

Synthese und Abbau von Biomasse im Gewässer

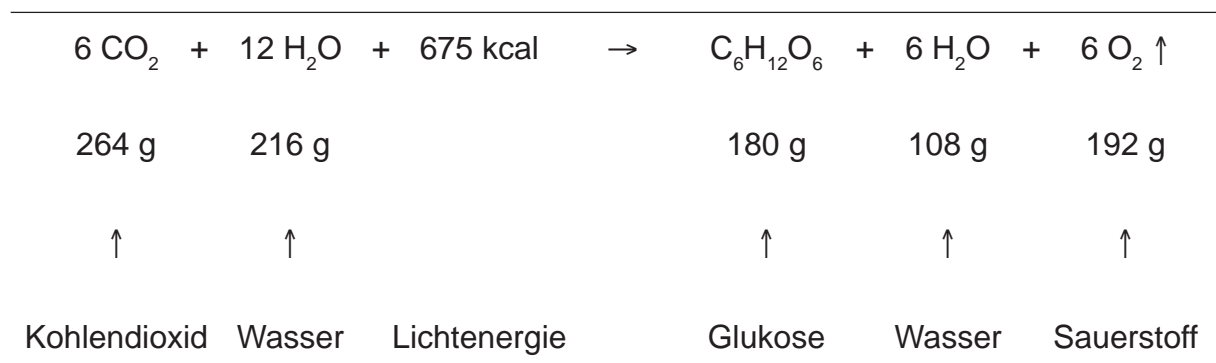
Thomas Gaumert
Wassergütestelle Elbe
1985

Die Vielfältigkeit des pflanzlichen und tierischen Lebens nicht nur in den Binnengewässern basiert letztendlich auf der unterschiedlichen Kombination relativ weniger und einfach strukturierter Elementarbausteine, nämlich den Aminosäuren in den Eiweißmolekülen sowie den verschiedenen Mineral- und Spurenstoffen. Von entscheidender Bedeutung für die Ausprägung der vielfältiger Individualität ist dabei die Molekülstruktur, insbesondere der Desoxyribonukleinsäure (DNS). Die DNS ist ein Makromolekül, in dem durch ein bestimmtes Sequenzschema verschiedener sog. Desoxyribonucleotide die Körperstruktur und Leistung eines jeden Organismus in Form des genetischen Codes vererbbar festgelegt sind. Sterben die Organismen ab, so setzt in der Regel ein Mineralisierungsprozess ein, wobei die komplexe, im Grunde genommen aber aus einfachen Bausteinen bestehende Materie in anorganische Endprodukte, wie z.B. CO_2 , H_2O , NH_4^+ , PO_4^{3-} und SO_4^{3-} , umgewandelt wird. In diesem Zusammenhang muß aber auch darauf hingewiesen werden, daß im natürlichen System oftmals ein Teil der organischen Substanzen nur unvollständig abgebaut wird oder in kaum mehr abbaubare organische Verbindungen übergeht.

Für diesen Stoff- und Energiekreislauf sind im Gewässer im wesentlichen drei Organismengruppen von Bedeutung, die sich aufgrund ihrer spezifischen Nahrungsansprüche unterscheiden lassen: Den grünen Pflanzen dienen anorganische Kohlenstoff-, Stickstoff- und Phosphorverbindungen als Nahrungsgrundlage. Unter Ausnutzung der Sonnenlichtes als Energiequelle vermögen diese Organismen mit Hilfe ihres grünen Blattfarbstoffes, dem Chlorophyll, organische Substanz aus anorganischen Verbindungen aufzubauen. Sie werden als Produzenten bezeichnet, ihre Lebensweise ist autotroph. Bakterien und Pilze, die im wesentlichen leicht abbaubare organische Substanzen zur Deckung ihres Energiestoffwechsels umsetzen, sind die sogenannten Destruenten im Gewässer. Sie mineralisieren - oftmals mit einem erheblichen Sauerstoffverbrauch verbunden - abgestorbene organische Substanz. Ihre Lebensweise wird als heterotroph bezeichnet. Zu den Konsumenten werden schließlich die Tiere gerechnet, die von partikulären organischen Substanzen leben. Ebenso

wie die Destruenten weisen auch die Konsumenten eine heterotrophe Lebensweise auf.

