dass der Klimawandel mit seinen Änderungen bzgl. Temperatur, Niederschlägen Wassernutzung usw. auch zu langfristigen Qualitätsveränderungen führen kann. Wissen dazu ist bisher allerdings nur sehr begrenzt vorhanden und es besteht noch dringender Untersuchungsbedarf. Es wurde aber bereits festgestellt, dass es einen signifikanten Zusammenhang zwischen Klimawandel und der Remobilisierung von persistenten organischen Schadstoffen (POP) gibt (Dachs et al., 2006). Böden und Sedimente sind das Hauptreservoir der POP und ein Temperaturanstieg um nur wenige Grade sowie verstärkte Abschwemmungen können historische Lasten der POP wieder mobilisieren. Auch im Eis der Gletscher in den Bergen lagern diese Stoffe, die über Luftströme herantransportiert, auf der Schneedecke abgelagert und im Eis gespeichert wurden. Durch das Abschmelzen der Gletscher könnten diese POP erneut in die Umwelt abgegeben werden (Bogdal et al., 2009). In Bayern sind seit den 80er Jahren bereits zwei Drittel aller Gletscher verschwunden (EUWID, 2009b). Wenn das Eis irgendwann ganz verschwunden ist, kann es wiederum zu saisonalen Konzentrationserhöhungen in den Oberflächengewässern aufgrund einer geringeren Verdünnung durch das fehlende Schmelzwasser im Frühjahr kommen (EUWID, 2009).

Ein Anstieg der Lufttemperatur führt zu höheren Wassertemperaturen, die niedrigere Sauerstoffkonzentrationen und eine schnellere Sauerstoffzehrung in Gewässern bewirken und somit hygienische Probleme verursachen können. Gefördert wird diese Problematik auch durch eine Verlängerung der Vegetationsperioden und der Aufbringungszeiten von Düngemitteln, in deren Folge es zu mehr Einträgen von Nährstoffen in die Gewässer kommen könnte und somit das Algenwachstum begünstigt wird. So kann es sein, dass sich Cyanobakterien (Blaualgen) stärker ausbreiten und möglicherweise toxischer werden (Battarbee, 2006).

Weiterhin muss davon ausgegangen werden, dass nach milderem Wintern und durch die Verlängerung der Vegetationsperioden der Schädlingsdruck zunimmt und sich somit die Pflanzenschutzmittelproblematik verschärft (Haakh, 2007).

Grundwasser

Die Trinkwassergewinnung aus nicht verunreinigtem Grundwasser gilt nach wie vor als besonders erstrebenswert. Der Bodenfilter ist hier die einzige wirksame Barriere, um den Zutritt von Schadstoffen zu verhindern. Die Bodenüberdeckung sollte dafür feinporig und mindestens 6 m dick sein. Ist

diese weniger mächtig, kann die Schutzwirkung eingeschränkt sein. Heiße Sommer und längere Hitzperioden können eine Schwächung der Bodenfilterwirkung durch Austrocknung mit Rissbildung bewirken, so dass Schadstoffe und Krankheitserreger bei starken Regenfällen dann leichter eingeschwemmt werden können. Auch mildere Winter können durch wiederholte Einfrier- und Auftauprozesse zu einer Porenerweiterung bis hin zum Abrutschen von Böden an Hanglagen führen. (LGL, 2005)

Weiterhin kann es durch trockene Sommer und mehr Niederschläge in den Wintermonaten zu einer Verstärkung der Nitratproblematik im Grundwasser kommen. (MUNLV, 2009). Bei Trockenheit in den Sommermonaten verbleibt der aufgebrauchte Dünger in den oberen Bodenschichten. Bei danach einsetzenden Niederschlägen im Herbst fällt die Nitratanlieferung in eine Zeit, in der das Pflanzenwachstum weitgehend abgeschlossen ist und somit nur ein geringer Entzug durch den Pflanzenaufwuchs gegeben wäre. Ausgetrocknete Böden begünstigen dann die Verlagerung in die unteren Bodenschichten. Selbst Böden, die ein hohes Nitratrückhaltevermögen aufweisen, könnten somit in Zukunft vermehrt zu Eintrag von Nitrat in den Grundwasserleiter beitragen. (Berthold und Hergesell, 2005)

In Baden-Württemberg wurde nach längeren Trockenperioden (1992, 1993, 1997/98, 2003) festgestellt, dass sich der Anstieg der Nitratkonzentration im Sickerwasser mit einem Zeitversatz von etwa 8 Monaten in der Rohwasserfassung deutlich bemerkbar machte (Haakh, 2007).

An der Universität Basel wurde ein Modell entwickelt, mit dem sich vorhersagen lässt, wie sich der Treibhauseffekt auf die Verschmutzung von Karstgrundwasser auswirkt (Butscher und Huggenberger, 2009). Die Modellresultate zeigen, dass das Grundwasser durch sommerliche Hitzewellen höhere Konzentrationen an langlebigen Schadstoffen wie bestimmten Pestiziden enthalten kann. Die Empfindlichkeit gegenüber bakteriellen Verschmutzungen nimmt dagegen ab. Fallen in kurzer Zeit große Mengen an Regen, hat dies den gegenteiligen Effekt: Das Schadstoffrisiko sinkt, die bakterielle Belastung droht hingegen zu steigen. Diese Resultate sind charakteristisch für das untersuchte Grundwassersystem im Kanton Baselland.

Unter bestimmten Voraussetzungen kann es im Untergrund zu einem Anstieg der Süß-/ Salzwassergrenze kommen. Von derartigen Erfahrungen berichtet die Energie und Wasser Potsdam GmbH (EWP) (Nillert et al., 2008). Sie versorgt die Einwohner der Landeshauptstadt von Brandenburg mit naturnah aufbereitetem Grundwasser aus pleistozänen Grundwasserleitern mit anteiligem Uferfiltrat aus fünf Wasserwerken. Das Bundesland Brandenburg ist bereits heute schon als niederschlagsarm einzustufen. Ein besonderes Merkmal der Fassungsstandorte sind im Untergrund lagernde Salzwässer, die bei entsprechenden Grundwasserdruckverhältnissen in die wasserwirtschaftlich genutzten Zonen aufsteigen und die Brunnengalerien erreichen können. Bereits seit 1965 ist dort ein stetiger Anstieg der Süß-/Salzwassergrenze zu verzeichnen. In den 70er und 80er Jahren des letzten Jahrhunderts kam es im Sommer bei Bedarfsspitzen zeitweise zur Übernutzung des natürlichen Dargebotes. Die Folge davon waren massive Versalzungen und Huminsäureeinbrüche im Roh- und Reinwasser, was zeitweilige Außerbetriebnahmen des Wasserwerkes zur Folge hatte.

Talsperrenwasser

Auch die Talsperren sind sowohl von plötzlichen und kurzzeitigen als auch von langsamen Qualitätsveränderungen betroffen. Im Südosten Deutschlands wurde seit den frühen 90er Jahren ein steigender Anteil organischer Wasserinhaltsstoffe (WIS), insbes. Huminstoffe, nachgewiesen, der eine Anpassung der Aufbereitungstechnologie und der Versorgungssysteme erforderlich macht. Ursache dafür sind längere Vegetationsperioden und kürzere Frostperioden mit häufigeren Extremwetterereignissen. Infolge des Extremhochwasserereignisses im August 2002 in Sachsen kam es zu einem starken Anstieg der Trübung, der organischen Fracht und der Eisenkonzentration im Zulauf der Trinkwasserreservoirs. Diese erhöhten Konzentrationen blieben teilweise bis zu Beginn des nächsten Jahres bestehen. (Slavik und Uhl, 2009)

Köster (2008) berichtet von Langzeituntersuchungen an der Talsperre Saldenbach (Sachsen), die den großen Einfluss einer allg. Temperaturerhöhung auf das Phytoplanktonwachstum, unabhängig vom

Trophiegrad des Gewässers belegen. Als Ursache wird dafür gesehen, dass die 90er Jahre, im Gegensatz zu den Jahren zuvor, auf Grund milder Winter durch lange Perioden der Vollzirkulation des Wasserkörpers in der Talsperre gekennzeichnet waren. Diese ermöglichten eine effizientere P-Ausnutzung und führten zu erheblich höherer Biomasseproduktion.

Eine dauerhafte Erwärmung der Luft hätte Auswirkungen auf die Schichtung von Talsperren, weil eine Temperaturerhöhung des Oberflächenwassers eine Durchmischung mit den tiefen Schichten erschweren würde. Somit würde kein Frischwasser in die Bodenregion der Talsperre gelangen und auch kein Austausch mit Sauerstoff und anderen Nährstoffen stattfinden. Somit könnte eine Fäulnis am Boden einsetzen und das üblicherweise für die Trinkwasserversorgung genutzte Tiefenwasser im Extremfall unbrauchbar werden. (Kaulisky, 2007)

Die im Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) vertretenen Unternehmen weisen darauf hin, dass es u. a. hinsichtlich der Auswirkungen veränderter Temperaturen auf die Qualität der Wasserressourcen noch Forschungsbedarf gibt (BDEW, 2007).

3.2.3 Folgen für Wassergewinnung und –aufbereitung

Die Frage, inwieweit sich der Klimawandel auf die Aufbereitungserfordernisse und auf die Anlagen zur Wassergewinnung auswirkt, wird in der Literatur bisher nur am Rande behandelt. Die Ursache dafür ist sicher darin zu sehen, dass es noch keine sicheren Erkenntnisse darüber gibt, ob und wie sich die Qualität des Rohwassers tatsächlich ändern wird. Trotzdem gibt es auch hierzu schon einzelne Beobachtungen, die belegen, auf welche Veränderungen sich Wasserversorgungsunternehmen zukünftig einstellen sollten.

So berichtet bspw. Haakh (2007) von Erfahrungen mit der Aufbereitungstechnik in längeren Trockenperioden (1992, 1993, 1997/98, 2003). Im Wasserwerk Langenau musste in diesen Perioden zeitweise die Filterspülgeschwindigkeit deutlich erhöht werden, da die Viskosität des Wassers durch die hohen Temperaturen geringer war.

Uferfiltratgewinnungen werden nicht nur durch die Änderungen im Grundwasserhaushalt, sondern auch durch Veränderungen der Abflussverhältnisse und der Oberflächenwasserqualität beeinflusst. Bei Hochwasser besteht die Gefahr der Überflutung von Entnahmestandorten und einer verkürzten Untergrundpassage. Ausgeprägte Niedrigwasserperioden könnten sich durch höhere Schadstoffkonzentrationen und höhere Wassertemperaturen im Uferfiltrat bemerkbar machen (Bucher, 2007). Darüber liegen allerdings bisher nur begrenzt Erfahrungen vor (Eckert et al., 2008).

Im Tegeler See in Berlin hat man Untersuchungen zum Einfluss der Temperaturerhöhung auf die Uferfiltrationsprozesse durchgeführt (Gross-Wittke et al., 2010). Die Temperatur des Tegeler Sees hat sich in den letzten 30 Jahren um ca. 2,4 °C erhöht und man hat festgestellt, dass die Temperatur des Oberflächenwassers einen signifikanten Einfluss auf die Uferfiltrationsprozesse hat. Die bei höheren Temperaturen verstärkt ablaufenden Abbauprozesse im Gewässer verursachen eine Abnahme der Sauerstoffkonzentration und können zu anaeroben Bedingungen in der Uferfiltrationszone führen. Infolge dessen sterben die aeroben Mikroorganismen ab und somit die wichtigste Komponente der Selbstreinigungsprozesse in der Uferpassage. Anaerobe Mikroorganismen sind weniger effektiv und Stoffwechselprozesse laufen deutlich langsamer ab.

In den Untersuchungen am Tegeler See wurde bei höheren Wassertemperaturen (16 – 25 °C) ein abnehmendes Redoxpotential in den Poren der Infiltrationszone festgestellt sowie ein abnehmender Gehalt an anorganischem Stickstoff und eine zunehmende Menge an Ammonium, Mn²⁺ und Fe²⁺. Es fanden also Redoxprozesse wie Denitrifikation, Reduktion von Mn⁴⁺ und Fe³⁺ und Ammonifikation statt.

Bei Niedrigwasser kann der Grundwasserspiegel sinken und es kann aufgrund eines niedrigeren Vordruckes zu Kavitationsgefährdungen der Rohwasserpumpen kommen. Auch Heberleitungssysteme sind dann störungsanfällig. Im Extremfall kann es zum Abreißen der Wassersäule und zum Ausfall der

Wasserförderung kommen (Haakh, 2007). Bei den Wasserwerken Düsseldorf wurden während des extremen Niedrigwassers im Sommer 2003 Korrosionsschäden an einigen Hebersaugschnecken offenbar, die bei mittleren Rheinwasserständen unterhalb des Betriebswasserspiegels liegen. Da durch den geringen Betriebswasserspiegel an den Heberbrunnen Luft durch die korrodierten Stellen ins Hebersystem eindringen konnte, mussten diese Heberbrunnen abgeschiebert und wieder in Stand gesetzt werden. Vorbeugende Instandhaltungsmaßnahmen zur Vermeidung solcher Situationen wären mit einem unverhältnismäßig hohen Aufwand verbunden. Somit ist es erforderlich, dass bei extremem Niedrigwasser die Gewinnungskapazität der Gesamtanlage auch bei Ausfall einiger Heberbrunnen noch ausreichend groß ist. Der Wasserstand in den Heberbrunnen muss mindestens so hoch sein, dass die maximale Saughöhe nicht überschritten wird. Fällt der Wasserstand bis in den Bereich des Filterrohres, so sind Verockerungsprozesse und eine Zunahme der horizontalen Eintrittsgeschwindigkeit des Grundwassers in das Filterrohr möglich. Es ist zu beachten, dass eine kritische Geschwindigkeit nicht überschritten werden darf, da sonst bei turbulenter Strömung Sand- und Kieskörner mitgerissen würden. (Eckert et al., 2006)

Ein erhöhter Eintrag von Huminstoffen in die Rohwässer durch Abschwemmungen oder Auswaschungen kann bspw. den Flockungsprozess negativ beeinflussen und somit die Aufbereitungseffizienz verringern. Probleme mit erhöhten Konzentrationen an Desinfektionsnebenprodukten und mikrobiologische Verunreinigungen in Versorgungssystemen könnten die Folge sein. Auch durch höhere Konzentrationen an Partikeln, Algen, Eisen und Aluminium im Rohwasser (besonders in Talsperren) werden höhere Zugabemengen an Chemikalien und ein höherer Spülwasserbedarf bei der Aufbereitung nötig sein. Dadurch fällt auch mehr Schlamm an. Somit müssen die Aufbereitungsprozesse im Hinblick auf die Entfernung gelöster organischer WIS und Partikel sowie hinsichtlich stärkerer Schwankungen der Rohwasserqualität optimiert werden. (Slavik und Uhl, 2009)

In Sachsen wurden während des Hochwassers im August 2002 derartige Erfahrungen gemacht: Ein starker Anstieg der Konzentrationen an organischen Wasserinhaltsstoffen und Eisen sowie der Trübung in den Talsperren führte zu deutlich höheren Flockungsmitteldosierungen, Spülwassermengen, produzierten Schlammvolumina und zu kürzeren Filterlaufzeiten. (Slavik und Uhl, 2009)

Es gilt zu bedenken, dass Flockung und Filtration geeignete Aufbereitungstechnologien für Rohwässer mit niedrigen Konzentrationen an organischen WIS und schwankenden Partikelkonzentrationen sind. Zur Aufbereitung von Rohwässern mit hohen Konzentrationen an organischen WIS sind erweiterte Aufbereitungstechnologien erforderlich. Als geeignet haben sich hierfür Prozesskombinationen von Oxidation/Biofiltration und Nanofiltration (mit und ohne Vorbehandlung) zusätzlich zur konventionellen Aufbereitung erwiesen. (Slavik und Uhl, 2009)

3.2.4 Folgen für das Verteilungsnetz

Durch die Temperaturerhöhung muss mit einer Gefährdung der Trinkwasserhygiene im Verteilungsnetz und in Hochbehältern gerechnet werden. So könnte es verstärkt zur Biofilmbildung im Leitungsnetz und zu einer Aufkeimung von Krankheitserregern aus der Umwelt kommen. Insbesondere Legionellen, die üblicherweise auch schon im Grundwasser und damit im Trinkwasser in sehr geringer Anzahl vorhanden sind, könnten sich nach einer Erwärmung des Trinkwassers auf über 20 °C vor allem in Stichleitungen vermehren. (LGL, 2005)

Ein weiteres Problem, welches sich bereits bei einigen Wasserversorgern während lang anhaltender Trockenperioden bemerkbar gemacht hat, sind steigende Zahlen an Schäden im Rohrnetz (z. B. 2003: Landeswasserversorgung Baden- Württemberg und RWW). Trocknet der Boden aus, so steigt infolge von Setzungsprozessen die Rohrbruchgefahr. (Haakh, 2007; RWW, 2010)

Vor dem Hintergrund längerer Spitzenbedarfszeiten in den Sommermonaten sollte die Dimensionierung der Rohre überprüft werden. Allerdings muss hierbei auch der demographische Wandel beachtet werden, weil bei zu großen Rohrquerschnitten Probleme durch Stagnation entstehen können. So

wird bspw. bei RWW seit einigen Jahren bereits eine Querschnittsverkleinerung durchgeführt (RWW, 2010).

In den Abwasserkanälen kann es in trockenen Sommern zu Ablagerungen kommen, die durch nachfolgende Mischwasserentlastungen bei Starkregenereignissen in die Vorfluter gelangen könnten, was die Qualität von Flusswässern, negativ beeinflussen kann (MUNLV, 2009).

3.3 Anpassungsstrategien

3.3.1 Sicherung des Wasserdargebots

Aus vielen Publikationen zum Thema Klimawandel geht hervor, dass es als notwendig angesehen wird, dass sich Wasserversorger intensiv mit den Prognosen zur Dargebotsabschätzung auseinandersetzen. Voraussetzung dafür ist die Verbesserung der regionalen Klimamodelle und der Extremwettersimulation. Außerdem muss die Erfassung von wasserwirtschaftlichen Grunddaten gesichert und koordiniert werden. Hohe Priorität werden Anpassungsmaßnahmen zugesprochen, die der Förderung und dem Erhalt der Grundwasserneubildung und dem Hochwasserschutz dienen (Schetula et al., 2008).

Als eine wesentliche Erkenntnis aus bisherigen Erfahrungen mit Extremwetterereignissen hat sich bereits herausgestellt, dass Redundanzen und Reserven in Versorgungssystemen eine hohe Relevanz besitzen, um die Verletzbarkeit der Wasserversorgung zu minimieren. Einige positive Beispiele dazu werden im Folgenden genannt:

- Im Hitzesommer 2003 wiesen in Bayern bspw. Höchstabgaben der beiden Talsperren Frauenau und Mauthaus darauf hin, dass die Vielzahl der kleinen Wasserversorger ihren Bedarf nicht mehr aus eigenen Grundwasser-Ressourcen decken konnten und ohne Zusatzwasserbezug aus den Talsperren massive Versorgungsengpässe aufgetreten wären. Ähnliche Erfahrungen wurden auch bei der Bodenseewasserversorgung gemacht (Köster, 2008).
- Nordbayern mit dem Ballungsraum Nürnberg und den größeren Städten in Franken sowie der Bayrische Wald gelten aufgrund geringer Jahresniederschläge und/oder der geologischen Gegebenheiten als Wassermangelgebiete. Auch hier haben sich die bereits existierenden leistungsfähigen Verbundsysteme in längeren Trockenperioden als sehr vorteilhaft erwiesen (LGL, 2005).
- Das Verbundsystem der Harzwasserwerke GmbH ist über viele Jahre hinweg entstanden und ermöglicht eine bedarfsgerechte Bewirtschaftung und Verteilung der Wasserressourcen. Der Verbund mehrerer Talsperren untereinander sorgt in längeren Trockenperioden für eine sichere Versorgungsbasis und ermöglicht einen überregionalen Ausgleich zwischen Wassermangel- und Wasserüberschussgebieten. Der Verbund von Talsperren- mit Grundwasserwerken ist insbesondere in mehrjährigen Trockenperioden von Bedeutung, in denen das Talsperrensystem durch die Grundwasserwerke, in deren Einzugsgebiet sich solche Trockenzeiten weniger bzw. erst zeitversetzt bemerkbar machen, gestützt werden kann. Um die Verträglichkeit und Mischbarkeit des aus dem Grundwasser gewonnenen Trinkwassers mit dem sehr weichen Harzwasser zu gewährleisten, wurden die Grundwasserwerke an Standorten mit kalkfreien Sandböden errichtet, in denen ein von Natur aus weiches Grundwasser anzutreffen ist. (Harzwasserwerke, 2010)
- Auch in Baden-Württemberg ist eine Verbundstruktur der Wasserversorger entscheidend für die sichere Bereitstellung von Trinkwasser. Als Land der Zweckverbände verfügt Baden-Württemberg mit vier großen Fernwasserversorgern, zahlreichen Gruppenwasserversorgungen und dem Verbund mit der örtlichen Versorgung auf lokaler Ebene über ein sehr sicheres System. Wie bereits in Kap. 3.2.1 erwähnt, erwiesen sich im Sommer 2003 (Extremhitzeperiode) dort lediglich die Gemeinden als problematisch, die auf einer „Versorgungsinsel“ sitzen und auf ihre lokalen Wasservorkommen angewiesen waren (Haakh, 2007).

