

Het verloop van de biochemische zuurstofconsumptie bij de eliminatie van organische stoffen uit water*)

Inleiding

De aanslag die een afvalwaterlozing doet op de zuurstofhuishouding van een ontvangend oppervlaktewater of in een biologische zuiveringsinstallatie vormt een belangrijke maatstaf bij de waardering van afvalwaterlozingen. Algemeen wordt hiervoor de BOD_5 als parameter gebruikt. Tegen het gebruik van deze parameter bestaan belangrijke bezwaren. In de eerste plaats is de keuze van de periode van 5 dagen arbitrair. De zuurstofconsumptie in 5 dagen is slechts een fractie en een meestal onbekende fractie van de totale zuurstofbehoefte.

Voorts zijn de omstandigheden in het oppervlaktewater geheel anders dan in een stilstaand BOD-flesje. Variatie in hoeveelheid en soort van entmateriaal en ook in de gebruikte verdunning hebben meestal een niet te verwaarlozen invloed op de gemeten waarden van de BOD_5 . De bepaling van de BOD_5 is tijdrovend en er treden nogal eens storingen op.

Gelet op deze bezwaren is het van groot belang dat gezocht wordt naar een betere methode om vast te stellen hoe groot de aanslag is die een bepaalde afvalwaterlozing zal doen op de zuurstofhuishouding van een ontvangend oppervlaktewater of in een biologische zuiveringsinstallatie. Uit een literatuuronderzoek bleek dat er belangrijke onderzoeken zijn verricht naar het verloop van de biochemische zuurstofconsumptie en dat er ook reeds enkele alternatieve methoden zijn ontwikkeld ter bepaling van de zuurstofbehoefte van afvalwater.

De orde van de „BOD-reactie”

Lange tijd werd vrij algemeen aanvaard dat de zuurstofonttrekking verloopt als een reactie van de eerste orde, d.w.z. dat de reactiesnelheid op elk moment evenredig is met de hoeveelheid stof die nog moet reageren.

Men kan het verloop van de „BOD-reactie” dan weer geven met de volgende vergelijkingen:

$$\frac{dy}{dt} = K(L - y) \quad (1)$$

$$y = L(1 - 10^{-kt}) \quad (2)$$

Hierin is

L = beginconcentratie aan organische stof, uitgedrukt in de totale zuurstofbehoefte (mg BOD_{tot}/l);

y = de zuurstofconsumptie over de tijd t (mg BOD/l);

K = de reactieconstante in formules met natuurlijke log;

k = de reactieconstante in formules met Briggsse log.

Tegen de beschrijving van de biochemische zuurstofconsumptie als een reactie van de eerste orde voeren Orford en Ingram [12] de volgende bezwaren aan:

1. Alleen een klein gebied van een waargenomen BOD-curve vertoont het verloop van een eerste-orde-reactie.

2. De constanten k en L zijn geen werkelijke constanten, doch variëren aanzienlijk met de tijd. Voor normaal huishoudelijk afvalwater bedraagt de waarde van k ongeveer 0,25 voor BOD_3 (een waarnemingstijd van 3 dagen) en neemt geleidelijk af tot een waarde van $k = 0,11$ voor BOD_{14} . In bepaalde gevallen is waargenomen dat bij extrapolatie de corresponderende waarden van L toenemen van ongeveer 90 % van de BOD_5 voor een waarnemingsperiode van 3 dagen tot ongeveer 140 % van de BOD_5 voor een waarnemingsperiode van 14 dagen. Bovendien zijn de waarden van k en L moeilijk te bepalen.

Een goede benadering van de waarde van L wordt bemoeilijkt door de omstandigheid dat de oxidatie van ammoniumverbindingen dikwijls reeds begint voordat de koolstoftrap is voltooid. Men kan concluderen dat k en L geen werkelijke fysische constanten zijn, doch slechts statistische gemiddelden.