Für den Sauerstoffhaushalt eines Gewässers ist die Synthese von organischer Substanz durch die Produzenten und der Abbau der Biomasse durch die Destruenten von besonderer Bedeutung. Bei der Synthese von organischer Substanz durch die grünen Pflanzen entsteht gleichzeitig Sauerstoff, der - im Gewässer freigesetzt - den sogenannten biogenen Sauerstoffeintrag bewirkt. Diese biochemische Reaktion, die als Photosynthese bezeichnet wird, läßt sich durch folgende Gleichung schematisch beschreiben:



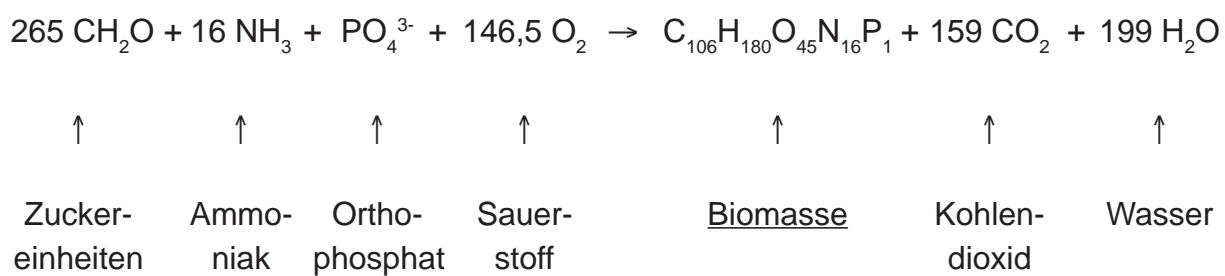
Die an der Durchführung der Photosynthese beteiligten Blattfarbstoffe, wie z.B. Chlorophyll a und Chlorophyll b, können allerdings nur in bestimmten Wellenlängenbereichen des Strahlungsspektrums der Sonne Licht absorbieren. Aus diesem Grunde wird auch nur ein Teil, nämlich in etwa 50 %, des zur Verfügung stehenden Energieäquivalents der Gesamtstrahlung genutzt. Im Gewässer liegt der Anteil der sichtbaren Strahlung, der für den Ablauf des Photosyntheseprozesses zur Verfügung steht, meist unter 5 % (UHLMANN, 1975).

Bezogen auf Gewichtsäquivalente werden während des Photosyntheseprozesses pro 1 kcal 0,27 g organische Substanz (Glukose) und 0,28 g Sauerstoff gebildet.



Die Glukose wiederum wird nachfolgend in schwerlösliche hochmolekulare Kohlehydrate oder aber auch in Öle und andere Speicherstoffe überführt. Dieses von den grünen Pflanzen synthetisierte Material dient diesen selbst sowie den Konsumenten und Destruenten zum Aufbau körpereigener Biomasse (Baustoffwechsel). Unter der Annahme, daß während des Baustoffwechsels Kohlehydrate umgesetzt werden, die sich aus einfachen Zuckereinheiten (CH_2O) zusammensetzen, kann nach UHLMANN

(1975) die Entstehung einer fiktiven Biomasse "durchschnittlicher" Zusammensetzung durch folgende Bruttoformel beschrieben werden:

