

# Überwachungsmonitoring am Münsterschen Aasee

Zeitraum April bis Oktober 2002

erstellt im November 2002

im Auftrage der Stadt Münster

Amt für Grünflächen und Umweltschutz

durch

Prof. Dr. Bernhard Surholt  
Otto-Hue-Str. 15, 48249 Dülmen

in Zusammenarbeit mit  
Priv.-Doz. Dr. Werner Mathys  
Dipl.-Ing. Anni Bommer  
und den Mitarbeitern des  
Labors für Wasseranalytik des  
Institutes für Hygiene des Universitätsklinikums Münster

## INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
<b>EINLEITUNG</b>	<b>3</b>
<b>ERGEBNISSE</b>	<b>5</b>
- <b>Chlorophyll-a-Gehalte und Zusammensetzung des Planktons</b>	<b>5</b>
- <b>Nährstoffsituation in Aa und Aasee</b>	<b>7</b>
- - Nitrat-Gehalte	7
- - Phosphat-Gehalte (ortho- und Gesamt-Phosphat)	8
- <b>weitere das Wachstum der Cyanobakterien begünstigende Faktoren</b>	<b>9</b>
- - Wassertemperaturen	9
- - Trübung des Gewässers	9
- <b>weitere physiko-chemikalische Kenngrößen des Aasees 2002</b>	<b>10</b>
- - Sauerstoffgehalte und Sauerstoffsättigung	10
- - organische Kohlenstoff-Verbindungen (TOC)	11
- - Redoxpotentiale	12
- - pH-Werte	12
- - Nitrit- und Ammonium-Gehalte	12
- - Leitfähigkeit	13
- - Sulfat- und Chlorid-Gehalte	13
- - Eisen- und Mangan-Gehalte	13
- <b>Die Rolle der Aa</b>	<b>14</b>
- Abflussmengen	14
- Ionen-Frachten (Gesamtfrachten)	15
- Frachten an Nitrat und gelösten Phosphaten	15
<b>ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE</b>	<b>17</b>
<b>Anhang</b>	<b>18</b>

## EINLEITUNG

Untersuchungen des Münsterschen Aasees und seiner in ihn mündenden Gewässer im zurückliegenden Jahrzehnt hatten folgendes gezeigt:

1. Beim Aasee handelt es sich um ein hoch-eutrophes (polytrophes) Gewässer. Über die einströmenden Fließgewässer, vor allem über die Münstersche Aa, gelangen fortwährend sehr hohe Frachten an Nitraten und Phosphaten in den See und bewirken hier, dass während der ganzen Vegetationsperiode eines Jahres im freien Wasserkörper die Primärproduktion (sprich das Wachstum von bakteriellen und pflanzlichen, photoautotrophen Mikroorganismen) ununterbrochen und mit höchster Intensität abläuft. Dies wird zusätzlich dadurch gefördert, dass auf dem Seegrund Sedimente abgelagert sind (und immer wieder auch neu abgelagert werden), die erhebliche Mengen an Phosphaten enthalten. Bei einer maximalen Wassertiefe von nur 2 Metern stehen diese, im Aasee im Gegensatz zu den Verhältnissen in tieferen Seen, auch im Sommer dem Nährstoffkreislauf des Wasserkörpers infolge unterschiedlicher Rücklösungsprozesse zur Verfügung. Dies bedeutet, auch in Zeiten sehr geringer Wasser- und damit auch Nährstoffzufuhr über die Fließgewässer werden Phosphate nicht zum begrenzenden Faktor des Planktonwachstums. Nitrate dagegen, die fast ausschließlich aus den Fließgewässern stammen, können in trockenen Sommern sehr wohl zu einem solchen Mangelfaktor werden (vgl. die Befunde aus dem Monaten Juli bis September 2001).

Wichtig beim Aasee ist zudem, dass sich die biologische Primärproduktion fast ausschließlich im freien Wasserkörper abspielt. Naturnahe Litoralstrukturen mit Makrophyten (also mit höheren Pflanzen) sind im neuen und alten Aasee selten, dann meist nur schwach ausgebildet oder sie fehlen auf großen Strecken des Ufers nahezu vollständig. Von Makrophyten werden folglich, im Gegensatz zu vielen anderen Gewässern, dem Wasser kaum Nährstoffe entzogen. Die ungebremst ablaufende Primärproduktion und damit das entsprechend intensive Wachstum von Mikroorganismen im Wasser ist mit einfachen Mitteln schon an der äußerst geringen Sichttiefe zu erkennen. Im Sommerhalbjahr reicht sie in der Regel nicht tiefer als 50 cm, über Wochen beträgt sie bisweilen sogar nur 20 cm und weniger.

Eine weiteres Kennzeichen der extremen Primärproduktion ist das deutliche Ansteigen des pH-Wertes im Aasee (z.B. verglichen mit dem Wasser der einströmenden Aa). Das Aasee-Wasser reagiert im Sommer deutlich bis sehr deutlich alkalisch. Bei intensiver Sonneneinstrahlung wurden dann im See wiederholt pH-Werte von bis zu 9,5 gemessen.

2. In den letzten Jahren wurde eine neue Entwicklung im Aasee sichtbar. Cyanobakterien (früher Blaualgen genannt) traten nicht mehr nur unregelmäßig und in kurzen Zeiträumen auf, wie das u.a. in den Jahren 1992 bis 1994 der Fall war, Cyanobakterien waren in den letzten beiden Jahren nahezu während der gesamten Vegetationszeit im Plankton in größerer Dichte zu finden. Darüber hinaus traten immer wieder langandauernde und z.T. sehr ausgeprägte „Blüten“ dieser Mikroorganismen auf, wobei die ansonsten einzelligen Organismen im Wasser dann große, schon mit bloßem Auge sichtbare Kolonien bildeten. Unter bestimmten Bedingungen (vor allem bei Wetterwechsel im Spätsommer) trieben diese Kolonien dann auf, aggregierten zu noch größeren Einheiten und wurden vom Wind in bestimmte Uferbereiche verfrachtet, dort zu Ufersäumen zusammengedrückt und bildeten so dicke und dichte Schäume (in der Fachliteratur „Scums“ genannt).

3. Cyanobakterien stehen im Verdacht, eine Reihe hoch-giftiger Stoffe bilden zu können. Für den Aasee konnte im letzten Jahr (2001) der Nachweis geführt werden, dass sie in der Tat hier in großem Umfang solche Toxine auch wirklich bildeten. Nachgewiesen wurden diverse Microcystine. Aufrahmungen und vor allem die besagten „Scums“ enthielten bis über 1 mg dieser Toxine pro Liter. Microcystine sind Stoffe, die nicht nur eine äußerst akut wirkende Toxizität für Leberzellen besitzen sondern sie gelten seit neuestem auch als wirksame Tumor-Promotoren (d.h. sie fördern das Wachstum von bereits vorhandenen Tumorzellen).

