Überwachung von Fließgewässern im Saarland in einem online-Monitoring Programm

Saar in Mettlach

April bis Oktober 2013

Dipl. Geogr. Angelika Meyer, Dipl.-Ing (FH) Susanne Neurohr, Dipl.-Ing (FH) Elisabeth Fünfrocken,

Prof. Dr. Horst P. Beck, Prof. Dr. K. Hegetschweiler

Universität des Saarlandes

Institute für Anorganische und Analytische Chemie

Postfach 15 11 50

66041 Saarbrücken

Tel.: 0681-302-4230

www.gewässer-monitoring.de

Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Verbraucherschutz, Referat E / 2 Wasser und Abwasser

INHALT

1. Einleitung 1

2. Grundlagen 3

2.1 Technische Grundlagen 3
2.2 Untersuchungsraum und Standort 4

3. Ergebnisse und Diskussion 7

3.1 Nährstoffe und chemisch-physikalische Messgrößen 8
3.1.1 TOC 8
3.1.2 Weitere Nährstoffe 15
3.1.3 Chemisch-physikalische Messgrößen 20
3.2 Chlorophyll a 28
3.3 Übersicht über die Ergebnissen der manuellen Beprobungen durch die Behörden 35
3.4 Vergleich mit den Orientierungswerten und ermittelte Frachten 41

4. Zusammenfassung 43

5. Literatur 44

6. Anhang 46

Abbildungen auf dem Titelblatt:

Oben: Messstation an der Saar in *Mettlach*

Unten: Staustufe *Mettlach*

Schwimmsteg mit Pumpe an der Saar am Messstandort in *Mettlach*

VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN UND TABELLEN

Abbildung 1-1: Einstufung der Oberflächenwasserkörper im Saarland und Standorte der Messstationen
Abbildung 2.1-1: Schematische Darstellung einer mobilen Messstation
Abbildung 2.2-1: Standort der Messstation in an der Saar in *Mettlach*
Abbildung 2.2-2: Standort der Messstation an der Saar in *Mettlach* und Pegel Unterwasser *Mettlach*
Abbildung 2.2-3 Standort der Messstation in an der Saar in *Mettlach* und Pegel *Fremersdorf*
Abbildung 3.1.1-1: Gehalte an Gesamt-Phosphor, TOC und Trübung (Station *Mettlach*), Abfluss (Pegel *Fremersdorf*) sowie Niederschlag (Station *Merzig)* (19. April bis 23. Juli 2013)
Abbildung 3.1.1-2: TOC (Station *Mettlach*) in Abhängigkeit vom Abfluss (Pegel *Fremersdorf*) (19. April bis 23. Juli 2013)
Abbildung 3.1.1-3: Gesamt-Phosphor (Station *Mettlach*) in Abhängigkeit vom Abfluss (Pegel *Fremersdorf*) (19. April bis 23. Juli 2013)
Abbildung 3.1.1-4: Verlauf von Gesamt-Phosphor und TOC (Station *Mettlach*) in Abhängigkeit vom Abfluss (Pegel *Fremersdorf*) bei unterschiedlichen Abflussereignissen (5. Mai - 23. Juli 2013)
Abbildung 3.1.1-5: Tagesschwankungen von Phosphor, TOC und Trübung (Station *Mettlach*), Abfluss (Pegel *Fremersdorf*) sowie Niederschlag (Station *Merzig)* (24. Juli bis 7. Oktober 2013)
Abbildung 3.1.1-6: Verlauf der Tagesmittelwerte von TOC und Trübung (Station *Mettlach*) in Abhängigkeit vom Abfluss (Pegel *Fremersdorf*) (14. September bis 5. Oktober 2013)
Abbildung 3.1.1-7: Verlauf der Tagesmittelwerte von TOC und Gelbstoffen (Station *Mettlach*) in Abhängigkeit vom Abfluss (Pegel *Fremersdorf*) (19. bis 27. Juni 2013)
Abbildung 3.1.1-8:Verlauf von TOC, Gelbstoff-Gehalten und Trübung (Messstation *Mettlach)*¸ Abfluss (Station *Fremersdorf*) (13. Mai bis 28. Juni 2013)
Abbildung 3.1.1-9: Gelbstoffe in Abhängigkeit vom Gehalt an TOC (Station *Mettlach*; 13. Mai bis 26. Juni 2013)
Abbildung 3.1.2-1: Konzentrationen von Ammonium-N und TOC (Station *Mettlach*) (12. September bis 2. Oktober 2013)
Abbildung 3.1.2.-2: Gehalte an Ammonium-N und Nitrat-N (Station *Mettlach*), Abfluss (Pegel *Fremersdorf*) und Niederschläge (Station *Merzig*) über den gesamten Messzeitraum
Abbildung 3.1.2-3: Anstieg von Ammonium-N und Rückgang von Nitrat-N (Station *Mettlach*) bei
Abbildung 3.1.2.-4: Frachten von Ammonium- und Nitrat-Stickstoff sowie Gesamt-Phosphor und TOC (Station *Mettlach*), Abfluss (Pegel *Fremersdorf*) (14. August bis 6. Oktober 2013)
Abbildung 3.1.2-5: Entwicklung von Sauerstoff sowie Gehalt von Ammonium-N, Phosphor, Nitrat-N und TOC (Station *Mettlach*) bei Trockenwetter (Pegel *Fremersdorf*) (7. bis 23. Juni 2013)
Abbildung 3.1.3-1: Verlauf von Leitfähigkeit, Wassertemperatur und pH-Wert (Station *Mettlach*), Abfluss (Pegel *Fremersdorf*) und Niederschläge (Station *Merzig)* (27. April - 7. Oktober 2013)
Abbildung 3.1.3-2: Verlauf von Leitfähigkeit, Sauerstoff, Temperatur und pH-Wert (Station *Mettlach*) bei Trockenwetter (Pegel *Fremersdorf*) (11. bis 24. Juli 2013)
Abbildung 3.1.3-3: Sauerstoffgehalt in der Saar und Nied 1995
Abbildung 3.1.3-4: Sauerstoffgehalte und Wassertemperaturen (Station *Mettlach*), Abfluss (Pegel *Fremersdorf*) und Niederschläge (Station *Merzig)* über den gesamten Messzeitraum
Abbildung 3.1.3-5: Sauerstoffgehalte und Wassertemperaturen (Station *Mettlach*), Abfluss (Pegel *Fremersdorf*) und Niederschläge (Station *Merzig)* über den gesamten Messzeitraum
Abbildung 3.1.3-6: Links (schwarz): Tagesminima der Sauerstoffgehalte von März bis November 1997, 1998 und 1999 bzw. der Modellierung und rechts (rot): Tagesminima der Sauerstoffkonzentrationen der Online-Werte über den gesamten Messzeitraum (Station *Mettlach)*
Abbildung 3.1.3-7: Verlauf der Sauerstoffgehalte über einen Tag (oben) und in Abhängigkeit der Temperatur (unten) (Station *Mettlach*) (14. bis 16. Juli 2013) und theoretische Sauerstoffsättigung bei Normaldruck

Abbildung 3.1.3-8: Tageszyklen von Sauerstoff sowie Gehalte von Ammonium-N, Phosphor und TOC (Station *Mettlach*) bei Trockenwetterabfluss (Pegel *Fremersdorf*) (7. bis 23. Juli 2013)
Abbildung 3.2-1: Rückgang des Chlorophyll a und Anstieg von Ammonium-N und Phosphor (Station *Mettlach*) und Abfluss (Pegel *Fremersdorf*) (12. bis 23. Juli 2013)
Abbildung 3.2-2: Zunahme von Chlorophyll a und Rückgang von Ammonium-N und Phosphor (Station *Mettlach*) und Abfluss (Pegel *Fremersdorf*) (7. bis 26. September 2013)
Abbildung 3.2-3: Gehalte an Chlorophyll a von Grünalgen, Blaualgen, Diatomeen und Cryptophyceen (Station *Mettlach*) und Abfluss (Pegel *Fremersdorf*) (12. Mai bis 29. Juni 2013)
Abbildung 3.2-4: Gehalte an Gesamt-Chlorophyll a, Ammonium-N, ortho-Phosphat und TOC sowie Trübung (Station *Mettlach*) und Abfluss (Pegel *Fremersdorf*) (12. Mai bis 29. Juni 2013)
Abbildung 3.2-5: Gehalte an Chlorophyll a von Grünalgen, Blaualgen, Diatomeen und Cryptophyceen sowie Gelbstoffe (Station *Mettlach*) (8. bis 16. Juni 2013)
Abbildung 3.2-6: Trübung in Abhängigkeit vom Blaualgen-Gehalt an (Station *Mettlach*; 13. Mai bis 11. Juli 2013)
Abbildung 3.2-7: Zeitliche Entwicklung des Phytoplankton in der Saar (*Kanzem*); Stichproben 1991 bis 2010)
Abbildung 3.3-1: Jahres-Mediane der Konzentrationen von Sauerstoff mit signifikant zunehmendem Trend sowie, TOC und Gesamt-Stickstoff signifikant abnehmendem Trend (manuelle Beprobungen durch das LUA in *Fremersdorf*) (2005 bis 2012)
Abbildung 3.3-2: Jahres-Mediane der Konzentrationen von pH-Wert, Temperatur, Nitrat-N sowie ortho-Phosphat- und Gesamt-Phosphor (keine signifikanten Trends) (manuelle Beprobungen durch das LUA in *Fremersdorf*) (2005 bis 2012)
Abbildung 3.3-3: Jahres-Mediane der Konzentrationen von Ammonium-N, Nitrit-N, und Chlorid mit signifikant abnehmendem Trend (manuelle Beprobungen durch das LUA in *Fremersdorf*) (2005 bis 2012)
Abbildung 3.3-4: Konzentrationen an AOX und Chlorid sowie Leitfähigkeit 2005 bis 2013 an der Saar in *Fremersdorf* (monatliche Beprobungen des LUA)
Abbildung 3.3-5: Jahres-Mediane der Konzentrationen von Mangan mit signifikant abnehmendem Trend (manuelle Beprobungen durch das LUA in Fremersdorf) (2005 bis 2012)
Abbildung 3.3-6: Konzentrationen an Blei und Eisen 2005 bis 2013 an der Saar in *Fremersdorf* (monatliche Beprobungen des LUA)
Abbildung 6-1: Fließzeiten der Saar (ab *Güdingen*) in Tagen bei verschiedenen Fließgeschwindigkeiten bzw. Abflusswerten
Abbildung 6-2: Wassertemperatur (Messstation *Mettlach*), Abfluss (Pegel *Fremersdorf*) sowie Niederschläge, Lufttemperatur und Globalstrahlung (Wetterstation *Merzig*) über den gesamten Messzeitraum
Abbildung 6-3: Wasserstand und Abfluss (Pegel *Fremersdorf*) sowie Wasserstand (Pegel Unterwasser *Mettlach*) über den gesamten Messzeitraum
Abbildung 6-4a: Ergebnis des Tests auf Normalverteilung (Shapiro-Wilk) von Sauerstoff (Median 2005-2013)
Abbildung 6-4b: Ergebnis des Tests auf Normalverteilung (Shapiro-Wilk) der pH-Werte (Median 2005 - 2013)
Abbildung 6-4c: Ergebnis des Tests auf Normalverteilung (Shapiro-Wilk) der Wassertemperaturen) (Median 2005 - 2013)
Abbildung 6-4d: Ergebnis des Tests auf Normalverteilung (Shapiro-Wilk) von Gesamt-N (Median 2005 - 2013)
Abbildung 6-4e: Ergebnis des Tests auf Normalverteilung (Shapiro-Wilk) von Nitrat-N (Median 2005 - 2013)
Abbildung 6-4f: Ergebnis des Tests auf Normalverteilung (Shapiro-Wilk) von Gesamt-P (Median 2005 - 2013)

Abbildung 6-4g: Ergebnis des Tests auf Normalverteilung (Shapiro-Wilk) von ortho-Phosphat (Median 2005 - 2013)
Abbildung 6-4h: positives Ergebnis des Tests auf Normalverteilung (Shapiro-Wilk) von TOC (Median 2005-2013)
Abbildung 6-5a: Ergebnis des Trend-Tests (Lineare Regression) von Sauerstoff (Median 2005 - 2013)
Abbildung 6-5b: Ergebnis des Trend-Tests (Lineare Regression) der pH-Werte (Median 2005 - 2013)
Abbildung 6-5c: Ergebnis des Trend-Tests (Lineare Regression) der Temperatur (Median 2005 - 2013)
Abbildung 6-5d: Ergebnis des Trend-Tests (Lineare Regression) von Gesamt-Stickstoff (Median 2005 - 2013)
Abbildung 6-5e: Ergebnis des Trend-Tests (Lineare Regression) von Nitrat-N (Median 2005 - 2013)
Abbildung 6-5f: Ergebnis des Trend-Tests (Lineare Regression) von Gesamt-Phosphat (Median 2005 - 2013)
Abbildung 6-5g: Ergebnis des Trend-Tests (Lineare Regression) von ortho-Phosphat (Median 2005 - 2013)
Abbildung 6-5h: Ergebnis des Trend-Tests (Lineare Regression) von TOC (Median 2005 - 2013)
Abbildung 6-6a: Ergebnis der Tests auf Normalverteilung (Shapiro-Wilk) von Ammonium-N (Median 2005 - 2013)
Abbildung 6-6b: Ergebnis des Tests auf Normalverteilung (Shapiro-Wilk) von Nitrit-N (Median 2005 - 2013)
Abbildung 6-6c: Ergebnis des Tests auf Normalverteilung (Shapiro-Wilk) der Leitfähigkeit (Median 2005 - 2013)
Abbildung 6-6d: Ergebnis des Tests auf Normalverteilung (Shapiro-Wilk) von Chlorid (Median 2005 - 2013)
Abbildung 6-7a: Ergebnisse des Trend-Tests (Mann-Kendall) von Ammonium-N (Median 2005- 2013
Abbildung 6-7b: Ergebnis des Trend-Tests (Mann-Kendall) von Nitrit-N (Median 2005 - 2013
Abbildung 6-7c: Ergebnis des Trend-Tests (Mann-Kendall) der Leitfähigkeit (Median 2005 - 2013
Abbildung 6-7d: Ergebnis des Trend-Tests (Mann-Kendall) von Chlorid (Median 2005 - 2013
Abbildung 6-8a: Ergebnis des Tests auf Normalverteilung (Shapiro-Wilk) von Mangan (Median 2005-2013)
Abbildung 6-8b: Ergebnis des Trend-Tests (Lineare Regression) von Mangan (Median 2005 - 2013)

Tabelle 3.4-1: Mittel, Minima und Maxima der Stundenmittelwerte der Saar in *Mettlach* vom 19.04. bis 07.10.2013 und Orientierungswerte für den guten ökologischen Zustand (in Fremersdorf) und Grenzwert der Nitrat-Richtlinie sowie Anforderungen an den sehr guten ökologischen Zustand und das höchste ökologische Potential (OGewV, 2011)
Tabelle 3.4-2: Mittel, Minima und Maxima der Stundenmittelwerte der Frachten der Saar in Mettlach vom 19.04. bis 07.10.2013 sowie die Gesamtfracht im Messzeitraum
Tabelle 6-1: Messparameter und -methoden der online-Messgeräte
Tabelle 6-2: Mittelwerte Minima und Maxima der monatlichen Beprobungen des LUA an der Saar in *Fremersdorf* von März 2005 bis Juni 2013

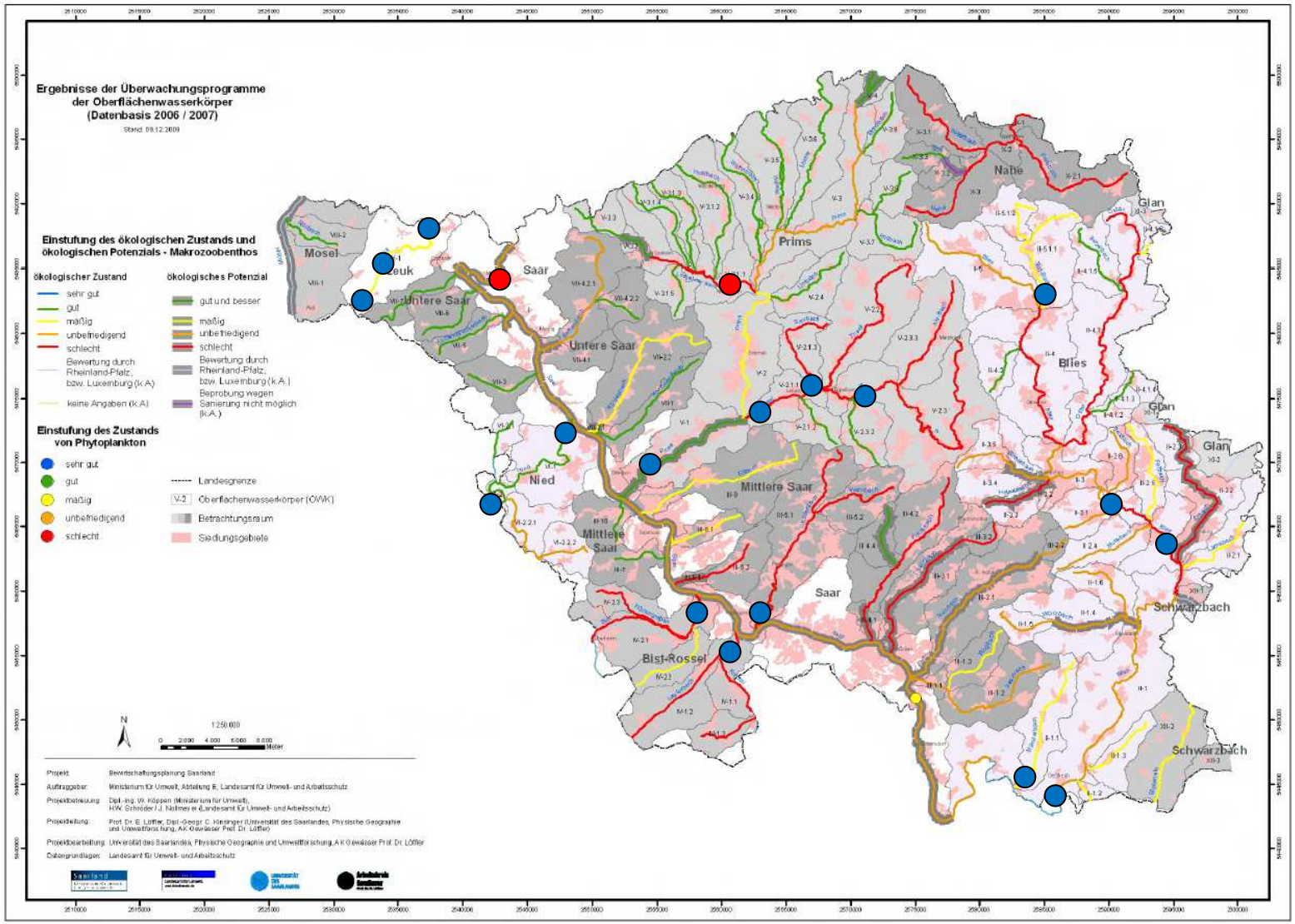
Wir möchten an dieser Stelle denjenigen recht herzlich danken,
die uns während des Messzeitraumes fachlich und praktisch
bei der Durchführung des Projektes unterstützt haben:

Herrn Köppen, Herrn Dr. Götzinger und Herrn Hermann Becker
vom Ministerium für Umwelt und Verbraucherschutz,
dem BUND Saar,
Herrn Rigoll, Herrn Dr. Luxemburger und Herrn Dr. Schmidt sowie
Herrn A. Schmitt, Herr Franzen, Herrn Rischmann und Herrn Dr. Haybach
vom Landesamt für Umwelt - und Arbeitsschutz,
Herrn Meyer vom Wasser- und Schifffahrtsamt,
Herrn Kiefer und Herrn Disseldorf von den Kanufreunden Mettlach

1. Einleitung

Zeitlich hoch aufgelöste Messungen, welche Messdaten in einer Frequenz von wenigen Minuten liefern, erlauben nicht nur die Erstellung eines genauen Abbilds der Konzentrationsverläufe in einem Fließgewässer. Sie ermöglichen zudem eine Differenzierung zwischen punktuellen und diffusen Einträgen sowie die Ermittlung ihrer Eintragspfade.
Mit Hilfe der von der Arbeitsgruppe GEWÄSSERMONITORING der Universität des Saarlandes im Rahmen eines EU-LIFE-Projektes[1] konzipierten mobilen Messstationen können Nährstoffe bzw. Nährstoffparameter wie Phosphor, TOC und Stickstoff in Form von Nitrat-N und Ammonium-N sowie weitere Messgrößen wie Wassertemperatur, pH-Wert, Sauerstoffgehalt, Leitfähigkeit und Trübung sowie während der Sommermonate Chlorophyll a und Gelbstoffe in sehr hoher zeitlicher Auflösung ermittelt werden. Diese Stationen werden seither in Ergänzung der nationalen Überwachungsprogramme und zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Verbraucherschutz (MUV) des Saarlandes eingesetzt. Hauptaugenmerk liegt dabei auf denjenigen Oberflächenwasserkörpern, die ökologisch und chemisch schlechter als gut eingestuft wurden. Die im Folgenden dargestellte Karte des Saarlandes (Abbildung 1-1) zeigt die Standorte, an denen bereits gemessen wurde (blau), sowie die Messstandorte des aktuellen Berichtszeitraumes (rot).

[1] LIFE00 ENV/D/000337: „Ferngesteuerte Kontrolle des eutrophierenden Eintrags aus diffusen Quellen in der Region SAAR-LOR-LUX“ (EUTROPH MONITOR) in den Betrachtungsräumen Nied und Attert (2001 – 2004)



frühere Messstandorte

Standorte im Berichtszeitraum an Saar und Losheimer Bach (Sommer 2013)

Abbildung 1-1: Einstufung der Oberflächenwasserkörper im Saarland (Quelle: [1]) und Standorte der Messstationen

2. Grundlagen

2.1 Technische Grundlagen

Die mobilen Messstationen werden in der Regel in den Mündungsbereichen der Flüsse am Ende der jeweiligen Einzugsgebiete aufgestellt, um ein möglichst umfassendes Bild der Belastungen des Gewässers zu erhalten.
Eine Tauchpumpe fördert das Flusswasser kontinuierlich in den in der Messstation befindlichen Probentopf, über ein weiteres Rohrsystem wird der Überlauf des Probentopfes ins Gewässer zurück geleitet (siehe Abbildung 2.1-1). Im Probentopf selbst befinden sich die Messsonden für Nitrat, Trübung, SAK, Temperatur, Sauerstoff, pH-Wert und Leitfähigkeit sowie die Entnahme-Einheiten der online-Photometer für die Bestimmung der Konzentrationen von Phosphor, TOC und Ammonium sowie Chlorophyll a, aufgeschlüsselt nach Grünalgen, Blaualgen, Diatomeen und Cryptophyceen. Darüber hinaus werden Gelbstoffe (relativ) erfasst.
So können – je nach Messmethode – sehr kurze Messintervalle zwischen wenigen Sekunden und zehn Minuten (bei TOC zwanzig Minuten) realisiert werden (siehe Anhang Tabelle 6-1). Die Messwerte werden im Fünfminuten-Rhythmus von einem Datenlogger erfasst und können dort über ein Mobilfunk-Modem abgerufen werden.

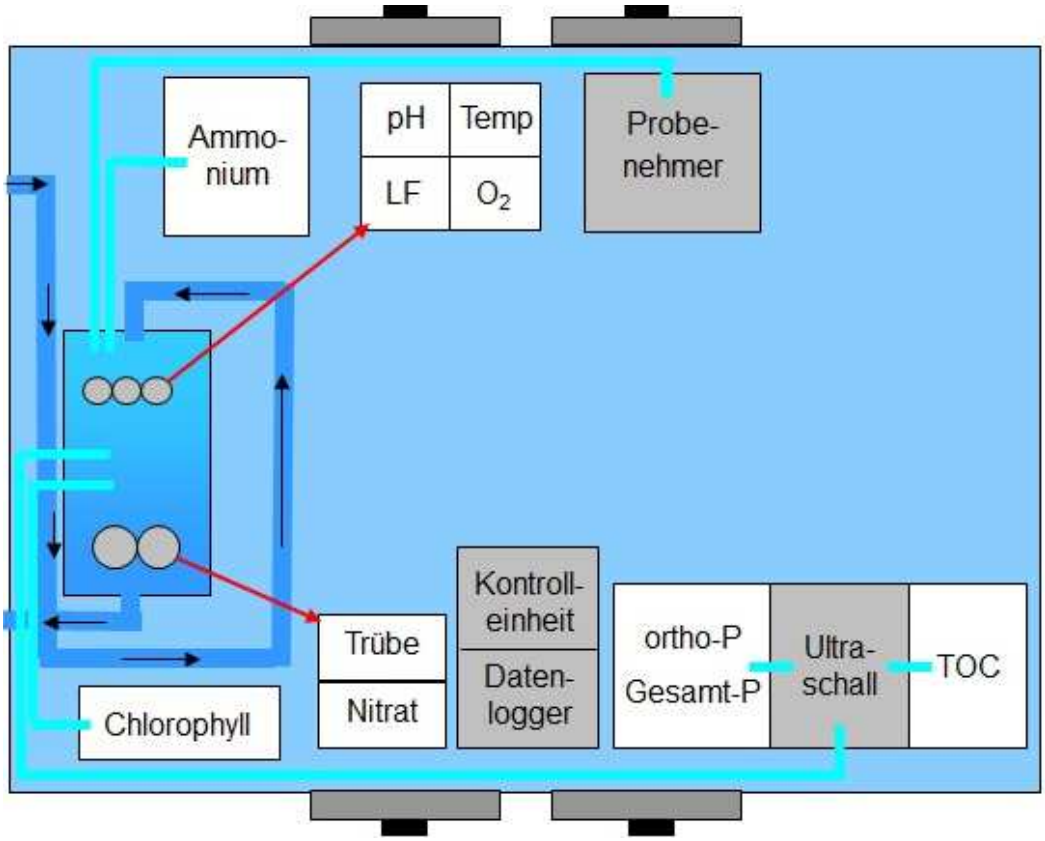


Abbildung 2.1-1: Schematische Darstellung einer mobilen Messstation

Um die Funktionalität der einzelnen Messgeräte zu überprüfen, werden etwa alle sieben bis zehn Tage Proben aus dem Probentopf entnommen, im Labor analysiert und den online ermittelten Werten gegenüber gestellt. Dabei werden auch die Gehalte von Nitrit-N und Gesamt-Stickstoff gemessen. Darüber hinaus werden Proben aus dem Fluss gezogen und deren Messergebnisse mit den Messwerten in der Messstation verglichen, um sicher zu stellen, dass sich das Probengut durch den Transport in die Messstation nicht verändert hat. Abschließend erfolgt eine Interpretation der gewonnenen Datenreihen unter Berücksichtigung von Klimadaten und Abflüssen sowie von Informationen über die Geologie des Einzugsgebietes, Landnutzung, Einleiter etc.