3. Er is geen goede theoretische grond voor de veronderstelling dat de „BOD-reactie” van de eerste orde is. Afvalwater bevat vele organische stoffen die sterk in fysische, chemische en biochemische eigenschappen kunnen verschillen. De afbraak geschiedt door een heterogene populatie van microorganismen, die deze afbraak volgens verschillende biochemische reactiesystemen kunnen uitvoeren. Iedere bacteriesoort zal elke organische stof met verschillende snelheid oxideren. Op grond van dit gecompliceerd verloop is niet te verwachten dat de reactiesnelheid op elk moment evenredig is met de hoeveelheid stof die nog biochemisch geoxideerd moet worden.

Revelle, Lynn en Rivera [13] wijzen er op dat men in de literatuur de waarden van L en k steeds heeft berekend op grond van de aanname dat het verloop van de zuurstofconsumptie volledig kan worden beschreven als een reactie van de eerste orde. Op grond van deze premisse kwam men tot de waarden van L en k door de meest geschikte curve door de gemeten waarden van het zuurstofverbruik te trekken.

Met de op deze manier gevonden waarde van L blijkt een kromme volgens de reactie van de eerste orde het best overeen te komen met de gemeten punten van de BOD-curve.

Terecht stellen Revelle c.s. dat het een cirkelredenering is hieruit te concluderen dat de zuurstofconsumptie verloopt als een reactie van de eerste orde.

Revelle c.s. gaan er van uit dat het verloop van de biochemische zuurstofconsumptie waarschijnlijk beter te beschrijven is als een reactie van de tweede orde. Aan de hand van het eenvoudige voorbeeld van de afbraak van glucose, maken zij deze veronderstelling aannemelijk. De afbraak van glucose vindt plaats via glycolyse, citroenzuurcyclus en cytochroomstelsel. Het grote aantal intermediaire trappen van de glucoseafbraak maakt de veronderstelling, dat de snelheid van de zuurstofopname op elk tijdstip evenredig is met de resterende glucoseconcentratie, weinig aannemelijk. Elke intermediaire trap heeft zijn eigen orde en bovendien vindt de

*) Dit artikel is een samenvatting van een scriptie die werd gemaakt als onderdeel van de studieopdracht voor het ingenieurs-examen waterzuivering aan de Landbouwhogeschool te Wageningen.

dehydrogenatie niet plaats in de laatste trap, maar in de intermediaire trappen. Alle intermediaire trappen zullen zowel afhankelijk zijn van de substraatconcentraties als van de concentraties aan enzymen.

Het lijkt daarom redelijk te veronderstellen dat de snelheid van de zuurstofopname op elk tijdstip zowel evenredig zal zijn met de heersende substraatconcentratie als met de heersende bacterieconcentratie (reactie van de tweede orde).

Bij hun afleiding van het verloop van de zuurstofconsumptie gebruiken de auteurs de volgende symbolen:

- q = de bacterieconcentratie;
 y = het zuurstofverbruik gedurende de tijd t ;
 $k_s y$ = de hoeveelheid geëlimineerd substraat in de tijd t ;
 L = de totale zuurstofbehoefte;
 $k_s L$ = de beginconcentratie aan substraat;
 $\frac{dy}{dt}$ = de snelheid van de zuurstofopname;
 $k_s \frac{dy}{dt}$ = de snelheid van de substraateliminatie;
 $k_s L - k_s y$ = de resterende hoeveelheid substraat op tijdstip t ;
 B = de beginconcentratie aan bacteriën.

Bij hun uitwerking gaan de auteurs uit van de 3 volgende belangrijke premissen:

1. De snelheid van de zuurstofopname is op elk moment evenredig met de bacterieconcentratie en de resterende substraatconcentratie; (de premisse dat het een reactie van de tweede orde betreft).
2. De bacterieconcentratie is op elk moment evenredig met de hoeveelheid substraat die op dat moment reeds is geëlimineerd.
3. De beginconcentratie aan bacteriën is klein.

Premisse 1 kan als volgt mathematisch worden geformuleerd:

$$k_s \frac{dy}{dt} = k_1 \cdot q \cdot (k_s L - k_s y) \quad (3)$$

$$\text{of } \frac{dy}{dt} = k_1 \cdot q \cdot (L - y) \quad (4)$$

Premisse 2 kan worden beschreven als:

$$k = k_2 \cdot k_s \cdot y + B \quad (5)$$

k_1 en k_2 zijn evenredigheidsconstanten.