Vor dem Hintergrund, dass in Deutschland die Trinkwasserversorgung zum überwiegenden Teil aus Grundwasser erfolgt, kommt einem ökologischen Grundwassermanagement ein hoher Stellenwert zu. In der Region Hessen liegen dazu bereits Erfahrungen zu möglichen Instrumentarien und Technologien vor. Seit Mitte 2006 werden hier in einem vom Bundesforschungsministerium geförderten Verbundprojekt „Anpassungsstrategien an Klimatrends und Extremwetter sowie Maßnahmen für ein nachhaltiges Grundwassermanagement“ am Beispiel der Modellregion Südhessen entwickelt. Nach Einschätzung der Experten wird der Klimawandel für die Landwirtschaft im Hessischen Ried steigende Ansprüche an die Verfügbarkeit von Beregnungswassers mit sich bringen. Hessenwasser begegnet diesem Problem mit einer nachhaltig betriebenen Grundwassergewinnung und sorgt somit für eine dauerhafte Versorgungssicherheit. Mit dem Konzept des „integrierten Ressourcenmanagements“ kann die regionale Wasserbeschaffungsgesellschaft auch in extremen Trockenjahren das Trinkwasser für über zwei Millionen Menschen in der Region zuverlässig bereitstellen. Dabei wird die mangelnde natürliche Grundwasserneubildung ausgeglichen durch die Anreicherung des Grundwassers mit zu Trinkwasserqualität aufbereitetem Oberflächenwasser. Ohne die Grundwasseranreicherung wären Engpässe und ökologische Schäden in der Zukunft nicht auszuschließen. (Hessenwasser, 2010)

Als Konsequenz der Schäden infolge von Nassperioden in den letzten Jahrzehnten wurden neben der Einrichtung von Infiltrationsanlagen zur künstlichen Grundwasseranreicherung und der Schaffung von Verbundlösungen in Siedlungsgebieten auch Anlagen zur Begrenzung des Grundwasseranstiegs installiert, um Gebäude und Infrastruktur vor Vernässung zu schützen. (Kämpf et al., 2008)

In Hessen wurde außerdem bereits 1999 ein Grundwasserbewirtschaftungsplan aufgestellt, in dem wasserrechtlich zulässige Fördermengen festgelegt werden, die an Richt- und Grenzwerte von Grundwasserständen ausgewählter Messstellen gekoppelt sind. Die Messdaten werden zentral gesammelt und allen Partnern und Behörden zur Verfügung gestellt. (Kämpf et al., 2008)

In Berlin müssen in den Flüssen Spree und Havel Mindestabflüsse eingehalten werden, um die Grundwassergewinnung aus Uferfiltrat zur Trinkwasserversorgung zu sichern. Außerdem planen die Berliner Wasserbetriebe, das Trinkwasser zukünftig wieder in zehn statt bisher neun Wasserwerken zu gewinnen und aufzubereiten, um die Verteilung der Förderung zu garantieren und den erforderlichen Spielraum für ein ökologisches Grundwassermanagement zu gewährleisten. (Berliner Wasserbetriebe, 2010)

Eine weitere Möglichkeit, Versorgungsengpässen vorzubeugen ist eine Erweiterung der Trinkwasserspeicherkapazität. So hat sich bspw. ein Wasserversorger aus dem Gebiet des Erftverbandes hat nach den Erfahrungen des extrem trockenen Sommers 2003 zum Bau eines neuen Trinkwasserbehälters entschlossen (Simon, 2009)

Wie in Kap. 3.2.1 bereits angesprochen, erfordert der Klimawandel auch Anpassungsstrategien hinsichtlich der Bewirtschaftung von Talsperren. In Sachsen wurde in den letzten Jahren bereits eine Verschiebung des mittleren Zuflusses zu den Talsperren beobachtet, die mit einer Häufung von Extremereignissen, sowohl von Niedrigwasser- als auch von Hochwasserereignissen einherging. Als Konsequenz aus dem Auguthochwasser 2002 wurden die Hochwasserrückhalteräume der Talsperren vergrößert. Dies führte zwar zur Verringerung der Betriebsräume, aber die Leistungsfähigkeit für Rohwasserabgaben zur Trinkwasserversorgung konnte unter verstärkter Einbeziehung einer anderen Talsperre weiterhin gewährleistet werden. Eine der vordringlichsten Aufgaben der Stauanlagenbewirtschaftung besteht deshalb in den kommenden Jahren in der Entwicklung geeigneter Konzeptionen, um den veränderten Bewirtschaftungsbedingungen begegnen zu können. (Winkler, 2007)

3.3.2 Sicherung der Wasserqualität

Für die Veränderung der Rohwasserqualität infolge des Klimawandels gibt es bisher noch keine sicheren Prognosen. Aufgrund der bisherigen Beobachtungen und Erfahrungen (siehe Kap. 3.2.2) wird den Wasserwerken aber empfohlen, den Betrieb der Anlagen langfristig gesehen auf stärkere Schwankungen der Rohwasserqualität einzustellen und das Krisenmanagement zu optimieren (Lindner, 207).

Außerdem wird ein Betriebskonzept für den Fall der Erhöhung der Wassertemperatur empfohlen. Insbesondere sollten dabei die Filterspülung und die Dosierung von Desinfektionsmitteln untersucht werden (Haakh, 2007).

Im Zusammenhang mit den aktuellen Themen der Spurenstoffproblematik und erhöhter Nitratkonzentrationen, müssen Wasserversorger teilweise schon erhöhte Anforderungen an die Aufbereitungstechnologie bewältigen. Ziel dabei ist, durch entsprechende Maßnahmen eine höhere Sicherheit gegenüber unvorhergesehenen Beeinträchtigungen des Rohwassers zu erreichen. Durch eine solche Modernisierung wird also eine langfristige Absicherung einer qualitativ hochwertigen Wasserversorgung erreicht. Sie kann deshalb auch wirkungsvoll gegenüber Qualitätsschwankungen infolge des Klimawandels sein.

So hat die Wassergewinnung Essen GmbH (WGE) bspw. in den vergangenen Jahren bereits immer wieder unvorhergesehenen Beeinträchtigungen der Rohwasserqualität beobachtet. Deshalb wurde im Mai 2009 damit begonnen, das Wasserwerk umzubauen und mit weiteren Verfahrensstufen zu modernisieren, um gegen das Auftreten von Spurenstoffen im Rohwasser gerüstet zu sein. Die vorhandene Wasseraufbereitungsanlage mit den Aufbereitungsstufen Ozonung, Flockung und Schnellfiltration wird im Zuge der Baumaßnahme um Aktivkohle-Filtration, physikalische Entsäuerung und Desinfektion mit UV-Licht erweitert. Weitere Vorteile dieser Modernisierung sind die Erhöhung der mikrobiologischen Sicherheit und die Verbesserung des Geschmacks des Trinkwassers durch den Verzicht auf chemische Desinfektionsmittel. (Stadtwerke Essen, 2009)

Um die Verschärfung der Nitrat- und PSM-Problematik im Trinkwasser zu vermeiden, sind hier in erster Linie vorsorgende Maßnahmen im Ressourcenschutz zu sehen, die in enger Kooperation mit der Landwirtschaft erarbeitet werden müssen. Die Programme zum Schutz des Grundwassers sind dementsprechend fortzusetzen und weiterzuentwickeln (EUWID, 2009b). Allerdings sind die Diskussionen in diesem Kontext kontrovers. Einige Experten sind der Meinung, dass eine ordnungsgemäße Landwirtschaft diese Aspekte bereits berücksichtigt, andere Experten sehen hier aber die Notwendigkeit eines weiteren Anpassungsbedarfs infolge des Klimawandels (Schetula et al., 2008).

Verbundstrukturen der Wassergewinnung, wie sie in Kap. 3.2.1 bereits als Anpassungsstrategie zur Sicherung des Wasserdargebotes beschreiben wurden, sind auch vor dem Hintergrund der Qualitätssicherung des Trinkwassers von Vorteil. Dies zeigte sich z. B. während des Elbehochwassers 2002, bei dem Rohwasserentnahmen mit Gütebeeinträchtigungen außer Betrieb genommen werden konnten, ohne dass hierdurch negative Auswirkungen auf die Wasserversorgung resultierten (Köster, 2008). Auch die RWW Rheinisch-Westfälische Wasserwerksgesellschaft mbH begegnet den Problemen, die durch eine Überflutung einzelner Wassergewinnungsanlagen bei Hochwasser entstehen können, mit der Außerbetriebnahme und der Übernahme durch andere Wasserwerke im Verbund (RWW, 2010).

Ein weiteres Problem in Verbindung mit Hochwässern können erhöhte mikrobiologische Belastungen bei der Uferfiltration darstellen, die in Folge unzureichender Rückhaltung bei der Bodenpassage im Rohwasser auftreten können. Entsprechende Erfahrungen liegen z. B. bei der RWW vor. Als Gegenmaßnahme plant RWW eine vollständige hydraulische Kapselung des Infiltrations- und Wassergewinnungsgebietes durch Dichtwände (RWW, 2010).

Die Energie und Wasser Potsdam GmbH (EWP) hat Modelluntersuchungen durchgeführt, um dem Problem der Versalzung von Grundwässern langfristig zu begegnen. Aus den daraus gewonnenen Aussagen zur Entwicklung der Grundwasserdruckhöhen und der Versalzung in der Region wurden standortspezifische Bewirtschaftungs- und Monitoring-Empfehlungen abgeleitet. Das Modellkonzept und der Informationsfluss wurden in Abb. 1 schematisch dargestellt. Die Bewertung der Ergebnisse ergab, dass der Einfluss der Klimaänderungen auf das Grundwasserdargebot in Einzugsgebieten, die allein aus Grundwasserneubildung gespeist werden, viel deutlicher ausfallen wird als in Einzugsgebieten, in denen ein Bilanzausgleich zwischen Grundwasserleiter und oberirdischen Gewässern stattfindet. (Nillert et al., 2008)

Um eine Wiederverkeimung des Trinkwassers im Leitungsnetz durch höhere Temperaturen zu vermeiden, müssen die Betreiber dafür sorgen, dass sich das Wasser im Rohrnetz möglichst nicht weiter erwärmt. Dies erfordert möglicherweise die Vermeidung von Stichleitungen, die Tieferlegung von Leitungen im Boden oder häufigeres Spülen zur Vermeidung von Verkeimungen (LGL, 2500).

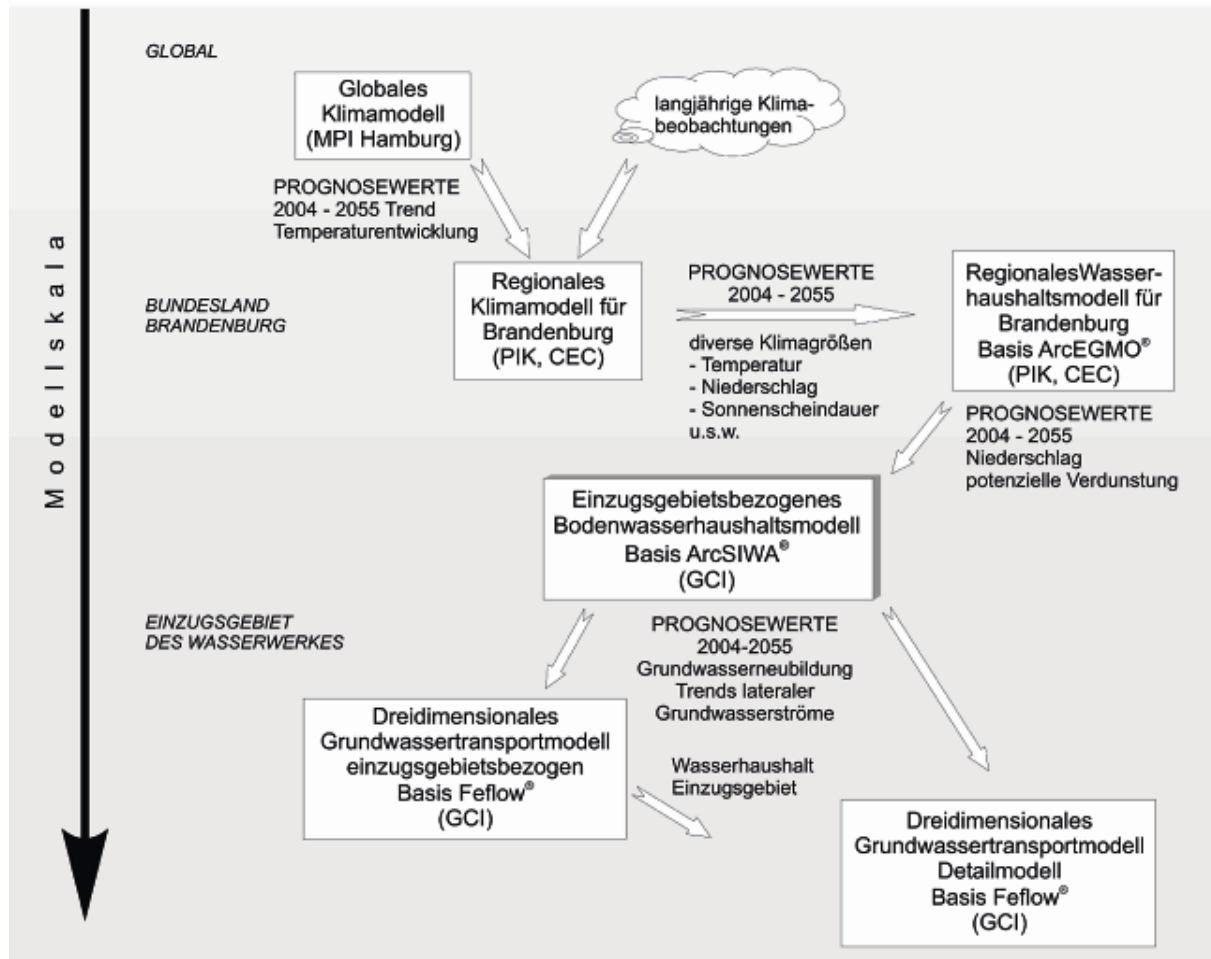


Abb. 1: Verwendetes Modellsystem (Nillert et al., 2008)

3.3.3 Maßnahmen in wasserarmen Ländern

Große Teile der Erde bekommen die Auswirkungen des Klimawandels wesentlich extremer zu spüren als Deutschland, weil dort teilweise heute schon die Wasserressourcen nicht mehr ausreichen und ein weiterer Rückgang erwartet wird. Deshalb müssen in diesen Ländern in erster Linie andere Maßnahmen als in Deutschland ergriffen werden. Eine entscheidende Bedeutung kommt dabei einem guten Wassermanagement zu, welches Wassersparmaßnahmen und den Ausbau des Wasserrecyclings beinhaltet. In Australien bspw. geschieht das mit folgenden Maßnahmen (IWA, 2008):

- Wassersparmaßnahmen in Wohnhäusern (Subventionierung)
- Erstellung von Wasserwirtschaftsplänen für Großverbraucher
- Programm zur Reduzierung von Leckagen in Rohrleitungen
- Entwicklung von Labeln für wassereffiziente Haushaltsgeräte
- Rabatte für Regenwasserauffangbehälter und effiziente Waschmaschinen
- Wasser-Recycling und Verwendung für Gartenbewässerung, Toilettenspülung

- Aufbau von Wasser-Recycling-Netzwerken und Versorgungssystemen von Regenwasser

Außerdem werden große Anstrengungen für eine bessere Ausnutzung der vorhandenen Ressourcen unternommen (Strachan et al., 2008):

- Zugriff auf das Wasser aus tieferen Schichten von Trinkwasserreservoirien
- Oberflächenwasser aus Flüssen durch vorhandene Pumpsysteme häufiger auch in weiter entfernte Regionen transportieren
- Bau von Meerwasserentsalzungsanlagen

Ein großes Problem stellt in Australien die Versalzung von Flüssen und Aquiferen dar. Es wird deshalb viel investiert, um den Salzgehalt von Oberflächen- und Grundwasser niedrig zu halten. Weiterhin wird an Technologien gearbeitet, um die Effektivität der Bewässerung zu erhöhen (Connor J. et al., 2008).

In Californien kommen ebenfalls verstärkt Wassermanagementsysteme mit folgenden Zielen zum Einsatz (Medellín-Azuara J. et al., 2007):

- Verstärkung der Aktivitäten zum Schutz der Wasserressourcen für die kommunale und landwirtschaftliche Nutzung
- Regulierung der Wassernutzung durch den Wasserpreis
- verstärkte Wasserwiederverwendung
- bessere Verbindung der Grund- und Oberflächenwasserbewirtschaftung
- Anpassung der Betriebsweise von Oberflächenwasserspeichern

Gaese H. (2006) erläutert eindringlich, welche Lösungsstrategien im Umgang mit den gefährdeten Ressourcen am Beispiel der Bewässerungslandwirtschaft wichtig sind. Diesem Thema kommt in subtropischen und tropischen Regionen eine große Bedeutung zu. Gegenwärtig werden 202 Mio. ha (21% der Weltackerfläche) bewässert. Wenn die Weltbevölkerung adäquat ernährt werden soll wird dieser Anteil noch erheblich steigen. Eine Anpassungsstrategie ist deshalb in diesem Bereich die Wassernutzungseffizienz durch Optimierung der Bewässerungsverfahren und optimales Bewässerungsmanagement wesentlich zu erhöhen. Hierzu muss Wasser dort, wo dies technisch und ökonomisch sinnvoll ist, in Kreisläufen genutzt werden, was die Wiederverwendung von Abwasser aus Haushalten, Industrie und der Landwirtschaft selber zur Folge hat.

4. Konkretisierung möglicher Anforderungen an die Emscher-Lippe-Region

4.1 Erfahrungsaustausch mit Wasserversorgungsunternehmen, Verbänden und Institutionen

Zur Konkretisierung möglicher Anforderungen an die Projektregion wurden Workshops und Gespräche mit Unternehmen, Verbänden und Institutionen aus dem Versorgungsgebiet der Emscher-Lippe-Region sowie aus Partnerregionen (Luxemburg, Region Arnheim/Niederlande) durchgeführt. Ein dafür entwickelter Fragenkatalog, der auf den Ergebnissen der Literaturrecherche basiert, diente den Teilnehmern zur Vorbereitung (siehe Anhang 7.4).

Die Ergebnisse der Literaturrecherche und die Erfahrungen der Teilnehmer wurden diskutiert und eine gemeinsame Einschätzung des möglichen Anpassungs- und Untersuchungsbedarfs erarbeitet.

Es zeigte sich dabei, dass die zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels entsprechend der lokalen Besonderheiten zu unterschiedlichen Handlungsschwerpunkten und Fragestellungen führten, die im Rahmen von *dynaklim* im weiteren Focus stehen sollten.

Es werden in Luxemburg sowie in der Region Arnheim ungefähr dieselben Auswirkungen des Klimawandels auf Temperatur und Niederschlag wie für die Emscher-Lippe-Region erwartet. Eine grundsätzliche Verbesserung der Prognosegenauigkeit von Modellen (z.B. hinsichtlich Häufigkeit und Niederschlagsmengen von Starkregenereignissen sowie Anzahl der Tage und Höhe der Temperaturen von Trockenperioden) wurde als wünschenswert identifiziert.

4.1.1 Erfahrungsaustausch mit Wasserversorgungsunternehmen, Verbänden und Institutionen aus dem Versorgungsgebiet der Emscher-Lippe-Region

Der Erfahrungsaustausch erfolgte im Rahmen eines Workshops (Teilnehmerkreis siehe Anhang 7.3). Folgende Handlungsfelder und Themen haben sich dabei herauskristallisiert:

Grundsätzlich:

- Als besonders relevant und aktuell wird die Gefahr gesehen, die von Hochwässern ausgeht. Hier gibt es auch bereits einige negative Erfahrungen bei den Wasserversorgern. Gewinnungs- und Aufbereitungsanlagen sollten deshalb hinsichtlich des Überflutungsschutzes überprüft werden.
- Um Engpässe bei der Trinkwasserversorgung abschätzen zu können, ist eine intensive Auseinandersetzung mit den Prognosen zum zukünftigen Trinkwasserbedarf unter Berücksichtigung des demographischen Wandels notwendig. Die Wasserressourcen (Grund und Oberflächenwasser) sind entsprechend zu bewirtschaften und die Speicherkapazitäten ggf. zu erhöhen.
- Es muss die Frage beantwortet werden, wie sich höhere Temperaturen auf die Mikrobiologie in Gewässern und Böden auswirkt und ob sie einen Einfluss auf Umsetzungs- und Abbauprozesse haben.
- Im Bereich der Wasserverteilung können Probleme mit der biologischen Stabilität bei höheren Temperaturen im Rohrnetz nicht ausgeschlossen werden. Außerdem sollten vorsorgende Maßnahmen gegen eine erhöhte Rohrbruchgefahr in Trockenperioden durch Austrocknung der Böden und damit verbundenen Setzungsprozessen in Betracht gezogen werden. Die Dimensionierung der Rohre ist im Hinblick auf Spitzenbedarfszeiten und demographischen Wandel (Vermeidung von Stagnation) kritisch zu überprüfen.

Wasserversorgung aus Grundwasser:

- In für Trinkwasserversorgung und Landwirtschaft relevanten Gebieten kann es zu Nutzungskonflikten kommen (starke Absenkung des Grundwasserspiegels durch landwirtschaftliche Bewässerungsbrunnen und Trinkwasserbrunnen). Insbesondere durch die zu erwartende Verlagerung der Niederschläge in das Winterhalbjahr sind in den Sommermonaten Engpässe oder Umweltschäden durch übermäßige Absenkung des Grundwasserspiegels zu befürchten. Infolge der Erwärmung ist ggf. mit der Möglichkeit einer Intensivierung der landwirtschaftlichen Nutzung zu rechnen (z.B. Erhöhte Anzahl der Fruchtfolgeglieder pro Jahr), für die zusätzliche Wassermengen dem Grundwasserleiter entnommen würden. Zur Quantifizierung des Problems sollten Wasserbilanzen erstellt werden, die auch den zu erwartenden Mehrbedarf für die landwirtschaftliche Bewässerung einkalkulieren. Weiterhin sind Regelungen hinsichtlich der zukünftigen Grundwassernutzung von Seiten des Gesetzgebers gefragt.
- An manchen Standorten ist eine Verschärfung der Nitratproblematik im Grundwasser zu erwarten. Durch die prognostizierte Zunahme von Starkniederschlägen in der Vegetationsperiode ist damit zu rechnen, dass Düngemittel verstärkt horizontal verlagert werden, so dass eine Aufnahme durch die Pflanzen nur unzureichend erfolgt und ein Eintrag in die Grundwasserleiter möglich wird. Infolge der Erwärmung ist ggf. mit der Möglichkeit einer Intensivierung der landwirtschaftlichen Nutzung zu rechnen, für die zusätzliche Düngemittel aufgebracht würden. Hier muss überprüft werden, ob Maßnahmen der landwirtschaftlichen Kooperation zur Vermeidung eines Nitratanstiegs im Grundwasser auch in Zukunft möglich und effektiv sein werden oder ob evt. eine Trinkwasseraufbereitung zur Nitratentfernung in Betracht gezogen werden muss.