2.2 Untersuchungsraum und Standort

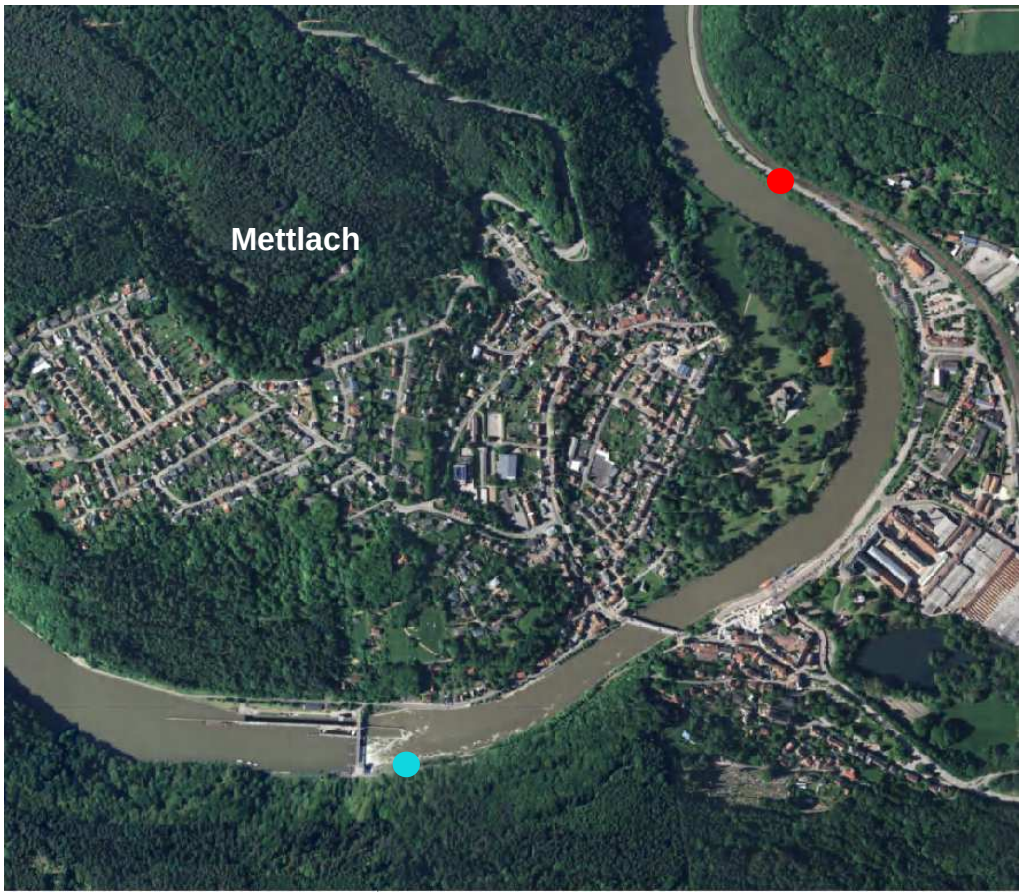
Die beiden Quellflüsse der Saar, die Rote und die Weiße Saar entspringen am Donon in den nördlichen Vogesen, und vereinigen sich bei *Sarrebourg* (Frankreich) zur eigentlichen Saar. Die Saar entwässert über eine Fließstrecke von 227 km (davon zwei Drittel in Lothringen) ein Einzugsgebiet von etwa 7431 km². Der Fluss ist unterteilt in die Obere Saar (bis zur Bliesmündung in *Sarreguemines*), durch die sich des Einzugsgebiet an dieser Stelle auf etwa 3700 km² verdoppelt, die mittlere Saar (bis *Besseringen*), mit den Hauptzuflüssen Rossel, Bist, Prims und Nied, und die Untere Saar mit Durchtritt ins Rheinische Schiefergebirge Sie mündet bei Flusskilometer 227 bei *Konz* in die Mosel, deren größter Nebenfluss sie ist. Der mittlere jährliche Abfluss an der Mündung beträgt 80 m^3/s [2, 3, 4].
Die Saar ist den großen Flüssen des Mittelgebirges (Gewässertyp 9.2) zuzuordnen. Im Rahmen der Umsetzung der WRRL wurde sie als Oberflächenwasserkörper (OWK) I-1 bis I-6 kategorisiert [5] und als erheblich veränderter Wasserkörper (HMWB[2]) eingestuft, da sie in den 1970er und 1980er Jahren von der Mündung bis *Saarbrücken* zur Großschifffahrtsstrasse ausgebaut und mit acht Wehren und Staustufen reguliert wurde.
Die Staustufen sind: *Kanzem* (Hubhöhe 11,8 m), *Schoden* (5,7 m), *Serrig* (14,5 m), *Mettlach* (11 m), *Rehlingen* (8 m), *Lisdorf* (3,8 m), *Saarbrücken* (5,9 m) und *Güdingen* (2,4 m). Die Strecken zwischen zwei Staustufen (Haltungslängen) betragen zwischen 12 und 23 km. Mit Ausnahme der Staustufe Güdingen sind alle Staustufen mit Wasserkraftwerken sowie mit Fischschleusen ausgestattet [6]. Aus Abbildung 6-1 im Anhang lässt sich die Fließzeit bei unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten ersehen.
Neben Einleitungen aus kommunalen und Industriekläranlagen sowie der Landwirtschaft finden nach wie vor Einträge aus stillgelegten Bergwerken, Halden und Absinkweihern sowie anderen Altlasten über verschiedene Zuflüsse (z.B. Rossel, Bist, Fischbach, Köllerbach) etc. statt. Darüber hinaus kommt es zu Wärme-Belastungen aus Kraftwerken.
Die Saar war in den vergangenen Jahrzehnten unter besonderer Beobachtung wegen der ökologischen Veränderungen, die sich auch im Gefolge der Schiffbarmachung durch den Ausbau von Staustufen ergeben haben. Diese haben zu einer Verlangsamung des Abflusses und zur Vertiefung des Gewässers geführt mit den typischen Folgen solcher Maßnahmen. Die Saar hat stellenweise den Charakter eines stehenden Gewässers angenommen, womit die Ausildung anaerober Zonen einhergeht und jahreszeitcharakteristischen Austauschprozesse aus Tiefen- und Oberflächenbereich ausbleiben. Dies hat – neben vielen anderen Auswirkungen – insbesondere in heißeren Jahren zu einer drastischen Verringerung des Sauerstoffgehalts geführt. Über viele Jahre hinweg war daher die Saar einer der wenigen Flüsse in Deutschland, deren Sauerstoffgehalt deswegen, aber auch wegen der vielfachen Abwassereinleitungen, mit einem nicht unerheblichen finanziellen Aufwand künstlich angereichert werden musste. Dies geschah mit einer Belüftungsmatte bei *Bous* und mit Hilfe des Schiffes „Oxygenia“, welches mit Sauerstofftank, Verdampfereinheit und Diffusor ausgestattet war. Im Laufe der Jahre genügten die vielfachen Wehrüberfälle zur Stabilisierung der Sauerstoffgehalte, sodass ab 2003 künstliche Sauerstoffstützungsmaßnahmen nicht mehr nötig waren.
Eine Steuerung des Abflusses am Überlauf der Schleuse *Mettlach* erfolgt ab einem Wasserstand von 350cm in *Fremersdorf*[3]. Dieser Wasserstand wurde nur während des Hochwassers vom 21. bis 23. Mai erreicht, bei dem die Messstation aus Sicherheitsgründen abgeschaltet werden musste. Daher kann innerhalb des Messzeitraumes von „unbeeinflussten“ Abflussmengen ausgegangen werden. Darüber hinaus finden während der Sommermonate täglich 30 bis 50 Schleusenvorgänge statt[4]. Daher und auf Grund der Umwälzung des Wasserkörpers durch die Schiffsschrauben ist davon auszugehen, dass die Saar am Messstandort gut durchmischt ist.
Um denjenigen Zustand abbilden zu können, den die Saar beim Übertreten der rheinland-pfälzischen Grenze aufweist, und um die aus dem Saarland kommenden realen Belastungen abschätzen zu können, wurde der Standort etwa 1,5 km unterhalb der Staustufe *Mettlach* im Bereich des Prallhanges auf dem Gelände der Kanufreunde *Mettlach* gewählt (Koordinaten: R 2543038 H 5484914). Die Pumpe wurde in ca. 1 m Tiefe an einem Schwimmsteg angebracht (siehe auch Abbildung auf Titelblatt).

[2] Heavily Modified Water Body
[3] Mündl. Mitteilungen WSA
[4] Mündl. Mitteilungen WSA

Die Messstation war vom 19. April bis 07. Oktober 2013 dort installiert (siehe Abbildungen 2.2-1 und 2.2-2), währen dieses Zeitraumes wurden alle oben genannten Parameter kontinuierlich erfasst.
Zur Interpretation der Messdaten wurden die Daten der Wetterstationen in *Merzig* sowie Abflussmenge und Wasserstand des Pegels in *Fremersdorf* herangezogen. Auf Grund der Entfernung des Messstandortes zum Pegel (ca. 20 km) (siehe Abbildung 2.2-3) wurden diese Daten mit den Wasserstandsmessungen des Wasser- und Schifffahrtsamtes (WSA) im Unterwasser an der Staustufe in *Mettlach* verglichen (siehe Abbildung 6-3 Anhang). Es zeigt sich, dass kein signifikanter Zeitversatz zwischen den beiden Standorten auftritt. Darüber hinaus finden zwischen den beiden Standorten keine nennenswerten Zuflüsse statt, so dass, nach Absprache mit dem LUA, die Abflussdaten des Pegels *Fremersdorf* als repräsentativ für den Messstandort in *Mettlach* gelten und die somit Frachtermittlungen mit Hilfe dieser Daten durchgeführt werden konnten.

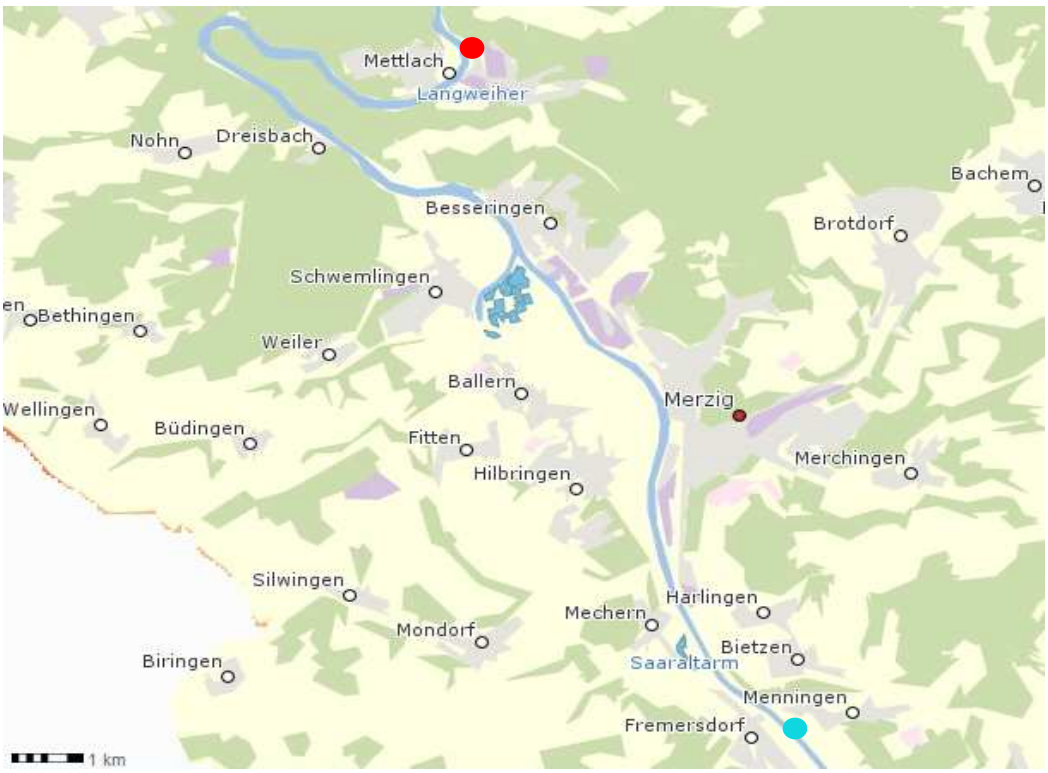
Messstation
Schiffsanleger mit Pumpe

Abbildung 2.2-1: Standort der Messstation in an der Saar in *Mettlach* (Quelle: ZORA)



● Standort Messstation *Mettlach*
● Pegel Unterwasser Schleuse *Mettlach* WSA

Abbildung 2.2-2: Standort der Messstation an der Saar in *Mettlach* und Pegel Unterwasser *Mettlach* (Quelle: ZORA)



● Standort Messstation *Mettlach*
● Pegel *Fremersdorf*

Abbildung 2.2-3 Standort der Messstation in an der Saar in *Mettlach* und Pegel *Fremersdorf* (Quelle: GeoPortal Saarland)

3. Ergebnisse und Diskussion

In den folgenden Kapiteln werden einige signifikante Beobachtungen beschrieben, die während des Sommerhalbjahres 2013 mit Hilfe der mobilen Messstationen an der Saar in *Mettlach* gewonnen werden konnten.
Den Abbildungen liegen - soweit nicht anders vermerkt - die Stundenmittelwerte der erhobenen Messdaten zugrunde, da sich diese direkt mit den vom Landesamt für Umwelt- und Arbeitsschutz des Saarlandes zur Verfügung gestellten Stundenmittelwerten der Abflüsse sowie den Stundensummen der Niederschläge vergleichen lassen und zudem ein hoch aufgelöstes Bild der Konzentrationsverläufe wiedergeben. Chlorophyll-Werte wurden nur dann berücksichtigt, wenn die parallel gemessene Transmission über 60% lag, da bei zu geringer Transmission die Messung erheblich gestört wird und keine plausiblen Messwerte zu erwarten sind.
Alle erfassten Daten wurden dem Ministerium für Umwelt und Verbraucherschutz des Saarlandes gleichzeitig mit diesem Bericht in evaluierter Form als Fünfminutenwerte, Stundenmittelwerte, Tagesmittelwerte, Tagesminima und Tagesmaxima übergeben.

Vorab soll darauf hingewiesen werden, dass die am Standort in *Mettlach* durchgeführten Messungen keinesfalls Pessimalbedingungen der Saar aufzeigen, sondern den Zustand der Saar beim Übertritt nach Rheinland-Pfalz dokumentieren. Auf Grund der Größe des Wasserkörpers, die Anzahl der Zuflüsse und nicht zuletzt der Stauhaltung, die dem Fluss vielerorts den Charakter eines stehenden Gewässers verleiht, reagiert das Fließgewässer-System erwartungsgemäß sehr träge auf Einträge und sonstige Umwelteinflüsse und es kommt zu Nivellierungen der Belastungen. Daher lassen sich vor allem Herkunft und Eintragspfade im Vergleich zu den bisher betrachteten kleineren Fließgewässern weniger gut differenzieren.
Auf die besondere Historie bezüglich des Zustands der Saar und auf den Ausbau in den vergangenen Jahrzehnten ist bereits oben hingewiesen worden. Ein wesentlicher Teil der hier dargestellten Untersuchungen befasste sich daher mit der Frage, inwiefern ein Eintrag und eine erhöhte Belastung durch Abwässer sich erkennen lassen und inwieweit die früher prognostizierte und dokumentierte Problematik des Sauerstoffgehalts nach wie vor zu erkennen ist. Neben den übrigen Parametern gilt das Augenmerk hier insbesondere den Sauerstoffwerten im Verlauf der Beobachtungsmonate und parallel dazu den Parametern, die bekanntermaßen den größten Einfluss auf den Sauerstoffgehalt des Gewässers haben. Hierzu gehören vor allem Nährstoffgehalt, Trübung und Planktonbestand.

Die folgenden Kapitel sind aus Gründen der Übersichtlichkeit in die Kapitel Nährstoffe und chemisch-physikalische Parameter sowie die Ergebnisse der Chlorophyll a-Messungen unterteilt. Die Betrachtung all dieser Messgrößen erfolgt dabei keineswegs losgelöst voneinander, sondern immer auch im Hinblick auf die Veränderungen der übrigen, gleichzeitig erhobenen Messgrößen, sowie auch im Hinblick auf Abflusssituation Niederschläge, Globalstrahlung etc. (s.o.). Des Weiteren wird eine Betrachtung der Trends der wichtigsten Parameter vorgenommen, welche sich aus den Ergebnissen der manuellen Beprobungen der letzten Jahre ergibt sowie eine Vergleich mit den Orientierungswerten und eine Darstellung der ermittelten Frachten durchgeführt.

3.1 Nährstoffe und chemisch-physikalische Messgrößen

3.1.1 TOC

TOC und Trübung

Im Hinblick auf TOC und Trübung lässt sich der Messzeitraum in zwei Phasen unterteilen, in denen unterschiedliche Phänomene zu beobachten sind:

Zu Beginn des Messzeitraumes, von April bis Ende Juni, verlaufen die Konzentrationsveränderungen von Phosphor und TOC sowie die Trübung zunächst recht parallel zum Abfluss (siehe Abbildung 3.1.1-1).

Es ist anzunehmen, dass dabei der Anteil der Einträge, die über Oberflächenabfluss in das Gewässer gelangen, jedoch sehr viel geringer ist als die Menge, die mit der Welle aus Zuflüssen eingetragen bzw. im Gewässer selbst remobilisiert wird. Die Konzentrationen an TOC und Phosphor sind selbst bei sehr hohen Abflussmengen nicht übermäßig hoch. Zudem ist der Verlauf dieser Werte über die Untersuchungszeit hinweg keinen großen Schwankungen unterworfen, was die Feststellung untermauert, dass hier die gemittelten und nivellierten Einträge aus einer Reihe von Zuflüssen erfasst werden. Dennoch ist ein Anstieg der Konzentration mit der Abflusswelle festzustellen und eine nachfolgende Stabilisierung auf einem etwas höheren Niveau. Dies kann ein Hinweis auf eine anhaltende Ausschwemmung aus einem Depot in landwirtschaftlich genutzten Flächen sein. Ein solcher Trend ist im Gefolge mehrerer solcher Ereignisse bis zum Ende Juli hin zu verfolgen.

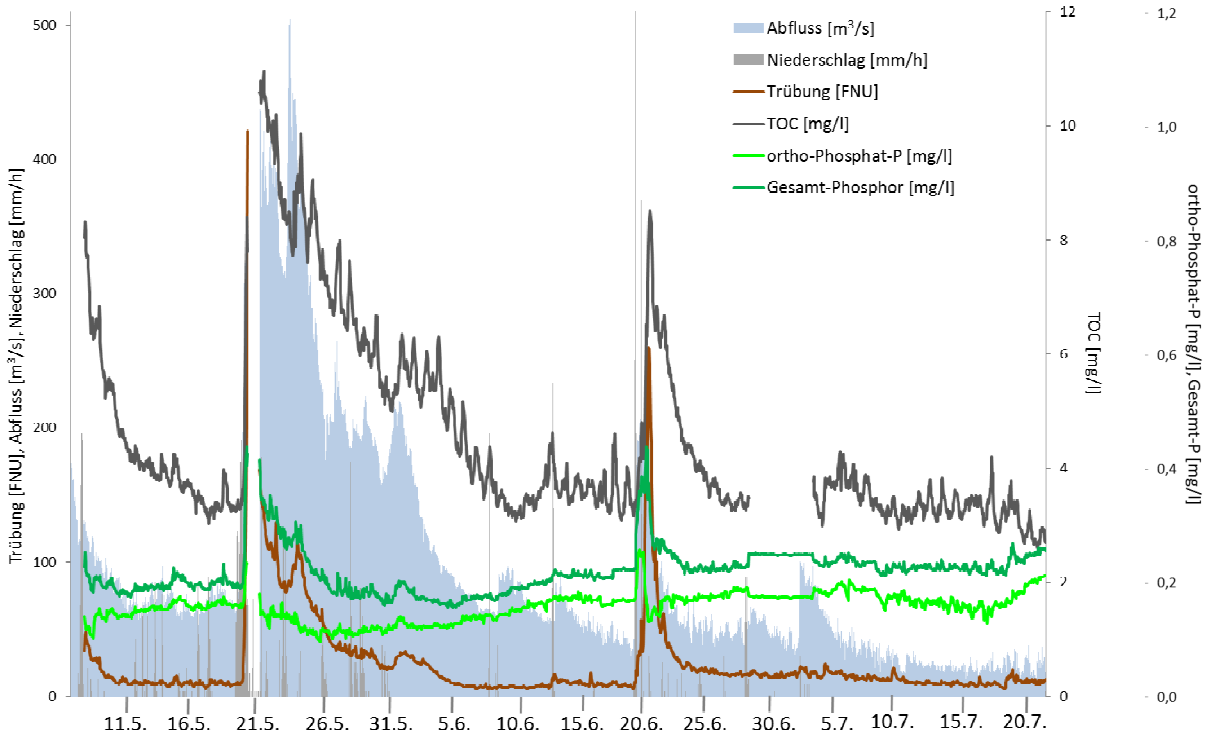


Abbildung 3.1.1-1: Gehalte an Gesamt-Phosphor, TOC und Trübung (Station *Mettlach*), Abfluss (Pegel *Fremersdorf*) sowie Niederschlag (Station *Merzig)* (19. April bis 23. Juli 2013)

Während zwischen den TOC-Gehalten und Abfluss bis etwa 20. Juli eine relativ gute Korrelation besteht (siehe Abbildung 3.1.1-2), kann dies bei Phosphor und Abfluss im selben Zeitraum nicht festgestellt werden (siehe Abbildung 3.1.1-3). Die Korrelationen zwischen TOC und Abfluss bzw. zwischen Phosphor und Abfluss sind trotz erheblicher Streuung signifikant. Ein Unterschied besteht zunächst darin, dass TOC mit dem Abfluss deutlich ansteigt, was auf den Eintrag von terrestrischem organischem Material über Oberflächenabfluss, aber auch auf Mobilisierung aus ansonsten

stagnierenden Flussbereichen hinweist. Hingegen bleibt die Konzentration von Phosphor trotz steigendem Abfluss zum Teil ziemlich konstant, nimmt daneben aber auch im Rahmen bestimmter Ereignisse deutlich zu. Zu bedenken ist allerdings, dass eine konstante Konzentration bei steigendem Abfluss gleichbedeutend ist mit einer deutlichen Erhöhung der Fracht. Ein solcher Verlauf ist somit kennzeichnend für einen kontinuierlichen Auswaschungsprozess aus einer großen Fläche, die als Depot anzusehen ist. Dieser Auswaschprozess ist im Falle des TOC stärker als bei Phosphor.

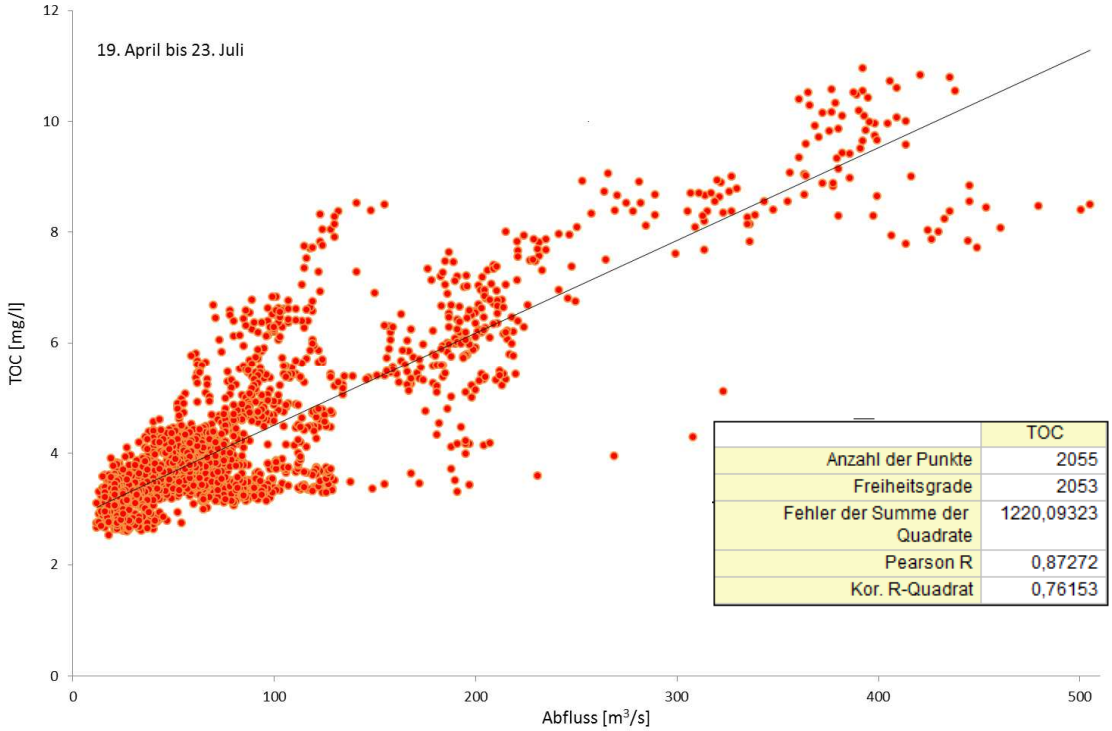


Abbildung 3.1.1-2: TOC (Station *Mettlach*) in Abhängigkeit vom Abfluss (Pegel *Fremersdorf*) (19. April bis 23. Juli 2013)

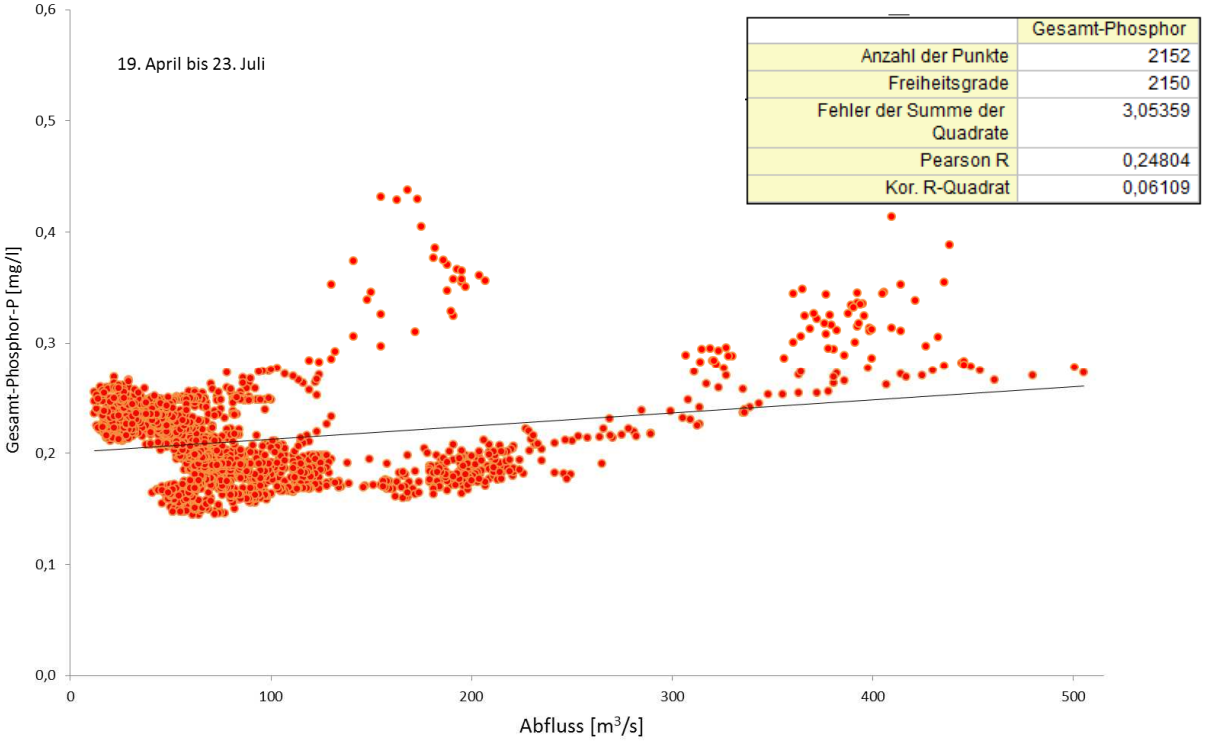


Abbildung 3.1.1-3: Gesamt-Phosphor (Station *Mettlach*) in Abhängigkeit vom Abfluss (Pegel *Fremersdorf*) (19. April bis 23. Juli 2013)

In Abbildung 3.1.1-3 lassen sich für Phosphor zwei unterschiedliche Ereignisse im genannten Zeitraum erkennen. Eine detaillierte Aufschlüsselung der Werte zeigt, dass es in der Tat insgesamt drei deutlich verschiedene Prozesse gibt, die jeweils mit einem Anstieg der Abflusswelle einhergehen. In einem ersten (rot markiert; 16. bis 26.05.; n=290) steigt der Phosphor Gehalt langsam an, der TOC Wert hingegen springt recht schnell auf ein sehr hohes Niveau (siehe Abbildung 3.1.1-4). Dies ist mit Situationen vergleichbar, bei denen zunächst nur wenige Niederschläge über einen längeren Zeitraum erfolgt sind und das Land durch Trocknungsrisse aufgebrochen ist, so dass ein größerer Niederschlag erhebliche Mengen an Feststoff über Oberflächeneintrag einspülen kann. Dies betrifft in den gemessenen Parametern insbesondere die Trübung bzw. den TOC aus humifiziertem Material, an dem auch gebundener Phosphor mitgerissen wird. In gleicher gilt dies auch für Material aus stagnierenden Gewässerbereichen (s.o.).
Im zweiten, darauf folgenden Ereignis (blau markiert, 27.05. bis 18.06.; n=571) kann die Ausspülung nur geringer ausfallen, weil ein erheblicher Teil des Materials bereits ab- bzw. ausgetragen ist. Das Verhältnis Phosphor/TOC ist deutlich kleiner geworden, da jetzt nur weniger oberflächlich anhaftender Phosphor noch vorhanden ist.
Das dritte Ereignis (gelb markiert; 19.06. bis 03.07.; n=238) weicht von den ersten beiden erheblich ab. TOC und Phosphor steigen sehr schnell an, außerdem ist das P/TOC Verhältnis deutlich größer. Es hat den Anschein als wäre hier ein größeres Regenereignis in einem ganz anderen Bereich des gesamten Einzugsgebietes aufgetreten, in dem die zuvor registrierten Prozesse noch nicht abgelaufen sind.

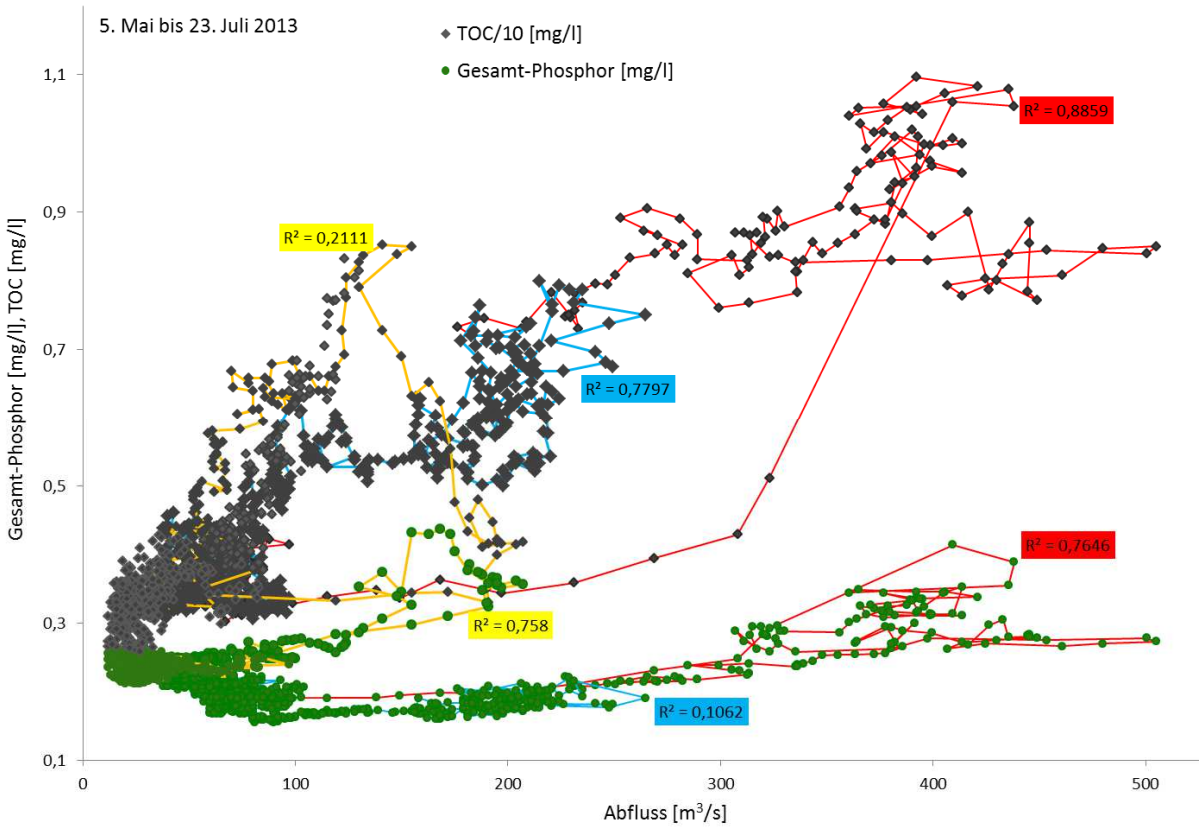


Abbildung 3.1.1-4: Verlauf von Gesamt-Phosphor und TOC (Station *Mettlach*) in Abhängigkeit vom Abfluss (Pegel *Fremersdorf*) bei unterschiedlichen Abflussereignissen (5. Mai bis 23. Juli 2013)

In der zweiten Hälfte des Messzeitraumes bei insgesamt geringeren Abflüssen setzen sich hingegen sehr deutliche parallele Tagesschwankungen von TOC und Trübung, sowie teilweise, leichte Tageszyklen von Phosphor durch (siehe Abbildung 3.1.1-5). Alle Parameter verlaufen dann, bis auf das größte Abflussereignis in diesem Zeitraum, nahezu unabhängig vom Abfluss und von Niederschlägen. Die Tageszyklen der Trübung verlaufen dabei recht stabil um 15 FNU, auch die Phosphatgehalte werden durch den Wasseranstieg nur leicht verdünnt. Lediglich die TOC-Konzentrationen steigen, allerdings mit hohem Zeitversatz zum Abfluss, stark an, wobei jedoch die Tageszyklen nach wie vor ausgeprägt sind. Da die Trübung jedoch nicht zunimmt, lässt vermuten, dass dabei kohlenstoffhaltige Wässer über Zwischenabfluss in die Saar transportiert worden sind. Dies kann auch über Seitenbäche erfolgen.