Als men nu invoert $b = \frac{B}{k_2 \cdot k_s}$, dan is

$$q = k_2 \cdot k_s (y + b) \quad (6)$$

Substituering van q in (4) geeft:

$$\frac{dy}{dt} = k_1 \cdot k_2 \cdot k_s (y + b) (L - y) \quad (7)$$

Als $k = k_1 k_2 k_s$, gaat (7) over in:

$$\frac{dy}{dt} = k (y + b) (L - y) \quad (8)$$

$$\text{Dan is } \int_0^y \frac{dy}{(y + b) (L - y)} = \int_0^t k \cdot dt \quad (9)$$

Uitvoering van deze integratie levert op:

$$y = L - \frac{b + L}{\frac{b}{L} k (L + b) t + 1} \quad (10)$$

Men kan vergelijking (10) ook als volgt schrijven:

$$\frac{y + b}{L - y} = \frac{b + L}{L} e^{-k(L + b)t} \quad (11)$$

Als b klein is t.o.v. y en L (introductie van premisse 3), gaat (11) over in:

$$\frac{y}{L - y} = \frac{b + L}{L} e^{-kLt} \quad (12)$$

Deze vergelijking kan men ook schrijven als:

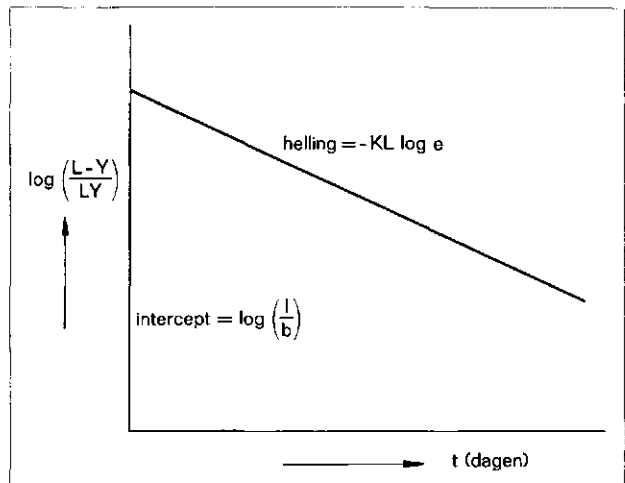
$$\frac{L - y}{Ly} = \frac{1}{b \cdot e^{-kLt}} \quad (13)$$

$$\text{of } \log \left(\frac{L - y}{Ly} \right) = \log \left(\frac{1}{b} \right) - (kL \log e) t \quad (14)$$

Als men $\log \left(\frac{L - y}{Ly} \right)$ grafisch uitzet tegen de tijd moet men een rechte lijn krijgen met een helling = $-kL \log e$ en een intercept = $\log \left(\frac{1}{b} \right)$ (afb. 1).

De waarde van L moet worden geschat uit individuele BOD-curves. De waarden van y worden gemeten door BOD-bepalingen volgens de Warburg-methode. Men kan dan volgens vergelijking (14) de constanten k en b grafisch bepalen. Als men op deze manier de constanten k en b bepaald heeft kan men voor alle waarden van t de theoretische waarden van y berekenen volgens vergelijking 10.

Afb. 1 - Grafische bepaling van k en b .



Door nu de berekende waarden met de gemeten waarden van y te vergelijken, kan men te weten komen voor welk gebied van t de waarnemingen bij goede benadering blijken te voldoen aan het veronderstelde tweede-orde-verloop.

De auteurs hebben onderzoek verricht met synthetisch afvalwater, bevattende 300 mg/l glucose en 300 mg/l glutaminezuur. Zij verrichtten hun experimenten bij 20 °C in Warburgapparatuur. Zij vonden dat de berekende en de gemeten waarden van y goed met elkaar overeenstemmen in het eerste deel van de BOD-curve, nl. tot aan het tijdstip waarop de snelheid van de zuurstofopname aanzienlijk daalt.

Voor het tweede deel van de BOD-curve blijken de gemeten en de berekende waarden van y niet met elkaar in overeenstemming te zijn, waaruit men kan concluderen dat de ontwikkelde theorie voor dit gebied niet opgaat. De tijd die verloopt totdat de snelheid van de zuurstofopname aanzienlijk begint te dalen, blijkt overeen te komen met de tijd die verloopt tot het optreden van het zuurstofplateau in de experimenten van Busch [1].