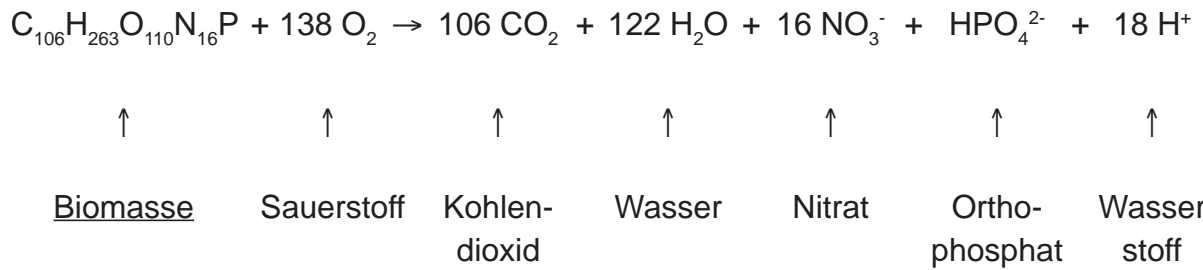


Dabei werden lediglich die fünf wichtigsten Elemente, die bei der Elementarkomposition von Biomasse eine Rolle spielen, berücksichtigt. Für asche- und wasserfreie Biomasse gelten nach STARKA (1968) in etwa folgende Werte: organischer Kohlenstoff 45 - 50 %, Wasserstoff 7 - 9 %, Sauerstoff 34 - 39 %, Stickstoff 2 - 10 % und Phosphor 0,1 - 6 %.

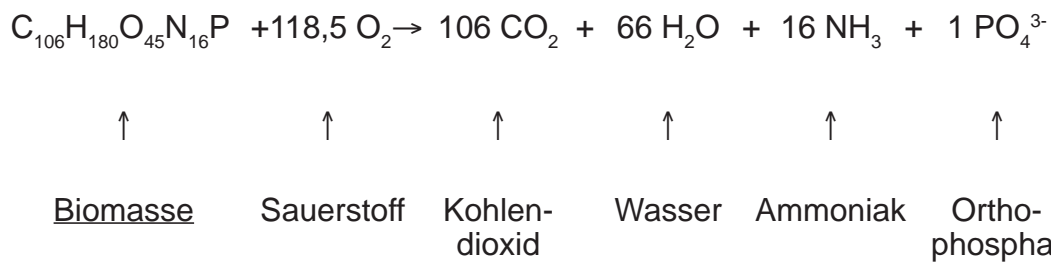
Größenordnungsmäßig liegt die Ausbeute an Biomasse in diesem dargestellten Fall bei ca. 30 %; rund 70 % der im Ausgangsmaterial (Zucker) festgelegten Energie wird zur Deckung der beim Syntheseprozess entstehenden Betriebskosten benötigt oder auch in Form von Wärme abgegeben. UHLMANN (1975) weist darauf hin, daß die oben angeführte Bruttoformel je nach Gehalt an organischen Reservestoffen oder an gespeichertem Phosphor besonders im Hinblick auf die Elemente Wasserstoff, Sauerstoff und Phosphor auch andere Proportionen aufweisen kann. Ergänzend hierzu sei erwähnt, daß beispielweise das EIDGENÖSSISCHE DEPARTEMENT DES INNEREN (1982) bei seiner Betrachtung zur Oxidation des organischen Materials von folgender (Biomassen)-Formel ausgeht:



Der Abbau der Biomasse kann nach Angaben der Autoren folgendermaßen schematisch dargestellt werden:



EIDGENÖSSISCHES DEPARTEMENT DES INNEREN



UHLMANN

Nach diesen Formeln lässt sich über die Molekulargewichte stöchiometrisch berechnen, welche Sauerstoffmenge für den vollständigen Abbau der Biomasse notwendig ist, welche maximale Sauerstoffmenge also dem Gewässer bei einer angenommenen vollständigen Oxidation der Biomasse theoretisch entzogen wird. Nachfolgend werden die Sauerstoffäquivalente für Biomasse, organisch gebundenem Kohlenstoff, organisch gebundenem Stickstoff und organisch gebundenem Phosphor angegeben sowie die Biomassenäquivalente für organisch gebundenem Kohlenstoff, organisch gebundenem Stickstoff und organisch gebundenem Phosphor aufgeführt.