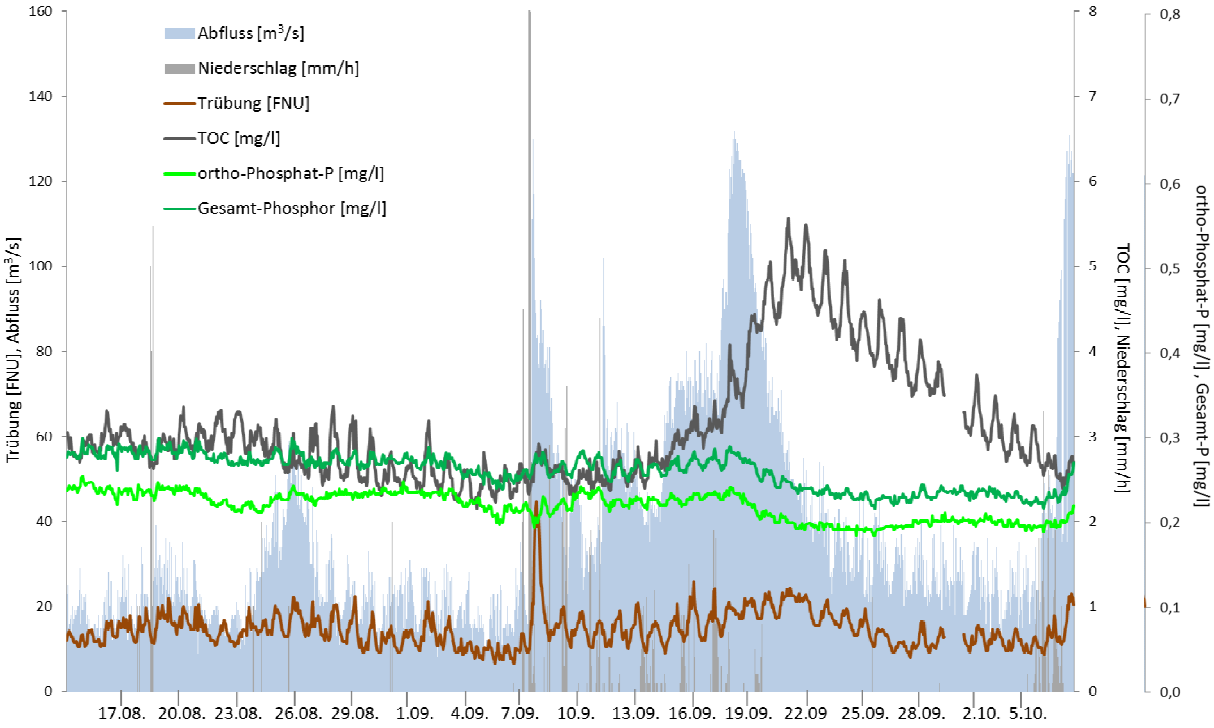


Abbildung 3.1.1-5: Tagesschwankungen von Phosphor, TOC und Trübung (Station *Mettlach*), Abfluss (Pegel *Fremersdorf*) sowie Niederschlag (Station *Merzig)* (24. Juli bis 7. Oktober 2013)

Am Beispiel der Verläufe der Tagesmittelwerte von TOC in Abhängigkeit vom Abfluss vom 14. September bis 5. Oktober zeigt sich ein zum Abfluss zeitlich verzögert auftretender Transport von TOC, wie es eher für Einträge über Zwischenabfluss typisch ist (siehe Abbildung 3.1.1-6): bei stark ansteigendem Abfluss nimmt die Konzentration zunächst nur wenig zu (14. bis 19.9.), dann steigt sie trotz abnehmender Wassermengen stark an (19. bis 22.9.). In der abschließenden Phase fallen beide Messgrößen auf die Basislinien zurück (22.9. bis 5.10.). In Abbildung 3-6 ist neben der für Interflow-Ereignisse typischen Schleifenkurve für TOC auch eine entsprechende Kurve für die Trübung dargestellt, für die man zunächst keine Phänomene aus Zwischenabfluss (Interflow) erwarten wird. Dass die Messwerte in der Zeitdomäne dennoch so wirken, zeigt, dass diese „Trübung“ zum größten Teil aus Stoffen besteht, die in kolloidaler Form vorliegen und somit auch über die Trübung erfasst werden. Diese Huminstoffe werden in der Tat sogar bevorzugt im Zwischenabfluss ausgetragen. Die Korrelation solcher Messwerte gibt daher einen Aufschluss über die Prozesse und lässt unterscheiden zwischen Oberflächenabschwemmung, bei der vor allem sandige Bestandteile ausgetragen werden, und Interflow, bei dem die lang deponierten Stoffe langsam mobilisiert werden. Die große Welle im genannten Zeitraum ist somit Kennzeichen einer länger anhaltenden und großflächigen Niederschlagsperiode, in der solche tiefenwirksame Auswaschungen stattgefunden haben.

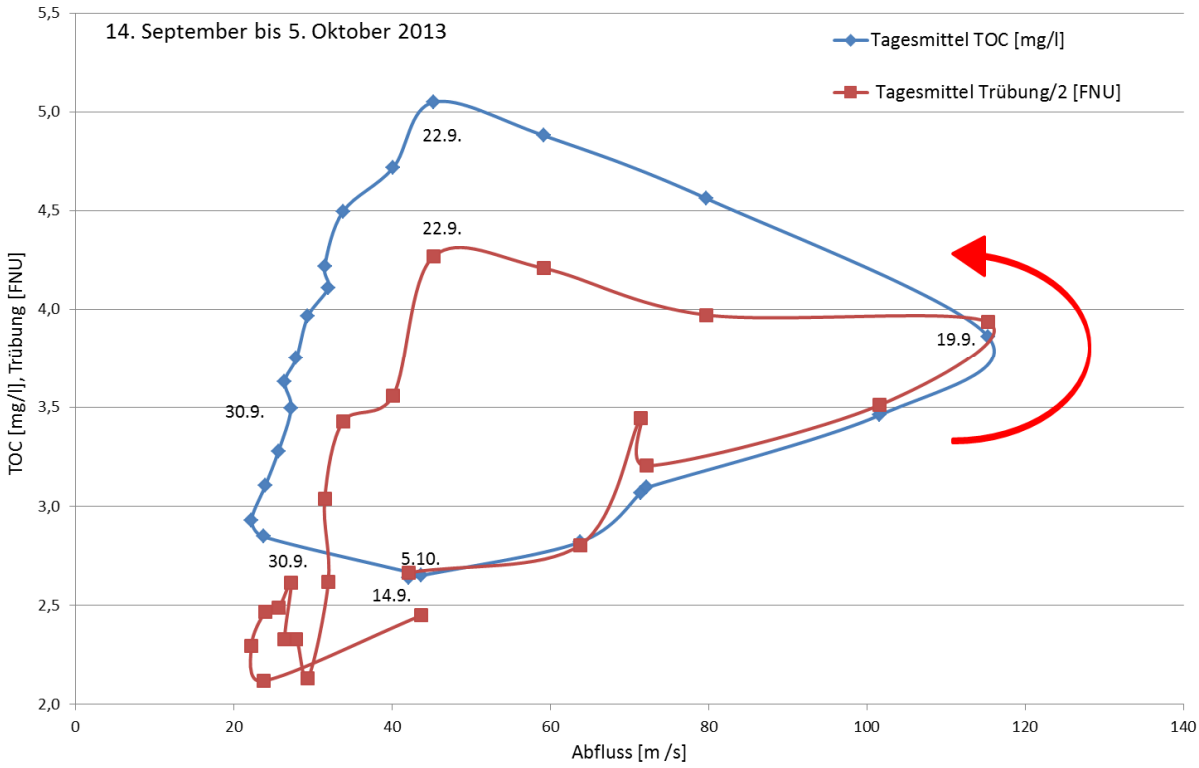


Abbildung 3.1.1-6: Verlauf der Tagesmittelwerte von TOC und Trübung (Station *Mettlach*) in Abhängigkeit vom Abfluss (Pegel *Fremersdorf*) (14. September bis 5. Oktober 2013)

Diese Deutung lässt sich auch untermauern durch die Messergebnisse von TOC und Gelbstoffen im Zeitabschnitt vom 19.-27. Juni, in dem das Messsignal der Gelbstoffe den gleichen Verlauf wie für Interflow-Phänomene üblich zeigt (siehe Abbildung 3.1.1-7). Das Ereignis läuft lediglich schneller ab als das im Oktober.

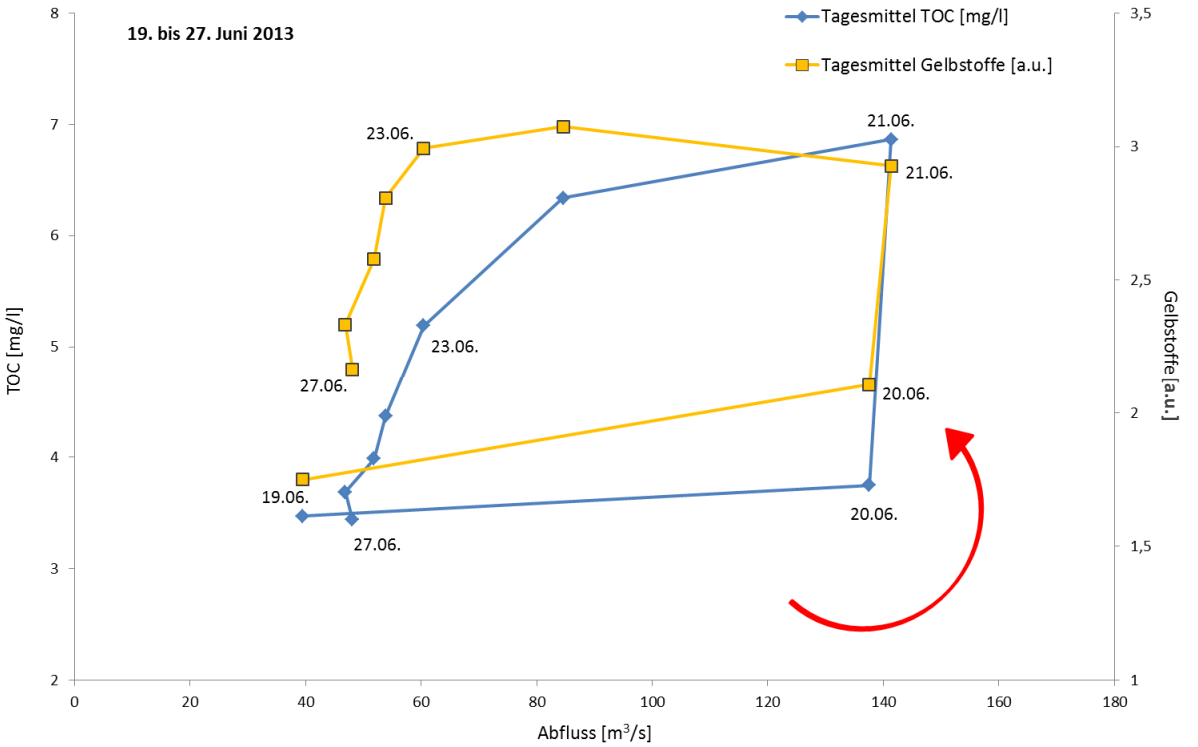


Abbildung 3.1.1-7: Verlauf der Tagesmittelwerte von TOC und Gelbstoffen (Station *Mettlach*) in Abhängigkeit vom Abfluss (Pegel *Fremersdorf*) (19. bis 27. Juni 2013)

Gelbstoffe und TOC

Um Störungen auszuschließen wird im Zuge der Chlorophyllmessungen eine Absorptionsmessung bei 330nm durchgeführt. Bei dieser Wellenlänge werden oft auch die sognannten Gelbstoffe erfasst. Das eingesetzte Gerät bietet die Möglichkeit, diese Extinktion als relativen Gelbstoffgehalt (ohne Einheit, arbitrary unit [a.u.]) auszugeben.

Gelbstoffe (Yellow Substances) beinhalten vor allem sogenanntes DOM (Dissolved Organic Matter, vornehmlich Huminstoffe), welche wiederum große Mengen an Kohlenstoffen enthalten, die auch über den TOC erfasst werden. Daher wäre ein hoher Zusammenhang zwischen TOC und den sogenannten Gelbstoffen zu erwarten.

Dennoch gibt es Fraktionen, die nicht von beiden Messmethoden gleichermaßen erfasst werden. In Abbildung 3.1.1-8 zeigt sich, dass bei einem Abflussereignis zunächst Trübung, Gelbstoffe und TOC-Gehalte gleichermaßen ansteigen. Die Trübstoffe nehmen schnell wieder ab, die TOC-Konzentrationen gehen sehr viel langsamer zurück und die Gehalte der Gelbstoffe verbleiben sehr lange auf demselben Niveau. Auffällig ist, dass sich auch bei hohen Wasserständen Tageszyklen von TOC mit Maxima um die Mittagszeit durchsetzen. Leichte Tagesschwankungen lassen sich vor allem bei geringeren Wasserständen im Verlauf der Gelbstoffgehalte nachvollziehen, wobei deren Maxima nachts auftreten.

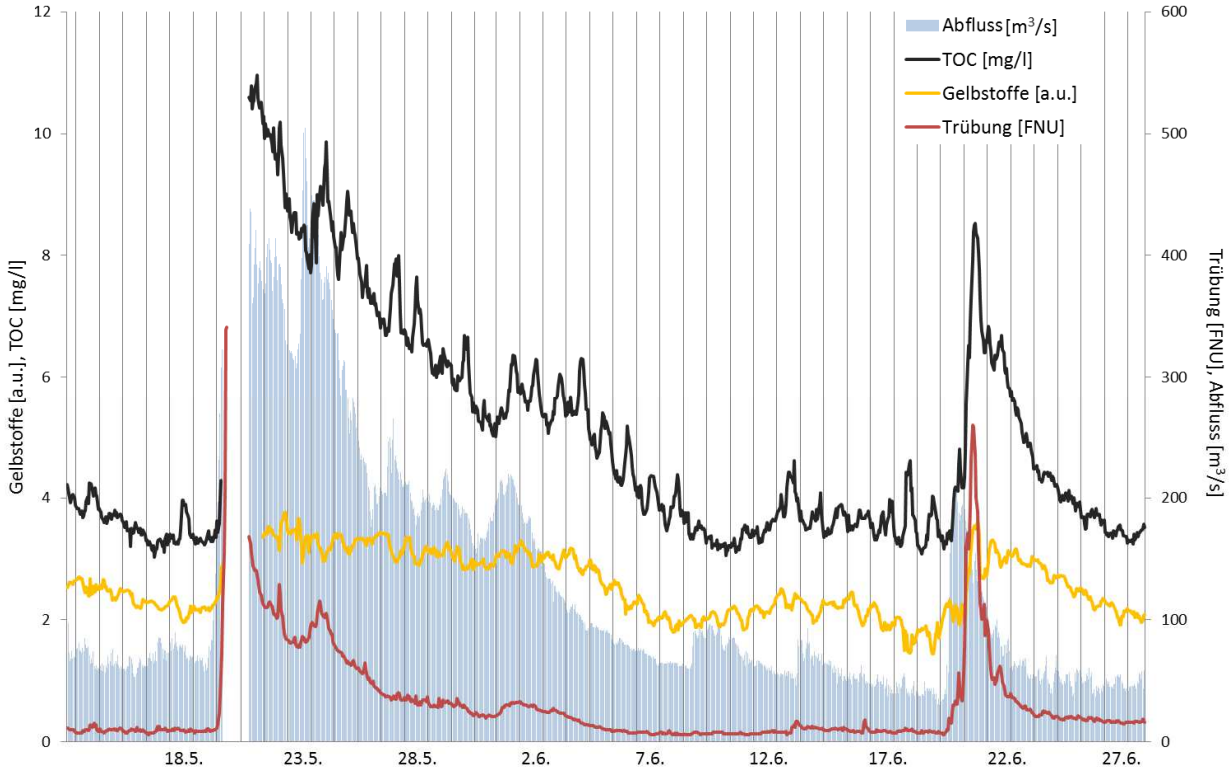


Abbildung 3.1.1-8:Verlauf von TOC, Gelbstoff-Gehalten und Trübung (Messstation *Mettlach)*¸ Abfluss (Station *Fremersdorf*) (13. Mai bis 28. Juni 2013)

Trägt man die Gehalte an Gelbstoffen für die beiden oben dargestellten Abflussereignisse in Abhängigkeit der TOC-Konzentrationen auf, so zeigt sich, dass in der ansteigenden Welle in der Tat Gelbstoffe und TOC einen hohen Zusammenhang aufweisen, also mit hoher Wahrscheinlichkeit dieselben Stoffe von beiden Summenparametern erfasst werden (siehe Abbildung 3.1.1-9). Im Gegensatz dazu werden beim Rückgang des Wassers Stoffe getragen, die nur über die Gelbstoffe erfasst werden. Vermutlich finden neben den Flächenabspülungen auch Einträge von Gelbstoffen über Zwischenabfluss statt, wofür auch der Zeitversatz des Eintrages im Verhältnis zum Abflussrückgang spricht. Dieses Phänomen bildet sich in vielen Abflussereignissen ab.

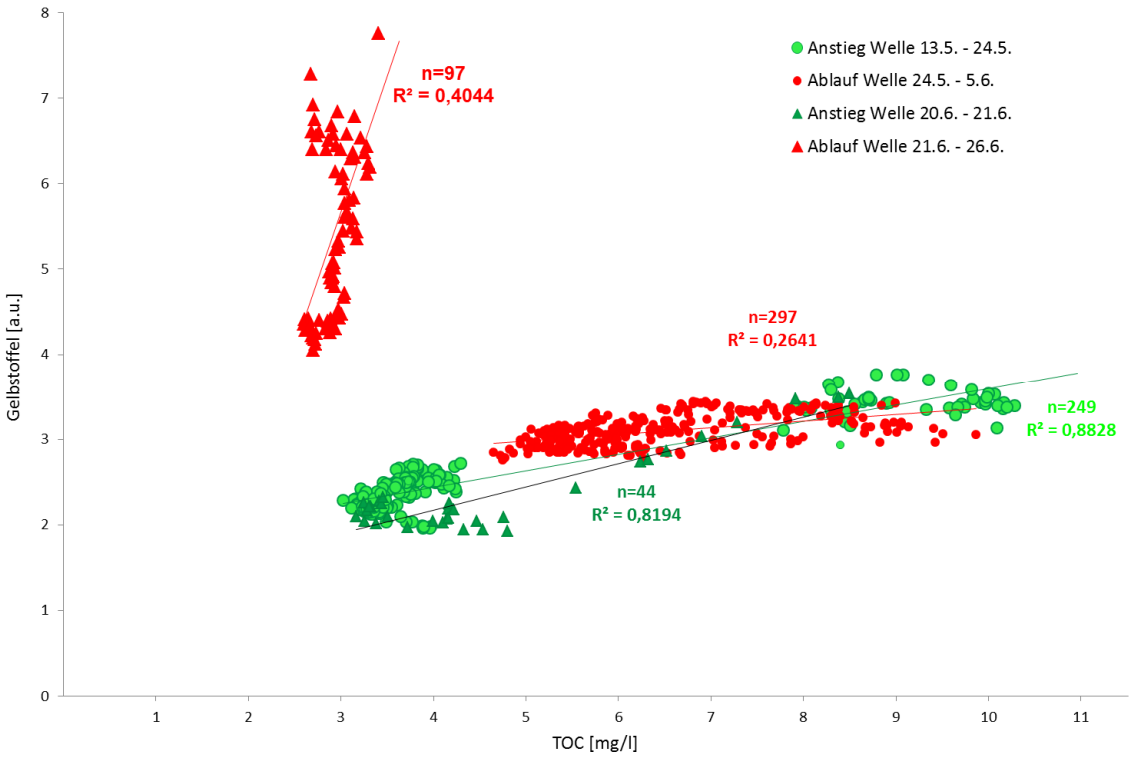


Abbildung 3.1.1-9: Gelbstoffe in Abhängigkeit vom Gehalt an TOC (Station *Mettlach*; 13. Mai bis 26. Juni 2013)

3.1.2 Weitere Nährstoffe

Obwohl diese Zyklen sich in den Chlorophyll-Gehalten nicht widerspiegeln, ist davon auszugehen, dass sie nur durch biologische Aktivität hervorgerufen sein können. Auf Grund der Entfernung zur nächsten Kläranlage[5], der Wassermenge in der Saar sowie der Beeinflussung durch die Staustufe können diese Zyklen nicht auf kontinuierliche Einleitungen aus technischen Anlagen zurückgeführt werden. Dafür spricht auch, dass derlei Einflüsse bei Zunahme des Abflusses grundsätzlich „verwischt“ werden, sich hier aber auch während des Abflussanstiegs sehr deutlich abzeichnen.
Zudem zeigen sich während eines Teiles des betreffenden Zeitraumes entgegengesetzte Tageszyklen und Trends für Ammonium-N, was auf einen Konsum von Ammonium bei der Bildung von Biomasse oder auf die Produktion durch Protein-Abbau schließen lässt (siehe Abbildung 3.1.2-1).

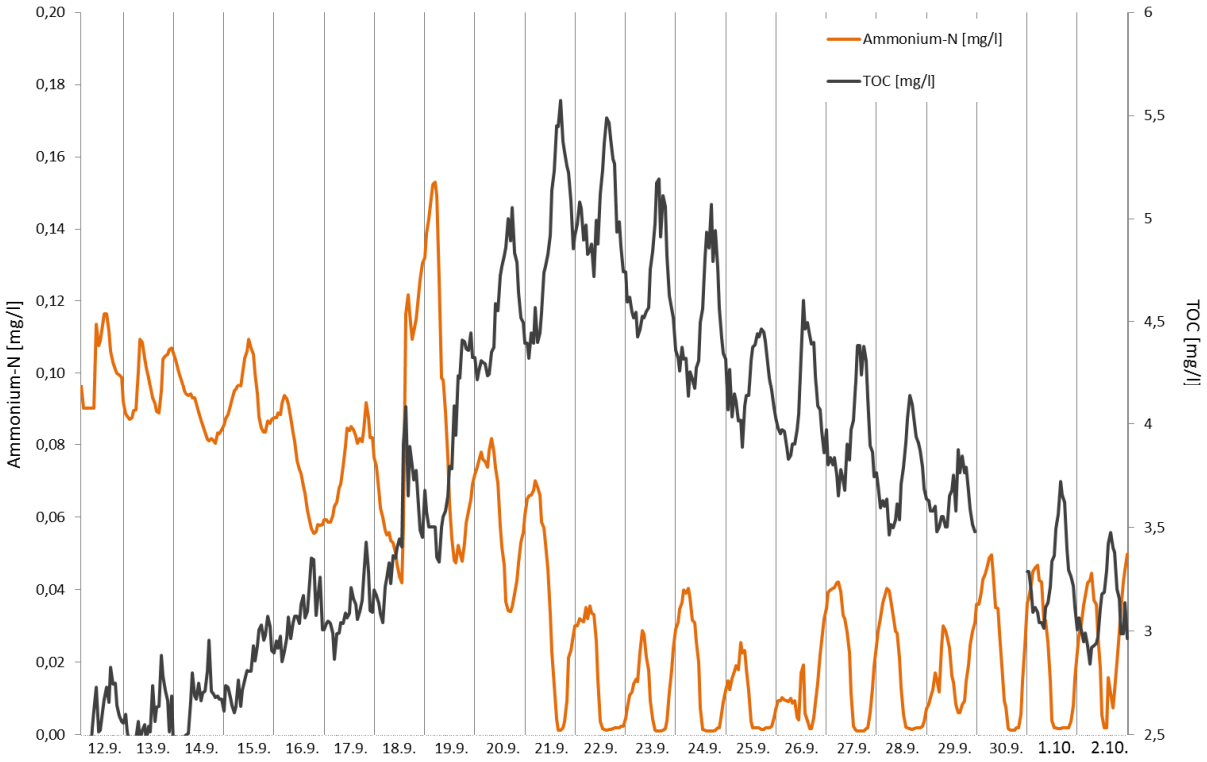


Abbildung 3.1.2-1: Konzentrationen von Ammonium-N und TOC (Station *Mettlach*) (12. September bis 2. Oktober 2013)

[5] Die Kläranlage der Firma Villeroy & Boch, die sich in der Nähe der Messstelle befindet, leitet nicht zyklisch ein (mündl. Mitteilung Fa. V&B).

Weder bei Nitrat-N, noch bei Ammonium-N konnte eine Veränderung der Konzentrationsverläufe, wie sie für TOC, Phosphor und Trübung oben beschrieben wurde, beobachtet werden. Es fällt lediglich auf, dass die Ammonium-N-Gehalte in der ersten Hälfte des Messzeitraumes nicht auf dieselben niedrigen Basisgehalte absinken wie in der zweiten Hälfte (siehe Abbildung 3.1.2-2). Dies scheint mit dem erhöhten Abfluss einherzugehen, zudem treten Ammonium-Spitzen bei vielen Abflussereignissen auf, dennoch sind die Ammonium-N-Konzentrationen bis auf wenige Ausnahmen nicht mit den Abflussmengen korreliert. Die Gehalte lagen während des Messzeitraumes immer unter dem Orientierungswert von 0,3 mg/l Ammonium-N (vgl. Tabelle 4-1). Die Nitrat-N-Gehalte verlaufen relativ konstant bei ca. 2,8 mg/l und werden nur bei sehr großen Wassermengen zunächst leicht erhöht und dann etwas verdünnt.

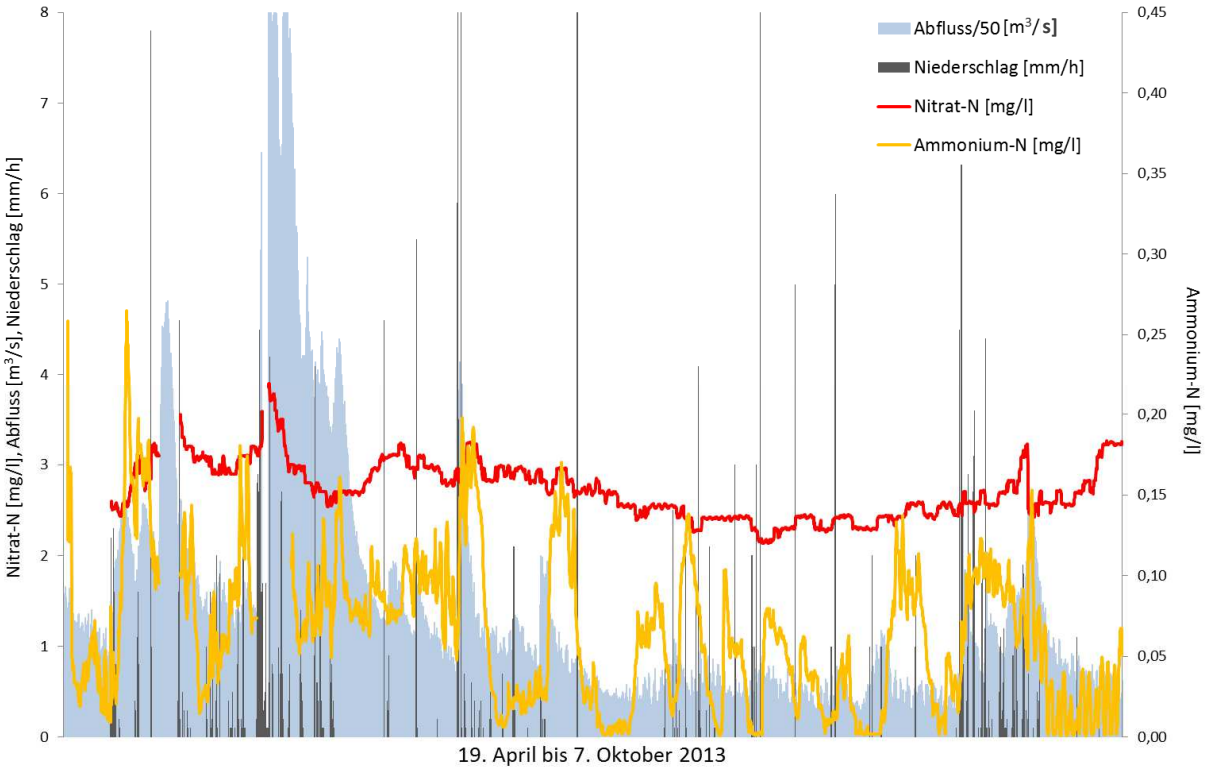


Abbildung 3.1.2.-2: Gehalte an Ammonium-N und Nitrat-N (Station *Mettlach*), Abfluss (Pegel *Fremersdorf*) und Niederschläge (Station *Merzig*) über den gesamten Messzeitraum

Bei geringen Wassermengen geht die Basislinie der Ammonium-N-Gehalte zurück, es zeigen sich jedoch bei den kleinsten Regenereignisse immer wieder nahezu sprunghafte Zunahmen an Ammonium-N, wobei die Nitrat-N-Konzentration kontinuierlich abnimmt (siehe Abbildung 3.1.2-3). Die maximalen Konzentrationen belaufen sich dabei allerdings lediglich auf 0,2 mg/l. Ein Vergleich mit den in *Thailen*, *Bachem*, *Saarhölzbach* und *Niederlosheim* aufgezeichneten Niederschlagsdaten konnte keine weiteren Hinweise auf eine mögliche Herkunft der Ammonium-N-Frachten liefern.