Bei der Bewertung der Befunde des letzten Jahres (2001) muss beachtet werden, dass in dem Zeitraum der Toxin-Untersuchungen August und September die Cyanobakterien-Blüten und Aufrahmungen im Aasee ganz überwiegend von einer Art, nämlich *Microcystis aeruginosa* gebildet wurden. Die einseitige Massenvermehrung dieser Art war damals ganz offensichtlich die Folge des Mangels an verfügbarem Nitrat im Aasee-Wasser (vgl. die diesbezüglichen Messergebnisse). In diesem Zeitraum waren die Zuflüsse über die Fließgewässer äußerst gering, also auch der Eintrag von Nitrat. Dessen Konzentrationen gingen im Aasee schnell gegen Null. Im Gegensatz zu anderen photosynthetisch aktiven Planktonorganismen, auch aus der Gruppe der Cyanobakterien, besitzt *Microcystis* die Fähigkeit, statt Nitrat den molekularen Stickstoff aus der Luft als „Dünger“ zu nutzen. Dies führte dazu, dass konkurrierende Arten ihr Wachstum einstellen mussten, während *Microcystis* ungehemmt weiter wachsen konnte. Phosphate waren ja infolge Rücklösung aus den Sedimenten des Sees in mehr als ausreichender Konzentration im Wasser vorhanden (vgl. die damaligen Befunde).

Wegen ihrer enormen Toxizität ist unbestritten, dass von den Cyanotoxinen eine erhebliche Gefährdung der Gesundheit von Mensch und Tier ausgeht und dass sie darüber hinaus ein nicht zu unterschätzendes Gesundheits-Risiko darstellen, wenn es zu Kontakten mit so stark kontaminiertem Wasser kommt, wie es 2001 vorgefunden wurde. Dies gilt vor allem für Verschlucken von Wasser, was vor allem beim Baden oder vergleichbarem Aktivitäten im Wasser auftreten kann.

Um 2002 bei möglicherweise erneutem Auftreten von Cyanobakterien im Aasee eine solche Gefährdung erkennen und Risiken abschätzen zu können, wurde von April bis Oktober 2002 ein Überwachungsmonitoring installiert, dessen aktuelle Ergebnisse laufend übermittelt wurden und die hier abschließend zugesammengefasst und bewertet werden sollen.

Entsprechend einer direkten Empfehlung des Umweltbundesamtes (UBA) und einer diesbezüglichen Veröffentlichung im Bundesgesundheitsblatt 7, 1997, standen folgende Untersuchungen, die mindestens einmal pro Woche durchgeführt wurden, im Mittelpunkt des Monitorings:

- a) Chlorophyll-a-Bestimmungen an 4 Probestellen in Aa und Aasee. Die Entnahmestellen sind in dem beiliegenden Ausschnitt aus dem Stadtplan Münster eingezeichnet;
- b) parallel dazu die mikrobiologische/mikroskopische Begutachtung der Proben, um die Entwicklung von Cyanobakterien im Aasee zu verfolgen.

Die parallele Bewertung der Ergebnisse dieser beiden Untersuchungen erlaubt eine annähernd gute Quantifizierung der jeweiligen Belastung des Gewässers mit Cyanobakterien und ersetzt zunächst einmal eine generelle Analyse der Wasserproben auf Cyanotoxine (hier auf Microcystine). Letztere wird erst dann notwendig, wenn die Belastung mit diesen Bakterien Ausmaße gewisser Größenordnungen erreicht. Die Empfehlungen des UBA setzen zwei Warnstufen fest: Die erste liegt bei 40 µg/l Chlorophyll a und die zweite bei 150 µg/l. Diese werden aber nur dann wirksam, wenn die mikrobiologische / mikroskopischen Analyse gleichzeitig eine Dominanz von Cyanobakterien im Plankton anzeigt. Spätestens bei der 2. Warnstufe wird empfohlen, die Konzentration der Toxine (Microcystine) zu messen.

Laut gleicher Empfehlung soll diese mit der HPLC-Technik durchgeführt werden. Der Aufarbeitung der Proben und die sich anschließende Analytik sind aber sehr zeit- und arbeitsaufwendig. Zeitnahe Befunde wären somit nur unter großen Schwierigkeiten zu erhalten. Deshalb wird z.Zt. an der Entwicklung einer alternativen Analyseverfahren für

Microcystine gearbeitet, die es ermöglichen soll, innerhalb weniger Tage zu verlässlichen Aussagen über Toxingehalte (konkret: Konzentrationen an Microcystinen) zu kommen.

Im Monitoring sind zusätzliche Messung weiterer chemischer und physikalischer Kenngrößen des Wassers der Aa und des Aasees enthalten. Diese sollten ein möglichst exaktes Bild der Hintergründe liefern, die das Aufkommen und Wachsen der Cyanobakterien verursachen und den Zustand des Sees beeinflussen. Alle Befunde zusammengenommen dokumentieren dann den jeweiligen Gesamtzustand des Gewässers.

Alle Messungen wurden entsprechend den Deutschen Einheitsverfahren (DEV) zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung nach den dort festgesetzten DIN-Normen durchgeführt. Die vier Stellen der Probenahmen (beginnend mit Nr. 1: Aa bei Haus Kump) sind in dem beiliegenden Ausschnitt aus dem amtlichen Stadtplan Münster eingezeichnet.

## ERGEBNISSE

### CHLOROPHYLL a und PLANKTON-ZUSAMMENSETZUNG

Wie Abbildung 1 verdeutlicht, wurden bereits in der Anfangsphase der Messungen (d.h. in der 2. Aprilhälfte) sowohl die Grenzen der Warnstufe 1 (40 µg/l) als auch die der Warnstufe 2 (150 µg/l) deutlich überschritten (Höchstwert in dieser Zeit: 263 µg/l am 22.04.02, Bereich Torminbrücke). Wie die mikroskopischen Analysen der Planktonorganismen zeigten, waren hieran neben den zu erwartenden planktischen Algen (Grünalgen etc.) schon jetzt beachtliche Mengen an Cyanobakterien beteiligt. Zudem fanden sich im Aasee bereits relativ größere Kolonien von *Aphanizomenon flos-aquae* und einzelne kompaktere Kolonien von *Microcystis aeruginosa* (vor allem im Bereich Torminbrücke).

Kennzeichnend für diese Zeit waren zudem große schwammartige Gebilde, die in Mengen auf der Oberfläche schwimmend von der Aa in den Aasee strömten. Beim Eintritt in den neuen Aasee schoben sie sich z.T. flächendeckend auf der Oberfläche zusammen. Mikroskopische Analysen zeigten, dass sie aus massivem braunen Detritus bestanden und nach der Passage des renaturierten Teils der Aa von vielen fädigen Cyanobakterien (*Oscillatoria*-Spezies) durchzogen waren. Im weiteren Verlauf des Aasees lösten sich viele dieser Gebilde auf bzw. tauchten von der Wasseroberfläche ab, einige waren aber auch noch auf dem alten Aasee sichtbar.

*Chlorophyll a ist eine sehr empfindliche Substanz, die schnell zerfällt. Die ersten Abbauprodukte, Phaeopigmente genannt, sind dagegen sehr stabil. Störungen im System, vor allem das Absterben von Phytoplankton und Cyanobakterien, lässt den Gehalt des Wassers an Phaeopigmenten schnell ansteigen. Natürlich können diese Stoffe z.T. zusätzlich auch aus sich zersetzendem pflanzlichen Material stammen, das ins Wasser gelangt. Dass der Aasee zu bestimmten Zeiten erhebliche Mengen dieser Zerfallsprodukte des Chlorophylls enthält, zeigt Abb. 2. Wird der Gehalt an intaktem Chlorophyll ins Verhältnis zum Gehalt an Phaeopigmenten gesetzt, zeigt sich deutlich der Zustand der photosynthetisch aktiven Organismen im Gewässer. Je niedriger das Verhältnis, je schlechter ist deren Zustand (vgl. Abb. 3)*

Weiter zum Chlorophyll-a: Im Mai 2002 waren die Chlorophyll-a-Gehalte überraschender Weise sehr viel niedriger als im April. Oft wurden nur Werte um oder unter 10 µg/l gemessen. Nur ein Wert ragt deutlich heraus, der vom 21.05.02 mit 84 µg/l im alten Aasee, alle anderen Werte lagen im Mai deutlich unter 40 µg/l. Entsprechend wenig photosynthese-aktive Mikro-

organismen waren im Plankton des Sees zu finden. Dabei handelte es sich ganz überwiegend, z.T. auch fast ausschließlich, um verschiedene Cyanobakterien-Arten. Grünalgen wurden im mikroskopischen Bild, außer am 21.05.02, nur ganz wenige oder überhaupt keine gefunden. Ein für diese Jahreszeit äußerst ungewöhnlicher und deshalb befremdlicher Befund.