Volgens Busch is dit het moment dat de substraateliminatie is voltooid en de bacterieconcentratie maximaal is. Revelle c.s. splitsen nu de BOD-curve op in een periode van substraateliminatie en een periode van endogene ademhaling (afb. 2).

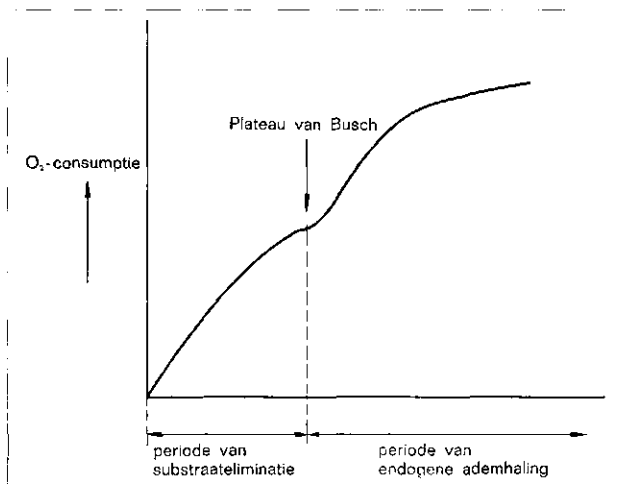
Dat de ontwikkelde theorie geen geldingskracht blijkt te hebben voor het gebied van de endogene ademhaling is begrijpelijk, omdat de premissen 1 en 2 uiteraard niet aannemelijk zijn voor een situatie waarin alle substraat reeds is geëlimineerd.

Uit de experimenten van Revelle c.s. blijkt dat voor het onderzochte systeem het verloop van de zuurstofconsumptie tijdens de substraateliminatie goed kan worden beschreven als een reactie van de tweede orde.

Men dient echter de volgende beperkingen in het oog te houden:

1. De experimenten zijn verricht voor slechts één soort synthetisch afvalwater met slechts één waarde van L , nl. afvalwater, bevattend 300 mg/l glucose en 300 mg/l glutaminezuur. Niet onderzocht is of de theorie ook geldt voor andere concentraties van dezelfde soort afvalwater. Ook is niet onderzocht of de theorie geldt voor afvalwater dat meerdere en/of andere componenten bevat.

Afb. 2 - Opsplitsing van de BOD-curve in 2 gebieden.



Het is zeer de vraag of de ontwikkelde theorie van toepassing is op allerlei soorten afvalwater waarin vele verbindingen voorkomen die sterk verschillen in eigenschappen van biologische afbreekbaarheid. Er zal eerst veel onderzoek moeten worden verricht, voor men hierover betrouwbare uitspraken kan doen.

2. De theorie van Revelle c.s. is slechts juist, indien de beginconcentratie aan bacteriën zeer klein is; uit de experimenten bleek ook dat de waarnemingen van de proeven met de kleinste hoeveelheden entmateriaal de beste resultaten gaven.

Het Plateau van Busch

Reeds in 1953 werd door Hoover c.s. [10] gepostuleerd dat de biochemische zuurstofconsumptie uit 2 fundamenteel verschillende fasen bestaat, nl. de fase van de substraateliminatie en de fase van de endogene ademhaling. De substraateliminatie verloopt vrijwel altijd binnen 24 uur en is vaak zelfs reeds voltooid voordat het monster in de BOD-flesjes wordt gebracht. Het eerste deel van de fase van de endogene ademhaling kan volgens Hoover c.s. bij goede benadering worden beschreven als een reactie van de eerste orde met $k = 0,10$.

Als men een BOD-curve vindt die blijkt te verlopen volgens een reactie van de eerste orde, moet men aannemen dat de substraateliminatie reeds was voltooid voordat de monsters in de BOD-flesjes werden gebracht.

Busch heeft hierover verder onderzoek verricht [2 en 3]. Als substraten gebruikte hij glucose, glutaminezuur en een mengsel van deze beide stoffen.