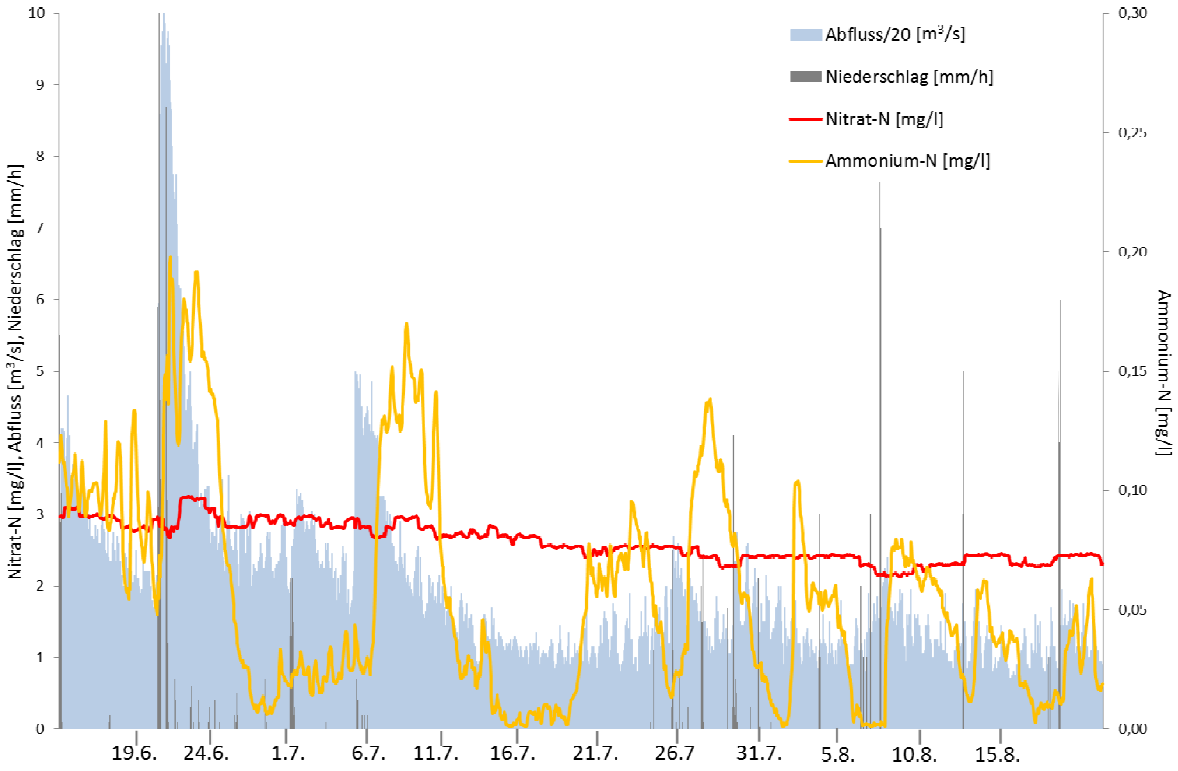


Abbildung 3.1.2-3: Anstieg von Ammonium-N und Rückgang von Nitrat-N (Station *Mettlach*) bei abnehmendem Abfluss (Pegel *Fremersdorf*), Niederschläge (Station *Merzig*) (14. Juni bis 21. August 2013)

Auch die Betrachtung der Frachten im Vergleich mit dem Abfluss macht deutlich, dass die Einträge von Ammonium-N unabhängig von diesem erfolgen (siehe Abbildung 3.1.2-4). Auf Grund der großen Wassermengen erreichen die Frachten bei Abflussspitzen z.T. sehr hohe Werte, wie hier im Beispiel die Maxima von Gesamt-Phosphor 140 kg pro Stunde, von TOC fast 2 t pro Stunde und von Nitrat-Stickstoff 120 kg pro Stunde (vgl. auch Tabelle 4-2).

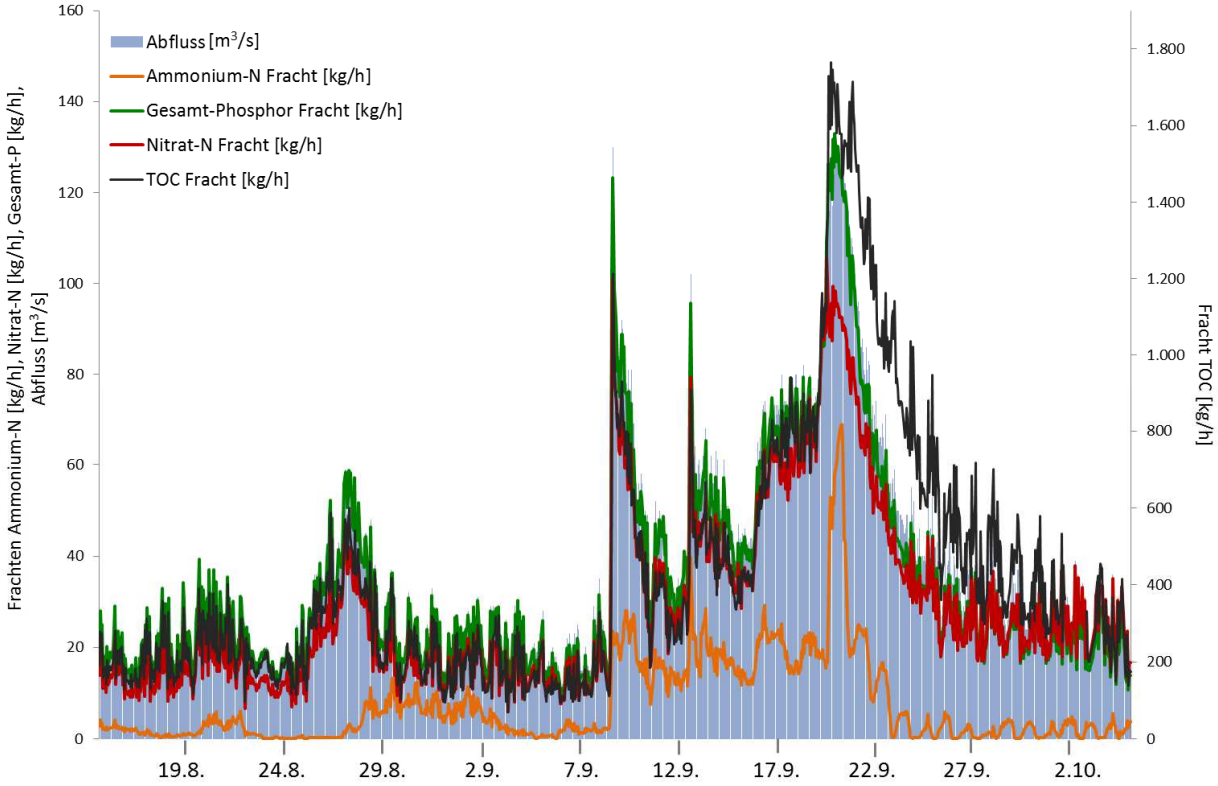


Abbildung 3.1.2.-4: Frachten von Ammonium- und Nitrat-Stickstoff sowie Gesamt-Phosphor und TOC (Station *Mettlach*), Abfluss (Pegel *Fremersdorf*) (14. August bis 6. Oktober 2013)

Bei verschiedenen Abflussereignissen zeigt sich ein Zeitversatz der einzelnen Konzentrationsmaxima, welcher sich aus sich überlagernden Einträgen unterschiedlicher Herkunft und damit aus unterschiedlichen Orten im Flussverlauf ergibt. Im folgenden Beispiel (siehe Abbildung 3.1.2-5) sieht man zunächst im Anstieg der Wasserwelle die Zunahme von Ammonium-N und ortho-Phosphat (dadurch auch Gesamt-Phosphor), was dann auf Einträge von kommunalem Abwasser schließen lässt (Zeitbereich 1 vom 20. bis 21.6.).
Anschließend kommt es zu Einträgen von Partikel gebundenem Phosphor[6], Trübung und TOC (Zeitbereich 2 vom 21. bis 22.6.). Diese können aus Oberflächeneinträgen oder auch aus der Remobilisierung von Gewässersedimenten stammen. Die Ammonium-N-Gehalte werden durch dieses Wasser zunächst verdünnt (d.h. in der zweiten Welle wird Wasser ohne große Ammonium-N-Mengen eingetragen), erreichen dann aber wieder das ursprüngliche Niveau. Die Tatsache, dass auch diese leichte Erhöhung des Ammonium-N-Gehaltes weiter anhält (Zeitbereich 3 vom 22. bis 24.6.), könnte darauf zurückzuführen sein, dass das Redox-Gleichgewicht im System mit einem gewissen Sauerstoff-Verbrauch (evtl. durch den Anstieg von TOC) belastet wurde, so dass der Ammonium-Abbau langsamer abläuft.
Dennoch bleibt die Sauerstoffversorgung mit um die 8 mg/l relativ gut. In der ablaufenden Wasserwelle gehen die Nährstoffkonzentrationen auf die Basislinien zurück. Die Nitrat-N-Gehalte bleiben von diesen Veränderungen bis auf eine geringfügige Verdünnung weitestgehend unbeeinflusst.

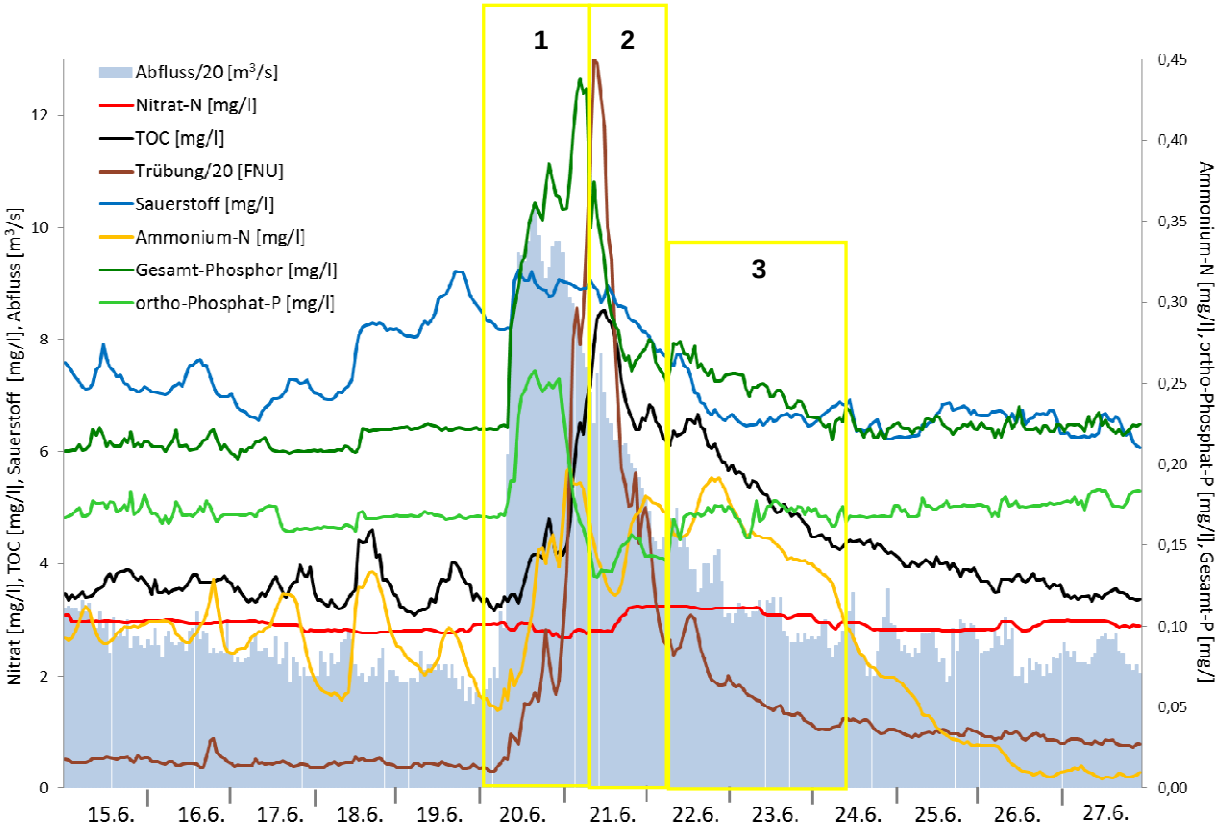


Abbildung 3.1.2-5: Entwicklung von Sauerstoff sowie Gehalte von Ammonium-N, Phosphor, Nitrat-N und TOC (Station *Mettlach*) bei Trockenwetterabfluss (Pegel *Fremersdorf*) (7. bis 23. Juni 2013)

[6] Der Anteil von an Partikel gebundenem Phosphor ergibt sich aus der Differenz von Gesamt-Phosphor und gelöstem ortho-Phosphat.

3.1.3 Chemisch-physikalische Messgrößen

Leitfähigkeit

Die Leitfähigkeit ist mit 350 bis 950 µS/cm vergleichsweise hoch. Sie folgt, wie in anderen, weitaus natürlicher strukturierten Gewässern auch, im Trend der Wassertemperatur (siehe Abbildung 3.1.3-1) und wird bei Regenfällen verdünnt, da Niederschlagswasser nur geringe Salzgehalte und somit geringe Leitfähigkeiten aufweist.

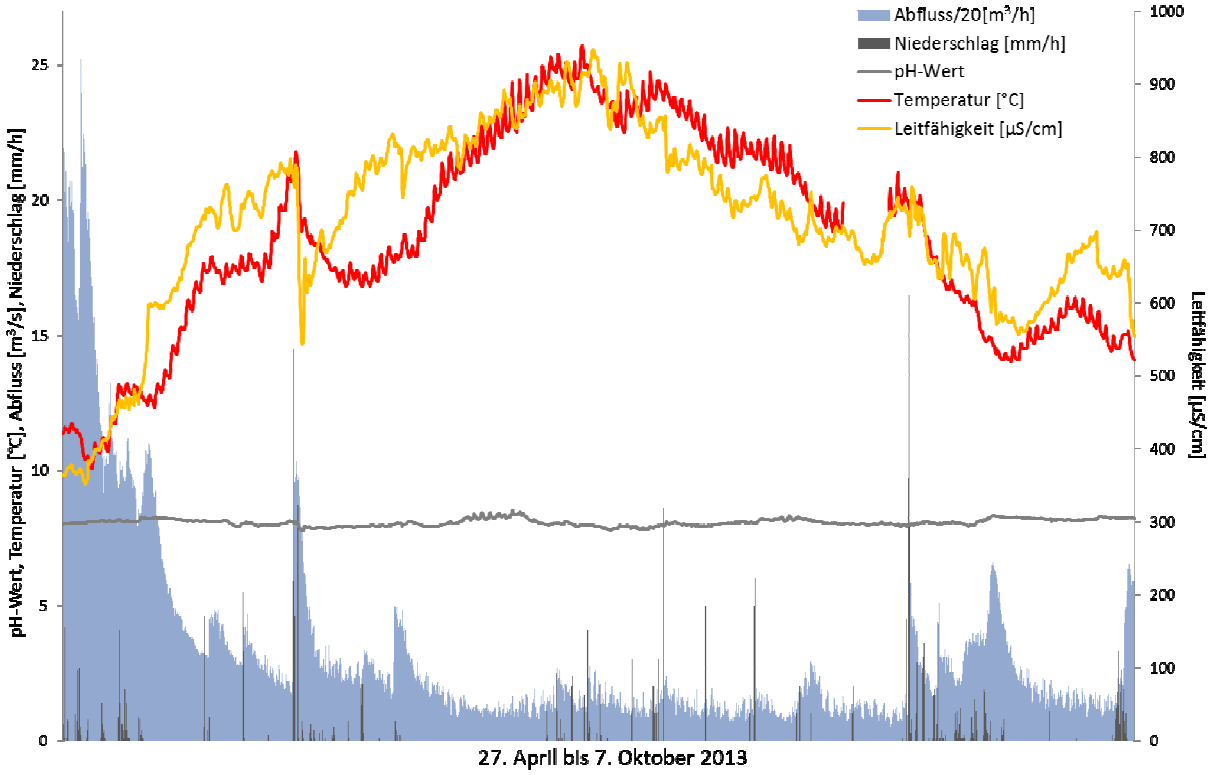


Abbildung 3.1.3-1: Verlauf von Leitfähigkeit, Wassertemperatur und pH-Wert (Station *Mettlach*), Abfluss (Pegel *Fremersdorf*) und Niederschläge (Station *Merzig)* (27. April bis 7. Oktober 2013)

Im Verlauf des Photosynthese-Prozesses wird ein Gewässer basischer, außerdem nimmt der Sauerstoffgehalt zu und die Leitfähigkeit ab. Diese Prozesse verlaufen gleichzeitig, sie sind durcheinander bedingt, d.h. die Kurven, die die zeitliche Veränderung der verschiedenen chemischen Reaktionen darstellen, sollten zunächst parallel sein, wenn nur der physikalische „Temperatur-Effekt“ wirksam ist. Bei schnellerer Temperaturänderung ist zu erwarten, dass sie mit einer mehr oder weniger großen Zeitverzögerung folgen, weil die biologischen Prozesse zunächst erst anlaufen müssen.
Tagesgänge der Leitfähigkeit lassen sich in der Saar in *Mettlach* jedoch nur in seltenen Fällen bei Trockenwetter feststellen und sind nicht sehr ausgeprägt (siehe Abbildung 3.1.3-2).

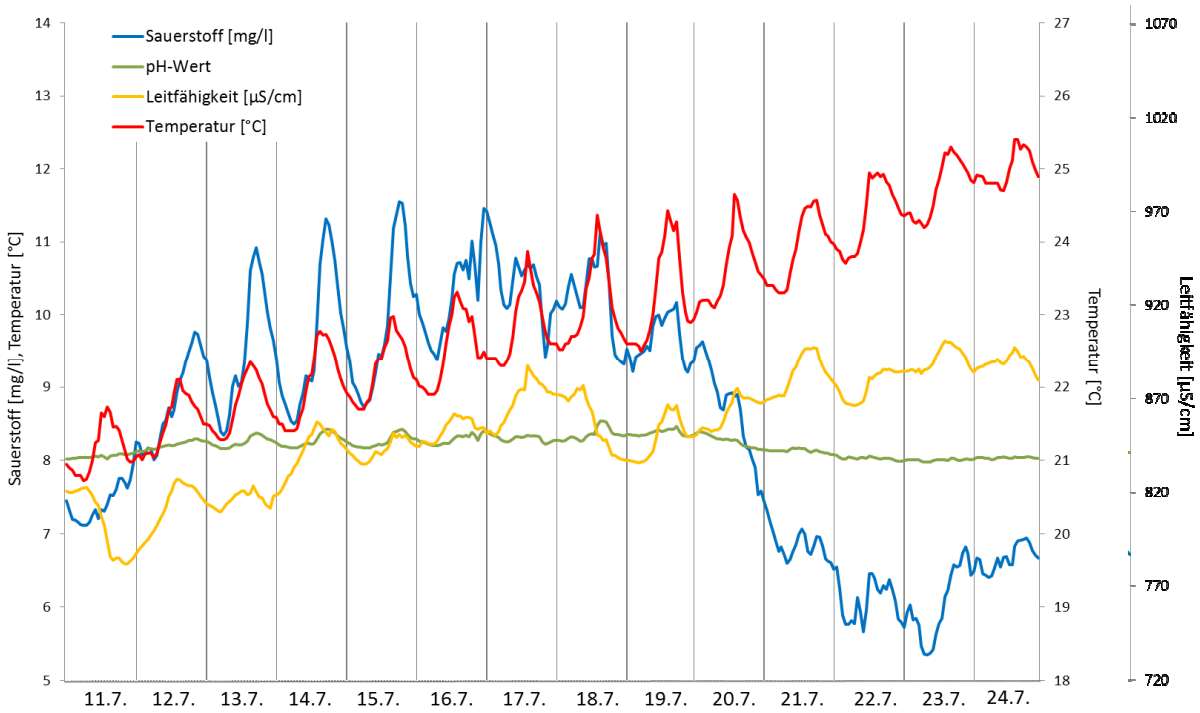


Abbildung 3.1.3-2: Verlauf von Leitfähigkeit, Sauerstoff, Temperatur und pH-Wert (Station *Mettlach*) bei Trockenwetterabfluss (Pegel *Fremersdorf*) (11. bis 24. Juli 2013)

Sauerstoff

Seit sehr vielen Jahren wurde immer wieder der Zustand der Saar hinsichtlich der Sauerstoffversorgung diskutiert. Je nachdem, an welchem Standort und in welcher Wassertiefe die Messungen durchgeführt werden, variieren die Sauerstoffgehalte des Flusses sehr stark.

Die Abbildung 3.1.3-3 zeigt eine Verlaufskurve aus dem Jahr 1995 aus Messungen des LUA. Der Wert von Online-Messungen wird im Vergleich mit der folgenden Abbildung 3-14 sichtbar, in der sich beachtliche Schwankungen des Sauerstoffgehaltes in einer wesentlich höher aufgelösten Zeitskala abbilden lassen.

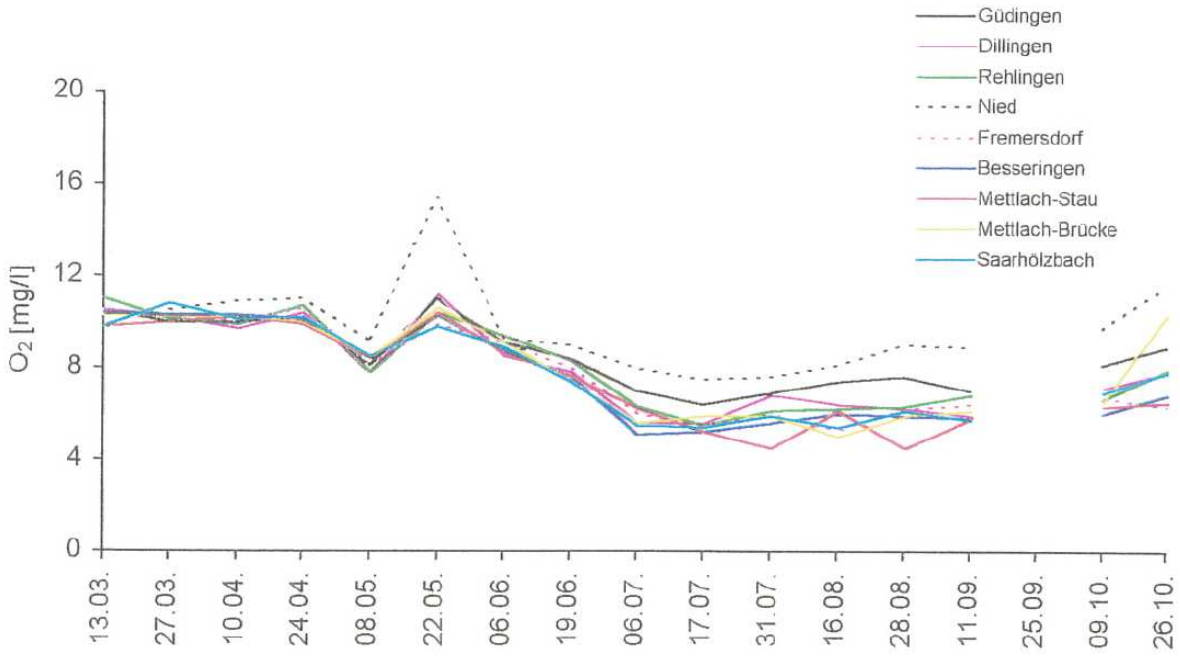


Abbildung 3.1.3-3: Sauerstoffgehalt in der Saar und Nied 1995 (Quelle [4])

Die von April bis Oktober 1,5 km unterhalb der Mettlacher Staustufe durchgeführten online-Messungen (Entnahme ca. 1 m unter der Wasseroberfläche) zeigen für diesen Standort eine vergleichsweise gute Versorgung (siehe Abbildung 3.1.3-4). Der Orientierungswert von 6 mg/l gelöstem Sauerstoff (vgl. Tabelle 4-1) wird nur einmal, allerdings über einen Zeitraum von zehn Tagen, unterschritten. Im Gegensatz zu vielen anderen Gewässern steigen, zumindest am beschriebenen Standort, bei Regenfällen die Sauerstoffkonzentrationen im Gewässer an. Dies liegt auch am Eintrag von Luftsauerstoff beim Wehrüberfall an der Staustufe *Mettlach*. Die Wassertemperatur überstieg während des Messzeitraumes den Orientierungswert von 28°C nicht.

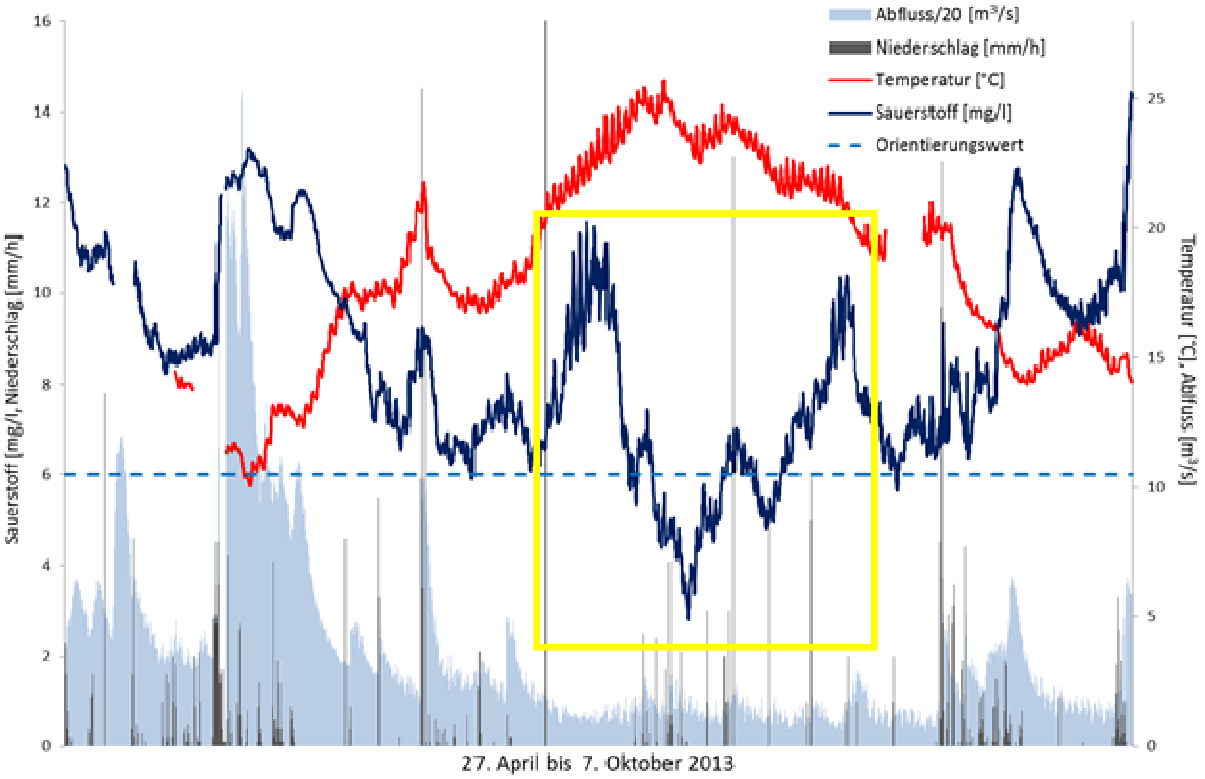


Abbildung 3.1.3-4: Sauerstoffgehalte und Wassertemperaturen (Station *Mettlach*), Abfluss (Pegel *Fremersdorf*) und Niederschläge (Station *Merzig)* über den gesamten Messzeitraum

Betrachtet man den Zeitraum, in dem die Sauerstoffgehalte deutlich unter 6 mg/l sinken (gelber Rahmen in Abbildung 3.1.3-4), im Vergleich mit sauerstoffzehrenden Substanzen wie Ammonium-N und TOC, so zeigt sich, dass im kritischen Zeitraum keine auffällig hohen Konzentrationen dieser beiden Stoffe aufgezeichnet wurden. Einträge von organisch belastetem Material fanden also nicht statt. Auch die Wassertemperatur unterlag keinen erheblichen Veränderungen. Es ist daher denkbar, dass sich durch die hohen Temperaturen die horizontale Schichtung der Saar vor einer der Staustufen aufgelöst hat, wodurch sauerstoffarmes Wasser nach oben steigen konnte und im Flussverlauf weiter transportiert wurde.