Von Anfang Juni bis hinein in die 2. Julihälfte stiegen die Chlorophyll-Gehalte dann wieder deutlich an, wobei der Wert 150 µg/l mehrfach überschritten wurde (Höchstwerte 213 µg/l am 1.07. und 209 µg/l am 22.07.02). Insbesondere bei den hohen Werten spielten jetzt bereits die Cyanobakterien, bezüglich Anteil am photosynthese-aktiven Plankton und bzgl. ihrer Dichte im Wasser, die dominierende Rolle. Überwiegend gehörten diese Arten den Gattungen *Aphanizomenon* und *Microcystis* an.

Wie bereits im Mai spielten Phytoplankter/Grünalgen nur eine untergeordnete Rolle. Dieses Phänomen wurde zu dieser Jahreszeit bislang im Aasee noch nicht beobachtet. In den zurückliegenden Jahren waren es im Früh- und Hochsommer immer diverse Grünalgen (vor allem *Pediastrum*-Arten), die im Frühjahr, Früh- und Hochsommer in großer Dichte und in großer Artenvielfalt dominierten (vgl. u.a. unsere Untersuchungen aus den Jahren 1992-1994).

Ende Juli bis Mitte August waren die Chlorophyll-a-Gehalte dann erneut sehr niedrig, z.T. tendierten sie sogar gegen Null. Vor allem die Messstelle „Übergang renaturierte Aa zum neuen Aasee“ war auffällig. So wurden am 02.08.02 nur 7,4 µg/l und am 12.08.02 sogar überhaupt kein Chlorophyll a gemessen. Eine Ausnahme bildete nur der Messtag 2.08.02. Hier wurden im alten und neuen Aasee mit 173 und 154 µg/l kurzfristig Werte gemessen, die die Warnstufe 2 überschritten. Verursacht wurde dies erneut durch ein stärkeres Auftreten von Cyanobakterien, diesmal von drei bis vier Arten.

Von „fast Null“ stiegen Mitte August dann die Chlorophyll-Gehalte an allen Teilen des Sees zunächst auf eine hohe, über 3 Wochen etwa gleichbleibende Stufe mit Werten um 200 µg/l. Warnstufe 2 wurde damit somit deutlich überschritten. Ab Mitte September bis Anfang Oktober ging es dann aber nochmals, und zwar drastisch, nach oben. Es bildete sich ein enorm hoher Chlorophyll-a-Peak, der in Extremwerten zwischen 800 bis 900 µg/l gipfelte. Erst zur Mitte des Monats Oktober ging es dann wieder abwärts. Am 21. Oktober lag der Wert im alten Aasee mit 159 µg/l aber immer noch über dem der 2. Warnstufe.

Dieser riesige Chlorophyll-Peak am Ende des Spätsommers wurde nahezu ausschließlich durch ein sehr starkes, gleichzeitiges Aufblühen mehrerer Cyanobakterien-Arten (bis zu 6) hervorgerufen. Besonders massiv traten dabei *Aphanizomenon flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa* (beide in Form sehr großer Kolonien) und die fädige *Anabaena constricta* in Erscheinung. Arten des Phytoplanktons spielten erneut so gut wie keine Rolle (vgl. die im Anhang beigefügten ausführlichen Protokolle).

Das Bild des Aasees im Zeitraum August-Oktober 2002 unterscheidet sich damit ganz entscheidend von dem des entsprechenden Zeitraum des Vorjahres. Wie 2002 kam es zwar zu einem massiven Wachstum und Aufrahmen von Cyanobakterien. Dahinter steckte aber nur die Massenblüte einer Cyanobakterien-Art, nämlich von *Microcystis aeruginosa*. Die Gründe für diese unterschiedliche Entwicklung sind mit großer Wahrscheinlichkeit in der ganz unterschiedlichen Verfügbarkeit von Nitrat zu suchen. Im Vorjahr herrschte im Aasee zu dieser Zeit starker Mangel an diesem Nährstoff, während 2002 die Nitrat-Konzentration durchgehend sehr hoch war (siehe im weiter unter „Nitrat“).

## **Fazit** der Chlorophyll-Analysen und der Untersuchung der Planktonorganismen:

Cyanobakterien der verschiedensten Arten fanden sich nahezu im gesamten Untersuchungszeitraum (April-Oktober 2002) im Aaseewasser. Schon im Frühsommer wurden sie zu den dominierenden photosynthetisch aktiven Organismen des Sees überhaupt. Im gesamten Mai und Ende Juli bis Mitte August gab es aber auch extrem starke Einbrüche beim photosynthese-aktiven Plankton. Bei diesen „Auf- und Ab“ übersprangen die Chlorophyll-a-Werte aber immer wieder die Warnstufen 1 und 2. Von Mitte August bis Mitte Oktober wurde dann die 2. Stufe fortlaufend überschritten, Mitte September sogar um Faktoren 4 bis 6. Mehr als auffällig ist die absolut untergeordnete Rolle, die Phytoplankter im gesamten Untersuchungszeitraum 2002 im Aasee spielten.

## DIE NÄHRSTOFFSITUATION

Neben einer Reihe physikalischer Voraussetzungen (wie Licht, Temperatur usw.; s.u.) sind es vor allem die hohen Nährstoffangebote im Wasser, und zwar die an Nitraten und Phosphaten, die die entscheidende Grundlage für ungehemmtes Wachstum der Cyanobakterien bilden.

### NITRAT:

Cyanobakterien nutzen, wie die anderen photosynthese-aktiven Planktonorganismen (also die eigentlichen Algen), zunächst einmal das Nitrat als Stickstoffquelle. Zusätzlich können die Cyanobakterien auch die beiden anderen gelösten anorganischen Stickstoffverbindungen, Nitrit und Ammonium, verwenden. Entscheidend ist aber, dass einige Cyanobakterien-Arten (u.a. die *Microcystis*-Arten), im Gegensatz zu Plankton-Algen und vielen anderen Cyanobakterien-Arten, auch dann unbegrenzt weiter wachsen können, wenn die gelösten Stickstoffverbindungen aufgebraucht sind. Diese nutzen (fixieren) dann, ähnlich wie die Knöllchen-Bakterien der Leguminosen, sehr effektiv den Stickstoff der Luft.

Beispiel: Im August-September 2001 war Nitrat im Aasee zur Mangelfaktor geworden. Die Art *Microcystis aeruginosa* wuchs daraufhin nahezu allein in die dominierende Rolle und bildete fast als „Reinkultur“ zu bezeichnende extrem dichte Massenblüten, während andere Primärproduzenten „verhungerten“. Die *Microcystis* produzierten dann die gemessenen, außergewöhnlich hohen Konzentrationen an diversen Microcystinen, d.h. die hochgiftigen Lebertoxine, die nach dieser Cyanobakterien-Art benannt sind.