Wasserversorgung aus Oberflächenwasser:

- Die Gefahr, die evt. von Remobilisierungen und Abschwemmungen ausgeht, sollte untersucht werden. Qualitätsveränderungen in den Gewässern müssen quantifiziert werden. Vor diesem Hintergrund sind die Überwachungsprogramme zur Wasserqualität des Landes dahingehend zu prüfen, ob sie durch weitere Messungen und Übernahme von (Alt-) Datenbeständen intensiviert werden sollten. Trendanalysen könnten helfen, die Folgen des Klimawandels auch hinsichtlich „neuer“ Schadstoffe (Arzneimittel, „neue“ pathogene Keime, Folgen einer relativen Stoffanreicherung in Trockenperioden etc.) in Gewässern besser abzuschätzen. (MUNLV, 2008)
- Die Effektivität der Uferpassage bei der Uferfiltration bzw. künstlichen Grundwasseranreicherung muss unter Annahme höherer Schadstoffkonzentrationen im Oberflächenwasser modelliert und geprüft werden. Des Weiteren sollte untersucht werden, in welchen Gewinnungsgebieten es infolge zunehmender Hochwässer zu einem verstärkten Oberflächenwasser-Durchbruch in die Uferfiltratfassungen kommen kann.
- Vor dem Hintergrund stärkerer Qualitätsschwankungen im Rohwasser ist die Robustheit und Flexibilität der Aufbereitung insbesondere im Hinblick auf die Entfernung von Partikeln, Nährstoffen, Schwermetallen und organischen Spurenstoffen zu überprüfen.
- Möglicherweise muss die Bewirtschaftungsstrategie von Oberflächengewässern zur Vermeidung von extremen Niedrig- und Hochwässern angepasst werden. Vor dem Hintergrund eines höheren Wasserdargebotes im Winter und stärkerer Nutzungsansprüche im Sommer könnten eine Optimierung der Bewirtschaftung von Talsperren und eine Vergrößerung von Speicherkapazitäten notwendig sein.

4.1.2 Erfahrungsaustausch mit Wasserversorgungsunternehmen, Verbänden und Institutionen aus Luxemburg

Der Erfahrungsaustausch erfolgte ebenfalls im Rahmen eines Workshop (Teilnehmerkreis siehe Anhang 7.3), bei dem folgende Handlungsfelder und Themen identifiziert wurden:

Grundsätzlich:

- Bereits bestehende Probleme der Wasserversorgung, die ursächlich nicht mit dem Klimawandel in Zusammenhang stehen, werden durch die Effekte des Klimawandels eine zusätzliche Bedeutung und Brisanz erhalten. Hierzu zählen u. a. die Selbstversorgung kleinerer Gemeinden, die ggf. nicht über ausreichende personelle und fachliche Kompetenzen zur Sicherstellung der Trinkwasserversorgung verfügen, sowie die Nutzung von Trinkwasser zur Kühlung von Gebäuden. Eine Anbindung von kleinen Gemeinden an große Wasserversorgungsunternehmen sowie alternative Lösungen zur Gebäudekühlung sind anzustreben.
- Im Gegensatz zur Praxis in Deutschland erfolgt in Luxemburg keine Nutzung von Grund-, Quell- oder Oberflächenwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung, so dass diesbezüglich keine Nutzungskonflikte bestehen. Es sind jedoch Untersuchungen zur Bilanzierung der verfügbaren Wassermengen dringend erforderlich. Aufgrund der durch den Klimawandel zu erwartenden Abnahme der Grundwasserneubildung in den Sommermonaten wird eine Abnahme des Wasserdargebots in diesen Monaten befürchtet. Untersuchungen sollen klären, ob Oberflächenwasser in den Wintermonaten im Luxemburger Sandstein versickert werden kann.

Versorgung aus Grund- und Quellwasser:

- Infolge der Erwärmung in den Wintermonaten ist mit einem Rückgang der Frosttage und des Schneefalls zu rechnen. In wieweit sich dies auf die Grundwasserneubildung auswirkt, sollte Gegenstand weiterer Untersuchungen sein.
- Es wird befürchtet, dass die landwirtschaftliche Nutzung der Böden bei höheren Temperaturen und längeren Vegetationsperioden infolge des Klimawandels zunimmt. Die bestehenden landwirtschaftlichen Kooperationen sind daher in Zukunft verstärkt mit dem Ziel zu betreiben, den

Einsatz von Düngemitteln und PBSM in Wassereinzugsgebieten einzuschränken oder völlig zu unterbinden. Weiterhin sind Schutzzonen auszuweisen. Infolge längerer Trockenperioden kann es zu verstärkter Rissbildung im Boden und zu verstärktem Eintrag von Oberflächenabschwemmungen nach Starkregen in den Grundwasserleiter kommen, so dass erhöhte Einträge von Nitrat und PBSM und eine Zunahme der Trübung und der mikrobiellen Belastungen zu befürchten sind. Infolge zunehmender Starkregeneignisse werden ebenfalls verstärkte Belastungen der Rohwässer durch Mikroorganismen und Trübung erwartet, denen mit geeigneten Aufbereitungstechniken oder Online-Monitoring von Quellwässern verbunden mit Wasserabschlag begegnet werden soll.

- Durch das verstärkte Auftreten von Hochwässern ist die Wasserqualität einiger Brunnen und Quellen gefährdet, wenn es zum Eintritt von Flusswasser kommt. Längere Niedrigwasserperioden hingegen werden die Ergiebigkeit von Brunnen und Quellen wegen der Abnahme der Infiltration von Oberflächenwasser in den Grundwasserleiter verringern. Weiterhin werden Nutzungskonflikte zwischen Wasserversorgung, Natur- und Landschaftsschutz befürchtet.

Versorgung aus Oberflächenwasser:

- Die Versorgung aus der Sûre-Talsperre spielt eine bedeutende Rolle bei der Wasserversorgung in Luxemburg. Neben der Speicherfunktion zur Trinkwasserversorgung und der Energiegewinnung dient die Talsperre dem Hochwasserschutz. Da die Bewirtschaftung der Talsperre nicht durch das Wasserversorgungsunternehmen erfolgt, werden Belange der Wasserversorgung bereits heute schon nicht ausreichend berücksichtigt. Der Klimawandel erfordert daher neue kooperative Bewirtschaftungskonzepte.
- Bei der Wasserversorgung aus Talsperrenwasser sind infolge von zukünftig erhöhten Starkniederschlägen erhöhte Oberflächenabschwemmungen und Einträge von partikulären Stoffen (Trübung), sowie Nitrat, Phosphat und PBSM von den landwirtschaftlich genutzten Flächen zu befürchten. Als Gegenmaßnahme sind Schutzzonen mit entsprechenden Auflagen auszuweisen. Auch werden zunehmend Belastungen aus Regenüberläufen von Kläranlagen erwartet, denen mit dem Bau von Regenrückhaltebecken, ggf. mit einer Anpassung der Aufbereitungstechnologie oder der Betriebsweise der Trinkwasseraufbereitungsanlage zu begegnen wäre.
- Bei Trockenperioden ist mit Niedrigwasser in den Flüssen und aufgrund fehlender Verdünnung von Einleitungen aus Kläranlagen mit erhöhten Konzentrationen abwasserbürtiger Stoffe im Talsperrenwasser zu rechnen. Weiterhin sind bei Absinken des Wasserstandes in der Talsperre Remobilisierungen von Eisen und Mangan möglich. Eine Beeinträchtigung der Wasserqualität der Talsperre kann auch von der zu erwartenden Temperaturerhöhung ausgehen, die zu verringerter Sauerstoffkonzentration, erhöhtem Algenwachstum und in Folge zur Remobilisierung von Eisen und Mangan führen kann. Technische Maßnahmen zur Verringerung der Algenkonzentration in der Talsperre sowie eine Anpassung von Verfahren und Betrieb der Wasseraufbereitung können erforderlich werden. Außerdem kann es in Niedrigwassersituationen zu Konflikten zwischen Wasserversorgung und Naturschutz kommen.
- Infolge des zu erwartenden Temperaturanstiegs ist auch mit einer verstärkten Freizeitnutzung der Talsperre zu rechnen. Welche Folgen ein ggf. hiermit verbundener erhöhter Eintrag von Sonnenschutzmitteln auf die Trinkwasseraufbereitung haben könnte, sollte Gegenstand weiterer Untersuchungen sein. Weiterhin ist in Trockenperioden eine erhöhte Waldbrandgefahr zu befürchten, die angepasste Brandschutzkonzepte im Umfeld der Talsperre zum Schutz der Wasserqualität bei Löscharbeiten (Einsatz von Löschmitteln) erforderlich machen werden.

4.1.3 Erfahrungsaustausch mit dem niederländischen Wasserversorgungsunternehmen Vitens

Der Erfahrungsaustausch erfolgte im Rahmen eines Gesprächs mit Vertretern von Vitens.

Vitens ist das größte Wasserversorgungsunternehmen in den Niederlanden und versorgt 5,4 Mio. Kunden mit ca. 350 Mio. m³/a Trinkwasser, u. a. auch die *dynaklim*-Partnerregion Arnheim. Hierzu

werden Grundwässer aufbereitet, wobei Verfahren der Belüftung, Enteisung/Entmanganung, Enthärtung oder auch Aufhärtung zum Einsatz kommen. In einigen Wasserwerken ist der Einsatz von Aktivkohlefiltern zur Entfernung organischer Spurenstoffe (z. B. Pestizide) oder von Membranverfahren erforderlich.

Es wurden folgende Handlungsfelder und Themen identifiziert:

- Das Grundwassermanagement und die Wasserhaltungsmaßnahmen müssen an die aktuelle Situation bezüglich des Klimawandels angepasst werden. Infolge des Abbaus von Mooren in den letzten Jahrzehnten hat die Speicherkapazität des Grundwasserleiters abgenommen.
- Es ist zu erwarten, dass die landwirtschaftliche Nutzung in Zukunft abnimmt, da viele kleine und mittlere Betriebe aus wirtschaftlichen Gründen schließen müssen und sich die Produktion von Nahrungsmitteln ins Ausland verlagert. Dem gegenüber steht ein wachsender Wasserbedarf in Spitzenzeiten, der sich durch die zu erwartenden klimatischen Veränderungen noch erhöhen wird. Es wird daher nach Möglichkeiten der Speicherung des Wassers zur Deckung des Spitzenbedarfs in den Sommermonaten gesucht. Lokal sind bereits heute die vorhandenen Kapazitäten an Förderungs-, Aufbereitungs- und Speicheranlagen zu Spitzenzeiten ausgeschöpft, so dass hier in Zukunft ein Erweiterungsbedarf gesehen wird. Bei der Bewirtschaftung des Grundwasserleiters sind weiterhin Aspekte des Natur- und Landschaftsschutzes sowie an einigen Stellen die Gefahr des Aufsteigens von salzhaltigem Grundwasser oder in Küstennähe des Eindringens von Meerwasser bei übermäßiger Absenkung des Grundwasserspiegels zu berücksichtigen.
- Bei Wassermangel entscheiden die Water Boards (für Oberflächenwasser) und die Provinzregierungen (für Grundwasser) über die Nutzung der Wasserressourcen. Gemäß einer Prioritätenliste werden dann die Nutzungen durch einzelne Verbraucher (Industrie, Landwirtschaft, Kühlwasser, ...) eingeschränkt oder verboten, was bereits im Jahr 2010 die landwirtschaftliche Bewässerung betraf.
- Infolge der zu erwartenden Abnahme der landwirtschaftlichen Flächennutzung ist mit einer Abnahme der Wasserbedarfs zur Bewässerung zu rechnen, was sich langfristig positiv auf die Wasserbilanz auswirken wird.
- Durch den Klimawandel ist eine Zunahme der Hochwässer zu befürchten, wobei Brunnenanlagen überflutet werden könnten. Bereits heute müssen zeitweise schon einige Brunnenanlagen aufgrund von Überflutung außer Betrieb genommen werden. Versorgungsengpässe könnten durch ein bestehendes großes Verbundsystem zwischen den Wasserwerken bisher aber vermieden werden. Aufbereitungsanlagen sind vor Hochwässern geschützt. Sollten allerdings - z. B. infolge Bruch eines Deiches oder Kanals - größere Landstriche, mehrere Brunnenanlagen oder Aufbereitungsanlagen überflutet werden, ist unklar, ob die Kapazitäten des Versorgungsverbunds noch ausreichend sind. Da in diesem Fall die Bevölkerung großräumig evakuiert werden müsste, kann nicht mehr von einer normalen Versorgungssituation mit den üblichen Wasserbedarfsmengen ausgegangen werden.
- Eine negative Beeinträchtigung der Rohwasserqualität durch Hochwässer oder bei Niedrigwasser konnte bisher nicht beobachtet werden. Infolge der Schwankungen des Grundwasserspiegels und der damit verbundenen Änderung des Redoxmilieus kommt es jedoch zu Schwankungen der Rohwasserqualität. Die Wasseraufbereitungsanlagen sind auf diese Schwankungen eingestellt, so dass bisher keine Beeinträchtigung der Trinkwasserqualität zu verzeichnen war. Mit Hilfe eines umfangreichen Grund- und Rohwassermonitorings können Trends in der Entwicklung der Rohwasserqualität rechtzeitig erkannt und Aufbereitungsverfahren bei Bedarf angepasst werden.
- Der Einsatz von Düngemitteln und Pflanzenschutzmittel wird bereits derzeit über landwirtschaftliche Kooperationen beeinflusst. Infolge der zu erwartenden Abnahme der landwirtschaftlichen Flächennutzung ist mit einer Abnahme des Eintrags von Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln und tendenziell mit einer Verbesserung der Grundwasserqualität hinsichtlich dieser Stoffe zu rechnen.

- Einige Wasserwerke, die in Waldgebieten liegen, sind bei Zunahme der Trockenperioden auch zunehmend einer Waldbrandgefahr ausgesetzt. Deshalb müssen entsprechende Schutzkonzepte erstellt werden.
- Bisher konnte keine Zunahme der Wassertemperatur beobachtet werden. Die Gefahr einer zunehmenden Verkeimung des Wassers bei der Verteilung infolge zunehmender Wassertemperaturen durch den Klimawandel wird jedoch gesehen. Derzeit laufen bereits Untersuchungen zum Online-Monitoring der Wasserqualität in Versorgungsnetzen.
- Eine Zunahme der Rohrbrüche infolge Bodensetzungen während Trockenperioden konnte beobachtet werden und ist in Zukunft bei Zunahme der Trockenperioden durch den Klimawandel verstärkt zu befürchten. Weiterhin wurden in den letzten Jahren Rohrbrüche in bewaldeten Gebieten infolge von Stürmen beobachtet, da sich die Bewegung der Bäume über die Wurzeln auf die Leitungen überträgt bzw. die Leitungen beim Entwurzeln der Bäume beschädigt werden. Da infolge des Klimawandels eine Zunahme an Stürmen zu erwarten ist, werden zukünftig auch verstärkt Rohrbrüche zu befürchten sein. Der Baumbestand über wichtigen Leitungen sollte deshalb entfernt werden.

4.2 Trenduntersuchungen zur Oberflächenwasserqualität am Fallbeispiel der Ruhr

Sowohl aus der Literaturrecherche als auch aus dem Erfahrungsaustausch mit Unternehmen, Institutionen und Verbänden ging hervor, dass bisher kaum Wissen über die Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserqualität vorhanden ist. Dieses ist aber eine wichtige Voraussetzung für die Feststellung von Anpassungserfordernissen insbesondere in der Wasseraufbereitung. Deshalb wurden im Rahmen dieser Studie auch Trenduntersuchungen zur Entwicklung der Oberflächenwasserqualität am Beispiel der Ruhr durchgeführt und die Abhängigkeit von den wetterabhängigen Parametern Wasserführung und Wassertemperatur untersucht (siehe Kap. 4.2).

Den Trenduntersuchungen der Oberflächenwasserqualität lagen Messwerte von ca. 70 Qualitätsparametern für den Zeitraum 1995 bis Februar 2010, teilweise an drei verschiedenen Messstellen der Ruhr zugrunde:

- Echthausen (Fluss-km 128,4)
- Essen-Rellinghausen (Fluss-km 42,12)
- Mülheim Styrum-Ost (Fluss-km 11,25)

Die Messerwerte wurden dem IWW freundlicherweise vom Ruhrverband, von der Wasserwerke Westfalen GmbH und von der RWW Rheinisch-Westfälische Wasserwerksgesellschaft mbH zur Verfügung gestellt.

Entwicklung der Wasserqualität im Längsverlauf der Ruhr

Die Konzentrationen der meisten Parameter bewegen sich auf einem vergleichbaren Niveau an allen 3 Messstellen. Auf deren Darstellung wird daher an dieser Stelle verzichtet. Lediglich bei den Parametern gelöstes Mangan, Leitfähigkeit, Nitrat, gelöstes Phosphat und Chlorophyll-a wurden signifikante Unterschiede zwischen den 3 Messstellen festgestellt (siehe Anhang 7.5.1). Die Konzentrationen an Nitrat, gelöstem Mangan und die Leitfähigkeit nehmen im Verlauf der Ruhr zu, d.h., das Konzentrationsniveau ist in Echthausen niedriger als in Essen und in Mülheim. Die Phosphatkonzentration ist in Essen etwas niedriger als in Echthausen und in Mülheim. In Essen ist die Aluminiumkonzentration (gelöst) deutlich höher als in Mülheim. Hier lagen für Echthausen keine Daten vor.

Abhängigkeit von Wasserführung und –temperatur

Viele Güteparameter der Ruhr weisen im Zeitraum 1995 bis 2004 einen deutlichen, zeitlich abnehmenden Trend auf, der in erster Linie auf den Ausbau der Kläranlagen und, damit verbunden, einen Rückgang der Schadstofffrachten zurückzuführen ist (z. B. Ammonium, Nitrat, Trübung, DOC, Sulfat, einige Schwermetalle) (MUNLV , 2005). Deshalb wurde in den nachfolgenden Abbildungen nur der Verlauf der Messwerte für den Zeitraum 2005 bis 2009 dargestellt, in dem es keinen signifikanten zeitlichen Trend mehr gab, der die Abhängigkeit von Wasserführung und Temperatur überlagern könnte. Außerdem wurden jeweils nur die Messwerte der Probenahmestelle in Mülheim dargestellt, da die anderen Messstellen entweder zu vergleichbaren Ergebnissen führten oder nicht ausreichende Daten von diesen Orten zur Verfügung standen. Die wesentlichen Ergebnisse dieser Auswertung werden im Folgenden erläutert.

Die Trübung steigt bei hoher Wasserführung stark an. In Abb. 2 ist die mittlere Wasserführung der Winterhalbjahre und die Erhöhung dieses Wertes um 20 % infolge von einer prognostizierten Zunahme des Niederschlags um 20 % eingezeichnet. Es wird deutlich, dass sich der Mittelwert der Trübung nicht nennenswert verändern wird. Jedoch muss bei einer Zunahme von Hochwasserereignissen mit Trübungsspitzen gerechnet werden, die aufbereitungstechnisch relevant sind.

Auch die Konzentration an gelöstem Aluminium zeigt eine leicht steigende Tendenz bei höheren Wasserführungen (siehe Abb. 3). Allerdings lagen für diesen Parameter keine Messwerte bei sehr hoher Wasserführung vor, so dass auf eine weitergehende Interpretation verzichtet wird, zumal der Grenzwert der TrinkwV von 0,2 mg/l deutlich unterschritten wird.