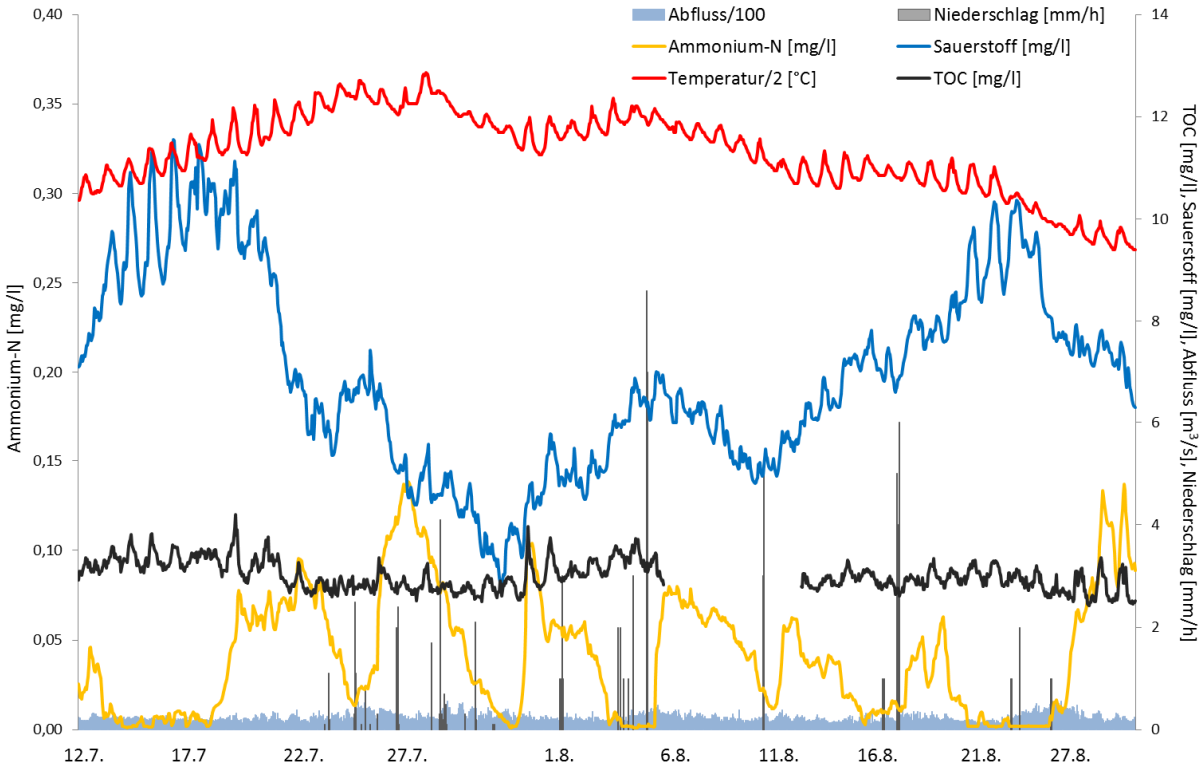


Abbildung 3.1.3-5: Sauerstoffgehalte und Wassertemperaturen (Station *Mettlach*), Abfluss (Pegel *Fremersdorf*) und Niederschläge (Station *Merzig)* über den gesamten Messzeitraum

Ein Vergleich der im Messzeitraum erhobenen Tagesminima mit den durch die BfG von 1997 bis 1999 ermittelten Tagesminima im Unterwasser der Staustufe *Mettlach* zeigt, dass sich die Verläufe sehr stark ähneln (Sauerstoffzunahme durch Algenblüte im Mai etc.), die minimalen Gehalte im Hochsommer inzwischen jedoch deutlich über den in den 1990er Jahren beobachteten Werten liegen (siehe Abbildung 3.1.3-6). Zur Wehrbelüftung im Jahr 2013 liegen keine Informationen vor, der Zustand der Saar hat sich in Bezug auf die Sauerstoffversorgung jedoch sichtbar verbessert.

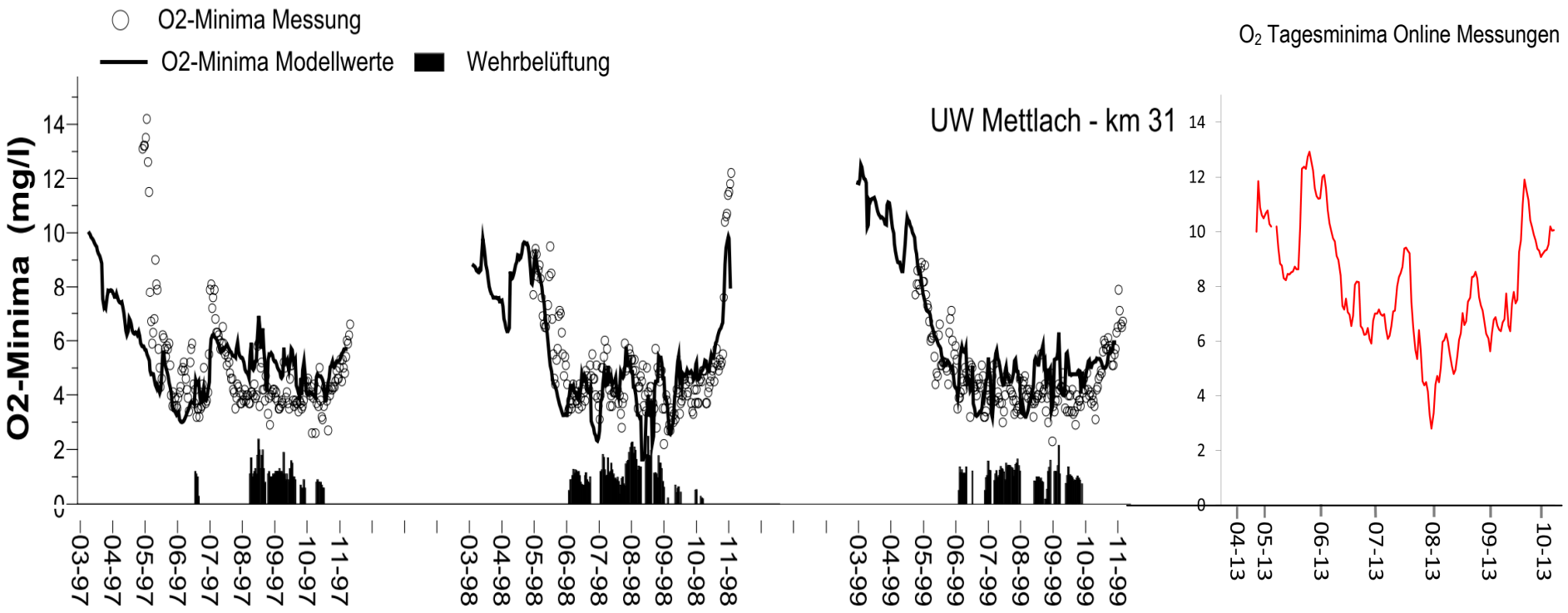


Abbildung 3.1.3-6: Links (schwarz): Tagesminima der Sauerstoffgehalte von März bis November 1997, 1998 und 1999 bzw. der Modellierung (Quelle [7]) und rechts (rot): Tagesminima der Sauerstoffkonzentrationen der Online-Werte über den gesamten Messzeitraum (Station *Mettlach)*

Die physikalische Löslichkeit von Sauerstoff steigt mit abnehmender Wassertemperatur, so dass Sauerstoff- und Temperaturkurve entgegengesetzt verlaufen. In den Frühjahres- und Sommermonaten verschiebt sich das Maximum des Sauerstoffzyklus aber auf Grund der Sauerstoffproduktion durch die Grünpflanzen zur Mittagszeit hin. Eine Auftragung der im Frühling und Sommer gemessenen Sauerstoffkonzentrationen gegen die Wassertemperatur kann Hinweise auf die Nährstoffsituation eines Gewässers liefern: durch die photosynthetische Aktivität der Grünpflanzen und Algen im Wasser kommt es tagsüber zu einem starken Anstieg der Sauerstoffgehalte. Nachts oder bei Eintrübung des Wassers wird hingegen Sauerstoff veratmet. Je größer die Amplituden zwischen Sauerstoffzunahme und –abnahme durch Sauerstoffproduktion und –veratmung und je höher die Übersättigung desto wahrscheinlicher ist eine Eutrophierung, also eine Übersättigung des Gewässers mit Nährstoffen, welche eine Überproduktion an Biomasse bedingt.
Am Standort in *Mettlach* wird die physikalische Sauerstoffsättigung des Wassers (unter Annahme von Normaldruck) selten überschritten wird. Übersättigungen treten nur kurzfristig im Frühjahr und Mitte des Jahres in länger anhaltenden Trockenphasen auf.
Betrachtet man den Sauerstoffverlauf in Abhängigkeit von der Wassertemperatur an einigen Tagen im Juli, so zeigt sich, dass die Amplituden z.T. recht ausgeprägt sind (siehe Abbildung 3.1.3-7). Dennoch lassen sich derartige Tagesverläufe im Vergleich zu kleineren, aber auch schneller fließenden Gewässern nur sehr selten abbilden. Dies zeigt, wie viel stärker die Saar von äußeren als von endogenen Faktoren beeinflusst wird.

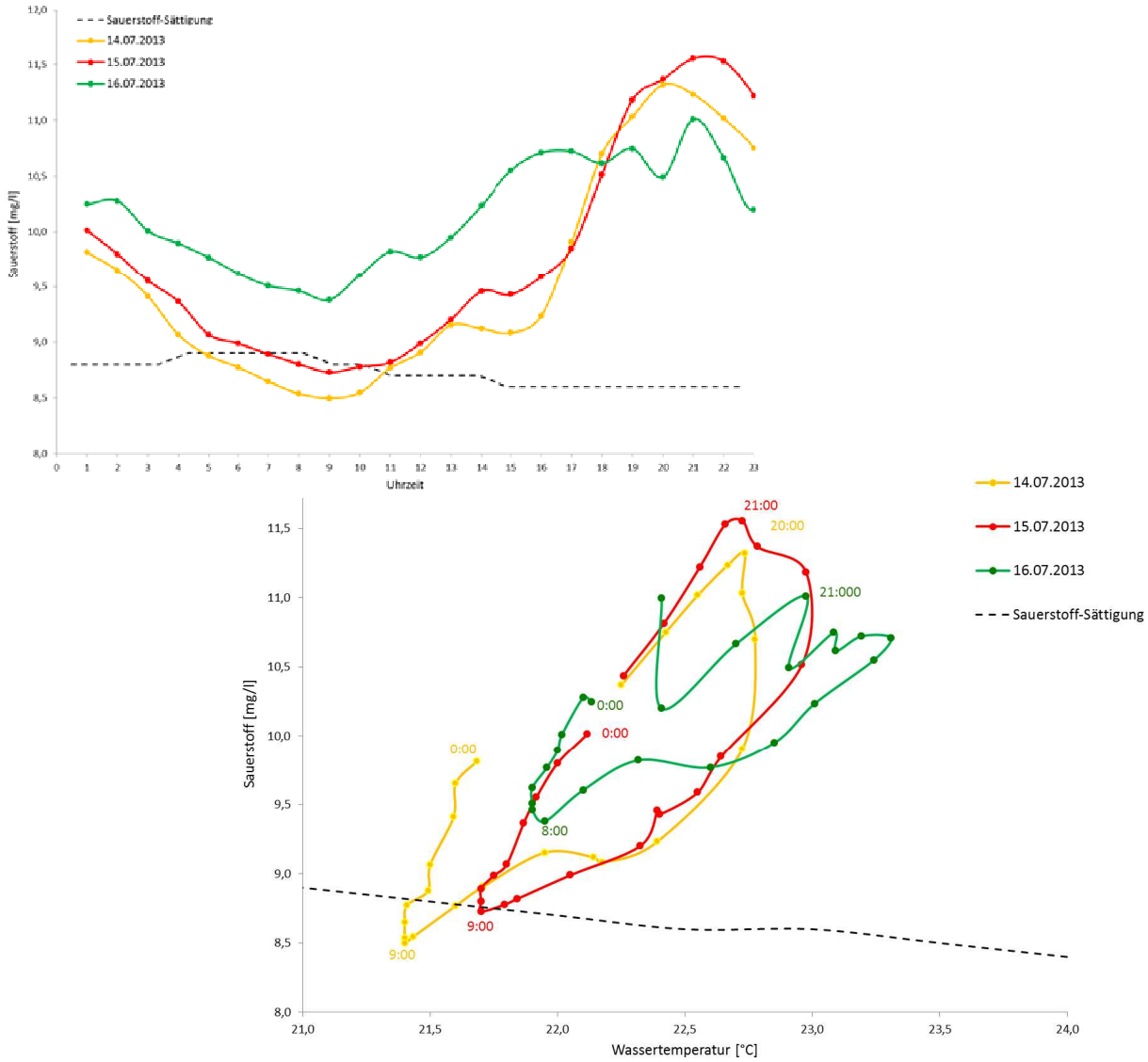


Abbildung 3.1.3-7: Verlauf der Sauerstoffgehalte über einen Tag (oben) und in Abhängigkeit der Temperatur (unten) (Station *Mettlach*) (14. bis 16. Juli 2013) und theoretische Sauerstoffsättigung bei Normaldruck

Während des in Abbildung 3.1.3-5 dargestellten Zeitraum regnete es nicht, der Rückgang der Sauerstoffgehalte ab dem 19. Juli ist weder durch den Eintrag von Trübstoffen noch durch einen sprunghaften Anstieg der Wassertemperaturen zu erklären (siehe Abbildung 3.1.3-8). Es zeigt sich lediglich ein leichter Anstieg der Ammonium-N- und Phosphor-Gehalte.

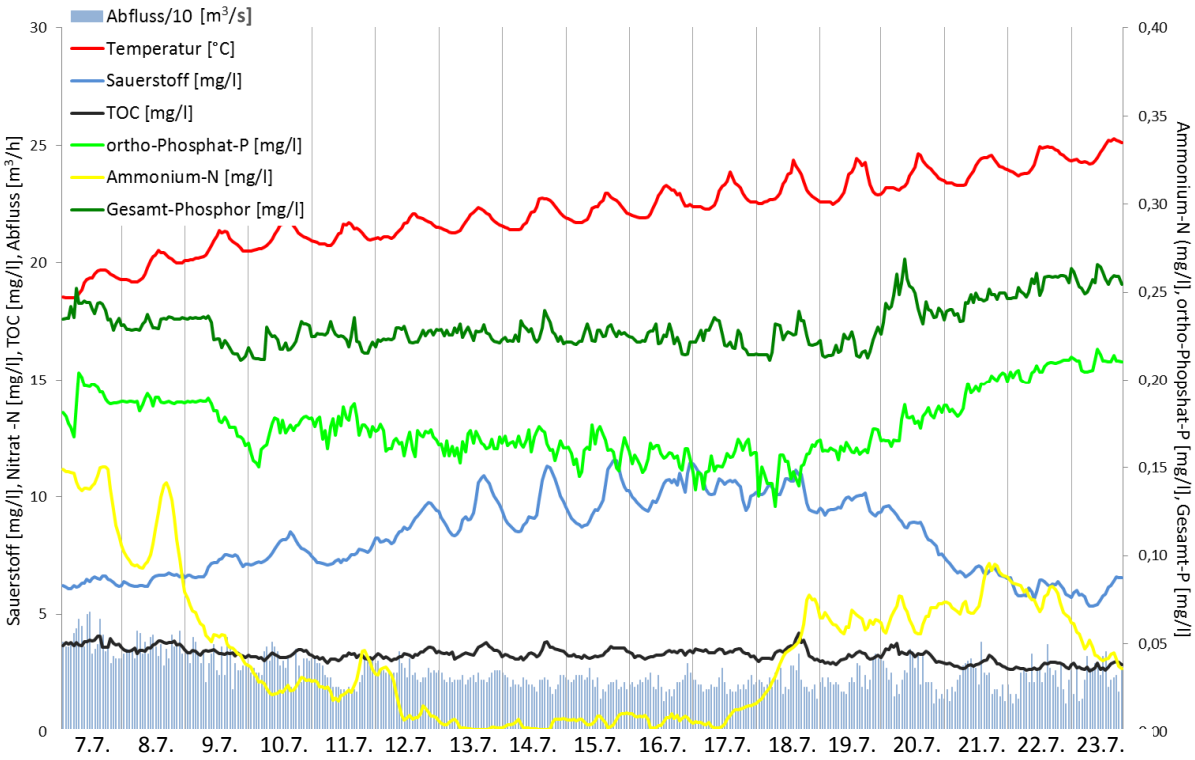


Abbildung 3.1.3-8: Tageszyklen von Sauerstoff sowie Gehalte von Ammonium-N, Phosphor und TOC (Station *Mettlach*) bei Trockenwetterabfluss (Pegel *Fremersdorf*) (7. bis 23. Juli 2013)

3.2 Chlorophyll a

Der Bewertung der Messergebnisse für Chlorophyll a (als Äquivalent zur Biomasse an Phytoplankton) und für die verschiedenen Algengruppen, die sich mit Hilfe der eingesetzten Online-Messtechnik differenzieren lassen, sei zunächst Folgendes vorausgeschickt:
Große Flüsse der Mittelgebirge, zu welchen auch die Saar gehört, zeichnen sich unter naturnahen Bedingungen durch geringe Verweilzeiten und niedrige Wassertemperaturen aus. Auf Grund geringer Nährstoffverfügbarkeit (Gesamtphosphor < 50 µg/l) und wechselhaften Strömungsbedingungen sind sie in der Regel eher planktonarm. Gemäß [8] trägt verdriftetes Phytobenthos erheblich zum Potamoplankton bei, so dass (unter naturnahen Bedingungen) die Biomasse des Phytoplanktons maximal 20 µg/l - messbar als Chlorophyll a (unkorrigiert) - beträgt. In diesem Zustand treten in den großen Flüssen der Mittelgebirge im allgemein meisten Pennales auf (Kieselalgen, Pennales Index) und Chlorophyceae (Grünalgen; Chloro-Index) auf [8].
Hingegen führen die Störung der natürlichen Gewässermorphologie in Folge von Stauhaltung und ein erhöhter Nährstoffgehalt oft zu Saisonmittelwerten des Gesamt-Chlorophyll a (unkorrigiert; März bis Oktober) über 30 µg/l, gelegentlich auch zu einem verstärkten Auftreten von Cyanobacteria (Blaualgen; Cyano-Index) [8].
Es ist fraglich, ob die Saar diesem allgemeinen Schema folgt. Es gab dazu in den vergangenen Jahren ausführliche Untersuchungen zu Art, Menge und zeitlichem Auftreten der verschiedensten Algenarten. In diesen Arbeiten wurde sehr ausführlich auf die Arten und Klassen sowie auf deren Vorkommen an verschiedenen Stellen entlang der Saar zu unterschiedlichen Zeiten eingegangen [4,9]. Dies führte dann zu Aussagen über die Gütekriterien gemäß den Zielvorgaben der WRRL. Für die Saar bei *Güdingen* ergab die Berechnung nach dem üblichen Schema einen mäßigen (2006) bis guten Zustand (2007-2013). Dabei wurde auch festgestellt, dass das Plankton im Verlauf der Saar, vermutlich durch den Schiffsverkehr, sehr gleichmäßig verteilt ist. Auch vertikale Schichtungen des Planktons erfolgen wenn, dann nur unmittelbar vor einer Staustufe [9].

Solche Untersuchungen sind äußerst zeit- und arbeitsaufwändig. Bei den vorliegenden Untersuchungen stellte sich daher die Frage, ob durch einfachere Methoden zumindest ein Teilabbild der biologischen Geschehnisse zu gewinnen ist. Die Veränderung an Arten und Gehalte über die Jahreszeiten hinweg und infolge verschiedener Ereignisse sollte mit Hilfe spektrophotometrischer Messungen verfolgt werden. Die Messgeräte erfassen die bei unterschiedlichen Wellenlängen erfolgende Fluoreszenz der verschiedenen Arten. Die Methode selbst und deren gute Korrelation zu den akzeptierten ISO-Werten ist in der Literatur beschrieben (vgl. auch [10], [11], [12]).

Unterscheidungen auf Artniveau, welches eine sehr viel besser Beurteilung der Biozönose und damit auch der Qualität des Gewässers geben sowie eine Bewertung gemäß WRRL erlauben, konnten an dieser Stelle nicht durchgeführt werden und waren auch nicht Gegenstand der Studie.

Im vorangegangenen Abschnitt wurde die Nährstoffsituation zu verschiedenen Zeiten beschrieben, so auch für den Juli 2013, in dem – abgesehen vom Sauerstoffgehalt - ein nicht ungewöhnlicher Verlauf der Werte zu beobachten war. Ergänzt man dieses Diagramm mit den Werten für Gesamt-Chlorophyll a und diverse Algengruppen so fällt auf, dass es ein Ereignis um den 18. Juli gibt, welches große Änderungen mit sich bringt (siehe Abbildung 3.2-1). Die starken, tageszeitlich bedingten Oszillationen der Algengehalte brechen zusammen, wohingegen die Gehalte an Phosphor und Ammonium-N kontinuierlich ansteigen. Dies liegt sicherlich im Zusammenbruch der Algenpopulation begründet, da sich in der Folge auch die Zahl der Nährstoffkonsumenten verringert, so dass die Nährstoff-Konzentrationen wieder ansteigen. Ebenso gehen die Sauerstoff-Gehalte zurück. Der Grund für die Abnahme des Chlorophyll a ist hingegen nicht ersichtlich, zumal die Sonneneinstrahlung während dieser Zeit gleichmäßig sehr hohe Werte erreicht und keine Niederschläge oder Trübungseinträge stattfinden. Eventuell wurde die Phytoplankton-Population durch erhöhten Fraßdruck dezimiert oder durch Einträge von Pflanzenschutzmitteln oder anderer Substanzen beeinträchtigt. Es fällt insbesondere auf, dass der Ammonium-N-Gehalt dabei ansteigt, und es ist nicht klar, ob wegen des Wegfalls der Konsumenten oder aufgrund eines allmählichen Eintrags aus unbekannter Quelle.

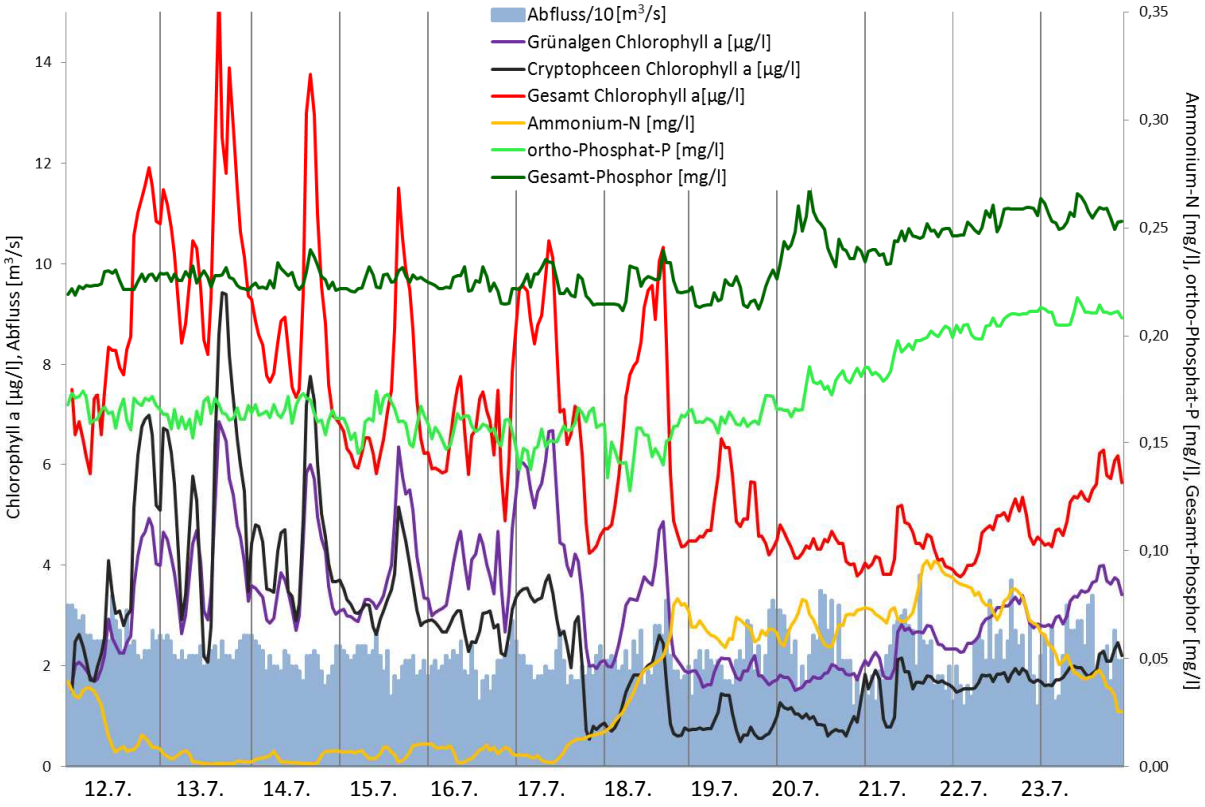


Abbildung 3.2-1: Rückgang des Chlorophyll a und Anstieg von Ammonium-N und Phosphor (Station *Mettlach*) und Abfluss (Pegel *Fremersdorf*) (12. bis 23. Juli 2013)

Dieses Phänomen ließ sich einige Male beobachten. Jedes Mal kommt es zu einem Rückgang der Gehalte an Chlorophyll a, welcher durch die erhobenen Parameter sowie Wettereinflüsse (Eintrübung, Niederschläge, Temperaturänderungen etc.) nicht zu erklären ist. In der Folge steigen die Nährstoffgehalte an.

Umgekehrt lässt sich aber auch die Abnahme von Ammonium-N und ortho-Phosphat bei Zunahme der Chlorophyll a-Konzentration beobachten (siehe Abbildung 3.2-2). Die Chlorophyllkonzentration ist zunächst bei zunehmendem Abfluss rückläufig. Bei Abnahme der Wassermenge wird wieder mehr Chlorophyll a gemessen, die Gehalte an ortho-Phosphat und Ammonium-N gehen zurück. Die Vermutung liegt nahe, dass durch die Zunahme der Biomasse diese Nährstoffe reduziert werden. Im dargestellten Zeitraum entwickeln sich die Grünalgen am schnellsten.

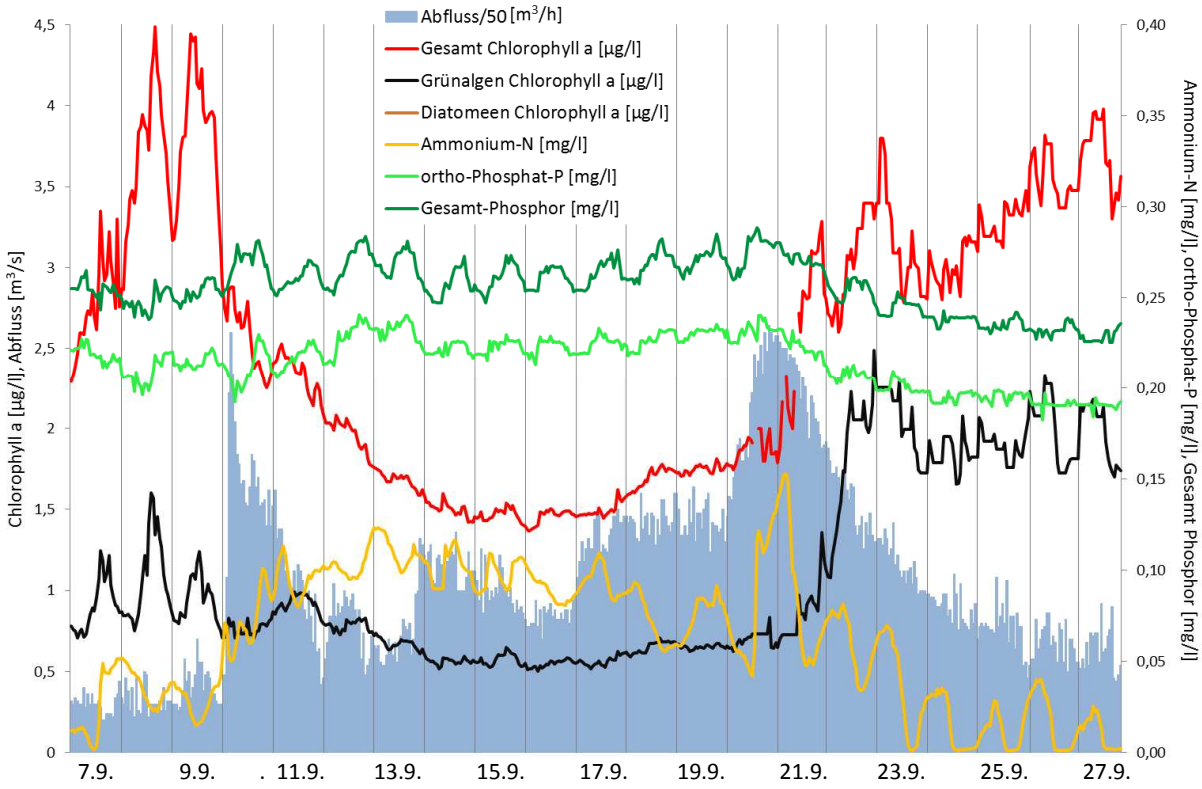


Abbildung 3.2-2: Zunahme von Chlorophyll a und Rückgang von Ammonium-N und Phosphor (Station *Mettlach*) und Abfluss (Pegel *Fremersdorf*) (7. bis 26. September 2013)

Darüber hinaus lassen sich auch Veränderungen der Gehalte der einzelnen Algengruppen bei verschiedenen Wetterlagen und Abflussereignissen erkennen (siehe Abbildung 3.2-3 und 3.2-4). Im Verlauf des Hochwasserereignisses (Zeitabschnitt 1: 14.5. bis 4.6.)[7] wird zunächst ein starkes Ansteigen der Diatomeen- und Blaualgen-Population verzeichnet. Die Chlorophyll-Konzentration der beiden Gruppen verläuft dabei quasi parallel zum Abfluss und geht mit der ablaufenden Welle zurück. Da sich die Zusammensetzung der Algengruppen dabei deutlich ändert, ist davon auszugehen, dass es sich um Phytoplankton handelt, welches mit der Welle aus einem Bereich (Nebenfluss) abtransportiert wurde, in welchem sich die Artenzusammensetzung von der in der Saar in Mettlach unterscheidet. Andererseits könnte diese Artenverschiebung auch eine Reaktion auf die veränderte Nährstoffsituation sein. Denn wie in der Abbildung ersichtlich, gelangen während des Hochwassers auch große Mengen an Nährstoffen, vornehmlich gelöstes Phosphat in das Gewässer[8]. Ein weiteres Indiz für die zusätzliche Nährstoffbelastung ist der gemessene TOC. Bei Rückgang der Wassermengen (Zeitabschnitt 2: 4.6. bis 13.6.) steigen die Anteile an Grünalgen, Diatomeen und Cryptophyceen (und damit die Gehalte an Gesamt-Chlorophyll) sehr stark an und bilden z.T. sehr deutliche Tageszyklen mit Spitzen am frühen Nachmittag aus. Die Konzentrationen an Ammonium-N und TOC gehen erwartungsgemäß zurück. Dennoch nehmen in diesem Fall die ortho-Phosphat-Gehalte kontinuierlich zu. Warum es in Zeitabschnitt 3 (13.6. bis 17.6.) dann zu einem sprunghaften Anstieg der Diatomeen und Grünalgen (und einem Rückgang der Blaualgen) vor dem folgenden Abflussmaximum kommt, ist nicht ersichtlich, da weder bei den Nährstoffen noch bei den chemisch-physikalischen Parametern oder bei den Abfluss- und Wetterdaten starke Veränderungen verzeichnet wurden. Nährstoffe und Trübung steigen erst etwas später parallel zum Abflussereignis an. Bei ablaufender Welle (Zeitabschnitt 4: 17.6. bis 24.6.) treten wiederum dieselben Phänomene auf wie in Zeitabschnitt 1: die Nährstoffkonzentrationen sowie die Anteile an Diatomeen und Blaualgen nehmen zu, während Cryptophyceen und Grünalgen-Gehalte rückläufig sind. Anschließend pendeln sich Chlorophyll- und Nährstoffkonzentrationen wieder auf die entsprechenden Basislinien ein. Lediglich die Anteile an Diatomeen sind deutlich geringer.