1 g Biomasse	entspricht	1,24 g O ₂	Sauerstoffäquivalent
1 g C part	entspricht	3,5 g O ₂	Sauerstoffäquivalent
1 g N part	entspricht	19,7 g O ₂	Sauerstoffäquivalent
1 g P part	entspricht	142,5 g O ₂	Sauerstoffäquivalent
1 g C part	entspricht	2,8 g	Biomassenäquivalent
1 g N part	entspricht	15,2 g	Biomassenäquivalent
1 g P part	entspricht	114,5 g	Biomassenäquivalent

EIDGENÖSSISCHES DEPARTEMENT DES INNEREN

1 g Biomasse	entspricht	1,56 g O ₂	Sauerstoffäquivalent
1 g C part	entspricht	3,0 g O ₂	Sauerstoffäquivalent
1 g N part	entspricht	16,9 g O ₂	Sauerstoffäquivalent
1 g P part	entspricht	122,3 g O ₂	Sauerstoffäquivalent
1 g C part	entspricht	1,9 g	Biomassenäquivalent
1 g N part	entspricht	10,8 g	Biomassenäquivalent
1 g P part	entspricht	78,3 g	Biomassenäquivalent

UHLMANN

Um die Frage zu beantworten, welches Ausmaß die Sauerstoffzehrung beim Absterben der in der Elbe vorkommenden Biomasse einnimmt, ist es zunächst erforderlich, die Menge der Biomasse selbst größenordnungsmäßig zu bestimmen. Hierbei können verschiedene Wege eingeschlagen werden. Zum einen kann über eine C-H-N-P-Analyse eine Konzentrationsbestimmung der einzelnen in der Biomasse gebundenen Elemente vorgenommen werden. Dieses zum Teil recht aufwendige Verfahren hat den Vorteil, daß gleichzeitig die "echte" Elementarzusammensetzung der tatsächlich in der Elbe vorkommende Biomasse erfaßt werden würde und entsprechend bei der Berechnung der Sauerstoffäquivalente berücksichtigt werden könnte. Eine andere Möglichkeit zur Biomassenabschätzung basiert auf der Bestimmung des organisch gebundenen Kohlenstoffs über die Parameter TOC und DOC (TOC: total organic carbon = gesamter organisch gebundener Kohlenstoff, bestimmt aus der unfiltrierten Probe, gelöst, z.B. Aminosäuren, ungelöst, z.B. Plankton; DOC: dissolved organic carbon = gelöster organisch gebundener Kohlenstoff, bestimmt aus der filtrierten Probe, z.B. Enzyme, Aminosäuren.) Durch Substraktion der im Rahmen des ARGE ELBE-Meßprogramms für beide Parameter ermittelten Konzentrationen (TOC - DOC) ergibt sich der Gehalt an ungelöstem organisch gebundenen Kohlenstoff, wie er z.B. in der lebenden aber auch in der abgestorbenen Biomasse auftritt. Unter Zugrundelegung der Biomassenformel, z.B. von UHLMANN, kann dann das entsprechende Biomassenäquivalent und das Sauerstoffäquivalent berechnet werden. Zur Plausibilitätsbetrachtung können die ermittelten Biomassenmengen den in gleichen Proben festgestellten Glühverlustmengen gegenübergestellt werden. Die Glühverlustmengen ergeben sich aus der Differenz der abfiltrierbaren Stoffen und des Glührückstandes. Allerdings muß dabei berücksichtigt werden, daß die organischen Bestandteile der ungelösten Stoffe meist nur eine Teilmenge des Glühverlustes darstellen. Folglich gilt:

abfiltrierbare organische Substanz \leq Glühverlust

Basierend auf den Daten, die im Rahmen der monatlichen Längsprofilaufnahme im Mittelbeabschnitt erhoben wurden, wird beispielhaft eine Überschlagsberechnung für die Biomassenäquivalente und die Sauerstoffäquivalente vorgenommen. Für die sieben Meßstellen zwischen Schnackenburg und Wehr Geesthacht wurde jeweils ein Mittelwert gebildet. Die vorangestellten Mittelwerte des Glühverlustes dienen dabei in erster Linie der Plausibilitätsbetrachtung.