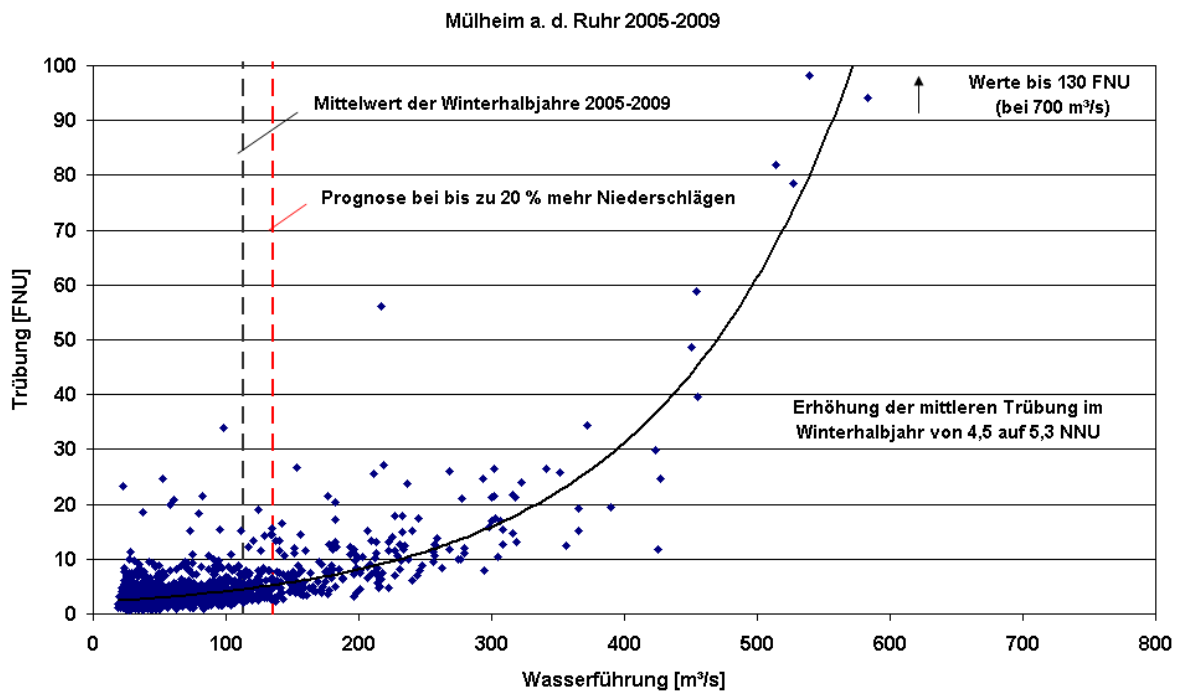


Abb. 2: Trübung in Abhängigkeit von der Wasserführung der Ruhr in Mülheim im Zeitraum 2005 bis 2009

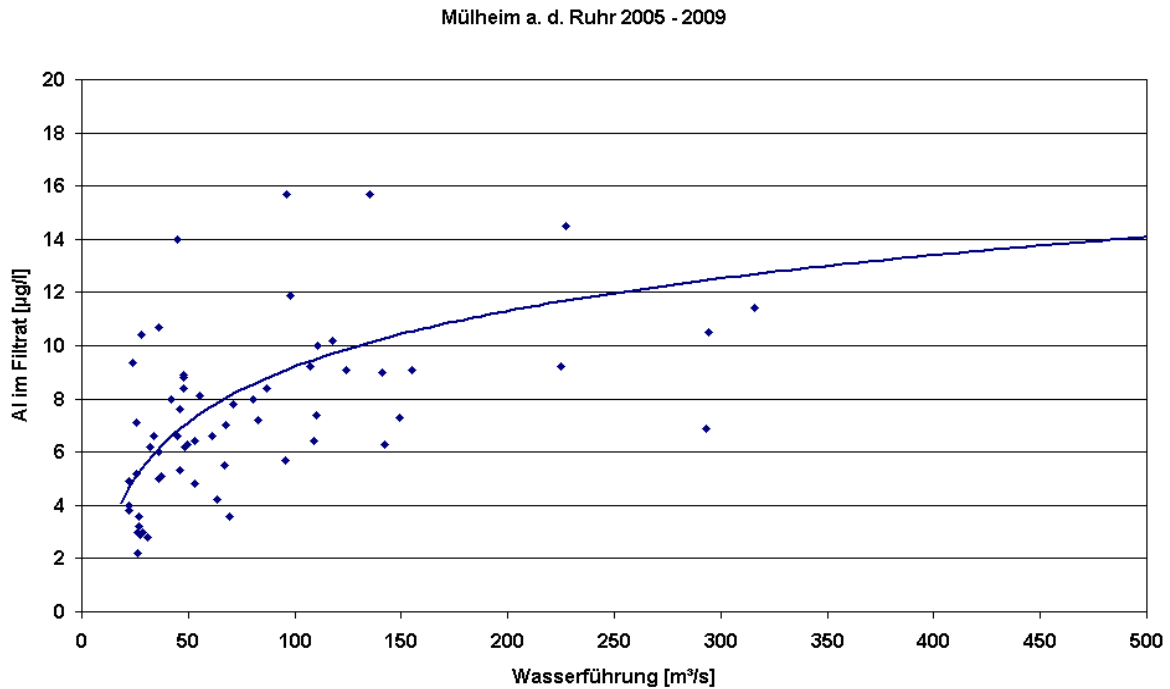


Abb. 3: Gelöstes Aluminium in Abhängigkeit von der Wasserführung der Ruhr in Mülheim im Zeitraum 2005 bis 2009

Die Konzentrationen an DOC, SAK254 und Arsen (gelöst) nehmen mit zunehmender Wassertemperatur zu (siehe Abb. 4 bis Abb. 6). In Abb. 4 wurde die mittlere Temperatur der Sommerhalbjahre und die prognostizierte Erhöhung von im Extremfall 3 °C eingezeichnet. Auch hier wird deutlich, dass hinsichtlich des DOC-Mittelwertes keine schwerwiegenden Veränderungen infolge der Temperaturzunahme zu erwarten sind. Aber eine Zunahme von Hitzeperioden kann ggf. Konzentrationserhöhungen zur Folge haben, die sich auf die Effektivität der Aufbereitung auswirken können. Die Konzentration an gelöstem Arsen wird offensichtlich bei der Bodenpassage nicht verringert, wobei die Konzentrationen deutlich unterhalb des Grenzwerts der TrinkwV von 0,01 mg/l liegen (siehe Abb. 6).

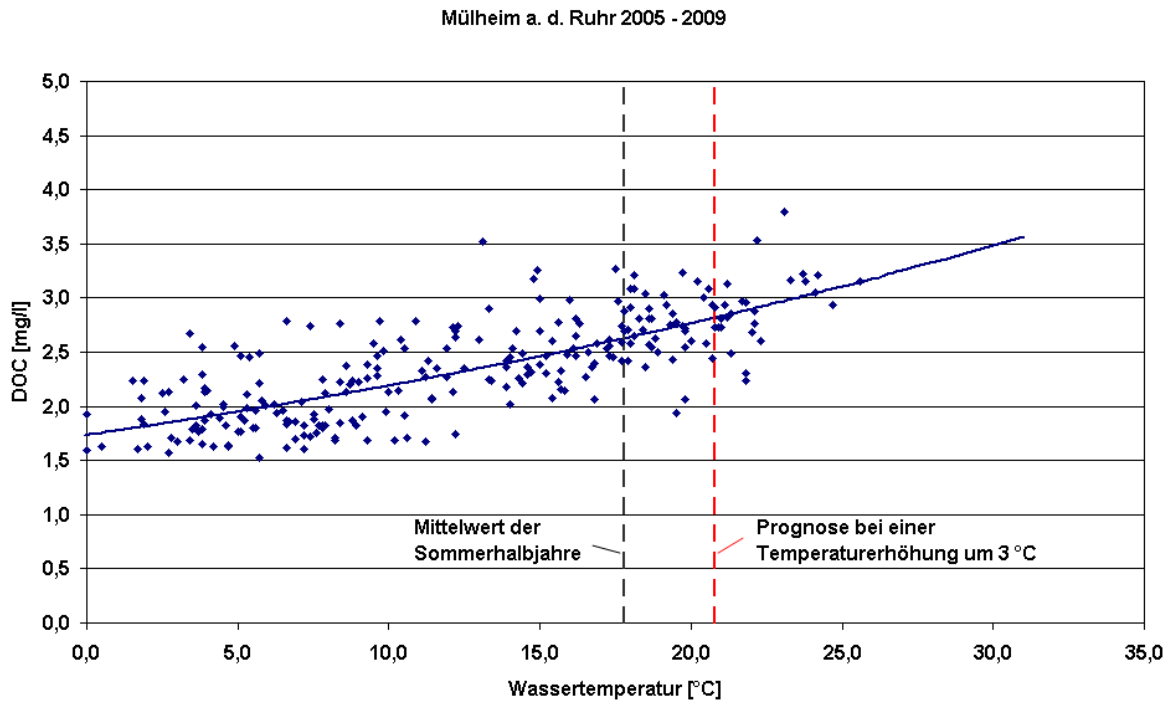


Abb. 4: DOC in Abhängigkeit von der Wassertemperatur der Ruhr in Mülheim im Zeitraum 2005 bis 2009

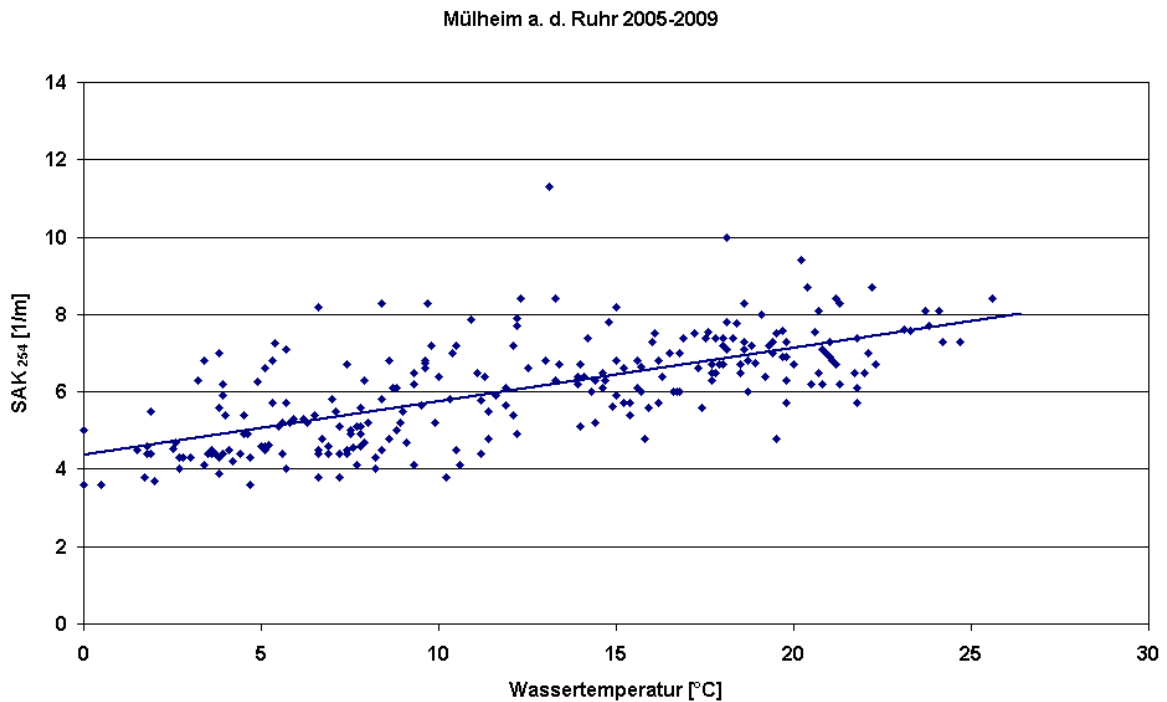


Abb. 5: SAK₂₅₄ in Abhängigkeit von der Wassertemperatur der Ruhr in Mülheim im Zeitraum 2005 bis 2009

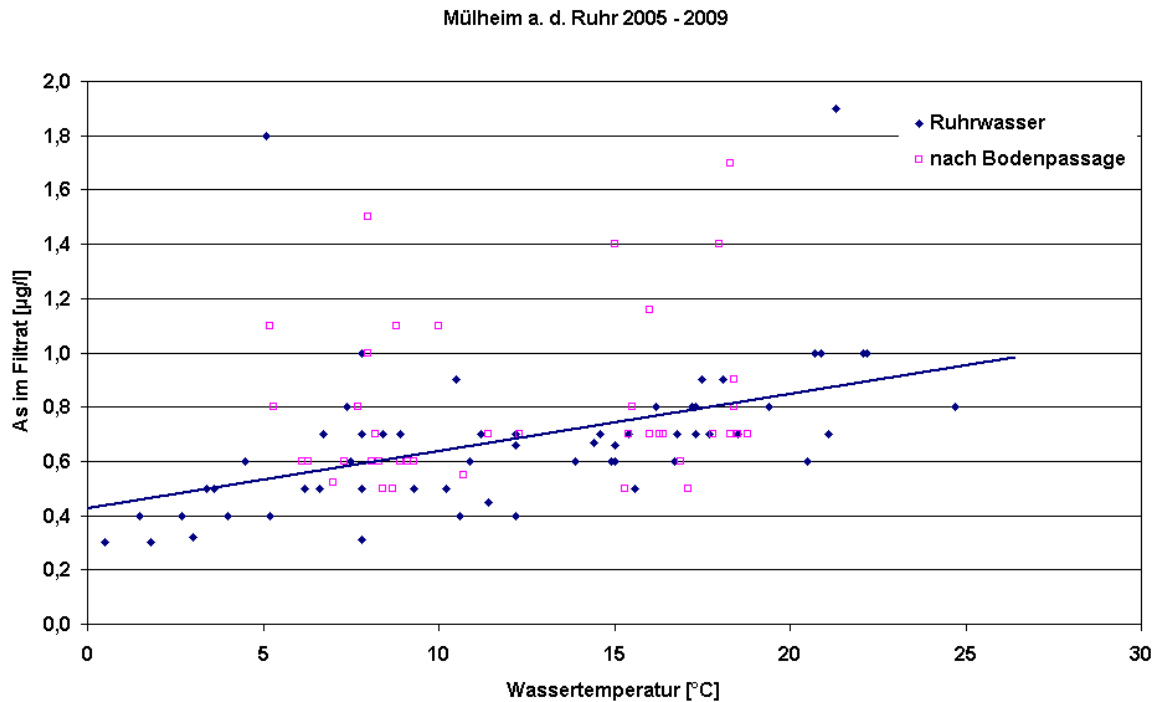


Abb. 6: Gelöstes Arsen in Abhängigkeit von der Wassertemperatur der Ruhr in Mülheim im Zeitraum 2005 bis 2009

Die Anzahl an Messwerten von organischen Spurenstoffen in der Ruhr war größtenteils zu gering, um signifikante Abhängigkeiten von klimatischen Parametern feststellen zu können. Lediglich der Komplexbildner DTPA zeigte eine deutliche Wasserführungsabhängigkeit (vgl. Abb. 7). Mit Hilfe von Modellrechnungen konnte jedoch auch die Konzentration ausgewählter Arzneimittelstoffe und Röntgenkontrastmittel in Abhängigkeit von der Wasserführung näherungsweise prognostiziert werden. Die Berechnungen basieren auf dem einwohnerspezifischen Verbrauch sowie auf Faktoren für Ausscheidungen, Einleitungen, Abbau in Kläranlagen und im Gewässer. In Abb. 8 wurden sowohl die berechneten als auch die gemessenen Werte für Carbamazepin und Amidotrizoesäure, die eine recht gute Übereinstimmung zeigen, dargestellt. Es wird deutlich, dass bei extremem Niedrigwasser mit Konzentrationen gerechnet werden muss, die höher sind als die gesundheitlichen Orientierungswerte für Trinkwasser, insbesondere wenn Zielwerte von $\leq 0,1 \mu\text{g/l}$ angestrebt werden. Besondere Aufmerksamkeit gilt diesen Stoffen vor allem deshalb, weil sie weder in der Bodenpassage noch mit anderen naturnahen Aufbereitungsverfahren entfernt werden können.

Mülheim a. d. Ruhr 1999 - 2009

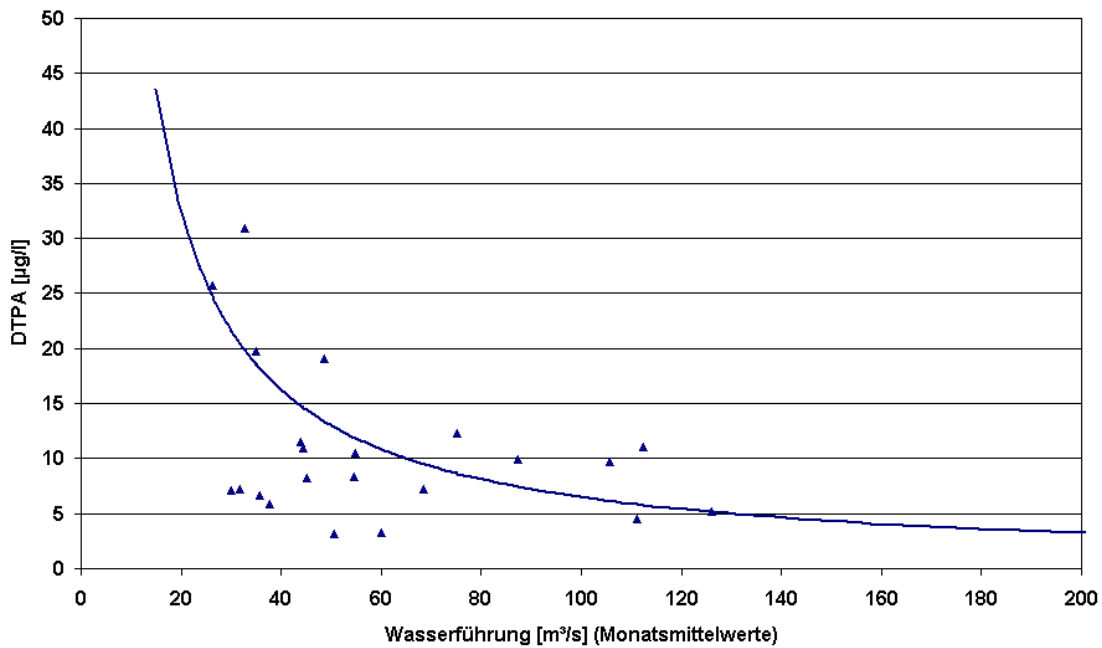


Abb. 7: DTPA in Abhängigkeit von der Wasserführung der Ruhr in Mülheim im Zeitraum 2005 bis 2009

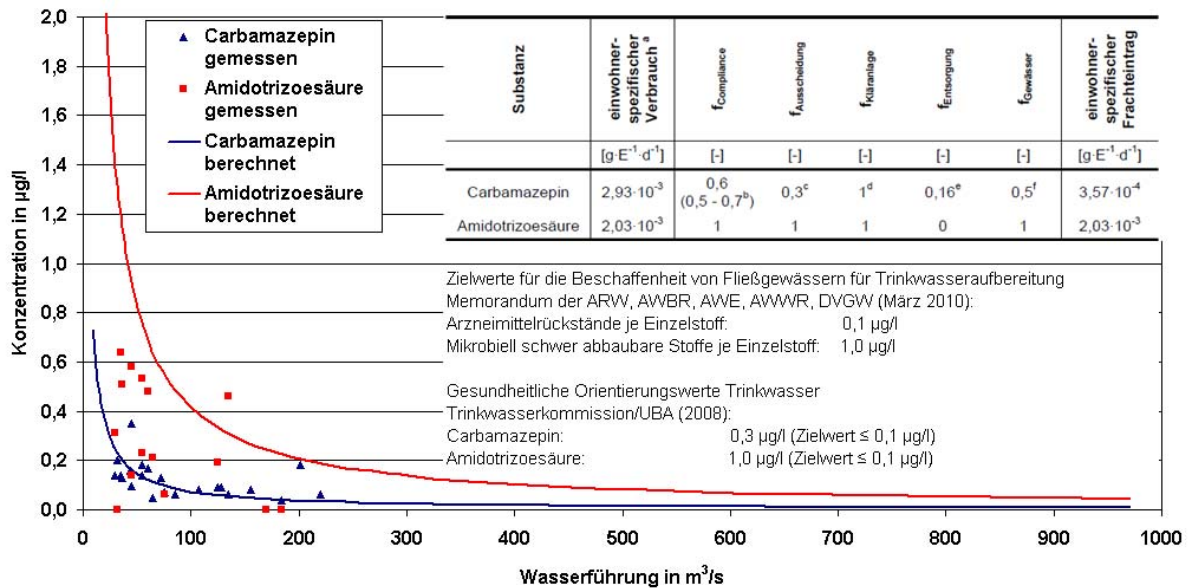


Abb. 8: Carbamazepin und Amidotrizoesäure in Abhängigkeit von der Wasserführung der Ruhr in Mülheim im Zeitraum 2005 bis 2009

Die Parameter Leitfähigkeit, Bromid, Sulfat, Natrium, Kalium, Kupfer und Nickel nehmen zu, wenn die Wasserführung abnimmt und die Temperatur ansteigt (vgl. Anhang 7.5.2). Sie könnten demnach besonders in trockenen, warmen Sommern bzw. in Hitzeperioden erhöhte Konzentrationen im Ruhrwasser erwarten lassen. Teilweise ist hinter der Temperaturabhängigkeit der Einfluss des Abflusses letztlich entscheidend, weil hohe Wassertemperaturen meistens mit niedriger Wasserführung einhergehen und die Konzentrationen somit aufgrund der fehlenden Verdünnung ansteigen.

Die meisten dieser Parameter werden in der Bodenpassage nicht eliminiert und weisen nach der Bodenpassage teilweise noch etwas höhere Werte auf als im Ruhrwasser (siehe Anhang 7.5.3).

Ob die zu erwartenden Konzentrationen auch wie bisher deutlich unterhalb der Grenzwerte der TrinkwV liegen werden, kann aber erst nach Vorliegen von genauen Prognosen zur Entwicklung und Dauer von Trockenperioden abgeschätzt werden. Hohe Konzentrationen an Bromid können zur Bildung von Bromat bei der Wasseraufbereitung mittels Ozonung führen, was ggf. zu einer Einschränkung der Aufbereitung hinsichtlich des Einsatzes dieses Verfahrens führen kann. Der Grenzwert der TrinkwV für Bromat liegt bei 10 µg/l. Dieser könnte theoretisch bei niedrigen Wasserführungen infolge der Ozonung überschritten werden. RWW begegnet dieser Problematik durch eine optimierte und zielgerichtete Ozondosierung, so dass der Grenzwert trotz stark schwankender Bromid-Konzentrationen im Rohwasser bisher immer deutlich unterschritten werden konnte (siehe Abb. 9).