Ganz anders sah es bzgl. Nitrat im Jahr 2002 aus. Dieser Nährstoff wurde in diesem Jahr über die Aa immer in reichlichen Mengen angeliefert und im Aasee selber wurde Nitrat so zu keiner Zeit auch nur annähernd zur Mangelware (vgl. Abb. 4). Die Ursache „Nitratmangel“ mit der Folge des Ausfallens des Wachstums von photosynthese-treibenden Organismen, die den Stickstoff der Luft nicht nutzen können, fiel 2002 deshalb aus. Es wuchsen auch solche Cyanobakterien-Arten, die Luftstickstoff nicht nutzen können (vor allem war dies *Aphanizomenon flos-aquae*) in großen Mengen heran.

Überraschender Weise verschwanden aber, trotz genügend hoher Nährstoffgehalte, die pflanzlichen Planktonorganismen (Algen) in vielen Phasen des Sommers 2002 im Aasee fast völlig. Vor allem waren es die *Pediastrum*-Arten, die in den Vorjahren immer den Hauptanteil des Phytoplanktons darstellten und selber auch im Hochsommer Massenblüten bildeten. Dies erstmals im Aasee beobachtete Phänomen lässt sich aus den vorliegenden Nährstoff-Befunden nicht erklären.

Eine mögliche Erklärung wäre, dass die Cyanobakterien inzwischen im Aasee so dominant geworden sind, dass sie die Phytoplankter einfach verdrängen (z.B. mit Hilfe ihrer Toxine). Eine andere Erklärung könnte darin bestehen, dass andere Stoffe, die das Algenwachstum hemmen, in 2002 von außen in den Aasee gelangt sind. Auch die frühzeitig schon sehr hohen Wassertemperaturen (Mitte Juni schon deutlich über 25 °C) und die starke Belastung mit organischen Kohlenstoffverbindungen können eine Rolle gespielt haben.

## PHOSPHATE

Als Quelle für den zum Wachsen ebenfalls absolut notwendigen Phosphor können die Cyanobakterien wie auch die Phytoplankter ausschließlich die im Wasser gelösten Phosphate nutzen. Vor allem wird das *ortho*-Phosphat von ihnen aufgenommen und bei den Syntheseprozessen verwertet. Einige Cyanobakterien können Phosphate aber auch speichern und so für Mangelsituationen bevorraten. Im Vergleich zum Stickstoff sind die für die Photosynthese benötigten Mengen aber deutlich niedriger. Bezogen auf ein Atom Phosphor müssen bei der Photosynthese und den sich anschließenden Prozessen ca. 10-20 Stickstoffatome eingesetzt werden. Das bedeutet, eine Hemmung des Wachstums von Cyanobakterien tritt erst bei sehr niedrigen Phosphat-Konzentrationen ein. Aus Untersuchungen ist bekannt, dass das Wasser deutlich weniger als 0,05 mg/l PO<sub>4</sub>-P enthalten muss, um deren Wachstum effektiv abzubremsen.

Wie Abb. 5 zeigt, wurde ein solch niedriger Bereich im Aasee 2002 allenfalls kurzfristig Mitte September beim *ortho*-Phosphat erreicht (niedrigster Wert 0,036 mg/l o-PO<sub>4</sub>-P am Übergang der renaturierten Aa in den Aasee am 20.09.02). Bei Betrachtung der Gesamtphosphat-Werte (Abb. 6) zeigt sich aber, dass gerade in dieser Zeit mehr als genug Phosphorverbindungen im Seewasser waren. Werte bis nahezu 1 mg P/l (Gesamtphosphat) wurden gemessen. Rücklösung aus dem Sediment, und auch Bindung und Speicherung von Phosphor in organischem Material dürften die Ursachen dafür sein.

Ein Blick in die Aa zeigt, dass 2002 der durch die AGA-NRW vorgegebene Grenzwert für die Gesamtphosphat-Konzentration von 0,300 mg/l PO<sub>4</sub>-P hier fast immer überschritten wurde, im Mittel um gut 150 %. Der Mittelwert für den Untersuchungszeitraum April-Oktober 2002 betrug 0,456 mg/l PO<sub>4</sub>-P. Einige Male wurde sogar mehr als das Doppelte des Grenzwertes gemessen, einmal sogar ein dreifach überhöhter Wert, und das gerade in der Zeit, als im See die extreme Blüte von Cyanobakterien stattfand (20.09.02: 0,911 mg/l PO<sub>4</sub>-P).

**Fazit:** Die Nährstoff-Situation im Aasee war in 2002 mehr als optimal für das Wachstum von Cyanobakterien der verschiedensten Arten. Phosphate waren immer weit mehr als ausreichend im Wasser gelöst vorhanden. Im Gegensatz zu 2002 wurden auch Nitrate nie zum Mangelfaktor für die Primärproduzenten.

## WEITERE FAKTOREN, DIE DAS WACHSTUM VON CYANOBAKTERIEN BEGÜNSTIGENDEN

Neben der Nährstoff-Situation sind es vor allem zwei weitere Faktoren, die extremes Wachstum von Cyanobakterien begünstigen. Dies sind höhere Wassertemperaturen und stärkere Trübung des Gewässers. Letztere bestimmt die Tiefe, in die das Sonnenlicht ins Gewässer eindringen kann. Photosynthese (Primärproduktion) erfordert ein Mindest-Quantum an Licht. Wird diese Mindestmenge unterschritten, dies ist in etwa Regel an der Grenze der Sichttiefe der Fall, kommt sie zum Erliegen und die Intensität abbauender (zersetzender) Prozesse überschreitet die der aufbauenden. Trübung wird natürlich nicht nur durch anorganische und organische Schwebstoffe im Wasser hervorgerufen, auch die jeweilige Dichte (Menge) der Planktonorganismen trägt entscheidend zur ihrer Erhöhung bei, die Sichttiefe, ein Maß für die Trübung, nimmt ab.

Wie fördern (begünstigen) diese beiden Faktoren nun das Wachstum der Cyanobakterien?

## WASSESTEMPERATUR

In vielen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass Cyanobakterien dann intensiver zu wachsen beginnen, wenn die Wassertemperaturen 18-20 °C überschreiten. Auch wenn die Temperaturen auf über 25 °C steigen, setzen sie ihr Wachstum ungebremst fort. Letzterer ist der Bereich, in dem die meisten Phytoplankter (Algen) bereits ihr Wachstumsoptimum deutlich überschritten haben, bzw. sogar schon beginnen abzusterben.

Weitestgehend hoch bleibende Wassertemperaturen (über 20 °C) mit Höchsttemperaturen von 27,9 °C am 18.06.02 und 27,8 °C am 20.08.02 kennzeichnen die Vegetationsperiode 2002 im Aasee. Dabei wurde die 20 °C-Marke bereits sehr früh überschritten (Mitte Mai) und endgültig erst in den ersten Septemberwochen wieder unterschritten (vgl. dazu Abb. 7 „Wassertemperaturen“ und im Vergleich Abb. 7 a „Lufttemperaturen“).

Dies war eine deutlich andere Situation als die, die wir z.B. in den Jahre 1993 und 1994 in diesem See vorgefunden haben. Damals wurde bei den Wassertemperaturen nur in ganz wenigen, vereinzelt Spitzen die 20 °C-Marke überschritten.

**Fazit:** Die Wassertemperaturen waren im Jahr 2002 optimal für das Wachstum von Cyanobakterien. Bereits Mitte Mai und dann anhaltend bis weit hinein in den September lagen sie in Bereichen, die das Wachstum von Cyanobakterien fördern. Die schon ab Mitte Juni und danach wiederholt auftretenden sehr hohen Wassertemperaturen von über 25 °C hemmten mit hoher Wahrscheinlichkeit im Gegenzug das Wachstum der Phytoplankter. So wurden die unmittelbaren Nahrungskonkurrenten der Cyanobakterien in ihrer Entwicklung zurückgedrängt.