Mittelbe (Schnackenburg - Wehr Geesthacht, 7 Meßstellen)

Jan. Feb. Mär. Apr. Mai Jun. Jul. Aug. Sep. Okt. Nov. Dez. (MW)

Mittelwerte Glühverlust (mg/l) für das Jahr 1984

7,7 6,9 5,9 3,6 11,7 3,0 11,0 1,1 5,2 5,6 9,7 7,7 (6,5)

Mittelwerte TOC - DOC (mg C/l)

3,7 2,3 4,4 3,7 6,0 3,3 4,2 3,2 4,3 2,9 2,6 2,9 (3,6)

Biomassenäquivalente (C₁₀₆H₂₆₃O₁₁₀N₁₆P) (mg/l) EIDGEN. DEP. D. INNEREN

10,4 6,4 12,3 10,4 16,8 9,2 11,8 9,0 12,0 8,1 7,3 8,1 (10,1)

Sauerstoffäquivalente (C₁₀₆H₂₆₃O₁₁₀N₁₆P) (mg O₂/l) EIDGEN. DEP. D. INNEREN

13,0 8,1 15,4 13,0 21,0 11,6 14,7 11,2 15,1 10,2 9,1 10,2 (12,6)

Biomassenäquivalente (C₁₀₆H₁₈₀O₄₅N₁₆P) (mg/l) UHLMANN

7,0 4,4 8,4 7,0 11,4 6,3 8,0 6,1 8,2 5,5 4,9 5,5 (6,8)

Sauerstoffäquivalente (C₁₀₆H₁₈₀O₄₅N₁₆P) (mg O₂/l) UHLMANN

11,1 6,9 13,2 11,1 18,0 9,9 12,6 9,6 12,9 8,7 7,8 8,7 (10,8)

Diese Gegenüberstellung zeigt, daß die Biomassenäquivalente, die nach der Biomassenformel des EIDGENÖSSISCHEN DEPARTEMENTS DES INNEREN berechnet wurden, zum überwiegenden Teil deutlich höher liegen als die entsprechenden Glühverlustwerte und somit einer Plausibilitätsbetrachtung nicht standhalten. Gleich-

ches muß dann auch für die zugehörigen Sauerstoffäquivalente gelten. Dagegen liegen die Biomassenäquivalente, die nach der UHLMANN'sche Biomassenformel aufgestellt wurden, im Vergleich zu den Glühverlustwerten in einer durchaus plausiblen Größenordnung. Ein entsprechendes Vertrauen kann auch den zugehörigen Sauerstoffäquivalenten entgegengebracht werden. Diese Plausibilität wird auch noch durch folgende Betrachtung gestützt: Die ermittelten Glühverlustwerte unterscheiden sich von den Werten des ungelösten organisch gebundenen Kohlenstoffs (TOC - DOC) im Mittel um den Faktor 1,8; d.h. die praktisch ermittelten Werte des ungelösten organisch gebundenen Kohlenstoffs stehen zu den entsprechenden festgestellten Glühverlustwerten im Mittel im Verhältnis 1 : 1,8. Nach der UHLMANN'schen Biomassenformel ergibt sich zwischen dem part. Kohlenstoff und dem zugehörigen Biomassenäquivalent ein Verhältnis von 1 : 1,9. Somit scheint die Biomassenformel nach UHLMANN die tatsächliche Elementarkomposition der Biomasse in der Elbe relativ genau widerzuspiegeln. Diese erste grobe Abschätzung für den Bereich der Mittelelbe zeigt, daß der theoretisch angenommene vollständige Abbau der im Wasser vorhandenen (lebenden und abgestorbenen) Biomasse, die sich im Mittel um knapp 7 mg/l bewegt, zu einer Sauerstoffzehrung von größenordnungsmäßig 10 mg O₂/l führt. Es sei an dieser Stelle noch einmal besonders betont, daß diese Zahlen nur als grobe Faustwerte angesehen werden dürfen.