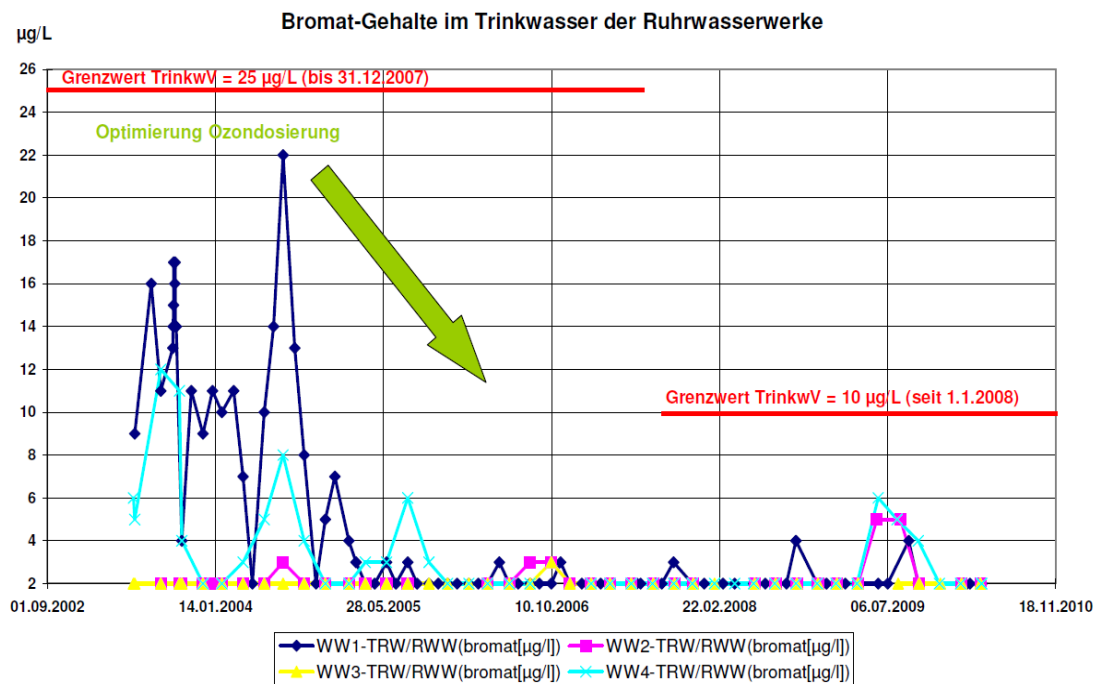


Abb. 9: Bromatgehalte im Trinkwasser der Ruhrwasserwerke (RWW, 2010a)

5. Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der Literaturrecherche und die Erfahrungen der Wasserversorger zeigen, dass die deutsche Trinkwasserversorgung der Gefahr von nicht unerheblichen quantitativen und qualitativen Beeinträchtigungen infolge des Klimawandels ausgesetzt sein kann. Auf die Wasserversorgung wird dabei nichts gänzlich Unbekanntes zukommen, sondern es handelt sich in der Regel um Phänomene, mit deren Umgang bereits Erfahrungen vorliegen. Diese können aber gehäuft oder verstärkt auftreten, z. B. Trockenperioden, Hitzewellen, Hochwässer und Starkregenereignisse.

Auch wenn die Aussagen zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die Trinkwasserversorgung noch mit sehr vielen Unsicherheiten behaftet sind, ist die rechtzeitige Entwicklung von Anpassungsstrategien notwendig, um die Verwundbarkeit der Wasserversorgung durch Klimaveränderungen vorsorglich zu verringern. Es gilt deshalb, mögliche Auswirkungen frühzeitig abzuschätzen, Schwachstellen zu identifizieren und ggf. erforderliche Anpassungsmaßnahmen zu ergreifen.

Ob durch eine dauerhafte oder zeitliche begrenzte Verringerung des Wasserdargebots in Trockenperioden eine kritische Situation bei den Wasserversorgern in der Emscher-Lippe-Region entstehen

kann, hängt von einer Vielzahl lokaler Faktoren ab und muss individuell geprüft werden. Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass in Teilen des Ruhrgebietes ein Bevölkerungsrückgang zu verzeichnen ist, der zu einem Rückgang des Wasserverbrauchs führt. Damit könnten sich Probleme eines geringeren Wasserdargebots relativieren (Petry, 2009). In Regionen, die mit einer Zunahme des Wasserbedarfs rechnen müssen, könnte der Ausbau von Versorgungsredundanzen erforderlich werden.

Auch wenn Veränderungen der Rohwasserqualität noch nicht quantifiziert wurden, müssen sich die Wasserversorger in der Emscher-Lippe-Region in erster Linie auf stärkere Konzentrationsschwankungen einstellen. Der Stärkung des Multibarrierensystems und der Flexibilisierung von Aufbereitungsstufen kommen in diesem Zusammenhang große Bedeutung zu, um negative Auswirkungen und Risiken für die Trinkwasserversorgung zu reduzieren. Die kurzfristigen Anpassungsmöglichkeiten im laufenden Betrieb der einzelnen Anlagen sollten deshalb kritisch überprüft und ggf. verbessert werden.

Es wird empfohlen, neue Erkenntnisse bzgl. des Anpassungsbedarfs in Planungs- und Entscheidungsprozesse der Wasserversorger zu integrieren und möglichst flexible Maßnahmen durchzuführen. Sie sollten die mögliche Entwicklung der nächsten Jahrzehnte berücksichtigen, aber auch den Unsicherheiten Rechnung tragen und bei neuen Erkenntnissen in der Klimaforschung anpassbar sein, indem z. B. Möglichkeiten zum Nachrüsten offen gelassen werden (Hennegriff u. Kolokotronis, 2007).

Aktuellen Handlungsbedarf sehen die Wasserversorger in der Projektregion vorrangig im Hochwasserschutz aufgrund negativer Erfahrungen in der Vergangenheit. Gefährdete Gewinnungs-, Aufbereitungs- und Verteilungsanlagen sollten dahingehend überprüft werden, ob die Schutzmaßnahmen auch bei häufigeren und extremeren Hochwasserereignissen noch ausreichend sind.

6. Literaturverzeichnis

- Battarbee R. (2006): Climate change and projection on water quality changes in Europe Aquatic ecosystem responses to climate change: past, present and future. International Workshop: Climate Change Impacts on the Water Cycle, Scientific and policy report, Brüssel, European Commission
- BDEW (2007): Stellungnahme zur Anpassung an den Klimawandel in Europa – Optionen für Maßnahmen der EU. <http://www.bdew.de>
- Berliner Wasserbetriebe (2010): Internetseite der Berliner Wasserbetriebe www.bwb.de, Stand: 01/2010
- Berthold G., Hergesell M. (2005): Flächendifferenzierte Untersuchungen zu möglichen Auswirkungen einer Klimaänderung auf die Grundwasserneubildung in Hessen. Abschlussbericht für den Bereich Grundwasser. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie
- BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2009): Dem Klimawandel begegnen. Die Deutsche Anpassungsstrategie, Berlin
- Bogdal Ch. et al. (2009): Blast from the Past: Melting Glaciers as a Relevant Source for Persistent Organic Pollutants. In: Environmental Science & Technology 43 (21), pp 8173–8177
- Bucher B. (2007): Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf Grundwasser und Wasserversorgung im Bereich des Erftverbandes. 20. Mülheimer Wassertechnisches Seminar „Folgen des Klimawandels für die Wasserwirtschaft. Herausforderungen und Lösungen“. IWW-Rheinisch Westfälisches Institut für Wasserforschung gGmbH
- Butscher Ch., Huggenberger P. (2009): Modeling the Temporal Variability of Karst Groundwater Vulnerability, with Implications for Climate-Change. Environ. Sci. Technol. 43, No. 6, 1665-1669
- Connor J. et al. (2008): Integrated systems evaluation of climate change and future adaptation strategies for the Lower River Murray, Australia. 2nd International Salinity Forum: Salinity, water and society - global issues, local action
- Dachs J. et al. (2006): Impacts of climate change on cycling, accumulation and feedbacks of chemicals in aquatic ecosystems. International Workshop: Climate Change Impacts on the Water Cycle, Scientific and policy report, Brüssel, European Commission
- Eckert P., Lamberts R., Irmischer R. (2006): Einfluss extremer Niedrigwasserereignisse im Rhein auf den Betrieb einer Heberbrunnenanlage. energie | wasser-praxis 12 – DVGW Jahresrevue
- Eckert P., Lamberts R., Wagner C. (2008): The impact of climate change on drinking water supply by riverbank filtration. Water Science and Technology, vol. 8, no 3
- EUWID (2009): Neuer „Wasseratlas“ zeigt gravierende Folgen des Temperaturanstiegs auf. Europäischer Wirtschaftsdienst Wasser und Abwasser, Wa Nr. 33, S. 3
- EUWID (2009b): Im Südwesten verstärkte Folgen des Klimawandels zu erwarten. Europäischer Wirtschaftsdienst Wasser und Abwasser, Wa Nr. 50, S. 14
- Gaese H. (2006): Technology, Resource Management and Development. Tagungsband Wasser Berlin 2006. Institut für Technologie- und Ressourcenmanagement, FH Köln
- Gross-Wittke A., Gunkel G., Hoffmann A. (2010): Temperature effects on bank filtration: redox conditions and physical-chemical parameters of pore water at Lake Tegel, Berlin, Germany. IWA Publishing 2010. Journal of Water and Climate Change, S. 55-66

- Haakh F. (2007): Klimawandel und Wasserversorgung - Im Fokus: Wasserdargebot und Wasserqualität. Vortrag, 18. Oktober 2007, DVGW, Bonn
(http://www.lw-online.de/fileadmin/downloads/service_fachbeitraege/10_07_Haakh_-_Vortrag_DVGW.pdf)
- Harzwasserwerke (2010): Internetseite der Harzwasserwerke GmbH www.harzwasserwerke.de,
Stand: 01/2010
- Hennegriff W., Kolokotronis V. (2007): Methodik zur Ableitung von Klimaänderungsfaktoren für Hochwasserkennwerte in Baden-Württemberg. WaWi Wasserwirtschaft 9, 31-35
- Hessenwasser (2010): Internetseite der Hessenwasser GmbH & Co. KG www.hessenwasser.de,
Stand: 01/2010
- IWA Specialist Group on Climate Change and Adaptation (2008): Oktober 2008 Newsletter
- Kämpf M. et al. (2008): Auswirkungen des Klimawandels auf eine nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung. Energie | wasser-praxis 1, 49-53
- Kaulisky A. (2007): Konsequenzen höherer Temperaturen auf Talsperren. Oberseminar Geoökologie SS 2007, Technische Universität Bergakademie Freiberg (pdf)
- Köster S. (2008): Die deutsche Trinkwasserversorgung im (Klima-)Wandel. GWF Wasser-Abwasser 149, Nr. 3, 200-206
- LGL (2005): Klimaveränderung in Bayern. Gesundheitliche Folgen und Perspektiven. Bericht des Bayerischen Landesamtes für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit
- Lindner W. (2007): Klimawandel in Mitteleuropa und seine Auswirkungen auf die Sanierung der Wasserinfrastruktur. Europäische Fachmesse und -tagung der Wasserwirtschaftsinitiative Nordrhein-Westfalen (WWI) REHATEC-WI zum Thema Sanierung der Wasserinfrastruktur 2007, Duisburg., Präsentation, Erft-Verband
- Medellín-Azuara J. et al. (2007): Adaptability and adaptations of California's water supply system to dry climate warming. Climatic Change 87 (Suppl 1): S75-S90
- MUNLV (2005) Entwicklung und Stand der Abwasserbeseitigung in Nordrhein Westfalen, Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf 2005
- MUNLV (2008): Klimawandel in Nordrhein-Westfalen - Wege zu einer Anpassungsstrategie. Studie des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen
- MUNLV (2009): Anpassung an den Klimawandel. Eine Strategie für Nordrhein-Westfalen. Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen
- Nillert P. et al. (2008): Auswirkungen der regionalen Klimaentwicklung auf die Wasserversorgung am Beispiel Wasserwerk Potsdam Leipziger Straße. GWF-Wasser-Abwasser, 12, 948-955
- Petry D. (2009): Klimawandel und Trinkwasserversorgung: Auswirkungen, Handlungsbedarf, Anpassungsmöglichkeiten. energie | wasser-praxis 10, 48-54
- RWW (2010): Präsentation auf einem internen Workshop im Februar 2010 im IWW
- RWW (2010a): RWW-Laborbuch
- Schetula, V. et al. (2008): Auswertung des Gruppendelphis: „Handlungs- und Planungsziele für die Anpassung der Wasserwirtschaft an die Klimafolgen“ im Auftrag des Umweltbundesamt, Dessau

- Sieber, H.-U. (2002): Auswirkungen des Extremhochwassers vom August 2002 auf die Sicherheit der Talsperren, Hochwasserrückhaltebecken und Wasserspeicher der Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen - eine erste Einschätzung. Internetseite Deutsches TalsperrenKomitee e. V. www.talsperrenkomitee.de, Stand 01/2010
- Simon S. (2009): Wasserversorgung in der Region des Erftverbandes – Sind Auswirkungen durch den Klimawandel zu erwarten? Vortrag, 39. IWASA Internationales Wasserbau Symposium Aachen
- Slavik I., Uhl W. (2009): Analysing water quality changes due to reservoir management and climate change for optimization of drinking water treatment. Water Science & Technology: Water Supply, Vol 9 No 1, 99–105
- Stadtwerke Essen AG (2009I): Internetseite www.trinkwasserverbundsystem.de, Stand: 01/2010
- Strachan W.V., Hackney P.A., Anderson J.M. (2008): Living with climate change adapting to global warming impacts on Australian water supplies. Beitrag zum World Water Congress and Exhibition
- UFZ - Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (2008): Deutsche Anpassungsstrategie (DAS) an den Klimawandel. Bericht zum Nationalen Symposium zur Identifizierung des Forschungsbedarfs in Leipzig
- Winkler U. (2007): Die Talsperrenbewirtschaftung im Spannungsfeld von Trockenperioden und Hochwasserereignissen. Bericht der Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen, <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/klima/1304.htm>
- Wupperverband (2008): Wupperverband erweitert sein Hochwasserschutzkonzept. Pressemitteilung vom 30.01.2008 auf der Internetseite www.wupperverband.de, Stand 02/2010
- Zebisch, M. et al. (2005): Klimawandel in Deutschland. Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung. Hrsg.: Umweltbundesamt

7. Anhang

7.1 Schlagwortliste

Schlagwörter	key words
Klima	climate
Wasser	water
(Wetter)extreme	extreme events
Abwasser	waste water, effluents, sewage, sullage
Anpassungsstrategien	adaption strategies
Bewirtschaftungskonzepte	Management concepts
Brunnenkapazität	well capacity
Gewässergüte	water quality
Grundwasserneubildung	natural replenishment
Hochwasser	flood, floodwaters
Hochwasserschutz	flood protection
Klimawandel	climate change
konkurrierende Nutzungen	competing use
Multibarrierensystem, Multibarrierenprinzip	multi-barrier system
Niedrigwasser	low water
Qualitätsschwankungen	variations in quality
Risikoversorge	protection against risk, provision for risks, risk management
Rohwasserqualität (Veränderungen)	water quality
Temperaturabhängigkeit (technische Prozesse)	temperature dependency
Trinkwasseraufbereitung	drinking water treatment
Uferfiltration	riverbankfiltration
Versorgungsnetze	grids
Versorgungssicherheit	security of supply
Wasseraufbereitung	water treatment
Wassergewinnung	water catchment
Wasserhaushalt	water supply, water economy
Wasserinfrastruktur	water infrastructure
Wassermanagement	water resource management
Wasserproduktion	drinking water production
Wasserressourcen	water resources
Wassersysteme	water systems
Wasserversorgung	water supply
Wasserverteilung	water distribution
Wasserwirtschaft	water management

7.2 Liste der Wasserversorger

versorgte Einwohner 2005	Wasserversorgungsunternehmen	Anpassungen an den Klimawandel auf Homepage genannt
3.391.000	Berliner Wasser Betriebe (BWB) Anstalt des öffentlichen Rechts (AöR)	x
2.600.000	Gelsenwasser AG	
1.924.000	Hamburger Wasserwerke GmbH	
1.348.000	Stadtwerke München GmbH	
1.125.000	GEW RheinEnergie AG	
898.000	Oldenburgisch-Ostfriesischer Wasserverband OOWV	
825.000	RWW Rheinisch Westfälische Wasserwerksgesellschaft mbH	
666.000	Stadtwerke Hannover AG	
652.000	Mainova AG	
615.000	Dortmunder Energie- und Wasserversorgung GmbH (DEW)	
615.000	Stadtwerke Düsseldorf AG	
598.000	Stadtwerke Leipzig GmbH	
584.000	Stadtwerke Essen AG	
544.000	swb Vertrieb Bremen GmbH	
510.000	DREWAG - Stadtwerke Dresden GmbH	
501.000	Stadtwerke Duisburg AG	
498.000	N-ERGIE Aktiengesellschaft	
378.000	Stadtwerke Bochum GmbH	
369.000	MIDEWA Wasserversorgungsgesellschaft in Mitteldeutschland mbH	
362.000	Wuppertaler Stadtwerke AG	
340.000	MVV Energie AG	
332.000	Energie und Wasserversorgung Bonn/Rhein-Sieg GmbH	
314.000	Stadtwerke Bielefeld GmbH	
311.000	EURAWASSER Nord GmbH	
306.000	Hallesche Wasser u. Abwasser GmbH	
298.000	Stadtwerke Karlsruhe GmbH	
294.000	Stadtwerke Kiel AG	
292.000	Stadtwerke Augsburg Holding GmbH	
279.000	Stadtwerke Münster GmbH	
274.000	badenova AG & Co. KG	
270.000	enwor- energie & wasser vor ort GmbH	
263.000	NVV AG	
261.000	Zweckverband Wasser u. Abwasser Vogtland	
259.000	Stadtwerke Aachen AG STAWAG	
248.000	Regionaler Zweckverband Wasserversorgung Bereich Lugau-Glauchau	
248.000	Wasserverband Peine	

versorgte Einwohner 2005	Wasserversorgungsunternehmen	Anpassungen an den Klimawandel auf Homepage genannt
246.000	ESWE Versorgung AG	
245.000	Stadtwerke Chemnitz AG	
240.000	Braunschweiger Versorgungs-AG (BS-Energy)	
239.000	Stadtwerke Mainz AG	
237.000	SWK Aqua GmbH	
233.000	ThüWa ThüringenWasser GmbH	
227.000	Wasserwerke Zwickau GmbH	
212.000	Städt. Werke AG Kassel	
210.000	Kreiswerke Grevenbroich GmbH	
172.000	Wasserversorgung Herne GmbH	
172.000	E.ON Westfalen Weser AG	
166.000	Erzgebirge Trinkwasser GmbH (ETW)	
166.000	Wasserversorgungsverband Tecklenburger Land	
165.000	Wasserversorgung Rheinhessen GmbH	
154.000	Zweckverband Wasser/Abwasser Mittleres Elstertal	
142.000	Zweckverband Wasserwerke West erzgebirge	
141.000	Energie und Wasser Potsdam GmbH	x
136.000	Zweckverband Wasser/Abwasser Mittleres Erzgebirgevorland	
129.000	Zweckverband JenaWasser	
128.000	Wasserverband Gifhorn	
127.000	Trinkwasserverband Stader Land	
126.000	Osthavelländische Trinkwasserversorgung und Abwas- ser	
123.000	Zweckverband Gruppenwasserwerk Dieburg	
	Zweckverband Landeswasserversorgung Stuttgart	x
	Harzwasserwerke GmbH	x
	Hessenwasser	x

7.3 Teilnehmerkreis Workshops

Workshop mit Wasserversorgungsunternehmen, Verbände und Institutionen aus dem Versorgungsgebiet der Emscher-Lippe-Region

- RWW Rheinisch-Westfälische Wasserwerksgesellschaft mbH
- Wasserwerke Westfalen GmbH
- Ruhrverband
- Stadt Mülheim/Klimainitiative
- sfs Sozialforschungsstelle Dortmund
- RUFIS Ruhr-Forschungsinstitut für Innovations- & Strukturpolitik e.V.
- Institut für Wasserforschung GmbH Dortmund (IfW)
- IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung gemeinnützige GmbH

Workshop mit Wasserversorgungsunternehmen, Verbände und Institutionen aus Luxemburg

- ALUSEAU Association Luxembourgeoise des Services d'Eau.
- DEA Distribution d'Eau des Ardennes
- SEBES Syndicat des Eaux du Barrage d'Esch-sur-Sûre
- SES Syndicat des Eaux du Sud Koerich
- VdL Ville de Luxembourg
- CRP Centre de Recherche Public Gabriel Lippmann
- CRP Centre de Recherche Public Henri Tudor
- Wasserwirtschaftsverwaltung
- IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung gemeinnützige GmbH

7.4 Fragen zur Vorbereitung der Workshops

1. Einzugsgebiet

- Haben Sie sich schon mit Prognosen zum Klimawandel für das Einzugsgebiet der WWW befasst? Welche Modelle wurden ggf. verwendet?
- Sind konkurrierende Nutzungen vorhanden und nehmen ggf. an Bedeutung zu? (z.B. Landwirtschaft, Kühlwasser)
- Sind Veränderungen / Anpassungen der Kooperationsvereinbarungen mit der Landwirtschaft zu erwarten?
- Gibt es schon Beobachtungen/Erfahrungen im Hinblick auf:
 - unzureichender Grundwasserneubildung in längeren Trockenperioden
 - Einschränkungen bei der Wasserentnahme aufgrund von extrem niedriger Wasserführung von Oberflächengewässern
 - Probleme mit Talsperren in Zeiten mit Spitzenbedarf
 - Probleme mit der Versalzung von Aquiferen

2. Gewinnung

- Gibt es schon Beobachtungen/Erfahrungen bzgl.:
 - Problemen mit den Gewinnungsanlagen infolge von Hochwasser
 - Problemen mit Brunnenpumpen infolge sinkender Grundwasserspiegel

- unzureichender Pumpenleistung in längeren Zeiten des Spitzenwasserbedarfs
- Gibt es besonders sensible Wasserfassungen, die aus kleinen, oberflächennahen Einzugsgebieten gespeist werden (Versorgunginseln)?
- Wie reagiert die Wassergewinnung auf den Ausfall einzelner Gewinnungsgebiete (z. B. in längeren Trockenperioden)?
- Mit welchen Problemen rechnen die Sie zukünftig?

3. Aufbereitung

Qualitätsveränderungen des Rohwassers

Gibt es schon Beobachtungen zu kurzfristigen oder allmählichen Qualitätsveränderungen des Rohwassers, die mit dem Klimawandel in Zusammenhang gebracht werden?

- Winter, Hochwasser: mehr Schadstoffe durch Abschwemmungen, Auslaugung von Schadstoffen und Verlagerung ins Grundwasser durch verstärkte Grundwasserneubildung, geringere Konzentrationen infolge Verdünnung
- Sommer, Trockenperioden: höhere Schadstoffkonzentrationen bei niedriger Wasserführung
- Welche Schadstoffe haben Probleme bereitet (Krankheitserreger, Pestizide, Nitrat, Algen)? Verschärfung der Nitratproblematik?

Mit welchen Veränderungen rechnen Sie zukünftig?