[7] Auf Grund des Hochwassers musste die Messstation für zwei Tage stillgelegt werden, daher kam es während des ersten Abflussmaximums zu Messausfällen.

[8] Besonders Cyanobakterien treten bei erhöhten Nährstoffgehalten vermehrt auf.

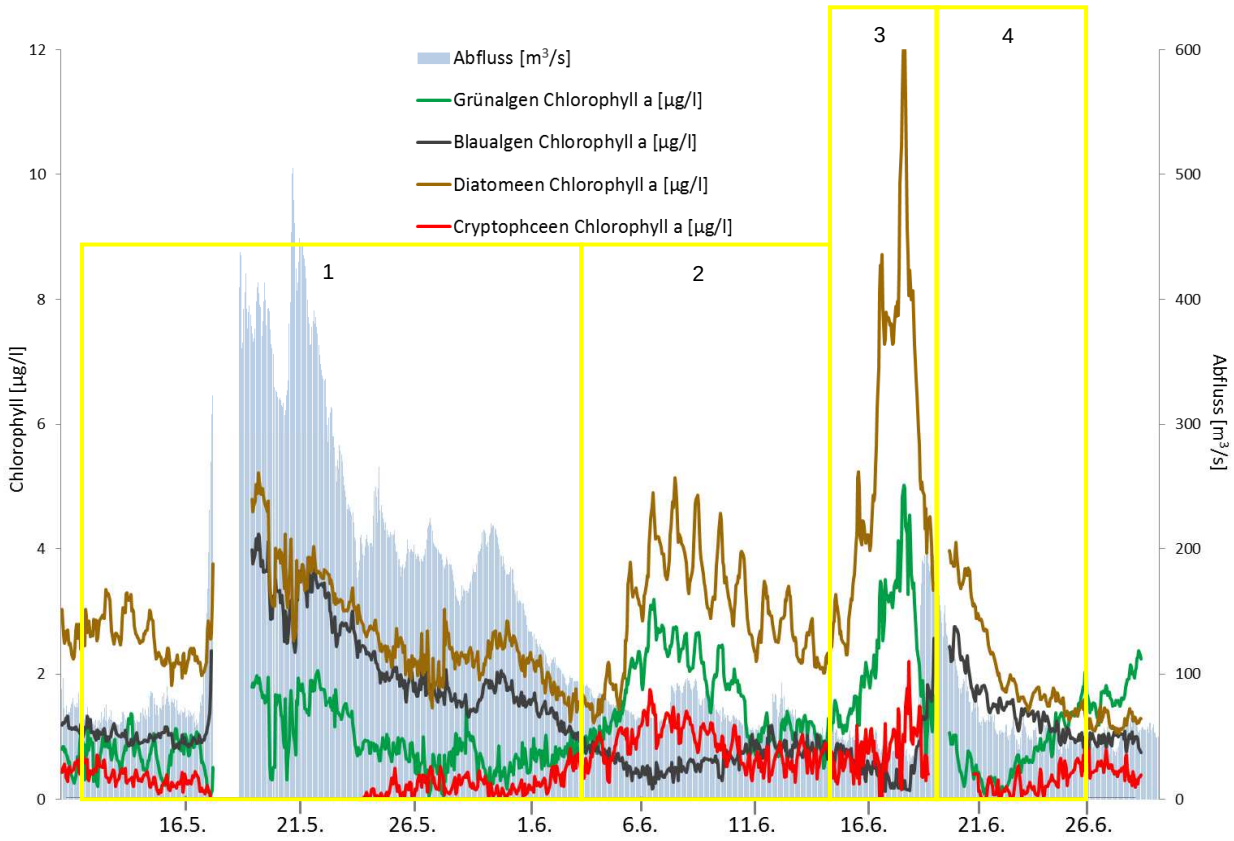


Abbildung 3.2-3: Gehalte an Chlorophyll a von Grünalgen, Blaualgen, Diatomeen und Cryptophyceen (Station *Mettlach*) und Abfluss (Pegel *Fremersdorf*) (12. Mai bis 29. Juni 2013)

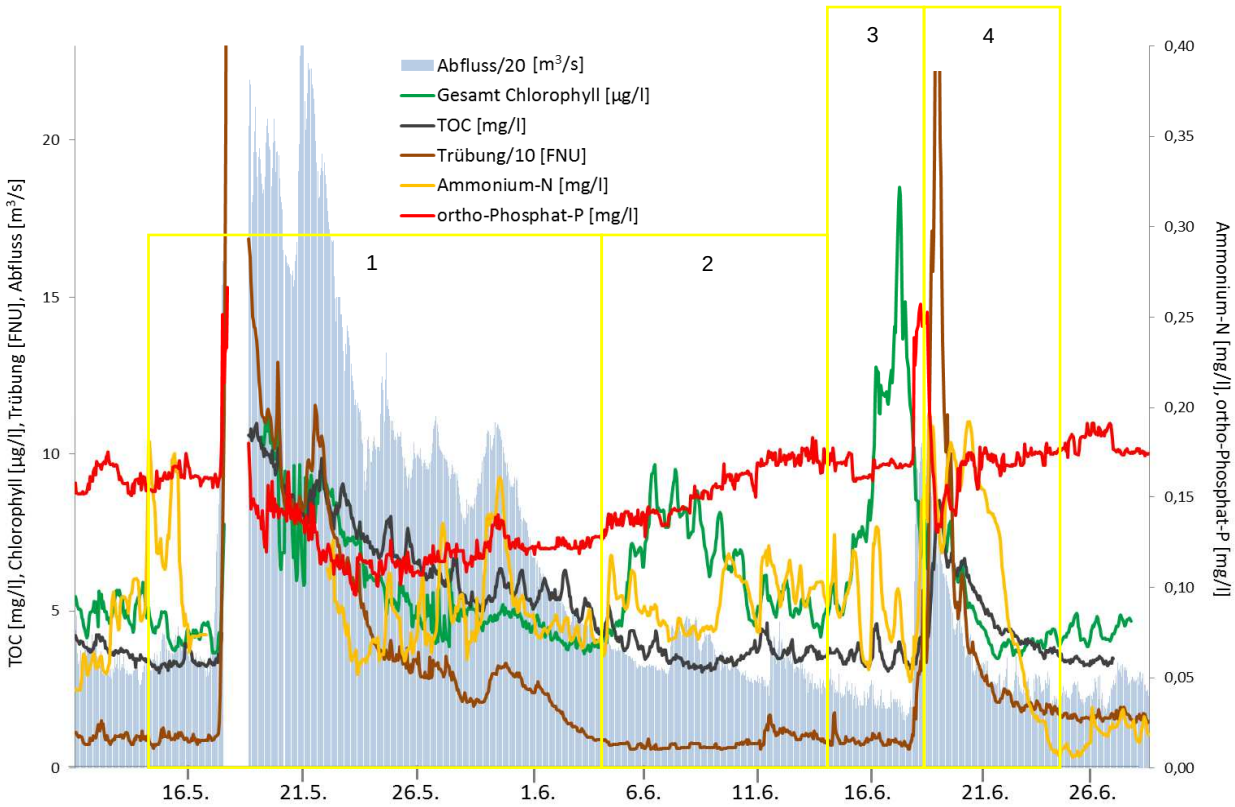


Abbildung 3.2-4: Gehalte an Gesamt-Chlorophyll a, Ammonium-N, ortho-Phosphat und TOC sowie Trübung (Station *Mettlach*) und Abfluss (Pegel *Fremersdorf*) (12. Mai bis 29. Juni 2013)

Ausgeprägte Tageszyklen von Chlorophyll a mit Konzentrationsspitzen um die Mittagszeit, wie sie in vielen kleineren Fließgewässern zu beobachten sind, zeigen sich nur selten und bilden sich hauptsächlich in den Chlorophyll-Gehalten der Diatomeen ab (siehe Abbildung 3.2-5). Sie lassen sich auch nicht mit Nährstoffeinträgen oder Trübungsschwankungen in Zusammenhang bringen.

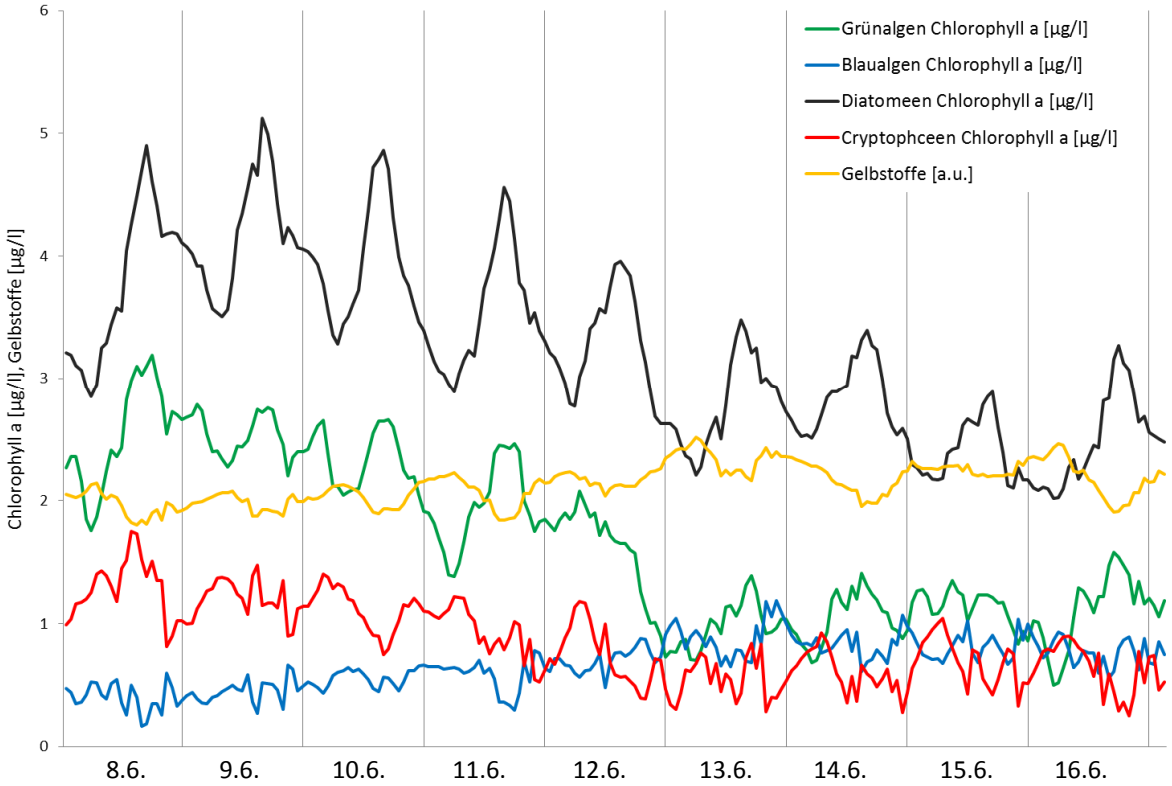


Abbildung 3.2-5: Gehalte an Chlorophyll a von Grünalgen, Blaualgen, Diatomeen und Cryptophyceen sowie Gelbstoffe (Station *Mettlach*) (8. bis 16. Juni 2013)

Auch lassen sich Einflüsse der Algenentwicklung (und somit der Photosyntheseaktivität) auf den Sauerstoffgehalt nur in groben Zügen, auf den pH-Wert hingegen gar nicht beobachten. Auch SCHÖL ET AL stellten bereits 1999 fest, dass keine Sauerstoffübersättigungen an der Saar auftreten [13]. Sie nehmen an, dass die Sauerstoffdefizite weniger stark von Phytoplankton abhängen. Ursache hierfür könnten Grazing-Effekte, aber auch die hohe Trübung sein. Daneben kommt es in der Saar stellenweise zur Ausbildung sehr großer aphotischer Zonen, in denen keine Photosynthese und somit keine Sauerstoffproduktion stattfinden kann.

Generell lässt sich sagen, dass zunächst zwischen keiner der erhobenen Algenklassen und einem anderen betrachteten Parameter ein belastbarer Zusammenhang festgestellt werden konnte. Dies gilt sowohl für die Nährstoffe als auch für Sauerstoffgehalte, Wassertemperatur, Globalstrahlung etc. Eine signifikante Korrelation besteht lediglich zwischen der Trübung und den Gehalten an Blaualgen (siehe Abbildung 3.2-6). Dies liegt daran, dass die Blaualgen selbst eine starke Trübung des Wassers hervorrufen.

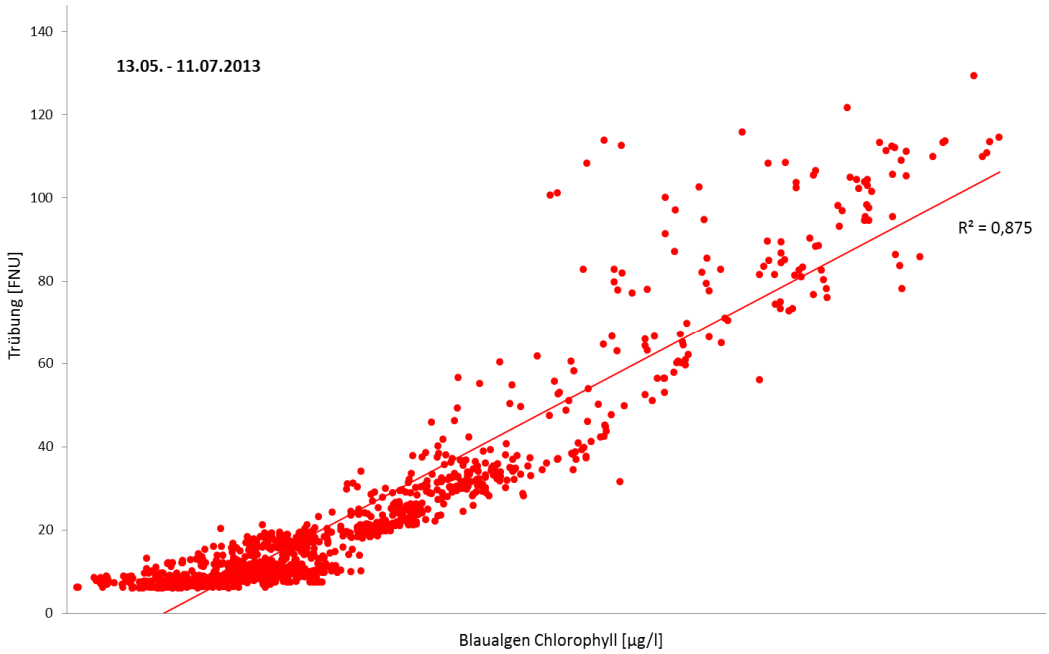


Abbildung 3.2-6: Trübung in Abhängigkeit vom Blaualgen-Gehalt an (Station *Mettlach*; 13. Mai bis 11. Juli 2013)

Es bleibt festzuhalten, dass Online-Messungen des Chlorophyll a auch Kurzzeiteffekte der „Biologie“ sehr viel empfindlicher darstellen können als mit den sonst üblichen punktuellen Probenahmen. Die Berücksichtigung aller relevanten Parameter sowie die Klärung dieser Phänomene sind jedoch sehr komplex. Es konnte kein belastbarer Zusammenhang der Gehalte an Chlorophyll a mit Strahlung, Veränderungen des Nährstoffangebotes, Abfluss etc. festgestellt werden. Daher ist davon auszugehen, dass die Gehalte viel eher durch negative Faktoren gesteuert werden. Auch die Höhe des Fraßdruckes, vor allem durch Filtrierer, auf das Phytoplankton ist fraglich, da sich wegen der geringen Fließgeschwindigkeiten recht wenig Markozoobenthos entwickelt. Dennoch zeigte sich, dass die Kontrolle durch das Zooplankton im Sommer sehr viel stärker ist als im Frühjahr [4]. Zudem finden bei größeren Abflussereignissen Einspülungen aus anderen Bereichen statt und es kommt zur Verlagerung flussabwärts.
Hinzu kommt, dass sich in der Saar, wie in vielen anderen Gewässern auch, die Algenkonzentrationen in den Jahren sehr unterscheiden (siehe Abbildung 3.2-7). „Abflussarme Frühjahre mit längeren sonnigen Abschnitten begünstigen in der Regel eine starke Phytoplanktonentwicklung, während in abflussreichen Jahren (z. B. im Jahr 2005) die Phytoplanktonblüte ganz ausbleibt“ [14].

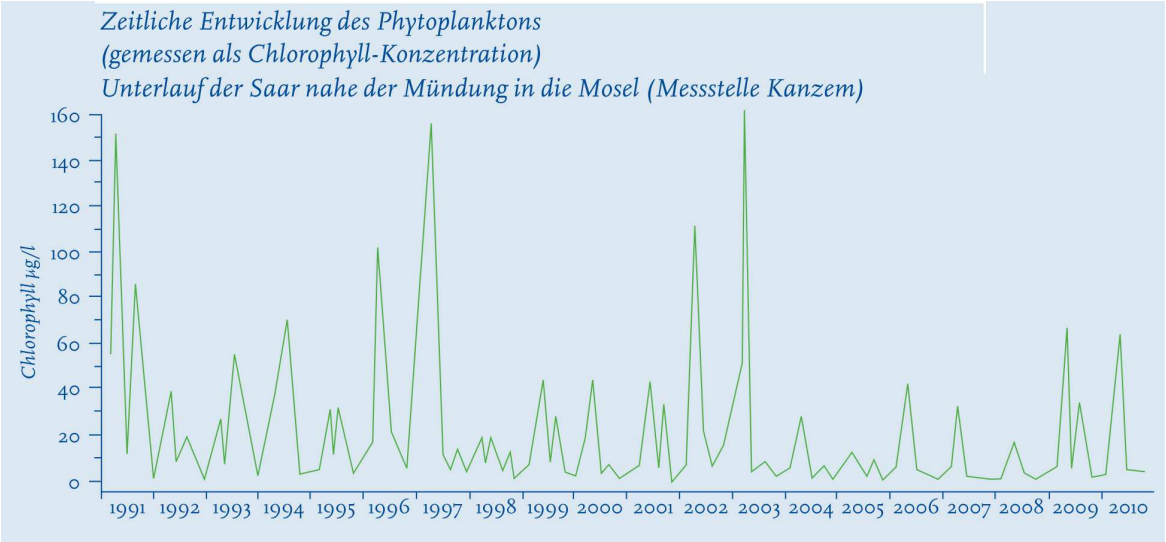


Abbildung 3.2-7: Zeitliche Entwicklung des Phytoplankton in der Saar (*Kanzem*); Stichproben 1991 bis 2010) (Quelle: [14])

3.3 Übersicht über die Ergebnissen der manuellen Beprobungen durch die Behörden

Zur Abschätzung langjähriger Trends wurden die Ergebnisse der Stichproben, die durch das LUA nahezu zweiwöchentlich an der Saar in Fremersdorf entnommen wurden, herangezogen.
Dabei wurde gemäß der Vorschriften der Oberflächengewässerverordnung Anlage 11 (OGewV [15]) vorgegangen. Diese besagt, dass als Grundlage für die Feststellung, ob ein signifikanter Trend gegeben ist, jeweils das fünfzigste Perzentils der Messwerte eines Jahres heranzuziehen ist. Diese Daten sind sodann auf Normalverteilung zu prüfen. Sind sie normalverteilt, so kann der Trend mit Hilfe der linearen Regression bestimmt werden, ansonsten wird der Trend durch den Mann-Kendall-Trendtest ermittelt. Das Signifikanzniveau beträgt in beiden Fällen $\alpha = 0{,}05$.
Die 50. Perzentile der vorliegenden Messwerte (Jahre 2005 bis 2012, daher n=8) wurden zunächst auf mit dem sog. Shapiro-Wilk-Test auf ihre Normalverteilung überprüft. Dabei stellte sich heraus, dass die Jahresmediane von Sauerstoff, pH-Wert, Temperatur, Gesamt-Stickstoff, Nitrat-N, Gesamt- und ortho-Phosphor sowie TOC eine Normalverteilung aufweisen (siehe Abbildungen 6-4a bis 6-4h im Anhang). Die entsprechend durchgeführte Betrachtung mittels Linearer Regression ergab einen signifikant zunehmenden Trend für Sauerstoff sowie eine signifikant rückläufigen Trend für Gesamt-Stickstoff und TOC (siehe Abbildung 3.3-1 und Abbildung 6-5.a bis 6-5.d im Anhang).

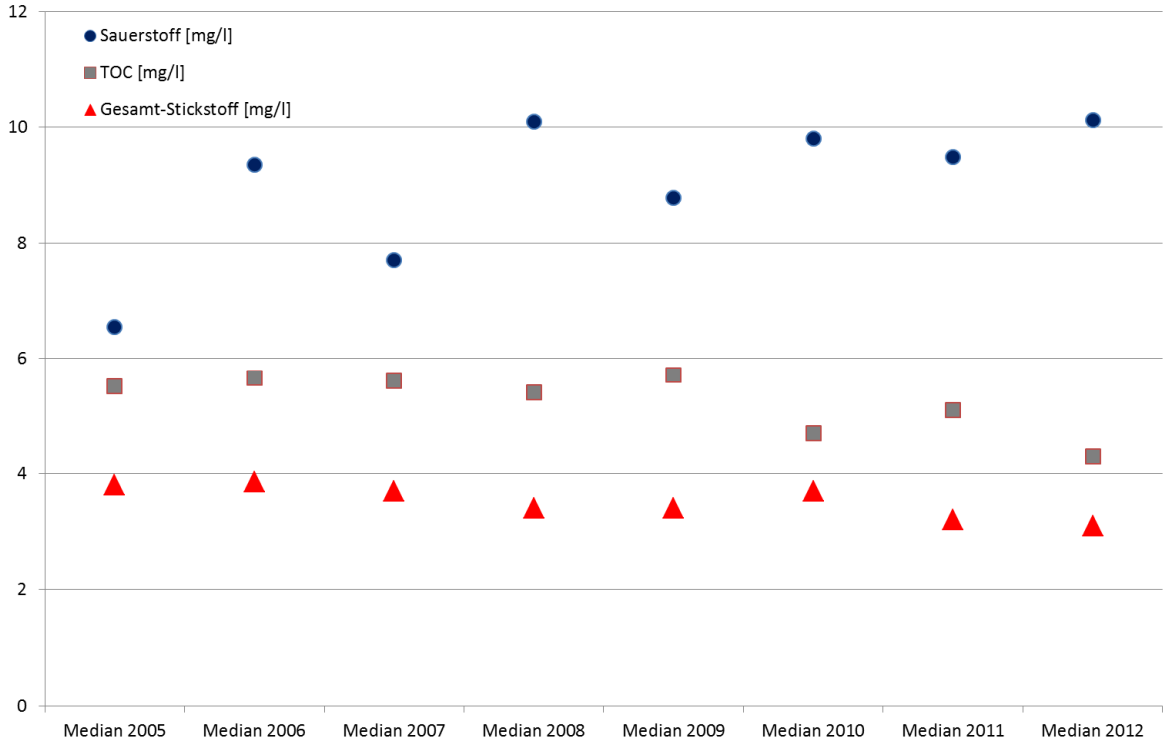


Abbildung 3.3-1: Jahres-Mediane der Konzentrationen von Sauerstoff mit signifikant zunehmendem sowie TOC und Gesamt-Stickstoff signifikant abnehmendem Trend (manuelle Beprobungen durch das LUA in *Fremersdorf*) (2005 bis 2012)

Normalverteilt, jedoch ohne signifikant zu- oder abnehmend sind die Gehalte von Phosphor und Nitrat sowie die Temperaturen und pH-Werte (siehe Abbildung 3.3-2 und 6-5e bis 6-5g im Anhang).

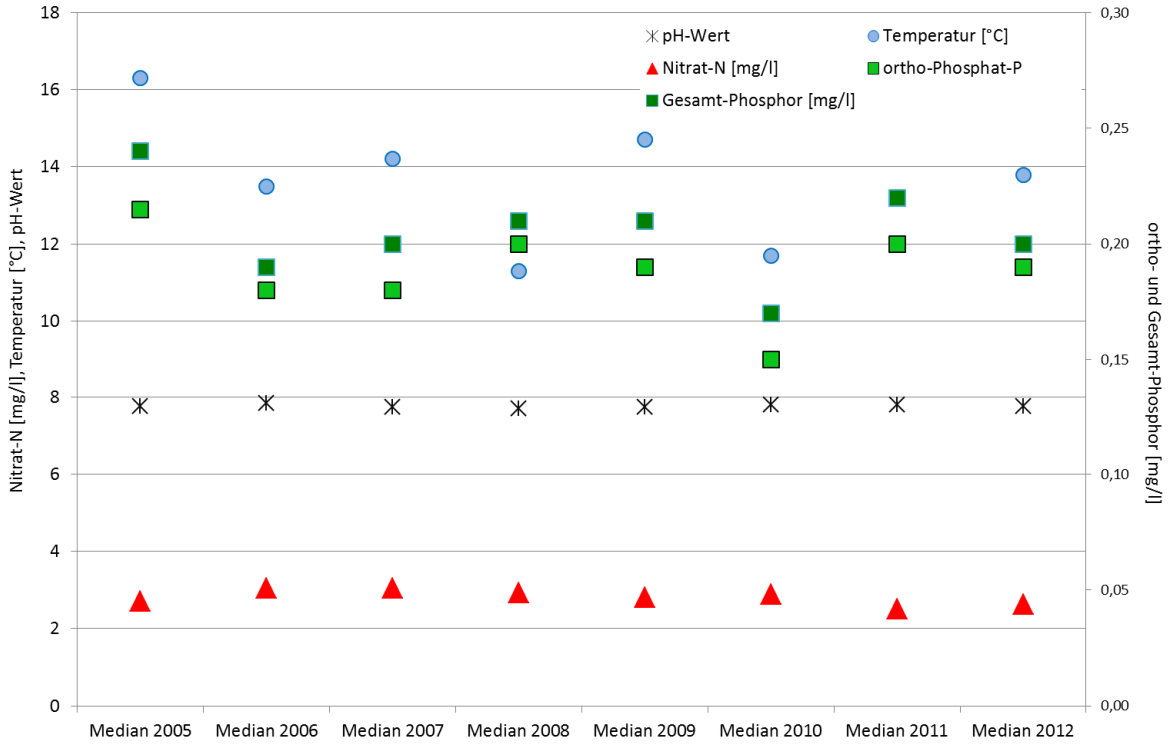


Abbildung 3.3-2: Jahres-Mediane der Konzentrationen von pH-Wert, Temperatur, Nitrat-N sowie ortho-Phosphat- und Gesamt-Phosphor ohne signifikante Trends (manuelle Beprobungen durch das LUA in *Fremersdorf*) (2005 bis 2012)

Als nicht normalverteilt erwiesen sich nach dem Shapiro-Wilk-Test die Werte der Leitfähigkeit, von Chlorid, Ammonium-N und Nitrit-N (siehe Abbildungen 6-6a ff im Anhang). Diese wurden mit dem Mann-Kendall-Test auf die Signifikanz des Trends hin überprüft. Dabei konnte für Chlorid, Ammonium-N und Nitrit-N ein signifikant abnehmender Trend festgestellt werden (siehe Abbildung 3.3-3 und Abbildung 6-7a bis 6-7d im Anhang).

Abbildung 3.3-3: Jahres-Mediane der Konzentrationen von Ammonium-N, Nitrit-N, und Chlorid mit signifikant abnehmendem Trend (manuelle Beprobungen durch das LUA in *Fremersdorf*) (2005 - 2012)

Für die einzelnen Leitfähigkeitswerte lässt sich ein sprunghafter Rückgang im Jahr 2006 erkennen (siehe Abbildung 3.3-4), dieser spiegelt sich jedoch nicht in einem signifikanten Trend der Jahresmediane wider (siehe Abbildung 6-7c im Anhang).
Dieser sprunghafte Rückgang ist auf die Abnahme an AOX und Chlorid zurückzuführen (siehe Abbildung 3.3-4). Laut eines Berichtes der IKSMS kann dies unter anderem auf den Rückgang der Chlorung von Trinkwasser in Frankreich zurückzuführen sein[9].

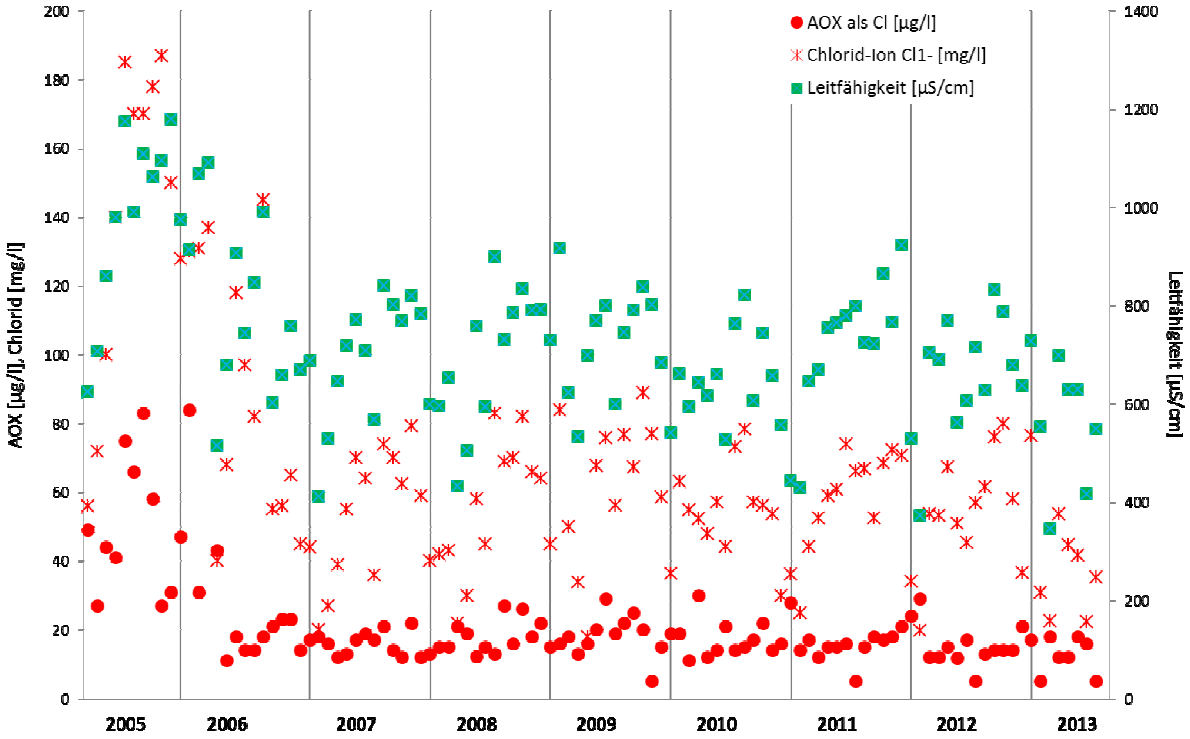


Abbildung 3.3-4: Konzentrationen an AOX und Chlorid sowie Leitfähigkeit 2005 bis 2013 an der Saar in *Fremersdorf* (monatliche Beprobungen des LUA)

[9] Mündl. Mitteilungen MUV

Von den übrigen beprobten Parametern weist lediglich Mangan hinsichtlich der Jahresmediane einen signifikant rückläufigen Trend auf (siehe Abbildung 3.3-5 und Abbildung 6-8a und b).