## TRÜBUNG (gemessen anhand der Sichttiefe)

Es ist bekannt, dass Cyanobakterien bei schwächerer Lichteinstrahlung deutliche Wachstumsvorteile gegenüber planktisch lebenden Algen haben. Obendrein sind viele dieser Bakterien in der Lage, durch aktiv gesteuerte Auftriebsmechanismen sich in die Wasserschichten zu begeben, die für ihre Photosyntheseprozesse optimal sind (entsprechendes gilt für ihre Stickstoffversorgung, soweit sie sich des Luftstickstoffes bedienen können). Vermehren sich die Cyanobakterien erst einmal sehr stark und bilden

obendrein noch große Kolonien, sorgen sie selber in erheblichem Maße für eine Steigerung der Trübung und nehmen so anderen Konkurrenten quasi das Licht weg (ein Effekt, der auch als „out-shading“ bezeichnet wird).

Wie Abbildung 8 zeigt, besaß der Aasee von April bis Mitte August bereits schon eine sehr geringe Sichttiefe, die etwa zwischen 30 und 50 cm pendelte. Danach ging sie für Wochen sogar bis zu Werten unter 20 cm zurück. Erst Mitte Oktober stieg sie wieder in den Bereich um 30 cm. Alle diese Werte sind als Extremwerte zu bezeichnen. Solch niedrige Sichttiefen sind kaum anderweitig in Seen gefunden worden, schon gar nicht in Seen unserer Region.

#### **Fazit:**

Auch der Faktor „hohe Trübung“ führt dazu, dass im Aasee Wachstum, Entwicklung und Vermehrung konkurrierender pflanzlicher Organismen behindert und sogar vollständig unterdrückt wird. Im Gegenzug fördert dies das Wachstum der Cyanobakterien, da sie sich in den verbleibenden, relativ dünnen oberen Wasserschichten, die für die Photosynthese noch ausreichend Licht bieten, ansammeln. Hier bilden sie dann sehr schnell extrem ausgeprägte Massenblüten, wenn andere Voraussetzungen stimmen.

*(Dass sich hier dann auch die Cyanobakterien-Toxine konzentrieren, die ja zunächst einmal in den Bakterienzellen gebunden sind, ist als Folge zu erwarten und wird auch durch die Ergebnisse unserer diesbezüglichen Untersuchungen aus dem Jahr 2001 belegt).*

## WEITERE KENNGRÖSSEN DES AASEES IN DER VEGETATIONSZEIT 2002

### SAUERSTOFFGEHALT UND SAUERSTOFFSÄTTIGUNG

Diese Kenngrößen sagen ganz unmittelbar etwas über den biologischen/limnologischen Zustand eines Gewässers aus. Physikalisch gesehen löst sich Sauerstoff der Luft im Wasser, abhängig von der Temperatur, bis der jeweilige Sättigungswert (100 %) erreicht ist. Dies gilt natürlich nur, solange man es ausschließlich mit Luft und reinem Wasser zu tun hat. In einem eutrophen See stammt die Hauptmenge des Sauerstoffs während der Vegetationsperiode (Frühjahr bis zum Herbst) dagegen ganz überwiegend aus dem Prozess der Photosynthese (hier auch Primärproduktion genannt). Im Aasee sind es fast ausschließlich die diversen Algen (Phytoplankton) und die Cyanobakterien („Blualgen“), die diese Produktion betreiben, abhängig von Nährstoffen, Strahlung und Wassertemperatur. Höhere Pflanzen, zumal submers lebende, kommen in diesem See so gut wie nicht vor.

Im Gegenzug wird der Sauerstoff von allen im Wasser lebenden Organismen (tierischen und auch pflanzlichen) bei deren Atmung verbraucht. Zusätzlich zehren Bakterien und Pilze bei Zersetzungsprozessen (vor allem von organischen Materialien) am Sauerstoffgehalt. Die jeweils gemessenen Sauerstoffkonzentrationen im See sind folglich das Ergebnis aller aufbauenden (Sauerstoff produzierenden) und abbauenden Prozesse im See.

In den letzten Jahren (Jahrzehnt) wurden im hoch-eutrophen Aasee in der Vegetationszeit tagsüber immer Sauerstoffgehalte gemessen, die mindestens im Bereich der Sättigung lagen, bei sehr sonnigem Wetter sogar immer Werte, die deutliche bis erhebliche Übersättigung anzeigten. Nicht selten betrug die Sauerstoffsättigung 200-250 %, und das über die gesamte Wassersäule hinweg. Nachts gingen diese Gehalte dann zwar deutlich herunter, zu stärkerem Sauerstoffmangel, oder gar zum Umkippen des Gewässers, kam es aber bis zum Jahr 2000, soweit es Messungen belegen, nicht.

Etwas anderes wurde erstmals im Jahr 2001 beobachtet. Ende August-Anfang September wurde über mehrere Tage ein Prozess des „Umkippen“, verbunden mit einem vom Seeboden nach oben fortschreitenden, sehr starken Verschwinden des Sauerstoffs, registriert (damals zeitgleich mit der oben beschriebenen extremen Blüte des Cyanobakteriums *Microcystis aeruginosa*).

In den Abbildungen 9 und 10 sind die 2002 in Aa und Aasee gemessenen Sauerstoffgehalte und die zugehörigen Sättigungswerte wiedergegeben. Dabei fällt zunächst einmal auf, dass das Wasser der Aa über lange Zeitabschnitte des Sommers 2002 deutlichen Sauerstoffmangel aufwies. Relativ häufig wurden sogar die Grenzwerte für den Sauerstoffgehalt der Allgemeinen Güteanforderung NRW (6 mg O<sub>2</sub>/l) erreicht und sogar deutlich unterschritten.

Aber auch der Aasee hatte 2002 in all seinen Teilen ausgeprägte Phasen deutlichen Sauerstoffmangels. Besonders überraschend war dabei, dass die ersten beiden Mangelphasen bereits im Mai und Anfang Juni auftraten. Über mehrere Tage (bis zu einer Woche) wurden O<sub>2</sub>-Sättigungswerte von nur 50 % und sogar weniger gemessen, und das auch oberflächennahe. Die dritte Mangelphase lag im Oktober und betraf alle drei Messtage des Monats Oktober.

Darüber hinaus zeigte vor allem das Wasser, das gerade den renaturierten Teil der Aa verlassen hatte und in den neuen Aasee einströmte, wiederholt und sehr ausgeprägt dieses Phänomen des Sauerstoffmangels, z.T. auch in Zeiten, in denen im neuen und alten Aasee eine Übersättigung vorlag.

Im späteren Frühjahr und im Sommer decken sich diese Phasen des Sauerstoffmangels im eigentlichen Aasee weitestgehend mit den Beobachtungen eines stark verminderten Vorkommens/Fehlens von Phytoplanktern. Im Oktober folgte diese Phase exakt dem steilen Abklingen der extremen Cyanobakterien-Blüte von August-September (vgl. u.a. Abb. 1: Chlorophyll-a-Gehalte). Möglicherweise hat letzteres deshalb mit eben diesem Verschwinden (Abbau) der Massen an zuvor vorhandenen Cyanobakterien zu tun.