Temperaturerhöhung des Rohwassers

Liegen hierzu evtl. schon Messdaten über einen längeren Zeitraum vor, anhand derer ein Trend erkennbar ist? Gibt es geeignete Messstellen?

Auswirkungen auf den Aufbereitungsprozess

- Werden Auswirkungen befürchtet? An welchen Stellen?
- Gibt es möglicherweise schon Erfahrungen, wie sich höhere Stoffkonzentrationen in den Oberflächengewässern und häufigere Hochwässer auf die Reinigungsleistung einer Uferpassage auswirken?
- Wurden schon Auswirkungen einer höheren Rohwassertemperatur beobachtet, z. B.:
 - mikrobiologische Probleme
 - schlechtere Sauerstoffbedingungen
 - Probleme bei der Filtrerrückspülung aufgrund einer geringeren Viskosität des Wassers
- Wird ein betrieblicher Mehraufwand aufgrund höherer Zugabemengen von Chemikalien (Flockungsmittel, Desinfektionsmittel) sowie mehr Spülwasser erwartet?

4. Verteilung

- Expecten Sie zeitweise eine stärkere Wiederverkeimungsneigung im Verteilungsnetz und in Hochbehältern infolge höherer Temperaturen?
- In Trockenperioden kann es durch Austrocknung der Böden verstärkt zu Rohrbrüchen kommen (Landeswasserversorgung von Baden-Württemberg, 2003). Gibt es solche Erfahrungen auch bei Ihnen?
- Ist das Verteilungsnetz ausreichend abgesichert gegen extremes Hochwasser?
- Werden weitere Auswirkungen auf das Verteilungsnetz erwartet?

7.5 Ruhrqualitätsparameter

7.5.1 Langzeitganglinien an drei Probenahmestellen im Verlauf der Ruhr

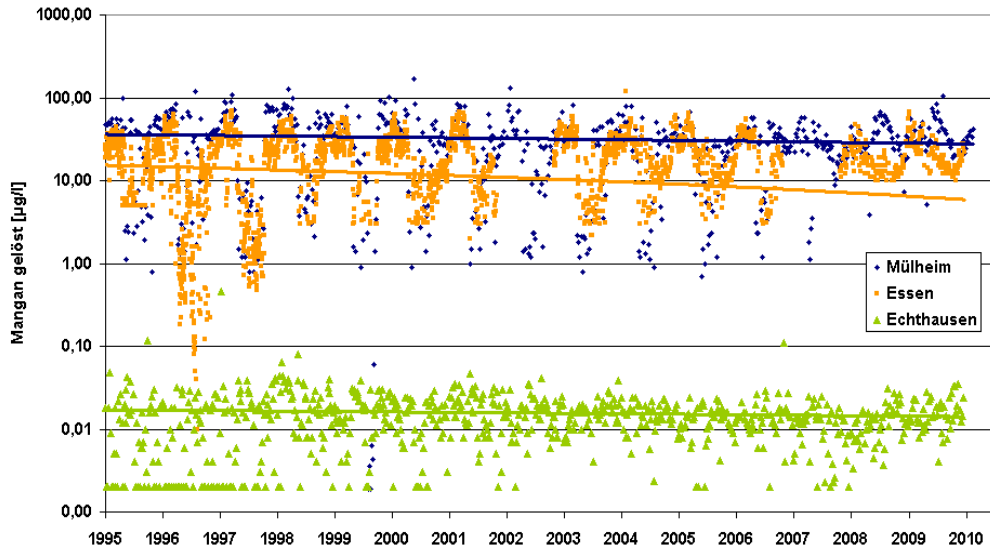


Abb. 10: Langzeitganglinien für gelöstes Mangan in der Ruhr an drei Probenahmestellen

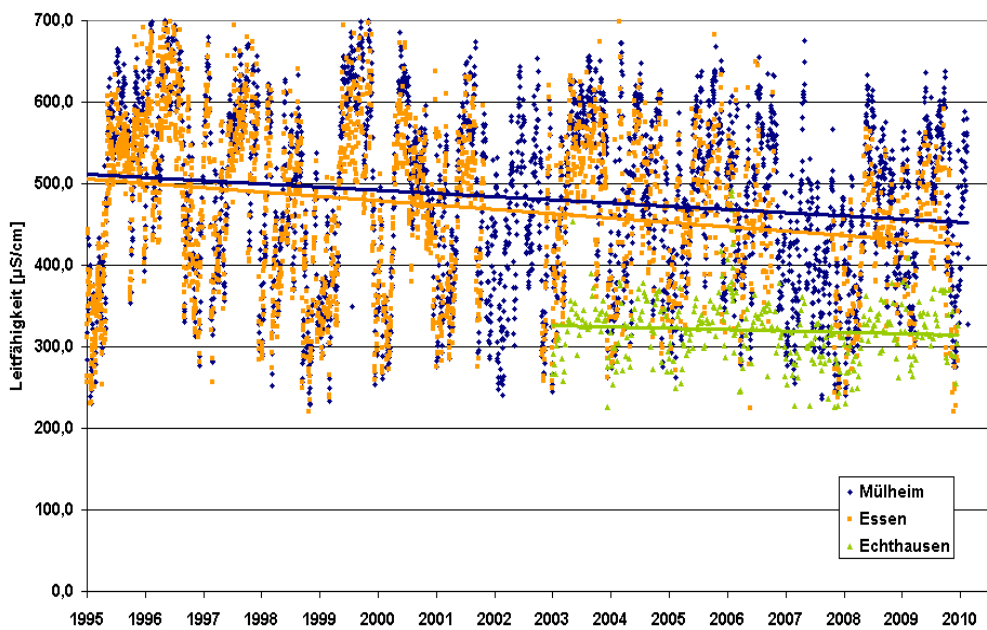


Abb. 11: Langzeitganglinien für die Leitfähigkeit in der Ruhr an drei Probenahmestellen

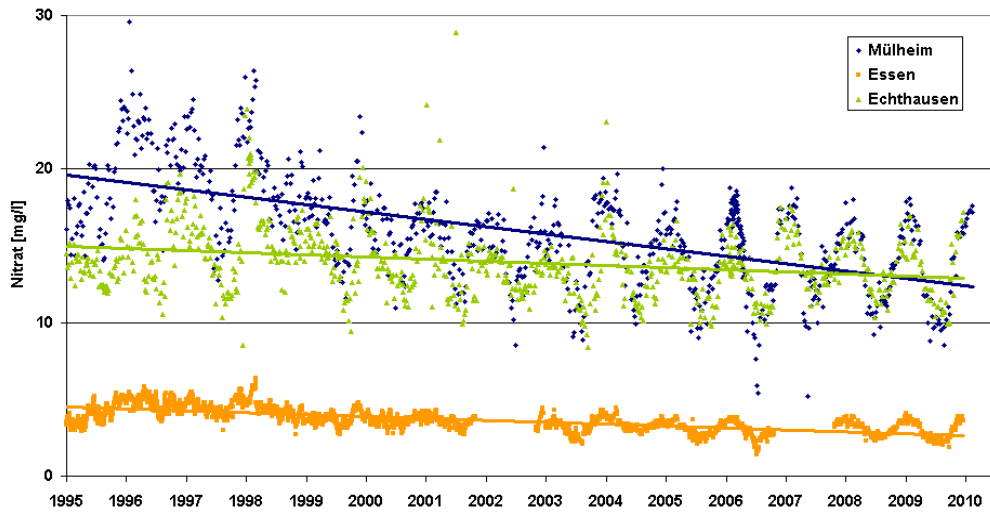


Abb. 12: Langzeitganglinien für Nitrat in der Ruhr an drei Probenahmestellen

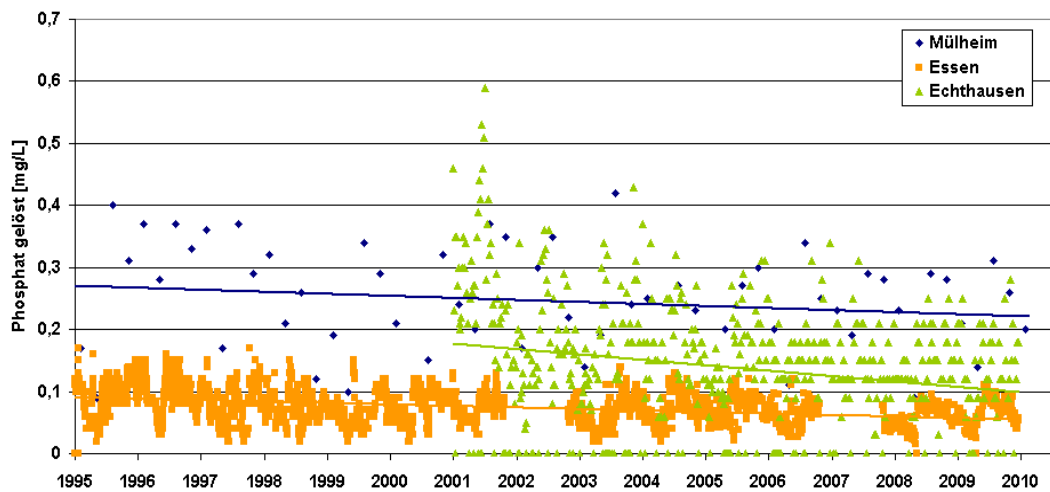


Abb. 13: Langzeitganglinien für gelöstes Phosphat in der Ruhr an drei Probenahmestellen

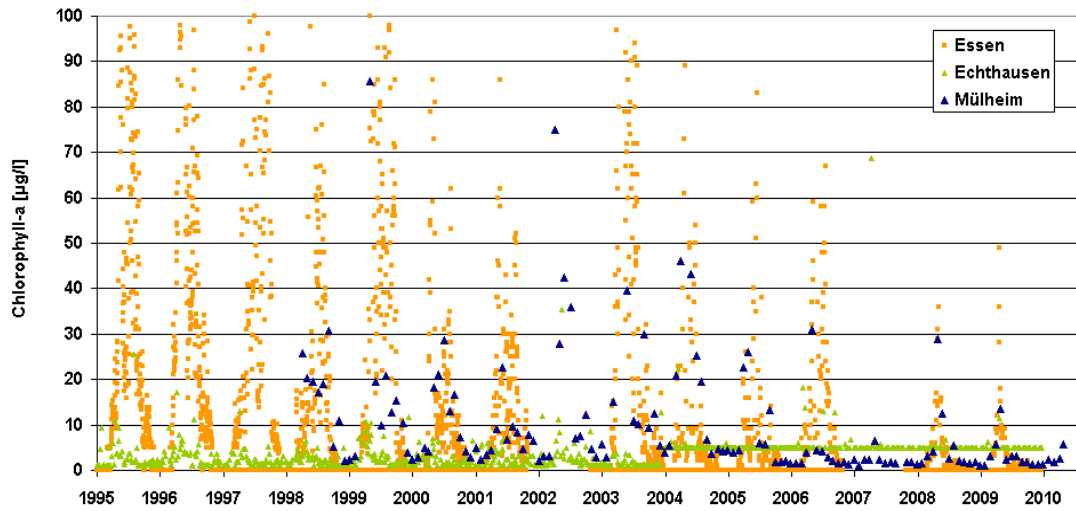


Abb. 14: Langzeitganglinien für Chlorophyll-a in der Ruhr an drei Probenahmestellen

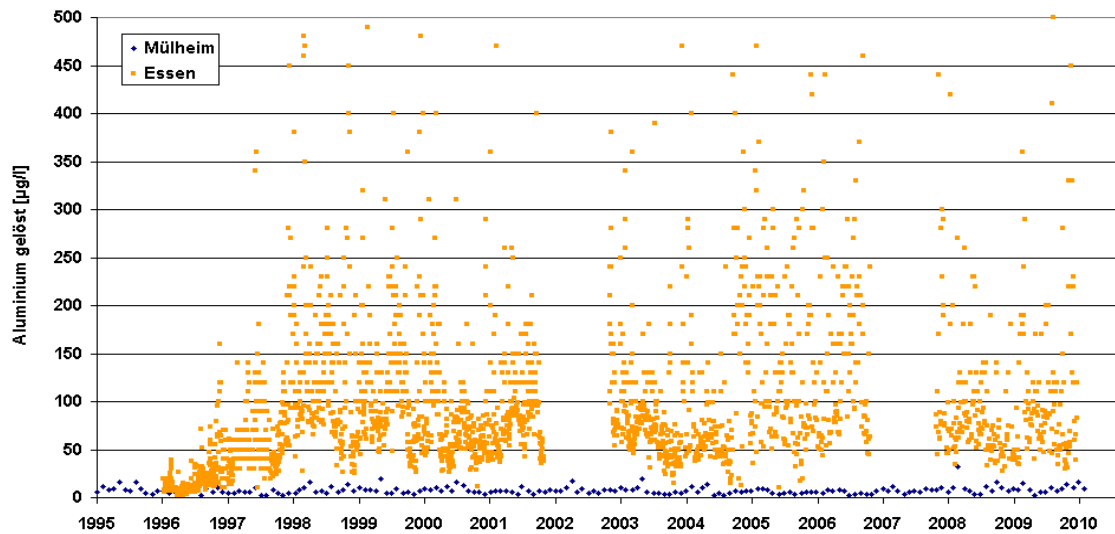


Abb. 15: Langzeitganglinien für gelöstes Aluminium in der Ruhr an zwei Probenahmestellen

7.5.2 Wasserführungs- und Temperaturabhängigkeit

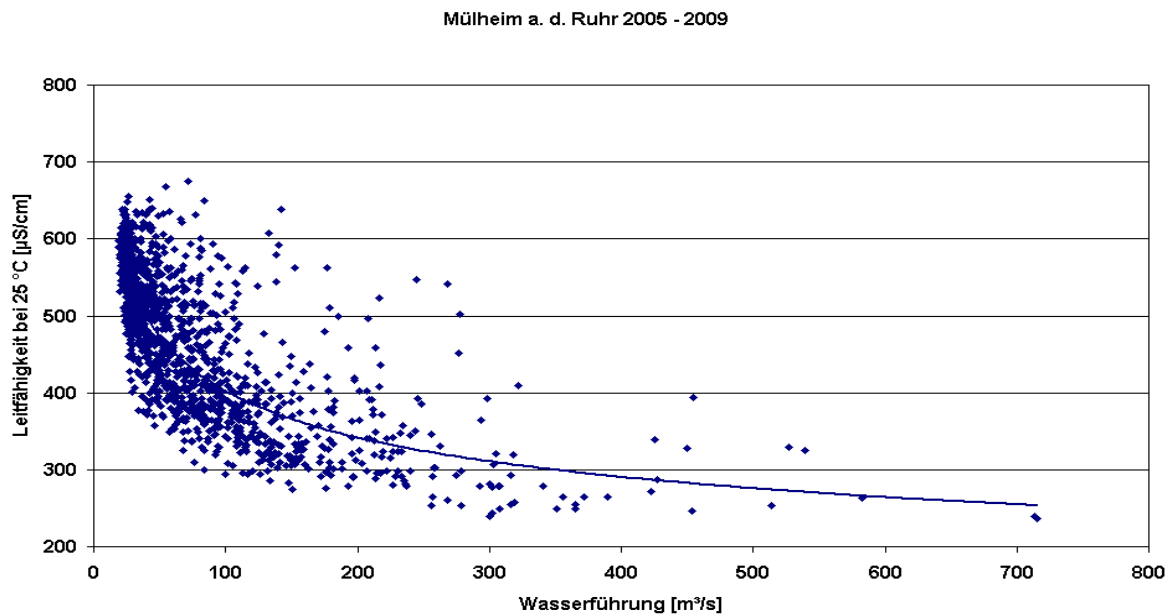


Abb. 16: Leitfähigkeit in Abhängigkeit von der Wasserführung der Ruhr in Mülheim im Zeitraum 2005 bis 2009

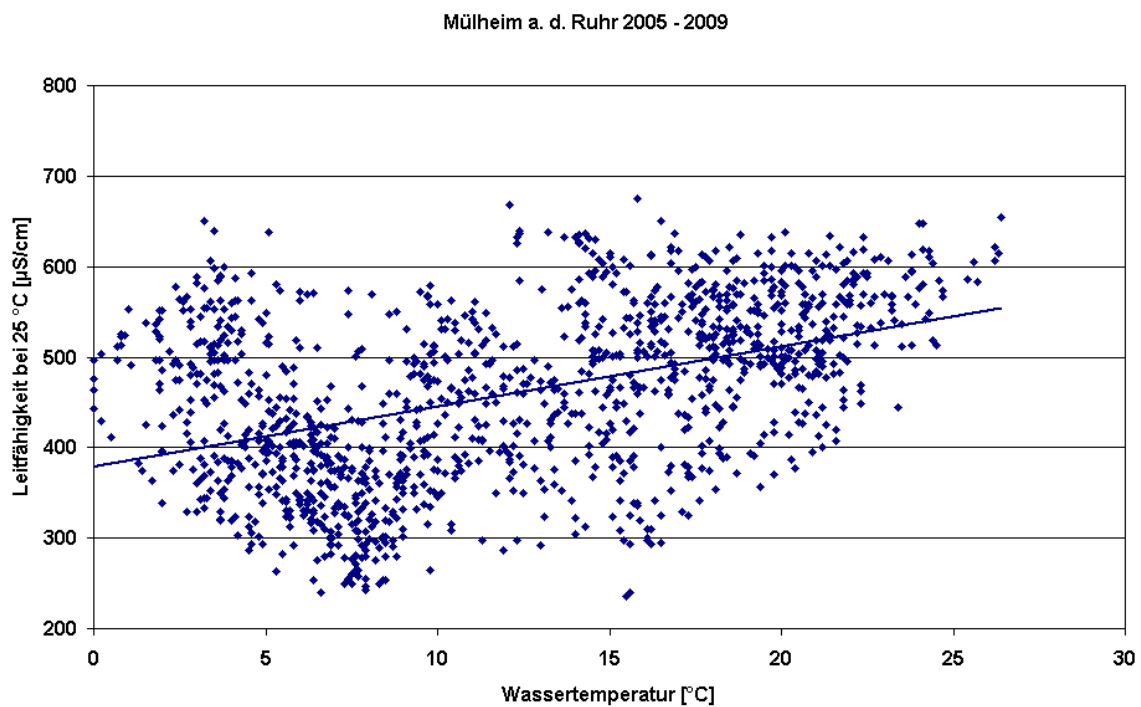


Abb. 17: Leitfähigkeit in Abhängigkeit von der Wassertemperatur der Ruhr in Mülheim im Zeitraum 2005 bis 2009

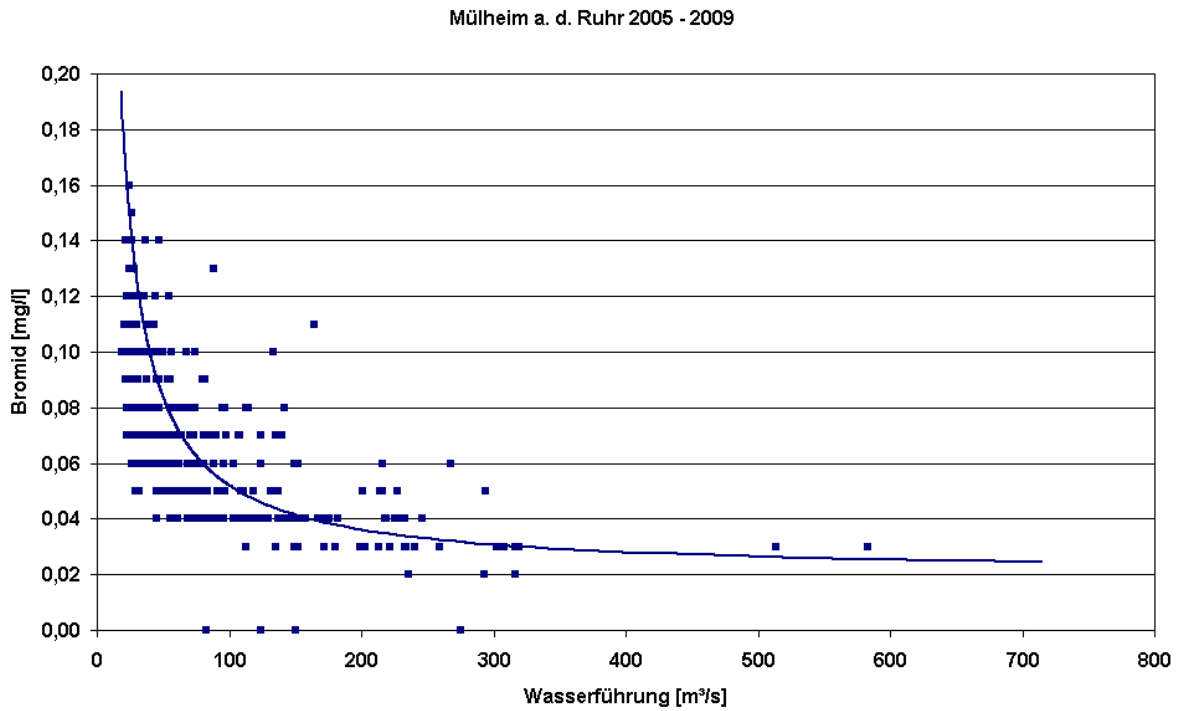


Abb. 18: Bromid in Abhängigkeit von der Wasserführung der Ruhr in Mülheim im Zeitraum 2005 bis 2009