Nach dem hier dargestellten Verfahren läßt sich auch eine Abschätzung bezüglich des in der Biomasse gebundenen Phosphors durchführen. Die nachfolgenden Ausführungen stützen sich dabei wieder auf die von UHLMANN angegebenen Biomassenformel C₁₀₆H₁₈₀O₄₅N₁₆P. Entsprechend dem stöchiometrischen Verhältnis ergeben sich für den gebundenen Phosphor folgende Konzentrationen:

Mittelelbe (Schnackenburg - Wehr Geesthacht, 7 Meßstellen)

Jan. Feb. Mär. Apr. Mai Jun. Jul. Aug. Sep. Okt. Nov. Dez. (MW)

Mittelwerte TOC - DOC (mg C/l)

3,7 2,3 4,4 3,7 6,0 3,3 4,2 3,2 4,3 2,9 2,6 2,9 (3,6)

Biomassenäquivalente (C₁₀₆H₁₈₀O₄₅N₁₆P) (mg/l) UHLMANN

7,0 4,4 8,4 7,0 11,4 6,3 8,0 6,1 8,2 5,5 4,9 5,5 (6,8)

part. Phosphor (mg/l)

0,09 0,06 0,11 0,09 0,15 0,08 0,10 0,08 0,10 0,07 0,06 0,07 (0,09)

Zum Vergleich betrug der in der Mittelelbe gemessene Gesamtphosphorgehalt (Mittelwerte):

Mittelelbe (Schnackenburg - Wehr Geesthacht, 7 Meßstellen)

Mittelwerte Gesamt-Phosphor (mg P/l)

Jan.	Feb.	Mär.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	(MW)
0,63	0,55	0,49	0,67	0,67	0,48	0,67	0,89	0,99	0,56	0,85	0,45	(0,66)

Die Gegenüberstellung des in der Biomasse gebundenen Phosphors und des im Wasser gemessenen Gesamt-Phosphors zeigt, daß offensichtlich nur ein geringer Teil - in diesem betrachteten Fall rd. $\frac{1}{7}$ - des in der Elbe vorkommenden Phosphors biogen gebunden vorliegt. Folglich ist mit Sicherheit der Phosphor im Elbwasser nicht der limitierende Faktor bei der Biomassenproduktion. Aufgrund des vorliegenden Sachverhaltes gewinnt die Diskussion um die Aus- und Nachrüstung der in die Elbe entwässernden Kläranlagen mit einer Phosphat-Eliminationsstufe in zweierlei Hinsicht eine besondere Bedeutung: Zum einen werden vermutlich alle Anstrengungen, soweit sie das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland allein betreffen, nicht ausreichen, den hohen Phosphor-Level in der Elbe soweit abzusenken, daß dieser Parameter zum limitierenden Faktor bei der Biomassenproduktion wird. Weiterhin werden offensichtliche Eutrophierungserscheinungen, wie z.B. Planktonblüten, zu beobachten sein. Auf der anderen Seite gilt allerdings zu bedenken, daß die erheblichen Phosphor-Mengen, die die Elbe mit sich führt, letztendlich in die Nordsee gelangen und möglicherweise dort zusammen mit dem Eintrag anderer großer Fließgewässer langfristig gesehen eine ungewollte Anhebung des Trophiespiegels bewirken. Aufgrund der bestehenden Besorgnis um den jetzigen Zustand der Nordsee und ihre Zukunft - beides wird zur Zeit sehr kontrovers diskutiert - scheint eine Rückhaltung des Phosphors durch entsprechende Eliminationseinrichtungen in Kläranlagen aber auch durch umweltbewußteren Einsatz in der Landwirtschaft sinnvoll.