Hij vond dat tussen de eerste en de tweede dag van de reactie een buigpunt in de BOD-curve optreedt. Dit buigpunt of plateau geeft een tijdelijke lage snelheid van de zuurstofconsumptie aan die wordt veroorzaakt door de overgang van het stadium van de substraateliminatie naar het stadium van de endogene ademhaling.

Bij deze onderzoeken werd huishoudelijk afvalwater als entmateriaal gebruikt. Het bleek dat het plateau alleen wordt gevonden na een voorbehandeling van het entmateriaal door het te filteren over een filterpapier met fijne poriënmaat, waarbij de protozoën worden verwijderd. Als de filtratie achterwege wordt gelaten, wordt tijdens de „BOD-reactie” de groeicurve van de bacteriën gevolgd door een groeicurve van de protozoën, zodat er geen plateau in de zuurstofconsumptie optreedt.

Busch vond dat het tijdstip waarop het plateau optreedt, afhankelijk is van:

1. de hoeveelheid entmateriaal;
2. de aard en de concentratie van het substraat.

De hoogte van het plateau is alleen afhankelijk van de aard en de concentratie van het substraat. Voor een substraat is de hoogte van het plateau een lineaire functie van de initiële substraatconcentratie.

Als het plateau voor allerlei soorten afvalwater aantoonbaar en reproduceerbaar zal zijn, vormt de hoogte van het plateau een meer karakteristieke maat voor de vervuiliingskracht van het betreffende afvalwater dan bv. de waarde van de BOD_5 . Helaas treedt het plateau niet altijd even duidelijk op, hetgeen o.m. veroorzaakt kan worden door de zogenaamde „sequential uptake”.

De „sequential uptake”

In de literatuur maken vele auteurs [5, 6, 7, 11 en 14] melding van het verschijnsel dat de verschillende com-

ponenten van een substraat soms niet gelijktijdig doch na elkaar worden geëlimineerd (sequential uptake).

Gaudy, Komolrit en Bhatla [6] hebben de „sequential uptake” van glucose en sorbitol bestudeerd. Zij hebben daarbij vooral aandacht geschonken aan de invloed van de leeftijd van de bacteriecellen op het voorkomen en het verloop van de „sequential uptake” van glucose en sorbitol.

Er werd o.m. met de volgende systemen actiefslib geëxperimenteerd:

1. oude cellen geacclimatiseerd aan sorbitol;
2. cellen van middelbare leeftijd geacclimatiseerd aan sorbitol;
3. jonge cellen geacclimatiseerd aan sorbitol.

De experimenten werden steeds uitgevoerd in een medium waarin glucose en sorbitol elk in een concentratie van 400 mg/l werden toegediend.

Als men dit mengsel van glucose en sorbitol toedient aan systeem 3 (jonge cellen geacclimatiseerd aan sorbitol) wordt alle glucose geëlimineerd, alvorens de eliminatie van sorbitol begint (afb. 3).

De aanwezigheid van glucose blokkeert dus meteen en volledig de eliminatie van sorbitol.

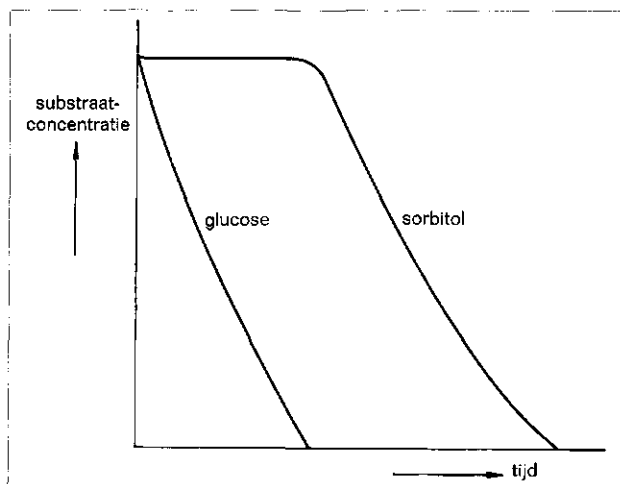
Men kan dit verschijnsel niet verklaren door aan te nemen dat glucose alleen de *vorming* van de voor de sorbitol-eliminatie verantwoordelijke enzymen remt. Hier moet sprake zijn van een onmiddellijke remming van de *werking* van de voor de sorbitol-eliminatie verantwoordelijke enzymen door glucose; immers de genoemde enzymen zijn reeds in grote hoeveelheden aanwezig in de aan sorbitol geacclimatiseerde cellen.