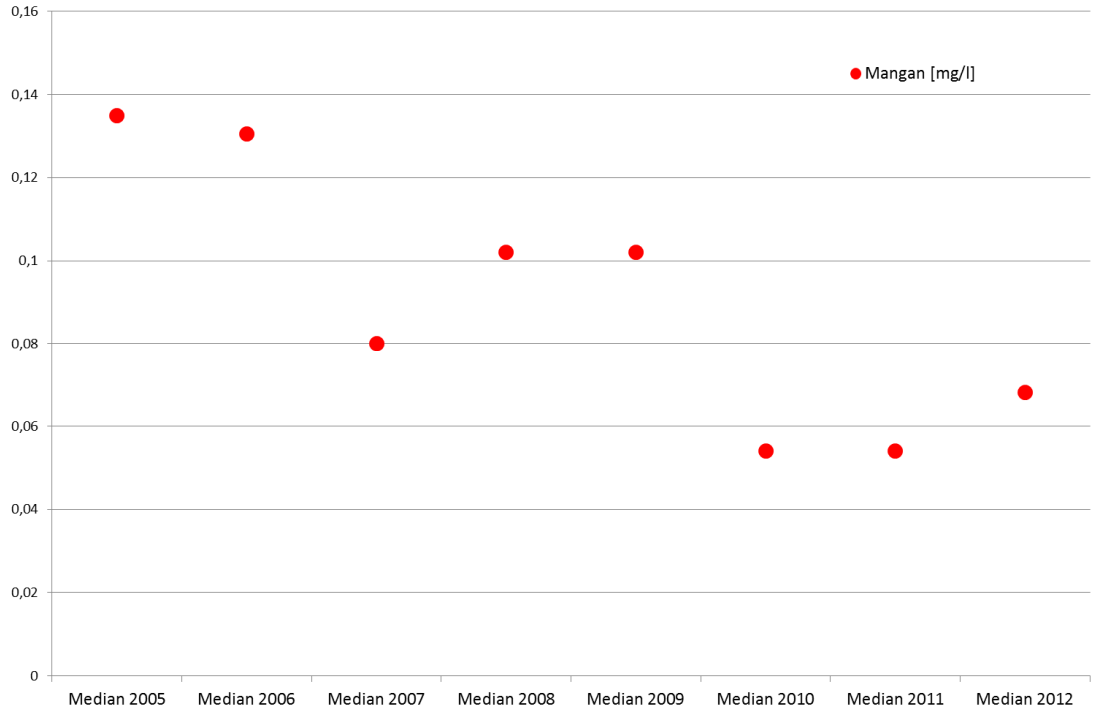


Abbildung 3.3-5: Jahres-Mediane der Konzentrationen von Mangan mit signifikant abnehmendem Trend (manuelle Beprobungen durch das LUA in *Fremersdorf*) (2005 bis 2012)

Auch bei Blei und Eisen[10] lässt sich, analog zu den Konzentrationsrückgängen in der Rossel 2009 auf 2010, eine deutliche Abnahme der Gehalte erkennen (siehe Abbildung 3-37). Da es laut Aussage des EVS keine Umstellung der in den Kläranlagen eingesetzten Fällungsmittel gab, kann über Gründe für den sprunghaften Rückgang von Eisen und Blei nur spekuliert werden. Sicherlich ist der Rückgang der Belastung in der Saar auf die reduzierten Einträge aus dem Bereich der Rossel zurückzuführen, Veränderungen in der Bewirtschaftung im französischen Teils des Rossel-Einzugsgebietes sind wahrscheinlich.

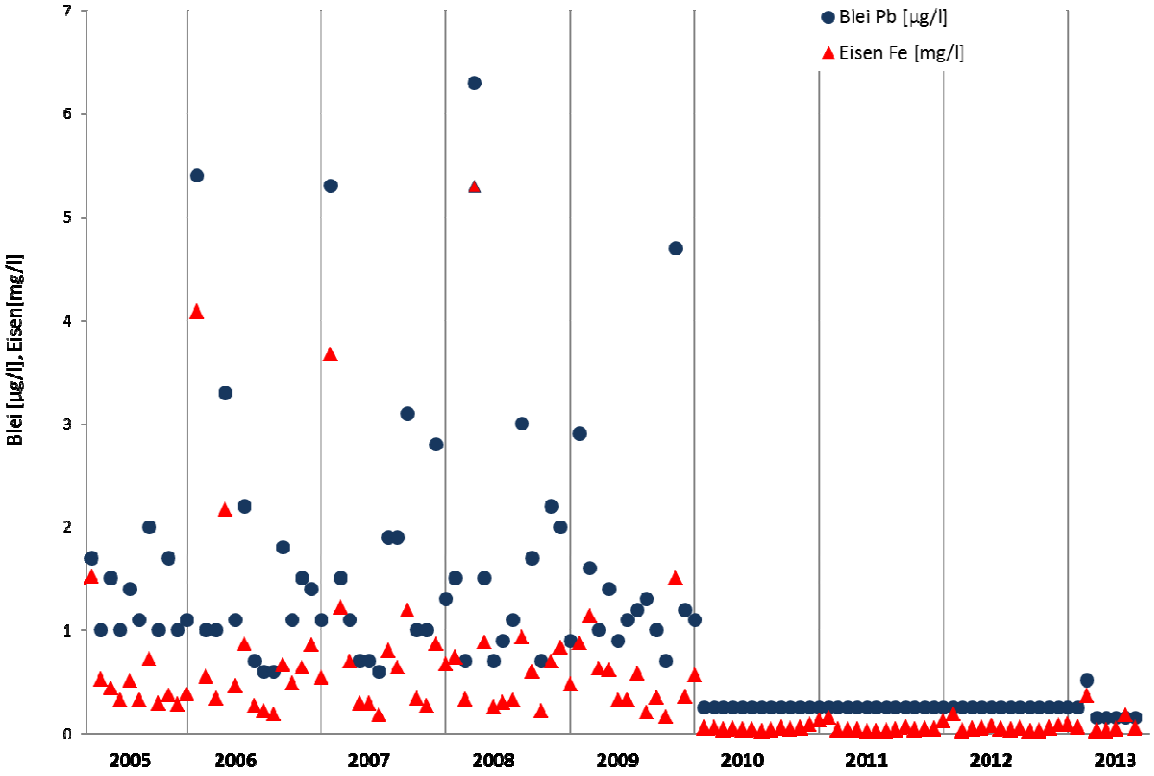


Abbildung 3.3-6: Konzentrationen an Blei und Eisen 2005 bis 2013 an der Saar in *Fremersdorf* (monatliche Beprobungen des LUA)

Bei anderen vom LUA erhobenen organischen und anorganischen Parametern konnten über den betrachteten Zeitraum von 2005 bis 2013 keine signifikanten Veränderungen festgestellt werden.

[10] Jeweils gemessen in der Wasserphase

3.4 Vergleich mit den Orientierungswerten und ermittelte Frachten

Die vom 19. April bis zum 11. Oktober 2013 am Standort in *Mettlach* durchgeführten Messungen ergaben, dass für Temperatur, pH-Wert, Leitfähigkeit und Nitrit-N die Orientierungswerte für den guten ökologischen Zustand (LAWAüber den gesamten Zeitraum eingehalten wurden) (siehe Tabelle 3.4-1).
Der Orientierungswert für Sauerstoff (6 mg/l) wurde in 90% der Fälle als Minimalwert eingehalten. Während die Phosphor-Gehalte die Orientierungswerte von 0,07 bzw. 0,1 mg/l P niemals unterschritten, lagen die TOC-Konzentrationen lediglich in 5% der Messungen über dem geforderten Wert von 7 mg/l.
Die Nitrat-N-Konzentrationen lagen in 73% der Messungen, jedoch stets nur leicht, über dem Orientierungswert von 2,5 mg/l N.
Etwas erhöhte Trübungswerte treten auf Grund der Aufwirbelungen durch den Schiffsverkehr bei allen Wasserstraßen auf, in *Mettlach* wurde im Messzeitraum als Minimum eine Trübung von 6 FNU verzeichnet.

Tabelle 3.4-1: Mittel, Minima und Maxima der Stundenmittelwerte der Saar in *Mettlach* vom 19.04. bis 07.10.2013 und Orientierungswerte für den guten ökologischen Zustand (in Fremersdorf [16]) und Grenzwert der Nitrat-Richtlinie sowie Anforderungen an den sehr guten ökologischen Zustand und das höchste ökologische Potential (OGewV, 2011, [15])

	NO_3-N [mg/l]	**NO_2-N [mg/l]**	**NH_4-N [mg/l]**	**N_{ges} [mg/l]**	**PO_4-P [mg/l]**	**P_{ges} [mg/l]**	**TOC [mg/l]**
Mittelwert	**2,73**	**0,057**	**0,063**	**3,99**	**0,181**	**0,233**	**3,82**
Minimum	2,14	0,012	< 0,02	3,45	0,096	0,144	2,15
Maximum	3,91	0,089	0,265	4,88	0,266	0,464	11
Orientierungswert LAWA	**2,5**	**0,3**	**0,3**	**3**	**0,07**	**0,1**	**7**
Nitrat-Richtlinie	**11**						
*Anforderungen OGewV***			***0,04***		***0,02***	***0,05***	***5***

	Sauerstoff [mg/l]*	**pH- Wert***	**Leitfähigkeit [µS/cm]**	**Temperatur [°C]***
Mittelwert	8,47	**8,08**	715	18,6
Minimum	**2,79**	7,76	352	10,1
Maximum	14,4	8,86	947	**25,7**
Orientierungswert LAWA	**> 6**	**6,5 – 8,5**	**< 1000**	**< 28**
*Anforderungen OGewV***	***> 8***			***< 20 - < 28***

* Bei Sauerstoff ist der niedrigste, beim pH-Wert der niedrigste und der höchste und bei der Wassertemperatur der höchste innerhalb des Jahres gemessene Wert als Maßstab zum Vergleich mit den Orientierungswerten heranzuziehen. Für die übrigen Parameter ist der Jahresmittelwert entscheidend.
Alle Parameter außer Nitrit-N und Gesamt-Stickstoff wurden online ermittelt (grau unterlegt). Nitrit-N und Gesamt-Stickstoff wurden alle sieben bis 10 Tage im Labor bestimmt.
** Mit Ausnahme der Temperaturwerte gelten die Forderungen der OGewV für den sehr guten ökologischen Zustand bzw. das höchste ökologische Potenzial

Die kontinuierlich ermittelten Messdaten erlauben zudem sehr genaue Rückschlüsse auf die gesamte Menge der transportierten Stoffe. In Tabelle 3.4-2 sind die Mittelwerte, Minima und Maxima der Frachten sowie diejenigen Mengen aufzeigt, die innerhalb des Messzeitraumes über die Saar nach Rheinland-Pfalz gelangten. Es handelte sich dabei um ca. 230 t Gesamt-Phosphor, davon 158 t gelöst und fast 70 t an Partikel gebunden, sowie um weit über 5.000 t Kohlenstoff aus organischen Verbindungen, welcher jedoch zum Teil auch im Gewässer selbst in Form von Biomasse entsteht. Zudem ergibt sich rechnerisch eine Stickstofffracht von fast 2.860 t im Messzeitraum, wobei, in deutlich geringeren Mengen, Stickstoff aus Nitrit-N und organischen Verbindungen hinzukommt.

Tabelle 3.4-2: Mittel, Minima und Maxima der Stundenmittelwerte der Frachten der Saar in Mettlach vom 19.04. bis 07.10.2013 sowie die Gesamtfracht im Messzeitraum

Fracht	**NO_3-N**	**NH_4-N**	**PO_4-P**	**P_{ges}**	**TOC**
Mittelwert	679 kg/h	16,5 kg/h	38,3 kg/h	55,2 kg/h	1.227 kg/h
Minimum	70,9 kg/h	0,063 kg/h	6,77 kg/h	7,66 kg/h	69,1 kg/h
Maximum	6.152 kg/h	152 kg/h	292 kg/h	613 kg/h	16.913 kg/h
Fracht im Messzeitraum*	2.791 t	67,7 t	158 t	227 t	5.047 t

* Um Messausfälle auszugleichen, wurde für jeden Parameter der Mittelwert aller Stundenmittelwerte der Frachten mit der Anzahl der gemessen Stunden multipliziert.

4. Zusammenfassung

Die am Standort in *Mettlach* im Sommer 2013 durchgeführten kontinuierlichen Messungen von Sauerstoff, Wassertemperatur, pH-Wert, Leitfähigkeit und Nährstoffparametern sollten keinesfalls die Pessimalbedingungen der Saar aufzeigen. Vielmehr ging es um die Abschätzung und Bilanzierung der Belastungen an der Landesgrenze zu Rheinland-Pfalz.
Generell lässt sich sagen, dass das Fließgewässer-System auf Grund des großen Wasserkörpers erwartungsgemäß sehr träge reagiert. Zusätzlich liegen Beeinflussungen durch Abflussregulierung, Schiffsverkehr etc. vor. Abschätzungen der Herkunft von Einträgen auf Basis der Online Daten, wie es bei kleineren Fließgewässern sehr gut möglich ist, erweisen sich daher als schwierig.
Dennoch konnte ein guter Überblick über den Zustand der Saar vor dem Verlassen des Saarlandes erstellt werden.
Als besonders positiv ist hervorzuheben, dass während des Betrachtungszeitraumes im Hochsommer kaum Situationen mit einer Sauerstoff-Unterversorgung auftraten. Generell macht sich ein positiver Aufwärtstrend der Sauerstoffkonzentrationen bemerkbar, auch die Tagesminima liegen inzwischen deutlich über den in den 19990er Jahren verzeichneten Werten.
Die Belastung durch Nährstoffe war nicht übermäßig erhöht, es wurden keine extremen Spitzenwerte verzeichnet.
Die Orientierungswerte für den guten ökologischen Zustand wurden für pH-Wert, Leitfähigkeit, Temperatur und Nitrit-N stets eingehalten, die Gehalte von TOC lagen nur sehr selten, die Gehalte von Nitrat-N nur leicht über den jeweiligen Orientierungswerten. Lediglich die Phosphor-Konzentrationen bewegten sich immer oberhalb des Orientierungswertes.
Die Stichproben zeigen für die Mediane der Jahre 2005 bis 2013 einen signifikant zunehmenden Trend der Sauerstoffgehalte sowie signifikant rückläufigen Trends von Ammonium-N, Nitrit-N (daher auch für Gesamt-Stickstoff) sowie für TOC, Chlorid und Mangan (Signifikanzniveau jeweils 0,05). Wie in anderen saarländischen Flüssen macht sich zudem ein deutlicher Rückgang der Leitfähigkeit durch Abnahme der Gehalte an AOX und Chlorid sowie ein Rückgang an Blei und Eisen bemerkbar.

Um die Herkunft der Belastungen in der Saar und deren Auswirkungen besser abschätzen zu können, werden in den Jahren 2014 und 2015 intensive Messungen und darauf aufbauende Modellierungen des Sauerstoff- und Nährstoffhaushaltes der Saar durch die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) in Zusammenarbeit mit MUV und LUA durchgeführt. Im Rahmen dieser Studie werden auch die mobilen Messstationen zum Einsatz kommen, um nähere Hinweise auf Eintragswege von Schadstoffen zu erlangen sowie die Dynamik der im Gewässer ablaufenden Prozesse zeitlich hoch aufgelöst darstellen zu können.

5. Literatur

[1] MINISTERIUM FÜR UMWELT DES SAARLANDES: Bewirtschaftungsplan für das Saarland; Saarbrücken, Dezember 2009

[2] WWW.IKSMS-CIMPS.ORG

[3] GEWÄSSERKUNDLICHES JAHRBUCH, Pegel Fremersdorf (http://www.saarland.de/46849.htm)

[4] STAATLICHES INSTITUT FÜR GESUNDHEIT UND UMWELT (SIGU) (Hrsg.): Untersuchungen zur Dynamik der Phyto- und Zooplanktonpopulationen der Saar (Abschlussbericht), Saarbrücken, 1996

[5] MINISTERIUM FÜR UMWELT DES SAARLANDES (Hrsg.): Maßnahmenprogramm nach Artikel 11 der Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften vom 22.12.2000) EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) Betrachtungsräume Saar, Mittlere Saar, Untere Saar, Blies, Schwarzbach, Glan, Nahe; Stand 31.12.2006

[6] WWW.WSA-SB.WSV.DE/WASSERSTRASSE/ANLAGEN/IDEX.HTML

[7] SCHÖL, A., V. KIRCHESCH & D. MÜLLER: Modellgestützte Sauerstoffbilanz der deutschen Saar: unter: http://www.bafg.de/DE/02_Aufgaben/03_Oekologie/01_Abt_Ref/U2_Ordner/Saar/O2-BilanzSaar.pdf?__blob=publicationFile

[8] http://www.perlodes.de/kurzdarstellungen/bewertung-phytoplankton/typ9_2/

[9] KOHL, R & J. PENIG: Zusammenfassender Bericht der Plankton-Untersuchungen der Saar in Güdingen (997 - 2008) und der Nied in Niedaltdorf (2007 - 2008), im Auftrag des Landesamtes für Umwelt- und Arbeitsschutz (LUA) des Saarlandes, Lampertheim und Saarbrücken, 2011

[10] GREGOR J. & B. MARŠÁLEK: Freshwater phytoplankton quantification by Chlorophyll a: a comparative study of in vitro, in vivo and in situ methods; Water Research 38 (2004) 517–522

[11] LEBOULANGER C., DORIGO U., JACQUET S., LE BERRE B., PAOLINI., G, HUMBERT JF.: Application of a submersible spectrofluorometer for rapid monitoring of freshwater cyanobacterial blooms: a case study. Aquat Microb Ecol, 2002;30(1):83–9.

[12] BEUTLER M., MEYER B., WILTSHIRE KH., MOLDAENKE, C., DAU H.: (1998) Rapid depth-profiling of the distribution of ‘spectral groups’ of microalgae in lakes, rivers and in the sea. The method and a newly-developed submersible instrument which utilizes excitation of Chl fluorescence in five distinct wavelength ranges. In: Garab G (ed) Photosynthesis: Mechanisms and Effects, Vol V, pp 4301–4304. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London

[13] SCHÖL, A., KIRCHESCH, V., BERGFELD, T. & D. MÜLLER : Model-based analysis of oxygen budget and biological processes in the regulated rivers Moselle and Saar: modelling the influence of benthic filter feeders on phytoplankton. Hydrobiologia 410 (1999): S. 167 - 176

[14] INTERNATIONALE KOMMISSIONEN ZUM SCHUTZE DER MOSEL UND DER SAAR (Hrsg.): Entwicklung der Wasserbeschaffenheit von Mosel und Saar 1990 – 2010, Trier 2011

[15] VERORDNUNG ZUM SCHUTZ DER OBERFLÄCHENGEWÄSSER (Oberflächengewässerverordnung – OgewV) vom 20.07.2011

[16] MINISTERIUM FÜR UMWELT DES SAARLANDES: Maßnahmenprogramm nach Artikel 11 der Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften vom 22.12.2000) EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) Planungsgebiet „Links der Saar“; Betrachtungsräume Bist-Rossel, Untere Saar, Nied, Mittlere Saar, Leuk und Mosel; Stand 31.12.2006

6. Anhang

Tabelle 6-1: Messparameter und -methoden der eingesetzten online-Messgeräte

Parameter	**Messbereich**	**Messprinzip**
pH-Wert	2 – 14	elektrochemisch
Sauerstoff gelöst (O_2)	0 – 20 mg/l	optisch (Lumineszenz)
Leitfähigkeit	0 - 4000 µS/cm	elektrochem./konduktometrisch
Wassertemperatur	0 – 50°C	
Nitrat (NO_3 bzw. NO_x-N)	0,1 – 100 mg/l	direkte Absorption (UV-Bereich)
Ammonium als NH_4-N	0,02 – 2 mg/l	photometrisch
Ammonium als NH4-N	0,02 – 5 mg/l	GSE (Gas-sensitive Elektrode)
Gesamt Phosphor (P_{ges}) und ortho-Phosphat (PO_4-P)	0,02 – 5 mg/l	photometrisch
	0,02 – 5 mg/l	photometrisch
Trübung	0 – 100 FNU	nephelometrisch
Gesamter organischer Kohlenstoff (TOC)	0,1 – 100 mg/l	Austreibmethode
Spektraler Absorptionskoeffizient (SAK)	0 – 100 m^{-1}	direkte Absorption bei 254 nm
Chlorophyll a von Grünalgen, Blaualgen, Diatomeen und Cryptophyceen sowie Kompensationsmessung der Gelbstoffe	0 – 100 µg/l	Fluoreszenz bei Anregung 450 nm, 525 nm, 570 nm, 590 nm und 610 nm Absorption bei 370 nm

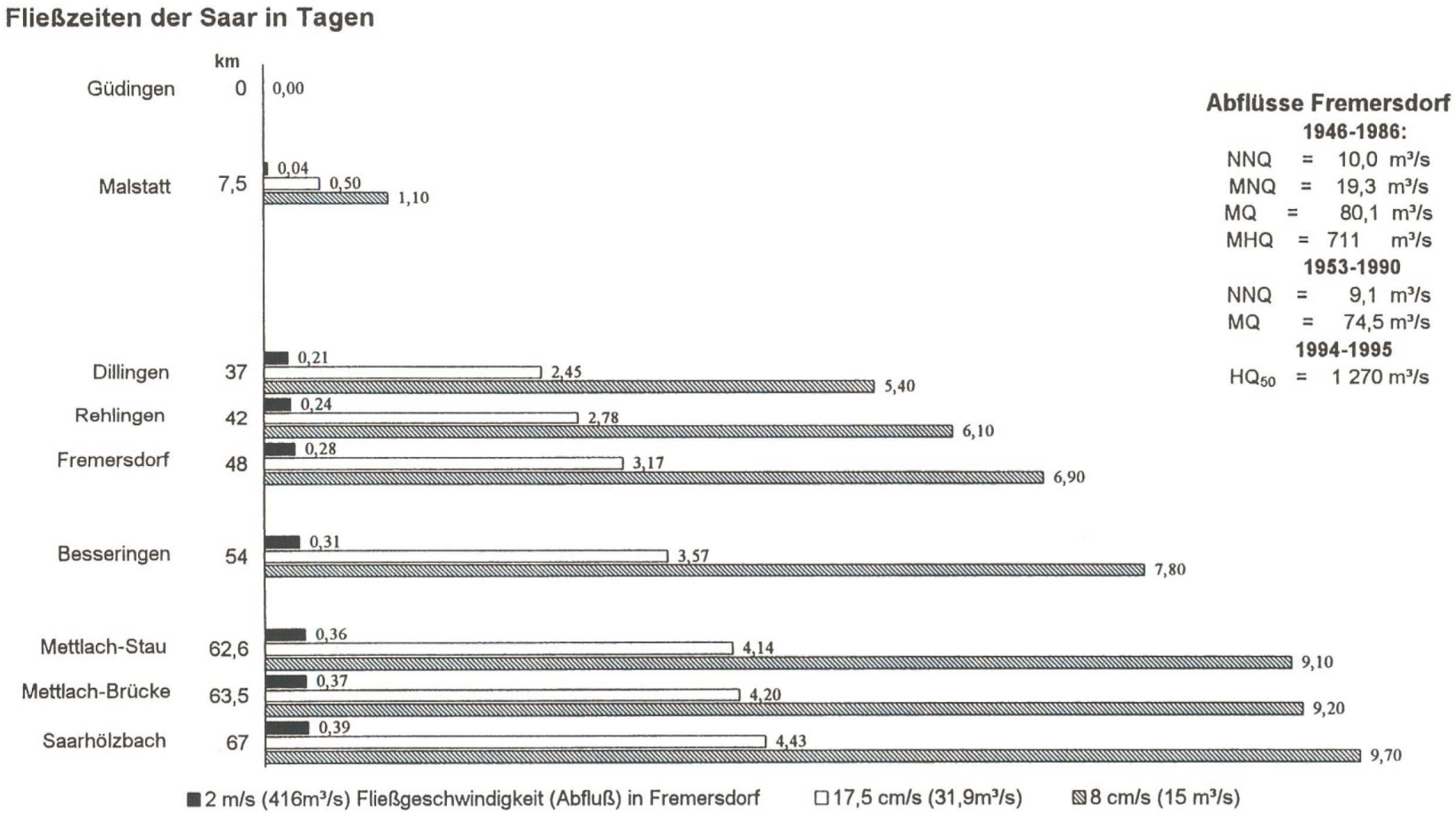


Abbildung 6-1: Fließzeiten der Saar (ab *Güdingen*) in Tagen bei verschiedenen Fließgeschwindigkeiten bzw. Abflusswerten (Quelle [4])

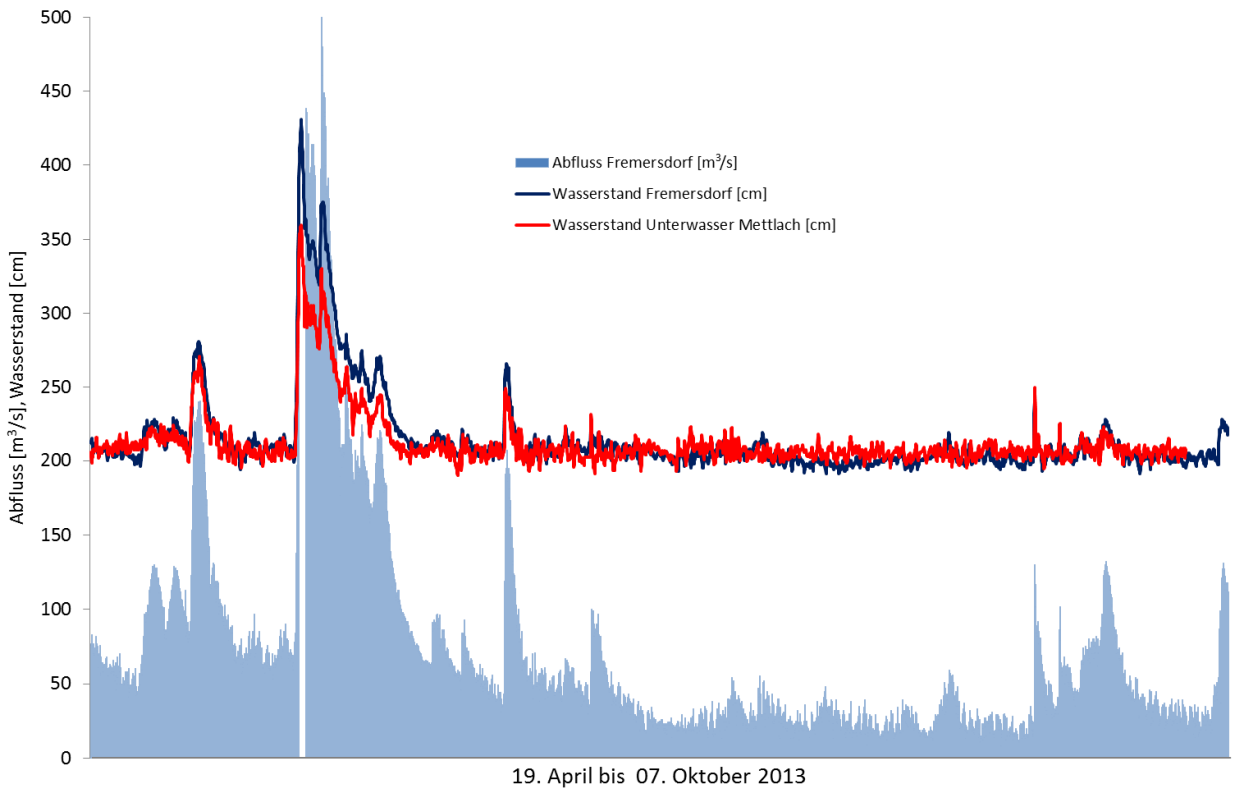


Abbildung 6-2: Wassertemperatur (Messstation *Mettlach*), Abfluss (Pegel *Fremersdorf*) sowie Niederschläge, Lufttemperatur und Globalstrahlung (Wetterstation *Merzig*) über den gesamten Messzeitraum

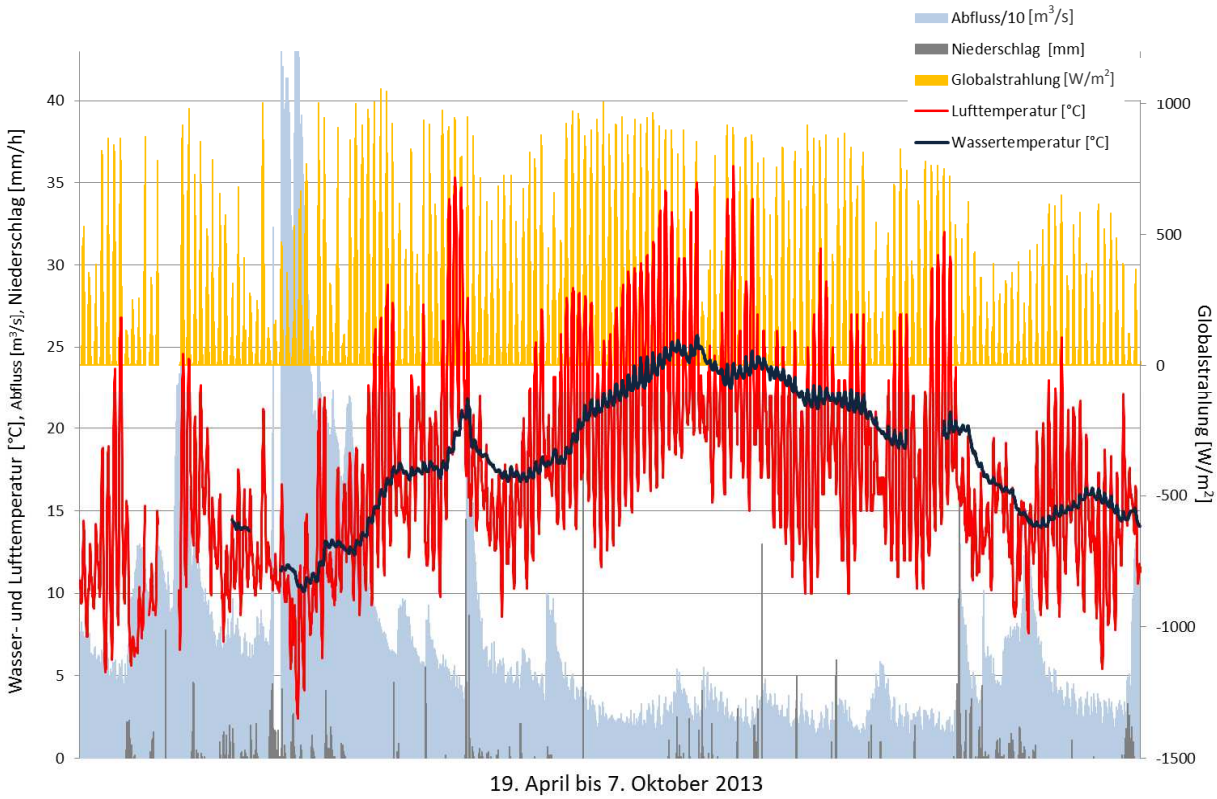


Abbildung 6-3: Wasserstand und Abfluss (Pegel *Fremersdorf*) sowie Wasserstand (Pegel Unterwasser *Mettlach*) über den gesamten Messzeitraum

Tabelle 6-2: Mittelwerte Minima und Maxima der monatlichen Beprobungen des LUA an der Saar in *Fremersdorf* von März 2005 bis Juni 2013

	NO_3-N [mg/l]	**NO_2-N [mg/l]**	**NH_4-N [mg/l]**	**N_{ges} [mg/l]**	**PO_4-P [mg/l]**	**P_{ges} [mg/l]**	**TOC [mg/l]**
Mittelwert	2,9	0,066	0,304	3,8	0,183	0,195	5,7
Minimum	1,4	0,022	0,026	2,4	0,050	0,060	2,9
Maximum	4,5	0,178	1,128	12,0	0,330	0,380	13,0

	pH- Wert	**Leitfähigkeit [µS/cm]**	***Sauerstoff [mg/l]***	***Temperatur [°C]***
Mittelwert	7,8	749	8,8	13,3
Minimum	6,2	345	3,6	1,9
Maximum	8,7	1226	14,4	26

Test auf Normalverteilung

Hinweise

Eingabedaten

Deskriptive Statistik

	N-Analyse	N fehlend	Mittelwert	Standardabweichung	SE des Mittelwerts
Median Sauerstoff 2005	8	0	8,985	1,26875	0,44857

Test auf Normalverteilung

Shapiro-Wilk

	DF	Statistik	p-Wert	Entscheidung bei Niveau(5%)
Median Sauerstoff 2005-2012	8	0,86238	0,12679	Normalverteilung kann nicht zur ückgewiesen werden.