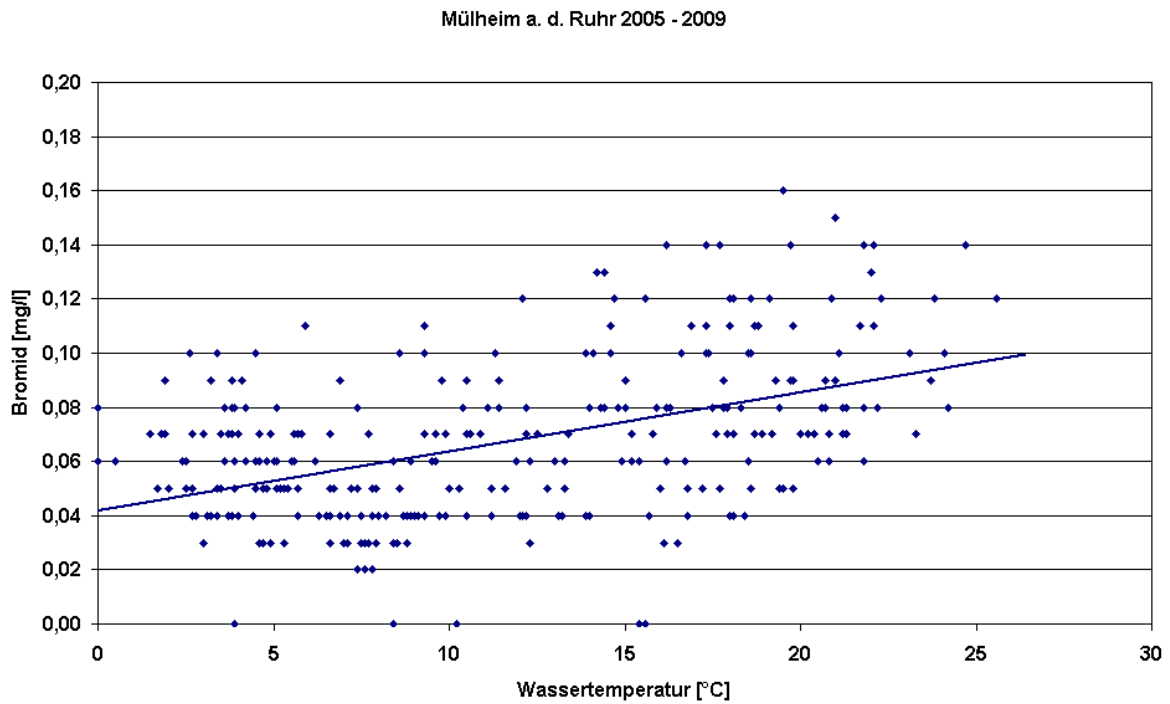


Abb. 19: Bromid in Abhängigkeit von der Wassertemperatur der Ruhr in Mülheim im Zeitraum 2005 bis 2009

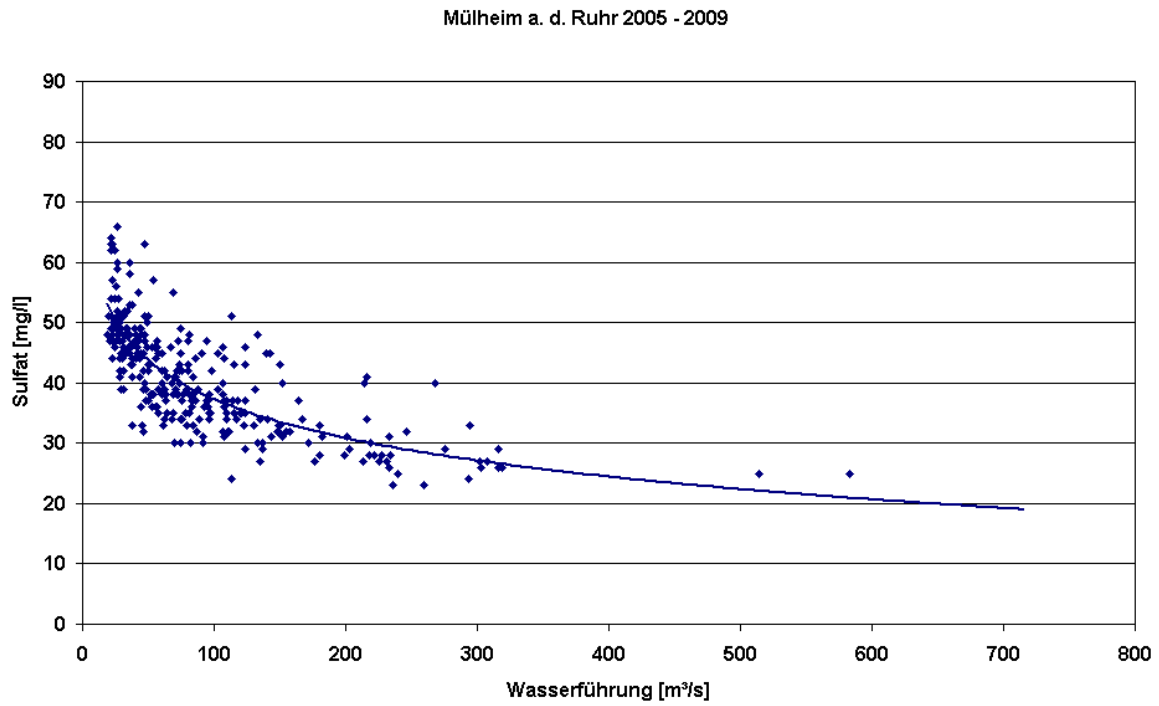


Abb. 20: Sulfat in Abhängigkeit von der Wasserführung der Ruhr in Mülheim im Zeitraum 2005 bis 2009

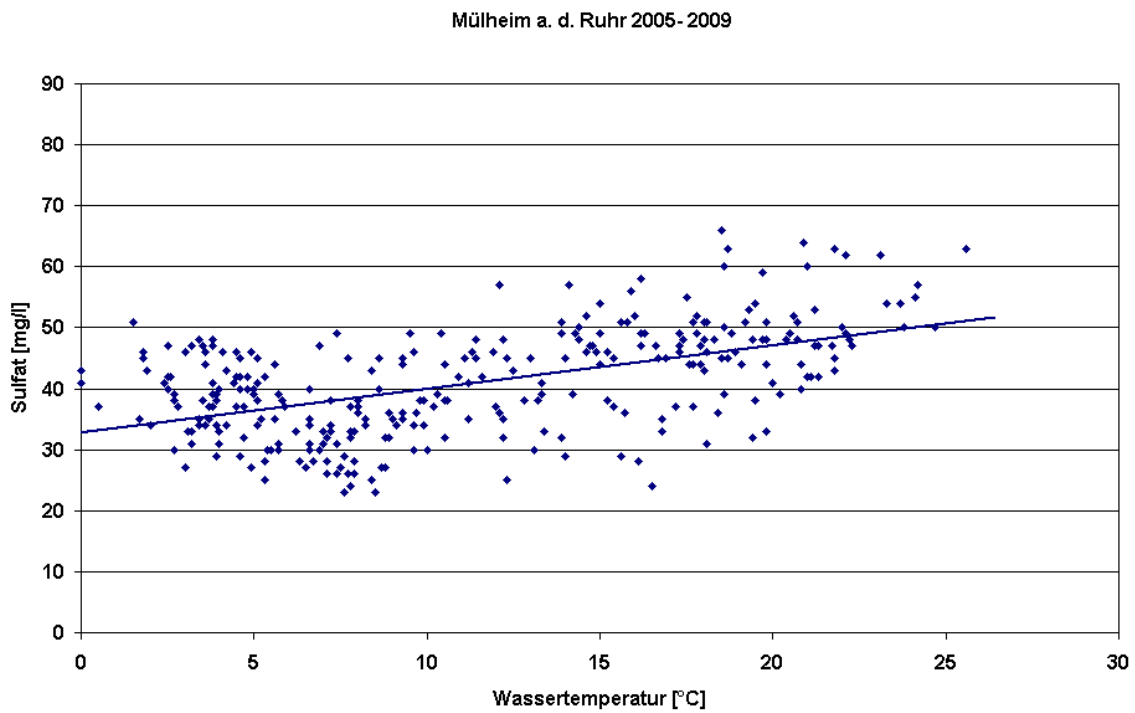


Abb. 21: Sulfat in Abhängigkeit von der Wassertemperatur der Ruhr in Mülheim im Zeitraum 2005 bis 2009

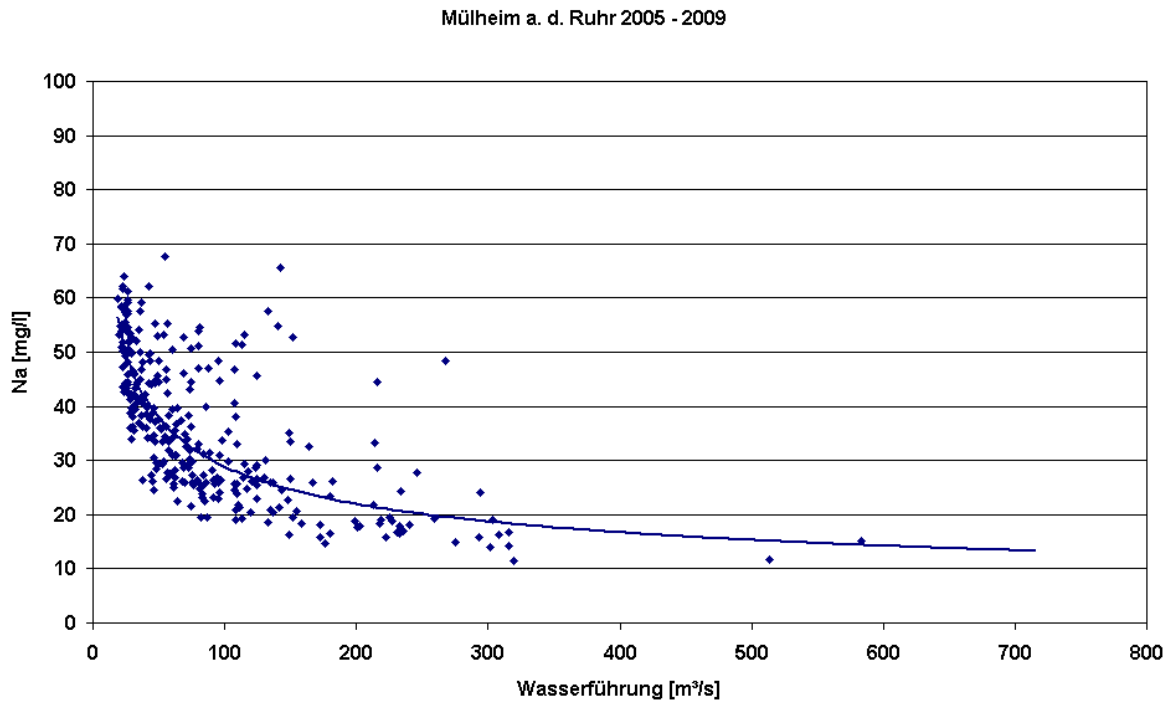


Abb. 22: Natrium in Abhängigkeit von der Wasserführung der Ruhr in Mülheim im Zeitraum 2005 bis 2009

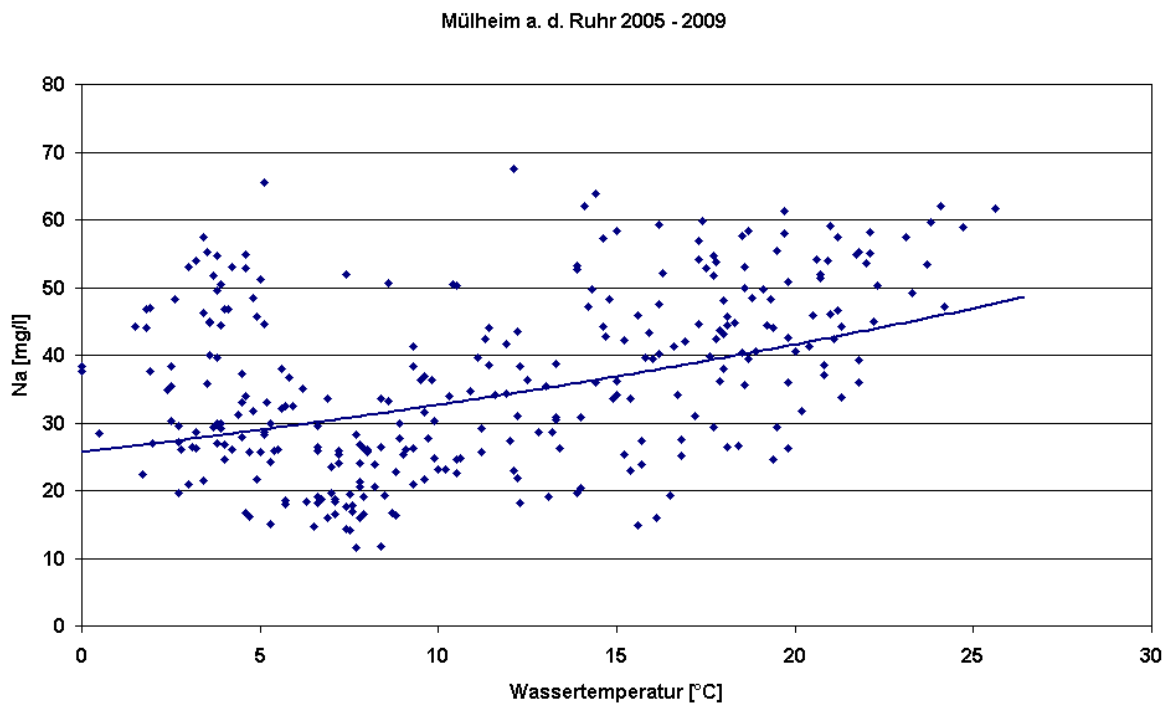


Abb. 23: Natrium in Abhängigkeit von der Wassertemperatur der Ruhr in Mülheim im Zeitraum 2005 bis 2009

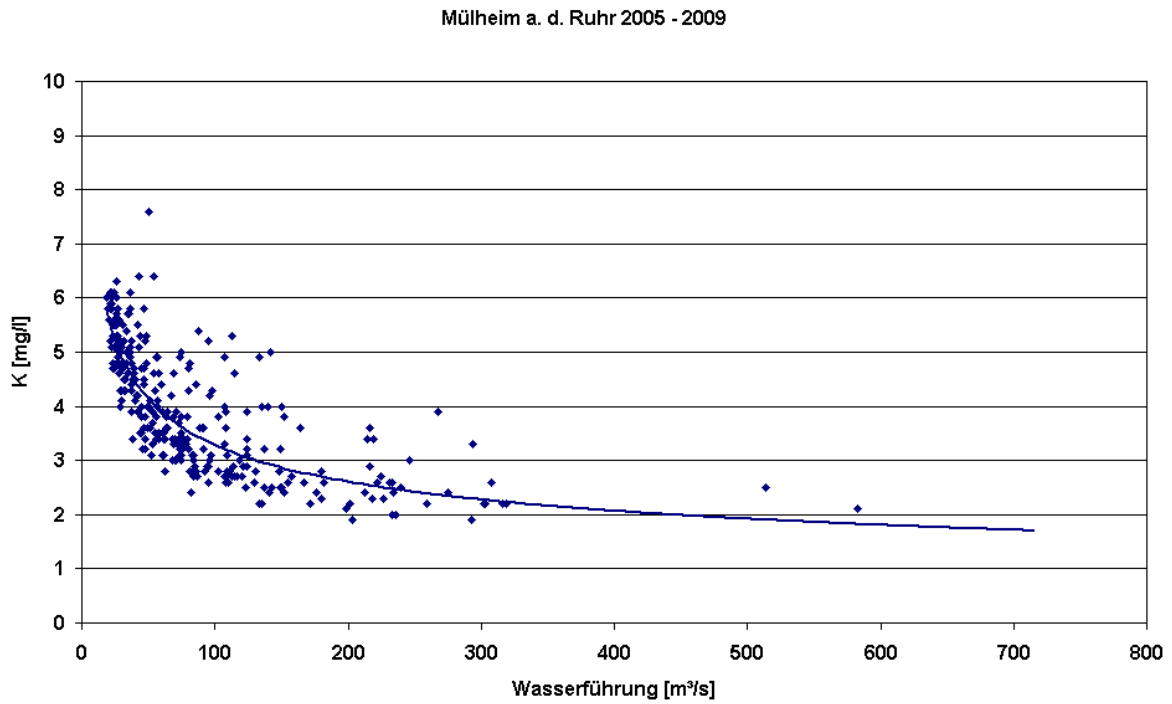


Abb. 24: Kalium in Abhängigkeit von der Wasserführung der Ruhr in Mülheim im Zeitraum 2005 bis 2009

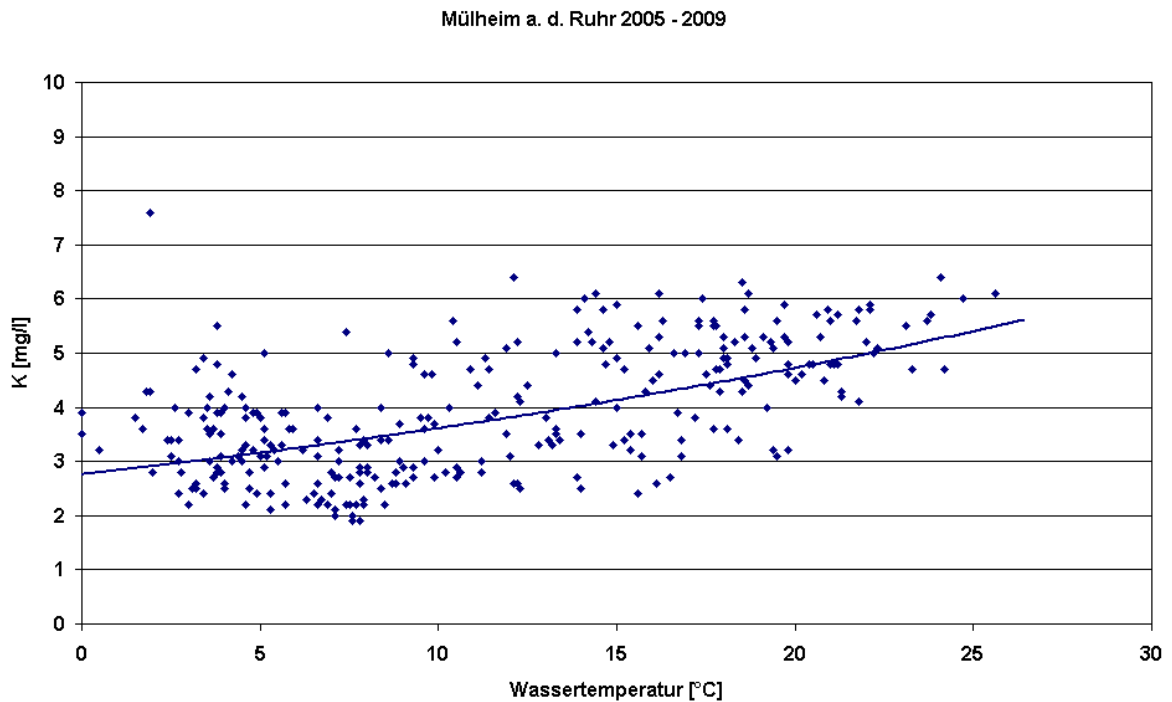


Abb. 25: Kalium in Abhängigkeit von der Wassertemperatur der Ruhr in Mülheim im Zeitraum 2005 bis 2009

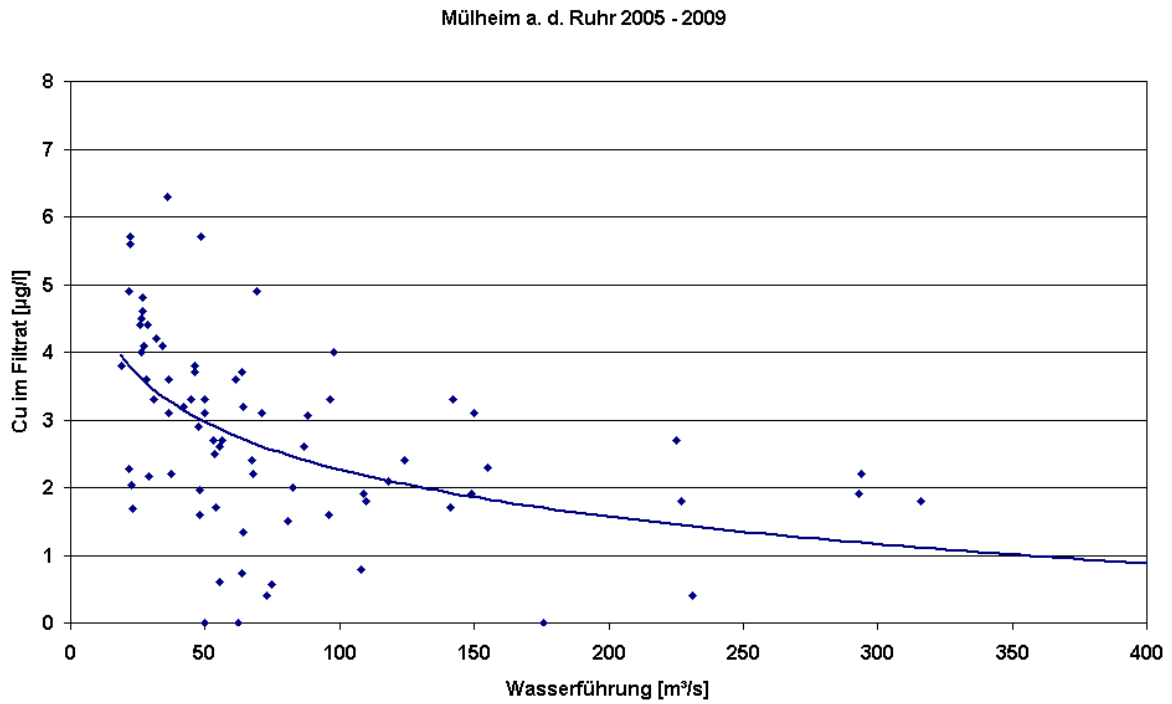


Abb. 26: Kupfer in Abhängigkeit von der Wasserführung der Ruhr in Mülheim im Zeitraum 2005 bis 2009