Bij systeem 1 (oude cellen geacclimatiseerd aan sorbitol) vond vrijwel geen „sequential uptake” plaats, terwijl systeem 2 (cellen van middelbare leeftijd geacclimatiseerd aan sorbitol) een onvolledige remming van de sorbitol-eliminatie vertoonde tot het tijdstip waarop alle glucose was geëlimineerd.

Uit laatstgenoemde resultaten kan men concluderen dat de oude cellen het vermogen tot enzymremming hebben verloren.

De belangrijkste conclusie die uit de experimenten van Gaudy c.s. kan worden getrokken, is dat actiefslib dat geacclimatiseerd is aan sorbitol, door toevoeging van

Afb. 3 - Verloop van de substraateliminatie door actiefslib (jonge cellen) geacclimatiseerd aan sorbitol.



glucose aan het medium, de mogelijkheid tot sorbitol-eliminatie volledig kan verliezen; de sorbitoleliminatie komt pas weer op gang als alle glucose uit het medium is geëlimineerd.

Ook bij mengsels van andere verbindingen is „sequential uptake” waargenomen [5, 6 en 14].

Bij de overgang van de opname van de ene component naar de opname van de andere component van een substraat, treedt ook veelal een buigpunt of plateau op in de BOD-curve. Het optreden van een plateau of buigpunt in de BOD-curve behoeft dus niet steeds met volledige substraateliminatie te corresponderen, doch kan ook een gevolg zijn van de eliminatie van een bepaalde component.

Het laat zich gemakkelijk denken dat er bij complexe substraten meerdere buigpunten kunnen optreden.

De hoop dat het Plateau van Busch in de praktijk bruikbaar zal zijn bij de bepaling van de zuurstofbehoefte van allerlei soorten afvalwater, wordt hierdoor niet vergroot. Verder onderzoek naar het voorkomen van het plateau van Busch en de „sequential uptake” bij meer complexe substraten, is gewenst.

Drie alternatieven voor de BOD₅

Het vinden van een goede methode ter vaststelling van de biochemische zuurstofbehoefte van een afvalwatermonster is geen sinecure.

Gezien de grote bezwaren die aan de algemeen gebruikte BOD₅-bepaling kleven, is het zeker de moeite waard kennis te nemen van een drietal pogingen een betere parameter voor de zuurstofbehoefte dan de BOD₅ te vinden.

De TOD

Busch, Grady, Rao en Swilley [2] hebben een methode ontwikkeld om de totale zuurstofbehoefte (TOD) van afvalwater te bepalen. Deze methode is een combinatie van een biochemische en een chemische bepaling. De TOD is de som van de plateau-BOD-waarde en de COD van het celmateriaal dat tot aan het tijdstip van het optreden van het plateau nieuw is gesynthetiseerd. Het totale zuurstofverbruik wordt hier dus bepaald als de som van de biochemische zuurstofbehoefte voor de omzetting van substraat in celmateriaal en de chemische zuurstofbehoefte van het gesynthetiseerde celmateriaal. De op deze manier bepaalde plateau-BOD-waarde geeft alleen het assimilatief zuurstofverbruik aan, terwijl de TOD-waarde correspondeert met het zuurstofverbruik dat optreedt wanneer ook de endogene ademhaling volledig verloopt.

De auteurs hebben experimenten met deze methode verricht met als substraten: glucose, glutaminezuur en een 1 : 1 mengsel van beide. Als de methode algemeen toepasbaar is, heeft hij als voordeel boven de COD-bepaling dat de biologisch harde stoffen niet meebepaald worden. De methode kost bovendien minder tijd dan de BOD₅-bepaling.

Het grootste bezwaar tegen de methode is dat de COD van het celmateriaal niet gelijk hoeft te zijn aan de BOD_{tot} van het celmateriaal.