## ORGANISCHE KOHLENSTOFF-VERBINDUNGEN

Offensichtlich überstieg in der Vegetationszeit des Jahres 2002 in der Aa und auch im Aasee selbst die Intensität der Sauerstoff verzehrenden Prozesse immer wieder sehr stark die der Sauerstoff produzierenden. Die Folge war erheblicher Sauerstoff-Mangel, eine für das Gewässer äußerst bedenkliche Erscheinung.

Welche Ursachen in ihrer Summe auch immer hierzu geführt haben, einige sind oben ja bereits angedeutet, ein wichtiger Grund für die hohen Sauerstoff-Zehrungsraten dürfte in der erheblichen Belastung von Aa und Aasee mit organischen Kohlenstoff-Verbindungen (gemessen als TOC) bestanden haben. Vergleiche dazu die in Abbildung 11 dargestellten TOC-Gehalte.

Danach überstiegen die TOC-Werte in den Gewässern Aa und Aasee über lange Zeit deutlich (z.T. um den Faktor 2-3) den von der AGA-NRW gesetzten Grenzwert von 7 mg/l gebundenen Kohlenstoff. Bei den in diesem Jahr vorgefundenen hohen Wassertemperaturen waren die Abbauraten dieser organischen Verbindungen sicherlich besonders hoch und entsprechend viel Sauerstoff wurde verbraucht.

## REDOXPOTENTIALE

In mehr oder weniger direktem Zusammenhang mit den gerade geschilderten Befunden müssen auch die über weite Strecken des Sommers 2002 in Aa und Aasee gemessenen sehr niedrigen Redoxpotentiale gesehen werden (Abb. 12). Bei Werten deutlich unter 300 mV (vor allem aber unter 250 bzw. sogar 200 mV) geht das „chemische Klima“ im Wasser von oxidierend zu reduzierend über. Das bedeutet vor allem, dass oxidativer Abbau von belastenden Substanzen gebremst oder sogar ganz unterbunden wird. U.a. wird auch der wichtige mikrobielle Prozess der Nitrifizierung (Nitrat-Bildung), der durch spezielle Bakterien durchgeführt wird, gehemmt. Die Oxidation von Stickstoffverbindungen zu Nitrat läuft dann nicht mehr vollständig ab und es häuft sich Ammonium bzw. Nitrit an.

Insgesamt gesehen kann das auch etwas vereinfacht ausgedrückt werden: Niedrige Redoxpotentiale behindern (verhindern) die biologische Selbstreinigung eines Gewässers. Im übrigen fördern sie die Rücklösung von im Sediment an Eisen gebundene Phosphate, da dann Eisen(III) in Eisen(II) übergeht. Die dabei freigesetzten Phosphate erscheinen im freien Wasserkörper (natürlich auch die Eisen-Ionen).

## pH-WERTE (ALKALITÄT des AASEES)

Die Prozesse der Photosynthese entziehen dem Wasser Protonen (also  $H^+$ -Ionen), mit der Folge, dass hier der pH-Wert ansteigt. Im Falle des Aasees führte dies dazu, dass in Phasen hoher Photosyntheseraten im Aasee-Wasser im Vergleich zum Wasser der Aa ein Anstieg um nahezu zwei ganze pH-Wert-Stufen gefunden wurde. Werte bis zu  $pH = 9,3$  wurden in diesem Jahr gemessen (Abb. 13). Dies bedeutet, das Aasee-Wasser war auf weiten Strecken des Sommers deutlich oder bereits recht stark alkalisch.

Dies ist dem Wachstum vieler aquatischer Organismen nicht sehr förderlich. U.a. liegt dann im Wasser kein freies  $CO_2$  für die Photosynthese mehr vor, was viele Algen aber unbedingt benötigen. Auf eine Reihe von Organismen hat der hohe pH-Wert zudem eine direkte schädliche Wirkung (z.B. auf die Entwicklung von Fischbrut). Indirekt bewirkt die hohe Alkalität obendrein das „Giftig-Werden“ von Ammonium (s.u.). Ammonium geht nämlich bei steigendem pH-Wert nach und nach in Ammoniak über. Ammoniak aber ist eine generell äußerst giftige Substanz für die Lebewesen im Wasser (u.a. für Fische).

## NITRIT und AMMONIUM

Wie die Ergebnis nahezu aller Messungen des Nitrits in Aa und Aasee des letzten Jahrzehnts so zeigen auch die des Jahres 2002 (Abb. 14), dass Nitrit im Wasser von Aa und Aasee immer in deutlich zu hohen Konzentrationen enthalten ist. Wegen seiner extremen Giftigkeit für Fische legt die EG-Richtlinie für Fischgewässer (78/659/EWG) hier den obersten Grenzwert bei 0,009 mg/l  $NO_2$ -N fest. Wie Abb. 14 belegt, wird dieser Wert in Aa und Aasee fast immer sehr deutlich überschritten (außer 29.07.02, wo exakt 0,009 mg/l gemessen wurde). Dass bei den vorgefundenen sehr hohen Werten es offensichtlich nicht zu sofortiger (akuter) Giftwirkung auf die Fische kommt, ist wahrscheinlich auf die recht hohen pH-Werte zurückzuführen, die diese Wirkung abmildern bzw. unterdrücken sollen.

Beim Ammonium wurden Grenzwertüberschreitungen (AGA-NRW: 1 mg/l  $NH_4$ -N) nur zweimal und nur in der Aa gefunden. Im Aasee erreichten die Ammonium-Konzentration nur den Bereich 0,5 mg/l (vgl. Abb. 15), der an sich zunächst einmal nicht kritisch ist. Es muss

aber bedacht werden, dass mit steigendem pH-Wert und dazu bei gleichzeitig steigender Wassertemperatur Ammonium in Ammoniak übergeht. Bereits in sehr geringen Konzentrationen (0,1 mg/l) ist Ammoniak akut toxisch für Fische. Konkret: Bei pH-Werten über 9 und Temperaturen deutlich über 20 °C gehen über 30 % des Ammoniums in Ammoniak über. Die kritische Grenze von 0,1 mg/l Ammoniak dürfte damit sicherlich, mindestens im renaturierten Teil der Aa, wiederholt überschritten worden sein.

**Fazit:** Die beiden giftigen Substanzen Nitrit und Ammoniak traten 2002 nach wie vor in den kritischen Konzentrationen in Aa und Aasee auf, wie sie bereits vor 10 Jahren und immer wieder auch in den Folgejahren gemessen worden waren.

## LEITFÄHIGKEIT

Die elektrische Leitfähigkeit stellt eine Summengröße für die im Wasser gelösten Ionen (Salze) dar. Hier zeigt sich, dass 2002 das Wasser der Aa im Mittel mit einer Leitfähigkeit von ca. 800 mV ( $\pm 200$  mV) in den Aasee (bzw. den renaturierten Aa-Abschnitt) eintrat (vgl. Abb. 16). Eine Spitze ragt heraus, und zwar am 22.07.02 mit 1295 mV. In abgemilderter Form findet sich diese im übrigen auch im Aasee wieder. Die Leitfähigkeit der Aa lag demnach 2002 in dem Bereich der Befunde des letzten Jahrzehnts.

Im Aasee lagen die Leitfähigkeitswerte deutlich tiefer als in der Aa. So pendelten sie vor dem Auslauf des alten Aasee um  $600 \text{ mV} \pm 200 \text{ mV}$ . Hauptursache für diesen Abfall ist der Entzug von Ca-hydrogencarbonat, den das Wasser beim Durchfließen des Sees erfährt (siehe hierzu frühere Ausführungen).