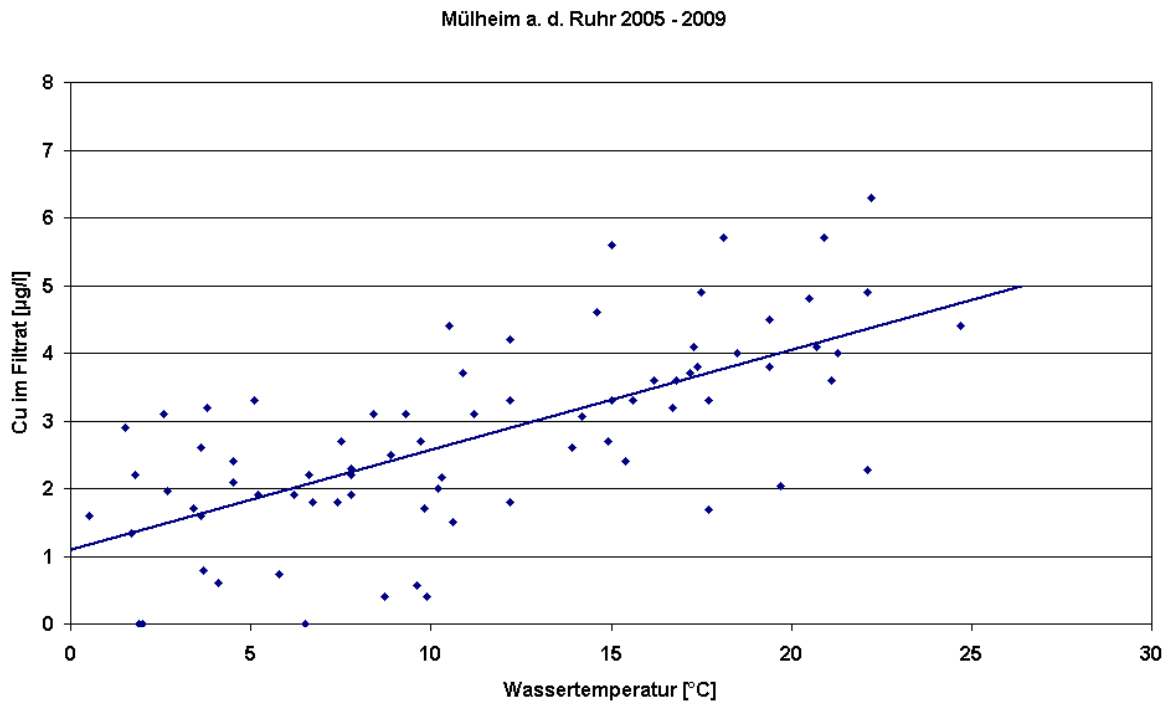


Abb. 27: Kupfer in Abhängigkeit von der Wassertemperatur der Ruhr in Mülheim im Zeitraum 2005 bis 2009

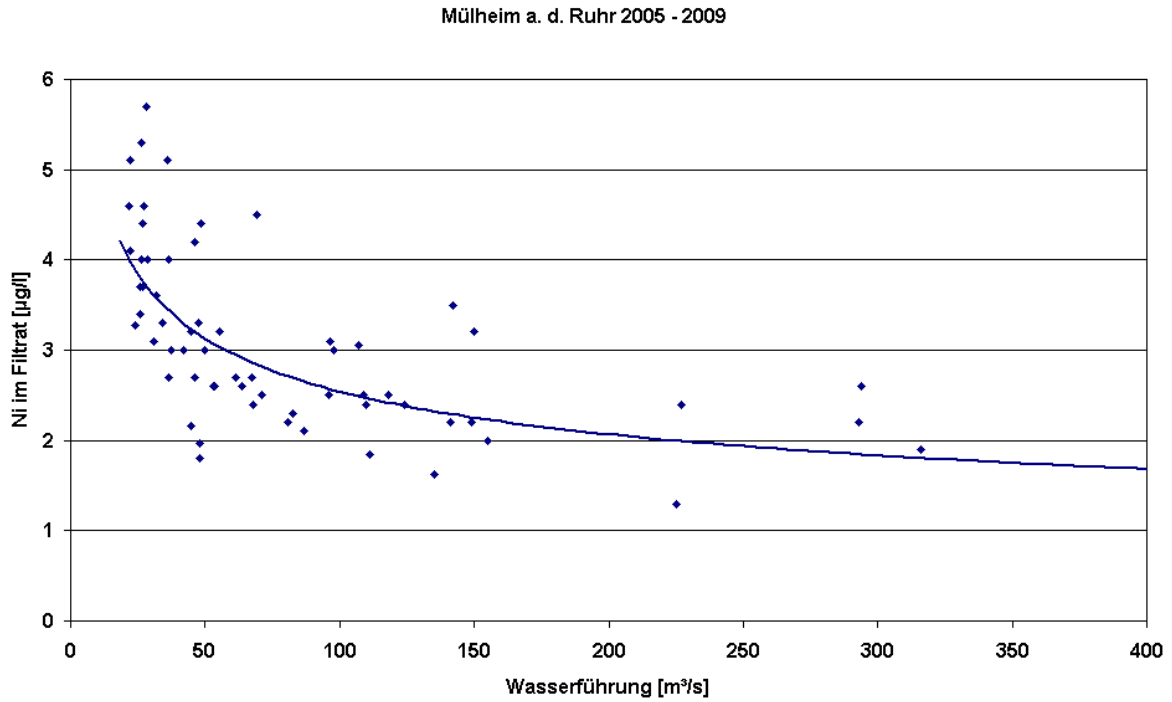


Abb. 28: Gelöstes Nickel in Abhängigkeit von der Wasserführung der Ruhr in Mülheim im Zeitraum 2005 bis 2009

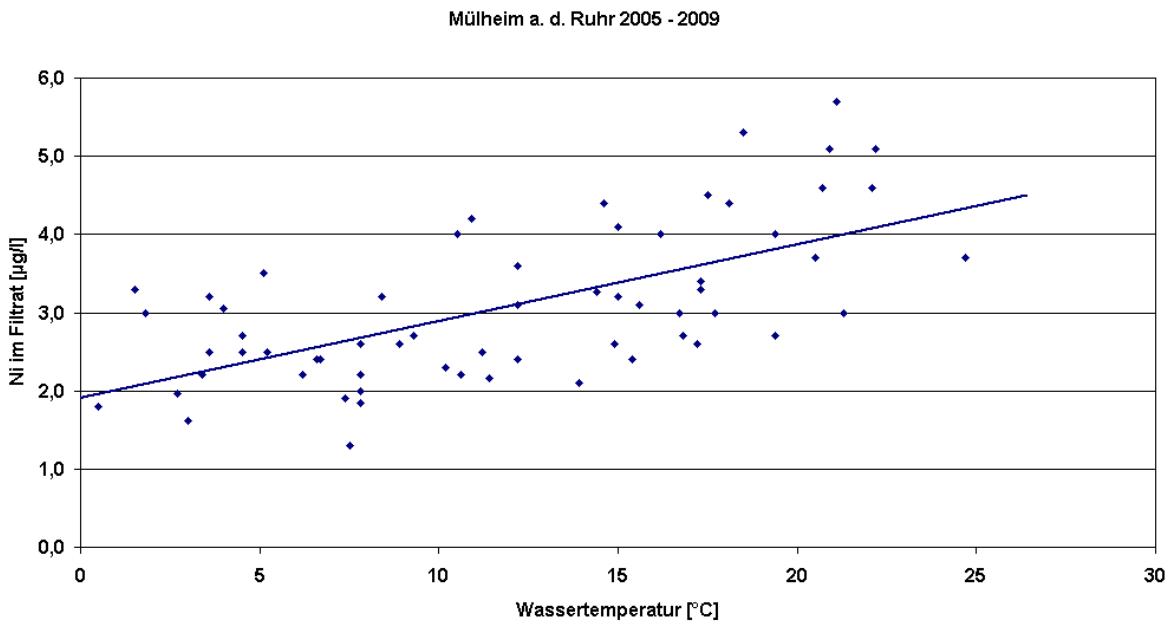


Abb. 29: Gelöstes Nickel in Abhängigkeit von der Wassertemperatur der Ruhr in Mülheim im Zeitraum 2005 bis 2009

7.5.3 Ganglinien von Wasserinhaltsstoffen im Ruhrwasser und nach der Bodenpassage

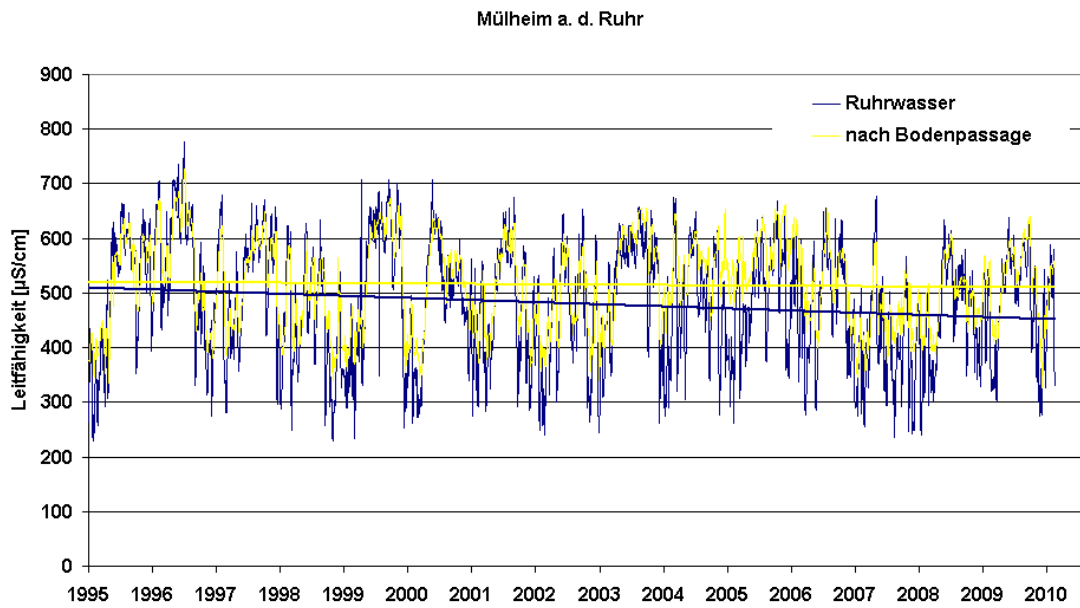


Abb. 30: Langjähriger Verlauf der Leitfähigkeit in der Ruhr und nach der Bodenpassage im Wasserwerk Mülheim Styrum-Ost

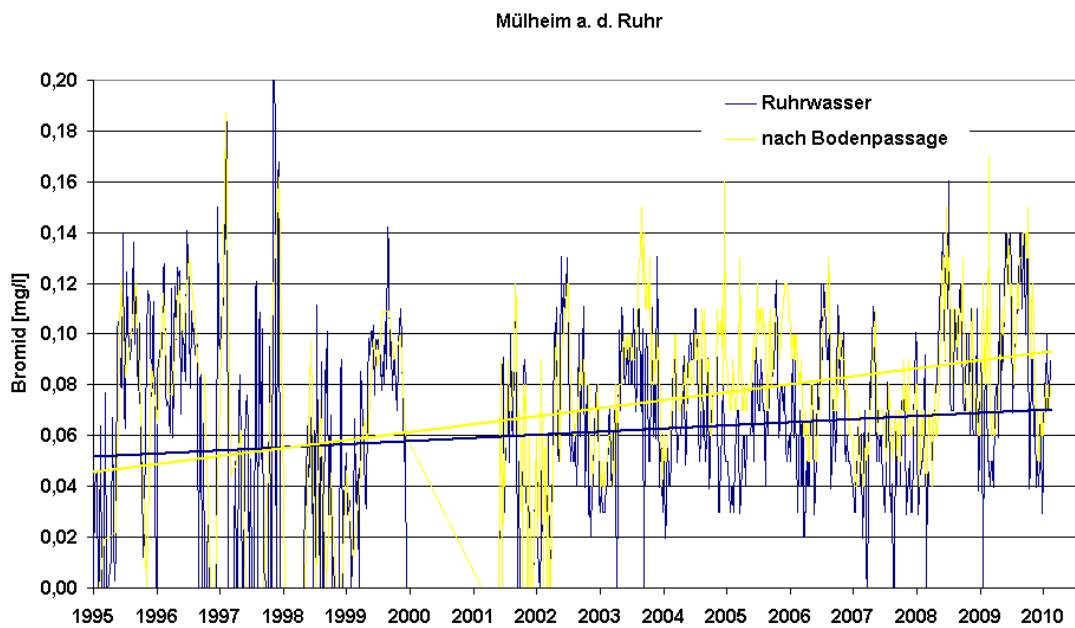


Abb. 31: Langjähriger Verlauf der Bromidkonzentration in der Ruhr und nach der Bodenpassage im Wasserwerk Mülheim Styrum-Ost

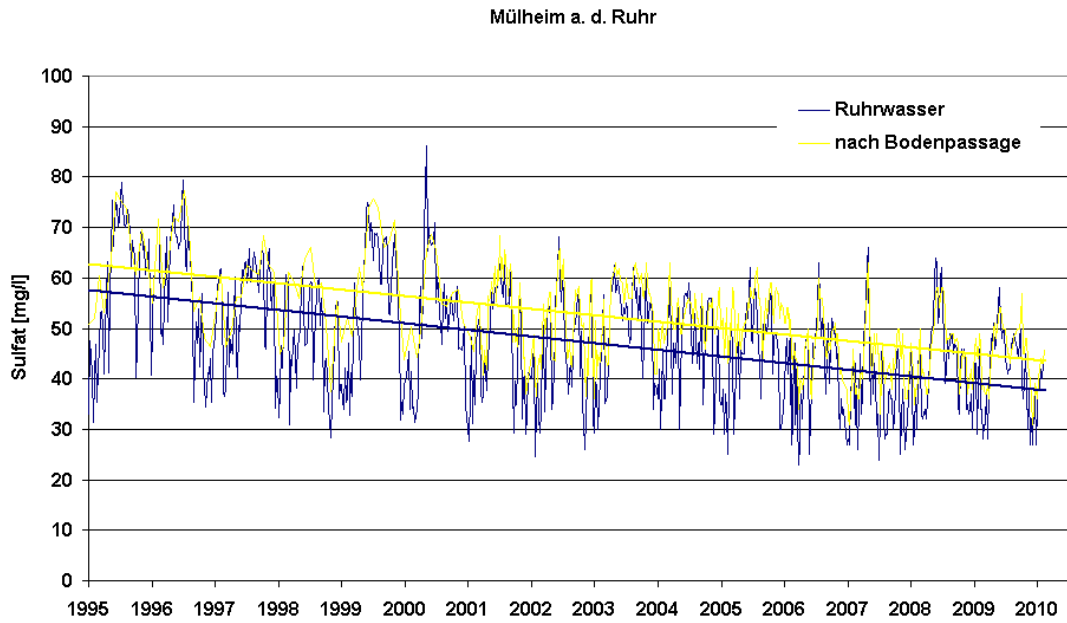


Abb. 32: Langjähriger Verlauf der Sulfatkonzentration in der Ruhr und nach der Bodenpassage im Wasserwerk Mülheim Styrum-Ost

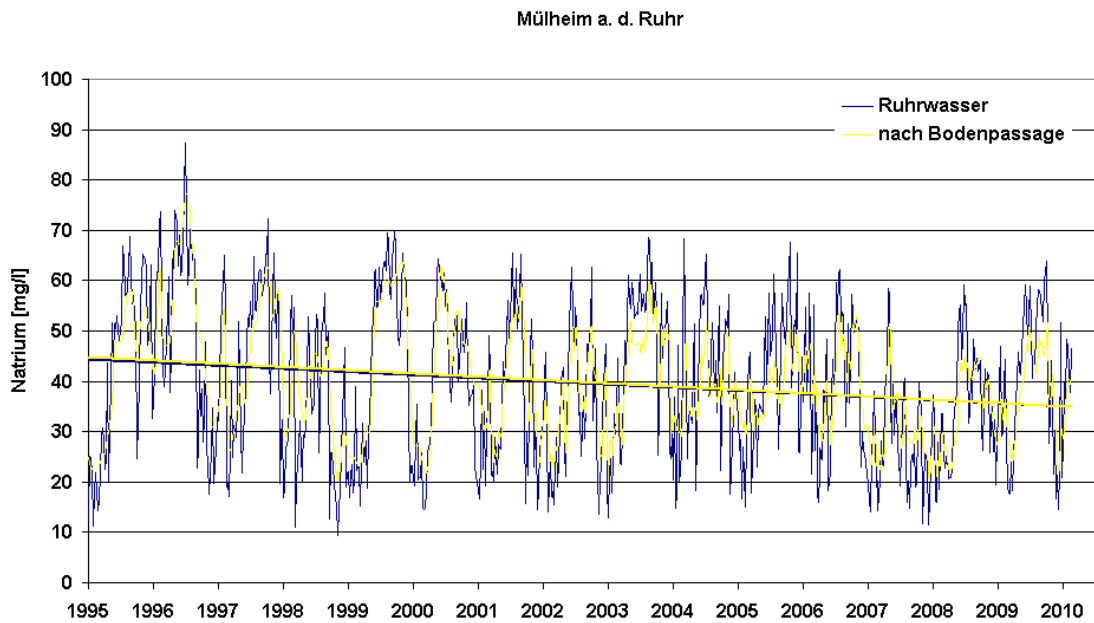


Abb. 33: Langjähriger Verlauf der Natriumkonzentration in der Ruhr und nach der Bodenpassage im Wasserwerk Mülheim Styrum-Ost

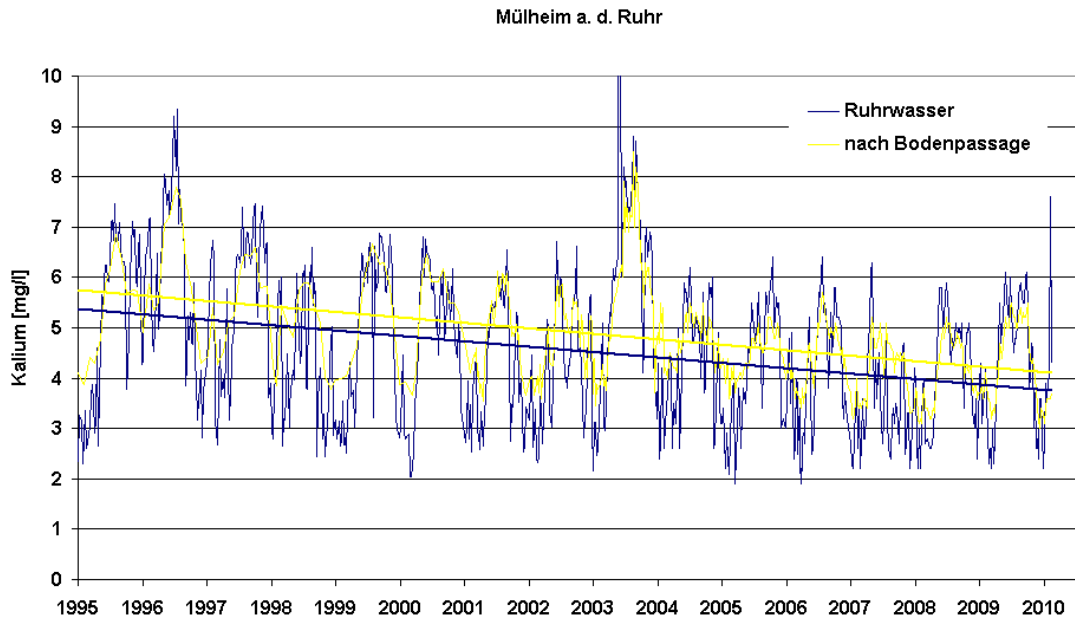


Abb. 34: Langjähriger Verlauf der Kaliumkonzentration in der Ruhr und nach der Bodenpassage im Wasserwerk Mülheim Styrum-Ost

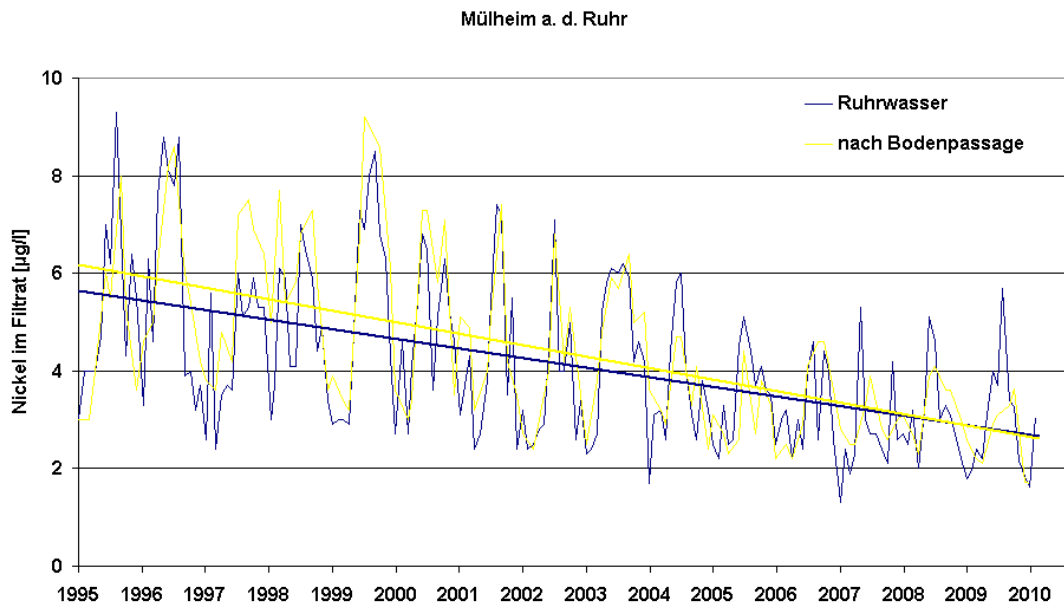


Abb. 35: Langjähriger Verlauf der Nickelkonzentration (gelöst) in der Ruhr und nach der Bodenpassage im Wasserwerk Mülheim Styrum-Ost

Ansprechpartner

Jens Hasse
hasse@fiw.rwth-aachen.de

Anna Musinszki
musinszki@fiw.rwth-aachen.de

Projektbüro *dynaklim*

Kronprinzenstraße 9
45128 Essen

Tel.: +49 (0)201 104-33 38

www.dynaklim.de