Median O2 2005-2012: Beim Niveau 0.05 wurden die Daten signifikant aus einer normalverteilten Grundgesamtheit gezogen.

Abbildung 6-4a: positives Ergebnis des Tests auf Normalverteilung (Shapiro-Wilk) von Sauerstoff (Median 2005 bis 2013) (OriginPro 9.1)

Test auf Normalverteilung

Hinweise

Eingabedaten

Deskriptive Statistik

	N-Analyse	N fehlend	Mittelwert	Standardabweichung	SE des Mittelwerts
Median pH 2005-2012	8	0	7,76438	0,04625	0,01635

Test auf Normalverteilung

Shapiro-Wilk

	DF	Statistik	p-Wert	Entscheidung bei Niveau(5%)
Median pH 2005-2012	8	0,96108	0,82029	Normalverteilung kann nicht zur ückgewiesen werden.

Median pH 2005-2012: Beim Niveau 0.05 wurden die Daten signifikant aus einer normalverteilten Grundgesamtheit gezogen.

Abbildung 6-4b: positives Ergebnis des Tests auf Normalverteilung (Shapiro-Wilk) der pH-Werte (Median 2005 bis 2013) (OriginPro 9.1)

Test auf Normalverteilung

Hinweise

Eingabedaten

Deskriptive Statistik

	N-Analyse	N fehlend	Mittelwert	Standardabweichung	SE des Mittelwerts
Median Temp 2005-2012	8	0	13,8875	1,73817	0,61454

Test auf Normalverteilung

Shapiro-Wilk

	DF	Statistik	p-Wert	Entscheidung bei Niveau(5%)
Median Temp 2005-2012	8	0,95394	0,75077	Normalverteilung kann nicht zur ückgewiesen werden.

Median Temp 2005-2012: Beim Niveau 0.05 wurden die Daten signifikant aus einer normalverteilten Grundgesamtheit gezogen.

Abbildung 6-4c: positives Ergebnis des Tests auf Normalverteilung (Shapiro-Wilk) der Wassertemperaturen (Median 2005 bis 2013) (OriginPro 9.1)

Test auf Normalverteilung

Hinweise

Eingabedaten

Deskriptive Statistik

	N-Analyse	N fehlend	Mittelwert	Standardabweichung	SE des Mittelwerts
Median N ges 2005-2012	8	0	3,51875	0,28276	0,09997

Test auf Normalverteilung

Shapiro-Wilk

	DF	Statistik	p-Wert	Entscheidung bei Niveau(5%)
Median N ges 2005-2012	8	0,90845	0,34328	Normalverteilung kann nicht zur ückgewiesen werden.

Median N ges 2005-2012: Beim Niveau 0.05 wurden die Daten signifikant aus einer normalverteilten Grundgesamtheit gezogen.

Abbildung 6-4d: positives Ergebnis des Tests auf Normalverteilung (Shapiro-Wilk) von Gesamt-N (Median 2005 bis 2013) (OriginPro 9.1)

Test auf Normalverteilung

Hinweise

Eingabedaten

Deskriptive Statistik

	N-Analyse	N fehlend	Mittelwert	Standardabweichung	SE des Mittelwerts
Median Nitrat-N 2005-2012	8	0	2,82076	0,19782	0,06994

Test auf Normalverteilung

Shapiro-Wilk

	DF	Statistik	p-Wert	Entscheidung bei Niveau(5%)
Median Nitrat-N 2005-2012	8	0,94365	0,6473	Normalverteilung kann nicht zur ückgewiesen werden.

Median Nitrat-N ges 2005-2012: Beim Niveau 0.05 wurden die Daten signifikant aus einer normalverteilten Grundgesamtheit gezogen.

Abbildung 6-4e: positives Ergebnis des Tests auf Normalverteilung (Shapiro-Wilk) von Nitrat-N (Median 2005 bis 2013) (OriginPro 9.1)

Test auf Normalverteilung

Hinweise

Eingabedaten

Deskriptive Statistik

	N-Analyse	N fehlend	Mittelwert	Standardabweichung	SE des Mittelwerts
Median Ges P 2005-2012	8	0	0,205	0,0207	0,00732

Test auf Normalverteilung

Shapiro-Wilk

	DF	Statistik	p-Wert	Entscheidung bei Niveau(5%)
Median Ges P 2005-2012	8	0,97774	0,95088	Normalverteilung kann nicht zur ückgewiesen werden.

Median Ges P 2005-2012: Beim Niveau 0.05 wurden die Daten signifikant aus einer normalverteilten Grundgesamtheit gezogen.

Abbildung 6-4f: positives Ergebnis des Tests auf Normalverteilung (Shapiro-Wilk) von Gesamt-P (Median 2005 bis 2013) (OriginPro 9.1)

Test auf Normalverteilung

Hinweise

Eingabedaten

Deskriptive Statistik

	N-Analyse	N fehlend	Mittelwert	Standardabweichung	SE des Mittelwerts
Median ortho-P 2005-201	8	0	0,18813	0,01926	0,00681

Test auf Normalverteilung

Shapiro-Wilk

	DF	Statistik	p-Wert	Entscheidung bei Niveau(5%)
Median ortho-P 2005-2012	8	0,93051	0,52077	Normalverteilung kann nicht zur ückgewiesen werden.

Median PO4 2005-2012: Beim Niveau 0.05 wurden die Daten signifikant aus einer normalverteilten Grundgesamtheit gezogen.

Abbildung 6-4g: positives Ergebnis des Tests auf Normalverteilung (Shapiro-Wilk) von ortho-Phosphat (Median 2005 bis 2013) (OriginPro 9.1)

Test auf Normalverteilung

Hinweise

Eingabedaten

Deskriptive Statistik

	N-Analyse	N fehlend	Mittelwert	Standardabweichung	SE des Mittelwerts
Median TOC 2005-2012	8	0	5,24375	0,5067	0,17914

Test auf Normalverteilung

Shapiro-Wilk

	DF	Statistik	p-Wert	Entscheidung bei Niveau(5%)
Median TOC 2005-2012	8	0,85663	0,11111	Normalverteilung kann nicht zur ückgewiesen werden.

Median TOC 2005-2012: Beim Niveau 0.05 wurden die Daten signifikant aus einer normalverteilten Grundgesamtheit gezogen.

Abbildung 6-4h: positives Ergebnis des Tests auf Normalverteilung (Shapiro-Wilk) von TOC (Median 2005 bis 2013) (OriginPro 9.1)

Lineare Anpassung

Hinweise

Eingabedaten

Maskierte Daten - Werte von der Berechnung ausgeschlossen

Ungültige Daten (fehlende Werte) -- Werte, die ungültig sind und daher nicht für die Berechnungen verwendet werden

Parameter

		Wert	Standardfehler
Median Sauerstoff 2005-2012	Schnittpunkt mit der Y-Achse	-2452,08756	1005,32697
	Steigung	0,001	4,0956E-4

Statistik

	Median Sauerstoff 2005-2012
Anzahl der Punkte	8
Freiheitsgrade	6
Fehler der Summe der Quadrate	5,63735
Pearson R	0,7069
Kor. R-Quadrat	0,41632

Zusammenfassung

	Schnittpunkt mit der Y-Achse		Steigung		Statistik
	Wert	Standardfehler	Wert	Standardfehler	Kor. R-Quadrat
Median Sauerstoff 2005-2012	-2452,08756	1005,32697	0,001	4,0956E-4	0,41632

ANOVA

		DF	Summe der Quadrate	Mittelwert der Quadrate	F-Wert	Wahrs.>F
Median Sauerstoff 2005-2012	Modell	1	5,63065	5,63065	5,99286	0,04992
	Fehler	6	5,63735	0,93956		
	Gesamt	7	11,268			

Median Sauerstoff 2005-2012: Auf einem Niveau von 0,05 unterscheidet sich die Steigung signifikant von Null.

Abbildung 6-5a: Ergebnisse des Trend-Tests (Lineare Regression) von Sauerstoff (Median 2005 bis 2013) (OriginPro 9.1)

Lineare Anpassung (05.08.2014 17:28:28)

Hinweise

Eingabedaten

Maskierte Daten - Werte von der Berechnung ausgeschlossen

Ungültige Daten (fehlende Werte) -- Werte, die ungültig sind und daher nicht für die Berechnungen verwendet werden

Parameter

		Wert	Standardfehler
Median pH-Wert 2005-2012	Schnittpunkt mit der Y-Achse	12,95301	51,76599
	Steigung	-2,1138E-6	2,1089E-5

Statistik

	Median pH-Wert 2005-2012
Anzahl der Punkte	8
Freiheitsgrade	6
Fehler der Summe der Quadrate	0,01495
Pearson R	-0,04089
Kor. R-Quadrat	-0,16472

Zusammenfassung

	Schnittpunkt mit der Y-Achse		Steigung		Statistik
	Wert	Standardfehler	Wert	Standardfehler	Kor. R-Quadrat
Median pH-Wert 2005-2012	12,95301	51,76599	-2,1138E-6	2,1089E-5	-0,16472

ANOVA

		DF	Summe der Quadrate	Mittelwert der Quadrate	F-Wert	Wahrs.>F
Median pH-Wert 2005-2012	Modell	1	2,50274E-5	2,50274E-5	0,01005	0,92343
	Fehler	6	0,01495	0,00249		
	Gesamt	7	0,01497			

Median pH-Wert 2005-2012: Bei dem Niveau von 0,05 weicht die Steigung NICHT signifikant von Null ab.

Abbildung 6-5b: Ergebnisse des Trend-Tests (Lineare Regression) der pH-Werte (Median 2005 bis 2013) (OriginPro 9.1)

Lineare Anpassung

Hinweise

Eingabedaten

Maskierte Daten - Werte von der Berechnung ausgeschlossen

Ungültige Daten (fehlende Werte) -- Werte, die ungültig sind und daher nicht für die Berechnungen verwendet werden

Parameter

		Wert	Standardfehler
Median Temp 2005-2012	Schnittpunkt mit der Y-Achse	901,52049	1913,19062
	Steigung	-3,61613E-4	7,79415E-4

Statistik

	Median Temp 2005-2012
Anzahl der Punkte	8
Freiheitsgrade	6
Fehler der Summe der Quadrate	20,4163
Pearson R	-0,1861
Kor. R-Quadrat	-0,12626

Zusammenfassung

	Schnittpunkt mit der Y-Achse		Steigung		Statistik
	Wert	Standardfehler	Wert	Standardfehler	Kor. R-Quadrat
Median Temp 2005-2012	901,52049	1913,19062	-3,61613E-4	7,79415E-4	-0,12626

ANOVA

		DF	Summe der Quadrate	Mittelwert der Quadrate	F-Wert	Wahrs.>F
Median Temp 2005-2012	Modell	1	0,73245	0,73245	0,21525	0,65904
	Fehler	6	20,4163	3,40272		
	Gesamt	7	21,14875			

Median Temp 2005-2012: Bei dem Niveau von 0,05 weicht die Steigung NICHT signifikant von Null ab.

Abbildung 6-5c: Ergebnisse des Trend-Tests (Lineare Regression) der Temperatur (Median 2005 bis 2013) (OriginPro 9.1)

Lineare Anpassung

Hinweise

Eingabedaten

Maskierte Daten - Werte von der Berechnung ausgeschlossen

Ungültige Daten (fehlende Werte) -- Werte, die ungültig sind und daher nicht für die Berechnungen verwendet werden

Parameter

		Wert	Standardfehler
Median N ges 2005-2012	Schnittpunkt mit der Y-Achse	655,62552	171,66431
	Steigung	-2,65662E-4	6,99344E-5

Statistik

	Median N ges 2005-2012
Anzahl der Punkte	8
Freiheitsgrade	6
Fehler der Summe der Quadrate	0,16437
Pearson R	-0,84043
Kor. R-Quadrat	0,65737

Zusammenfassung

	Schnittpunkt mit der Y-Achse		Steigung		Statistik
	Wert	Standardfehler	Wert	Standardfehler	Kor. R-Quadrat
Median N ges 2005-2012	655,62552	171,66431	-2,65662E-4	6,99344E-5	0,65737

ANOVA

		DF	Summe der Quadrate	Mittelwert der Quadrate	F-Wert	Wahrs.>F
Median N ges 2005-2012	Modell	1	0,39532	0,39532	14,43037	0,00898
	Fehler	6	0,16437	0,02739		
	Gesamt	7	0,55969			

Median N ges 2005-2012: Auf einem Niveau von 0,05 unterscheidet sich die Steigung signifikant von Null.

Abbildung 6-5d: Ergebnisse des Trend-Tests (Lineare Regression) von Gesamt-Stickstoff (Median 2005 bis 2013) (OriginPro 9.1)

Lineare Anpassung

Hinweise

Eingabedaten

Maskierte Daten - Werte von der Berechnung ausgeschlossen

Ungültige Daten (fehlende Werte) -- Werte, die ungültig sind und daher nicht für die Berechnungen verwendet werden

Parameter

		Wert	Standardfehler
Median Nitrat-N 2005-2012	Schnittpunkt mit der Y-Achse	319,17325	180,09122
	Steigung	-1,28879E-4	7,33674E-5

Statistik

	Median Nitrat-N 2005-2012
Anzahl der Punkte	8
Freiheitsgrade	6
Fehler der Summe der Quadrate	0,1809
Pearson R	-0,58277
Kor. R-Quadrat	0,22956

Zusammenfassung

	Schnittpunkt mit der Y-Achse		Steigung		Statistik
	Wert	Standardfehler	Wert	Standardfehler	Kor. R-Quadrat
Median Nitrat-N 2005-2012	319,17325	180,09122	-1,28879E-4	7,33674E-5	0,22956

ANOVA

		DF	Summe der Quadrate	Mittelwert der Quadrate	F-Wert	Wahrs.>F
Median Nitrat-N 2005-2012	Modell	1	0,09304	0,09304	3,08573	0,1295
	Fehler	6	0,1809	0,03015		
	Gesamt	7	0,27394			

Median Nitrat-N 2005-2012: Bei dem Niveau von 0,05 weicht die Steigung NICHT signifikant von Null ab.

Abbildung 6-5e: Ergebnisse des Trend-Tests (Lineare Regression) von Nitrat-N (Median 2005 bis 2013) (OriginPro 9.1)

Lineare Anpassung

Hinweise

Eingabedaten

Maskierte Daten - Werte von der Berechnung ausgeschlossen

Ungültige Daten (fehlende Werte) -- Werte, die ungültig sind und daher nicht für die Berechnungen verwendet werden

Parameter

		Wert	Standardfehler
Median P ges 2005-2012	Schnittpunkt mit der Y-Achse	5,46536	6,58884
	Steigung	-0,00262	0,00328

Statistik

	Median P ges 2005-2012
Anzahl der Punkte	8
Freiheitsgrade	6
Fehler der Summe der Quadrate	0,00271
Pearson R	-0,30989
Kor. R-Quadrat	-0,05463

Zusammenfassung

	Schnittpunkt mit der Y-Achse		Steigung		Statistik
	Wert	Standardfehler	Wert	Standardfehler	Kor. R-Quadrat
Median P ges 2005-2012	5,46536	6,58884	-0,00262	0,00328	-0,05463

ANOVA

		DF	Summe der Quadrate	Mittelwert der Quadrate	F-Wert	Wahrs.>F
Median P ges 2005-2012	Modell	1	2,88095E-4	2,88095E-4	0,6374	0,45508
	Fehler	6	0,00271	4,51984E-4		
	Gesamt	7	0,003			

Median P ges 2005-2012: Bei dem Niveau von 0,05 weicht die Steigung NICHT signifikant von Null ab.

Abbildung 6-5f: Ergebnisse des Trend-Tests (Lineare Regression) von Gesamt-Phosphat (Median 2005 bis 2013) (OriginPro 9.1)

Lineare Anpassung

Hinweise

Eingabedaten

Maskierte Daten - Werte von der Berechnung ausgeschlossen

Ungültige Daten (fehlende Werte) -- Werte, die ungültig sind und daher nicht für die Berechnungen verwendet werden

Parameter

		Wert	Standardfehler
Median ortho-P 2005-2012	Schnittpunkt mit der Y-Achse	4,3725	6,21717
	Steigung	-0,00208	0,0031

Statistik

	Median ortho-P 2005-2012
Anzahl der Punkte	8
Freiheitsgrade	6
Fehler der Summe der Quadrate	0,00241
Pearson R	-0,26495
Kor. R-Quadrat	-0,08477

Zusammenfassung

	Schnittpunkt mit der Y-Achse		Steigung		Statistik
	Wert	Standardfehler	Wert	Standardfehler	Kor. R-Quadrat
Median ortho-P 2005-2012	4,3725	6,21717	-0,00208	0,0031	-0,08477

ANOVA

		DF	Summe der Quadrate	Mittelwert der Quadrate	F-Wert	Wahrs.>F
Median ortho-P 2005-2012	Modell	1	1,82292E-4	1,82292E-4	0,45298	0,52598
	Fehler	6	0,00241	4,02431E-4		
	Gesamt	7	0,0026			

Median ortho-P 2005-2012: Bei dem Niveau von 0,05 weicht die Steigung NICHT signifikant von Null ab.

Abbildung 6-5g: Ergebnisse des Trend-Tests (Lineare Regression) von ortho-Phosphat (Median 2005 bis 2013) (OriginPro 9.1)

Lineare Anpassung

Hinweise

Eingabedaten

Maskierte Daten - Werte von der Berechnung ausgeschlossen

Ungültige Daten (fehlende Werte) -- Werte, die ungültig sind und daher nicht für die Berechnungen verwendet werden

Parameter

		Wert	Standardfehler
Median TOC 2005-2012	Schnittpunkt mit der Y-Achse	1089,44439	355,37329
	Steigung	-4,41693E-4	1,44776E-4

Statistik

	Median TOC 2005-2012
Anzahl der Punkte	8
Freiheitsgrade	6
Fehler der Summe der Quadrate	0,70442
Pearson R	-0,77977
Kor. R-Quadrat	0,54272

Zusammenfassung

	Schnittpunkt mit der Y-Achse		Steigung		Statistik
	Wert	Standardfehler	Wert	Standardfehler	Kor. R-Quadrat
Median TOC 2005-2012	1089,44439	355,37329	-4,41693E-4	1,44776E-4	0,54272

ANOVA

		DF	Summe der Quadrate	Mittelwert der Quadrate	F-Wert	Wahrs.>F
Median TOC 2005-2012	Modell	1	1,09277	1,09277	9,30786	0,02249
	Fehler	6	0,70442	0,1174		
	Gesamt	7	1,79719			

Median TOC 2005-2012: Auf einem Niveau von 0,05 unterscheidet sich die Steigung signifikant von Null.

Abbildung 6-5d: Ergebnisse des Trend-Tests (Lineare Regression) von TOC (Median 2005 bis 2013) (OriginPro 9.1)

Test auf Normalverteilung

Hinweise

Eingabedaten

Deskriptive Statistik

	N-Analyse	N fehlend	Mittelwert	Standardabweichung	SE des Mittelwerts
Median Ammonium-N 2005-2012	8	0	0,25684	0,12299	0,04348

Test auf Normalverteilung

Shapiro-Wilk

	DF	Statistik	p-Wert	Entscheidung bei Niveau(5%)
Median Ammonium-N 2005-2012	8	0,78975	0,02221	Normalverteilung zurückweisen

Median Ammonium-N 2005-2012: Beim Niveau 0.05 wurden die Daten NICHT signifikant aus einer normalverteilten Grundgesamtheit gezogen.

Abbildung 6-6a: negative Ergebnisse der Tests auf Normalverteilung (Shapiro-Wilk) von Ammonium-N (Median 2005 bis 2013) (OriginPro 9.1)

Test auf Normalverteilung

Hinweise

Eingabedaten

Deskriptive Statistik

	N-Analyse	N fehlend	Mittelwert	Standardabweichung	SE des Mittelwerts
Median Nitrit-N 2005-2012	8	0	0,06041	0,02452	0,00867

Test auf Normalverteilung

Shapiro-Wilk

	DF	Statistik	p-Wert	Entscheidung bei Niveau(5%)
Median Nitrit-N 2005-2012	8	0,69031	0,00175	Normalverteilung zurückweisen

Median Nitrit-N 2005-2012: Beim Niveau 0.05 wurden die Daten NICHT signifikant aus einer normalverteilten Grundgesamtheit gezogen.

Abbildung 6-6b: negative Ergebnisse der Tests auf Normalverteilung (Shapiro-Wilk) von Nitrit-N (Median 2005 bis 2013) (OriginPro 9.1)

Test auf Normalverteilung

Hinweise

Eingabedaten

Deskriptive Statistik

	N-Analyse	N fehlend	Mittelwert	Standardabweichung	SE des Mittelwerts
Median LF 2005-2012	8	0	757,3125	103,44665	36,57391

Test auf Normalverteilung

Shapiro-Wilk

	DF	Statistik	p-Wert	Entscheidung bei Niveau(5%)
Median LF 2005-2012	8	0,81426	0,0406	Normalverteilung zurückweisen

Median LF 2005-2012: Beim Niveau 0.05 wurden die Daten NICHT signifikant aus einer normalverteilten Grundgesamtheit gezogen.

Abbildung 6-6c: negative Ergebnisse der Tests auf Normalverteilung (Shapiro-Wilk) der Leitfähigkeit (Median 2005 bis 2013) (OriginPro 9.1)

Test auf Normalverteilung

Hinweise

Eingabedaten

Deskriptive Statistik

	N-Analyse	N fehlend	Mittelwert	Standardabweichung	SE des Mittelwerts
Median Chlorid 2005-20	8	0	73,3	30,48625	10,77852

Test auf Normalverteilung

Shapiro-Wilk

	DF	Statistik	p-Wert	Entscheidung bei Niveau(5%)
Median Chlorid 2005-20	8	0,65026	6,09288E-4	Normalverteilung zurückweisen

Median Chl- 2005-2012: Beim Niveau 0.05 wurden die Daten NICHT signifikant aus einer normalverteilten Grundgesamtheit gezogen.

Abbildung 6-6d: negative Ergebnisse der Tests auf Normalverteilung (Shapiro-Wilk) von Chlorid (Median 2005 bis 2013) (OriginPro 9.1)

Ammonium-N [mg/l]	Jahr	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Summe
Jahr	50. Perzentil	1	0	0	0	0	0	0	0	
2005	1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-7
2006	0		0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-6
2007	0			0	1	-1	-1	-1	-1	-3
2008	0				0	-1	-1	-1	-1	-4
2009	0					0	1	-1	1	1
2010	0						0	-1	-1	-2
2011	0							0	1	1
2012	0								0	0

S	-20
n	8
p	0,0071

Abbildung 6-7a: Ergebnisse des Trend-Tests (Mann-Kendall) von Ammonium-N (Median 2005 bis 2013

Nitrit-N [mg/l]	Jahr	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Summe
Jahr	50. Perzentil	0,115	0,078	0,053	0,049	0,046	0,048	0,051	0,044	
2005	0,115	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-7
2006	0,078		0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-6
2007	0,053			0	-1	-1	-1	-1	-1	-5
2008	0,049				0	-1	-1	1	-1	-2
2009	0,046					0	1	1	-1	1
2010	0,048						0	1	-1	0
2011	0,051							0	-1	-1
2012	0,044								0	0

S	-20
n	8
p	0,071

Abbildung 6-7b: Ergebnisse des Trend-Tests (Mann-Kendall) von Nitrit-N (Median 2005 bis 2013

Leitfähigkeit [µS/cm]	Jahr	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Summe
Jahr	50. Perzentil	991	785	718	731	745	644	755	690	
2005	991	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-7
2006	785		0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-6
2007	718			0	1	1	-1	1	-1	1
2008	731				0	1	-1	1	-1	0
2009	745					0	-1	1	-1	-1
2010	644						0	1	1	2
2011	755							0	-1	-1
2012	690								0	0

S	-12
n	8
p	0,089

Abbildung 6-7c: Ergebnisse des Trend-Tests (Mann-Kendall) der Leitfähigkeit (Median 2005 bis 2013

Chlorid [mg/l]	Jahr	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Summe
Jahr	50. Perzentil	145	85	59	58	67	55	61	57	
2005	145	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-7
2006	85		0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-6
2007	59			0	-1	1	-1	1	-1	-1
2008	58				0	1	-1	1	-1	0
2009	67					0	-1	-1	-1	-3
2010	55						0	1	1	2
2011	61							0	-1	-1
2012	57								0	0

S	-16
n	8
p	0,0071

Abbildung 6-7d: Ergebnisse des Trend-Tests (Mann-Kendall) von Chlorid (Median 2005 bis 2013

Test auf Normalverteilung

Hinweise

Eingabedaten

Deskriptive Statistik

	N-Analyse	N fehlend	Mittelwert	Standardabweichung	SE des Mittelwerts
Mangan	8	0	0,09069	0,0319	0,01128

Test auf Normalverteilung

Shapiro-Wilk

	DF	Statistik	p-Wert	Entscheidung bei Niveau(5%)
Mangan	8	0,90727	0,33524	Normalverteilung kann nicht zur ückgewiesen werden.

Mangan: Beim Niveau 0.05 wurden die Daten signifikant aus einer normalverteilten Grundgesamtheit gezogen.

Abbildung 6-8a: Ergebnis des Tests auf Normalverteilung (Shapiro-Wilk) von Mangan (Median 2005 bis 2013)

Lineare Anpassung

Hinweise

Eingabedaten

Maskierte Daten - Werte von der Berechnung ausgeschlossen

Ungültige Daten (fehlende Werte) -- Werte, die ungültig sind und daher nicht für die Berechnungen verwendet werden

Parameter

		Wert	Standardfehler
Mangan	Schnittpunkt mit der Y-Achse	22,3157	5,63391
	Steigung	-0,01107	0,00281

Statistik

	Mangan
Anzahl der Punkte	8
Freiheitsgrade	6
Fehler der Summe der Quadrate	0,00198
Pearson R	-0,84955
Kor. R-Quadrat	0,67535

Zusammenfassung

	Schnittpunkt mit der Y-Achse		Steigung		Statistik
	Wert	Standardfehler	Wert	Standardfehler	Kor. R-Quadrat
Mangan	22,3157	5,63391	-0,01107	0,00281	0,67535

ANOVA

		DF	Summe der Quadrate	Mittelwert der Quadrate	F-Wert	Wahrs.>F
Mangan	Modell	1	0,00514	0,00514	15,56196	0,00758
	Fehler	6	0,00198	3,30465E-4		
	Gesamt	7	0,00713			

Mangan: Auf einem Niveau von 0,05 unterscheidet sich die Steigung signifikant von Null.

Abbildung 6-8b: Ergebnis des Trend-Tests (Lineare Regression) von Mangan (Median 2005 bis 2013)