## SULFAT und CHLORID

Nach dem Hydrogencarbonat spielen mengenmäßig das Sulfat und Chlorid eine wichtige Rolle unter den Anionen des Aasees. Deren Konzentrationsverlauf in Aa und Aasee sind in den Abb. 17 und 18 wiedergegeben. Ihre Konzentrationen zeigen keine Auffälligkeiten.

## EISEN und MANGAN

Von den Kationen wurden nur Eisen und Mangan bestimmt. Die Befunde sind in den Abbildungen 19 und 20 dargestellt. Während die Gehalte an Mangan völlig unauffällig sind und auch die Eisen-Konzentrationen mit maximal 0,657 mg/l weit unter bestehenden Grenzwerten blieben (AGA-NRW: 2 mg/l Fe), so fällt beim Eisen doch auf, dass die Konzentrationen zwischen Ende Mai und der letzten Julihälfte besonders niedrig waren (0,1 mg/l und weniger). Die zuvor und später deutlich höheren Werte korrelieren mit stark erhöhten Wasserzuflüssen bzw. stehen wohl im Zusammenhang mit Sauerstoffmangel im Wasser und der daraus folgenden verstärkten Eisen-Phosphat-Rücklösung aus dem Sediment.

Damit sind die in 2002 ermittelten Kenngrößen des Aasees abgehandelt und bewertet. Es soll sich jetzt im Anschluss daran aber noch einmal den Messwerten und Befunden an der Aa zugewandt werden, da diese die enorme Bedeutung der Aa für den Aasee belegen.

## DIE ROLLE DER AA

Wie bereits aus früheren Untersuchungen deutlich geworden, beeinflusst die Aa mit ihrer Wasser- und Stoffzufuhr (u.a. mit den großen Mengen an Calcium-Hydrogencarbonat, die sie aus ihrem Einzugsgebiet mitbringt) ganz entscheidend die Prozesse, die im See ablaufen, und somit dessen ökologischen Zustand. Bezüglich der Zufuhr von Stoffen soll an dieser Stelle insbesondere auf die Rolle der Nährstoffe Nitrat und Phosphat im Sommerhalbjahr 2002 eingegangen werden.

## ABFLUSSMENGEN DER AA

Die Abflussmenge der Aa bestimmt zunächst einmal den grundlegenden Charakter des Aasees. Bei stark steigenden Wasserzuflüssen wird er zu einem Flussee (aufgeweiteten Fluss), bei immer geringer werdenden zu einem Flachsee. Entsprechend groß ist die Schwankungsbreite der Aufenthaltsdauer des Wassers im See. Wie die Untersuchungen von 1992-1994 zeigten, schwankt sie von ganz wenigen Tagen (1-2) bis zu über 2 Monate (70 Tage).

Die entsprechenden Abfluss-Messungen des Jahres 2002 an der Aa bei Haus Kump (vgl. Abb. 21) bestätigen dieses Bild. Gemessen wurden zwischen 6052 Liter pro Sekunde am 6.05.2002 und nur 86 Liter/Sek. am 3.06.02 und 29.07.02. Der höchste in dieser Untersuchung gemessene Wert liegt somit um den Faktor 70 höher als der niedrigste. Das Frühjahr 2002 waren sehr niederschlagsreich, die Böden waren wassergesättigt und so kam es nach starken Niederschlägen Anfang Mai zu dem hier gemessenen Spitzenwert.

Extreme und abrupt verlaufende Änderungen der Abflussmengen treten aber gerade auch im Sommerhalbjahr immer wieder auf. Am Beispiel der Messwerte vom 20.08.02 und 21.08.02 lässt sich dies sehr schön zeigen. Nachdem am 12.08. die Abflussmengen bei fast 4000 l/s lagen, fielen sie im Laufe einer fast niederschlagfreien, heißen Woche bis zum 20.08 auf nur noch 289 l/s. Der späte Nachmittag des 20.08. brachte dann heftige, gewittrige Regenfälle über Münster und weiten Teilen des Münsterlandes. Innerhalb von 24 h stieg der Abfluss der Aa dann wieder auf über 4000 l/s an.

*(Anmerkung zu den Abflussmengen: Nach langjährigen, kontinuierlichen Messungen des Tiefbauamtes am Abfluss des Aasees (am Wehr an der Badestrasse) verließen in Extremsituationen bis zu 14 000 l/s den Aasee. Solche Extremsituationen treten nicht sehr häufig auf und sind zudem an der Aa oberhalb des Sees nur sehr schwer und dann auch nur über Dauermessungen zu erfassen. Obendrein müssen bei extrem hohen Niederschlägen die Abflusswerte am Wehr Badestrasse auch deutlich höher liegen als in der Aa bei Haus Kump. Es kommt zwischen beiden Messpunkten das Wasser des Gievenbachs hinzu und, was in solchen Extremsituationen sehr bedeutend wird, (oft fast schlagartig) auch das Oberflächenwasser aus größeren Bereichen der Stadt über spezielle Einleiter hinzu.*

Der schnelle Wasserabfluss nach heftigem Regen zeigt, dass es sich beim Einzugsgebiet der Aa um ein begrenztes und relativ schlecht „wasser-zurückhaltendes“ Gebiet handelt. Geprägt wird es von relativ wenig wasser-rückhaltenden Strukturen (vor allem fehlen größere Wälder), von intensiver Landwirtschaft mit gut drainierten Ackerböden und von größeren und vielen kleineren Siedlungen und Streusiedlungen mit ihren mehr oder weniger versiegelten Oberflächen. Obendrein ist zu bedenken, dass schon die Geländestrukturen vielerorts mit ihren für oberflächlichen Abfluss günstigen Hangsneigungen für guten Wasserabfluss sorgen.

So kommt es zu dem schnellen Abfluss niedergehender Regenmengen. Dort, wo der Boden offen ist, sind dann oft auch entsprechend starke Erosionsprozesse zu beobachten. In deren Folge die Aa dann extrem starke Trübung aufweist, wie z.B. vom 20.08. auf den 21.08.02, als die Sichttiefe der Aa nach extrem starken Niederschlägen abrupt auf nur 16 cm herunter ging.

Der mittlere Abfluss der Aa im Sommerhalbjahr 2002 lag bei 894,56 Liter/Sek. Im Vergleich dazu wurde 1993 auf der Datenbasis beider Jahreshälften eine etwas höhere durchschnittliche Abflussmenge, nämlich 992 l/s, gemessen. Der Grund für den höheren Wert liegt wohl darin, dass in unserer Region in der Regel im Winter mehr Niederschläge als im Sommer fallen.

#### GESAMT-FRACHTEN DER AA

Die Kurve der Gesamt-Frachten (Ionen-Fracht) der Aa folgt unvermittelt der der Abflussmengen, wie Abb. 21 zeigt. Das bedeutet, das herabgefallene Regenwasser reichert sich auf seinem Weg in die Fließgewässer sehr schnell mit löslichen, dissozierenden Stoffen an. Die Ionen-Fracht der aufnehmenden Gewässer steigt steil an. Wie schnell dies im Falle der Aa erfolgt, zeigen wiederum die Befunde der Messungen vom 20.08. und 21.08.02. Innerhalb von 24 Stunden sprangen die Frachten der Aa von 145 g/s auf 1704 g/s.

Dass es darüber hinaus bei solch heftigen Regenereignissen zusätzlich zum Mitreißen von nicht-gelösten Stoffen (Kolloiden, feinen Schwebstoffen, erodierten partikulären Stoffen etc.) kommt, ist parallel dazu u.a. sehr deutlich am abrupten Absinken der Sichttiefe der Aa von 55 cm am 20.08. auf nur 16 cm am 21.08.02 abzulesen (s. dazu Abb. 8)

#### PHOSPHAT- und NITRAT-FRACHTEN

Die enorm große Rolle, die die Aa für die Eutrophierung des Aasees spielt, lässt sich bereits an den in der Aa gemessenen hohen Konzentrationen an Phosphaten und Nitraten ablesen (s.o.). Angesichts der Tatsache, dass der Aasee mit seinen Sedimenten als „Phosphat-Falle“ und Phosphat-Speicher dient, sind aber auch die Frachtmengen an Phosphaten, die über die Aa in den Aasee gelangen, von sehr großer Bedeutung.

Bei einem mittleren Abfluss der Aa bei Haus Kump im Sommerhalbjahr 2002 von 895 Liter/Sekunde errechnet sich auf ein Jahr hochgerechnet für Phosphor eine Fracht von 12,87 Tonnen, die über die Aa in den Aasee gelangten (*dies entspricht 39,44 Tonnen Phosphat*).

Der verfügbare Vergleichswert für 1993, allerdings basierend auf Messdaten erhoben über das gesamte Jahr (mittlerer Abfluss 992 l/s und 0,41 mg/l P-Gesamtphosphat), beträgt 12,83 Tonnen Phosphor (*entsprechend 39,32 Tonnen Phosphat*). Aus Abb. 22 zeigt die jeweiligen Frachten von ortho- und Gesamt-Phosphat, die an den jeweiligen Messtagen des Sommerhalbjahres 2002 ermittelt wurden. Daraus geht hervor, dass ortho-Phosphat in der Regel den ganz überwiegenden Teil der Gesamtphosphat-Fracht der Aa ausmacht.

Die entsprechende Jahres-Fracht der Aa an Nitrat, gerechnet auf der Basis der Abflusswerte des Sommerhalbjahres 2002 und der ermittelten durchschnittlichen Nitrat-Konzentration von 9,41 mg/l NO<sub>3</sub>-N in diesem Zeitraum, beträgt: 267,44 Tonnen (Nitrat-)Stickstoff pro Jahr (*entsprechend 1183,41 Tonnen Nitrat*).

1993 wurde wieder auf der Basis von ganzjährigen Messungen für die Aa eine Stickstoff-Jahres-Fracht von 310,69 Tonnen ermittelt. Hierin sind allerdings neben Nitrat, auch Ammonium und Nitrit enthalten. Bezogen nur auf Nitrat ergeben sich daraus 297,01 Tonnen Stickstoff (entsprechend 1315,37 Tonnen Nitrat).

**Fazit:**

Beim Vergleich der Frachten aus dem Jahr 2002 mit denen aus 1993 ergeben sich Werte, die sehr nahe beieinander liegen. Es muss bei deren Bewertung aber bedacht werden, dass sich die Berechnungen für das Jahr 2002 nur auf Daten des hydrologischen Sommerhalbjahres stützen, während die aus 1993 sich auf beide Halbjahre beziehen. Das durchschnittliche Sommerhalbjahr weist aber deutlich niedrigere Niederschlagsmengen und damit Abflussmengen als das Winterhalbjahr auf. Würde das hydrologische Winterhalbjahr 2002 mit in die Rechnungen einbezogen, wären für 2002 dann wahrscheinlich deutlich höhere Frachtwerte zu erwarten.

*Anmerkung: Die jeweiligen Frachten der Aa an ortho- und Gesamt-Phosphat und an Nitrat für die einzelnen Messtage des Jahres 2002 sind den im Anhang zusammengestellten Tabellen zu entnehmen (und in Abb. 22 und 23 dargestellt).*

## Zusammenfassung der Ergebnisse des Überwachungsmonitorings am Aasee 2002

1. Cyanobakterien waren zusammen mit planktischen Algen bereits zu Beginn der Überwachung (April 2002) in beachtlichen Mengen im Aasee zu finden.
2. Im Laufe von Frühsommer und Sommer wurden die Cyanobakterien immer dominanter. Warnstufe 2 (entsprechend Bundesgesundheitsblatt 7/97: 150 µg Chlorophyll a pro Liter) wurde immer wieder überschritten. Andere Primärproduzenten (Phytoplankter) wurden dabei anteilmäßig immer geringer, z.T. waren sie kaum mehr auffindbar.
3. Von Mitte August bis Mitte Oktober lagen die Chlorophyll-a-Werte dann anhaltend erheblich oberhalb der Warnstufe 2 (Höchstwert: 885 µg/l am 20.09. im alten Aasee). Hierbei herrschte absolute Dominanz der Cyanobakterien. Beteiligt waren 3 unterschiedliche Cyanobakterien-Arten mit Massenblüten und 3-4 weitere mit z.T. großen Dichten. Eine entsprechende Belastung des Aasees mit unterschiedlichen Cyanobakterien-Toxinen (vgl. Tabelle 1 des Gutachtens „*Toxine der Cyanobakterien im Aasee*“, 2001) dürfte bei den vorgefundenen hohen Konzentrationen an Chlorophyll a und gleichzeitiger Dominanz der Cyanobakterien vorhanden gewesen sein.
4. In der Phase extrem hoher Dichten an Cyanobakterien (August-September) gingen die Sichttiefen im Aasee bis unter 20 cm herunter.
5. Die Wassertemperaturen lagen von Mai bis September durchgehend in für das Wachstum von Cyanobakterien optimalen Bereichen von über 20 °C.
6. Die Versorgung der Cyanobakterien mit den Nährstoffen Nitrat und Phosphat war während des gesamten Untersuchungszeitraumes um Faktoren höher als für ein optimales Wachstum dieser Bakterien notwendig. Da auch Nitrat im Gegensatz zum Vorjahr nie zum Mangelfaktor wurde, vermehrten sich auch solche Cyanobakterien-Arten sehr stark, die nicht zu Stickstoff-Fixierung aus der Luft befähigt sind (vor allem war dies *Aphanizomenon flos-aquae*).
7. Erstmals und völlig unerwartet wurden ausgedehnte, beachtliche Sauerstoffmangel-Erscheinungen (bis unter 50%-Sättigung) bereits im späten Frühjahr und Frühsommer in allen Teilen des Aasees gemessen. Generell fiel diesbezüglich zudem der renaturierte Bereich der Aa zwischen Haus Kump und dem neuen Aasee auf. Sauerstoffarmes Wasser floss immer wieder aus diesem in den Aasee ein.
8. Sehr hoch war die Belastung von Aa und Aasee mit organischen Kohlenstoffverbindungen während der gesamten Untersuchungszeit. Im Hochsommer wurden der Grenzwerte der AGA-NRW für den TOC (7 mg/l) dabei kontinuierlich um den Faktor 2-3 überschritten. Ob diese Belastung allein für den immer wieder beobachteten, oben beschriebenen Sauerstoffmangel im Aasee verantwortlich war oder ob es noch weitere Ursachen dafür gab, bleibt ungeklärt.
9. Das Wasser des Aasees wurde wie in den Vorjahren wiederholt sehr deutlich alkalisch. Im Aasee wurden pH-Werte bis 9,3 gemessen.
10. Die Belastung mit den (Fisch-)Giften Nitrit und Ammoniak war, wie schon in den Vorjahren, unvermindert hoch.

## ANHANG

Zusammenstellung  
der  
detaillierten Daten der Gewässeranalysen  
und  
Ergebnisse der mikrobiologischen / mikroskopischen Begutachtung  
der Wasserproben