Bovendien zal de praktische bruikbaarheid van deze methode afhangen van de omstandigheden of het mogelijk is van allerlei soorten afvalwater de plateau-BOD-waarden nauwkeurig vast te stellen.

Grady en Busch [8] beschrijven verschillende methoden

om de chemische zuurstofbehoefte van het tijdens de assimilatieve fase gesynthetiseerde celmateriaal te bepalen.

De meest gebruikte methode is het gewicht aan celmateriaal te bepalen na centrifugeren. Als men de voor jong celmateriaal empirische formule $C_5H_7O_2N$ gebruikt, is voor de oxidatie van 1 gram celmateriaal 1,414 gram zuurstof nodig. Men behoeft dus slechts het gewicht aan celmateriaal te vermenigvuldigen met 1,414 om de chemische zuurstofbehoefte te verkrijgen.

De T_bOD

Hiser en Busch [9] beschrijven een methode om van een afvalwatermonster te bepalen welke fractie van de organische stof biologisch degradeerbaar is (uitgedrukt in COD).

Van het te onderzoeken monster wordt de COD bepaald. Vervolgens wordt een bepaalde hoeveelheid van dit monster in contact gebracht met een hoeveelheid aangepast actiefslib in aerob milieue. De COD van het filtraat wordt bepaald na ongeveer 8 uur of zoveel langer als nodig is om een constante waarde van de COD van het filtraat te verkrijgen.

Het verschil tussen de gemeten COD-waarden, vermenigvuldigd met de verdunningsfactor, levert de waarde van de T_bOD op.

Volgens Fohr [4] is deze onderzoekmethode weinig geschikt voor routinewerk, doch men zou er eventueel wel voor een bepaald soort afvalwater, bv. van een textielveredelingsbedrijf, mee kunnen vaststellen welk percentage van de COD betrekking heeft op biologisch degradeerbare stoffen en dit percentage bij de interpretatie van enkelvoudige, routinematige COD-bepalingen voortaan in rekening kunnen brengen.

Het werken met COD/ T_bOD -verhoudingen heeft een belangrijk voordeel boven het werken met COD/ BOD_5 -verhoudingen, omdat de T_bOD een duidelijk fundamentele grootheid is, wat van de BOD_5 , gezien de arbitraire keuze van de 5 dagen, niet gezegd kan worden.

De STOD

Anders dan bij de T_bOD , die betrekking heeft op de totale biochemische zuurstofbehoefte, wordt bij de nu te bespreken bepaling slechts de biochemische zuurstofconsumptie van de assimilatieve fase gemeten.

Vernimmen, Henken en Lamb [15] hebben experimenten

verricht ter bepaling van de „short-term biochemical oxygen demand” (STOD) van een afvalwatermonster. De proeven werden uitgevoerd in een respiatiemeter met een membraan-zuurstofelectrode. Op het moment dat in de respiatiemeter een bepaalde hoeveelheid substraat wordt toegediend — in de respiatiemeter bevindt zich een hoeveelheid aangepast actiefslib — zal de respiatiesnelheid plotseling snel toenemen (punt b in afb. 4). Op het moment dat alle substraat is geëlimineerd, zal de respiatiesnelheid weer gelijk worden aan de endogene respiatiesnelheid (punt c in afb. 4).

De afstand dc in afb. 4 geeft het zuurstofverbruik tijdens de substraateliminatie aan, de zgn. short-term biochemical oxygen demand (STOD).

Men kan uit de respiatiecurves twee belangrijke soorten informatie verkrijgen:

1. de helling van de lijn bc is een maat voor de snelheid waarmee het betreffende substraat wordt geëlimineerd;
2. de STOD, berekend uit de afstand dc .

Het aantrekkelijke van deze methode is dat men in zeer korte tijd (10 à 20 minuten) het biochemische zuurstofverbruik van de assimilatieve fase kan bepalen.

Gebleken is dat de STOD slechts in geringe mate afhankelijk is van het type slib dat wordt gebruikt in de respiatiemeter. Het is van praktisch belang te werken met geacclimatiseerd slib, omdat dan de hoogste respiatiesnelheid wordt verkregen in welke geval de STOD het nauwkeurigst te bepalen is.

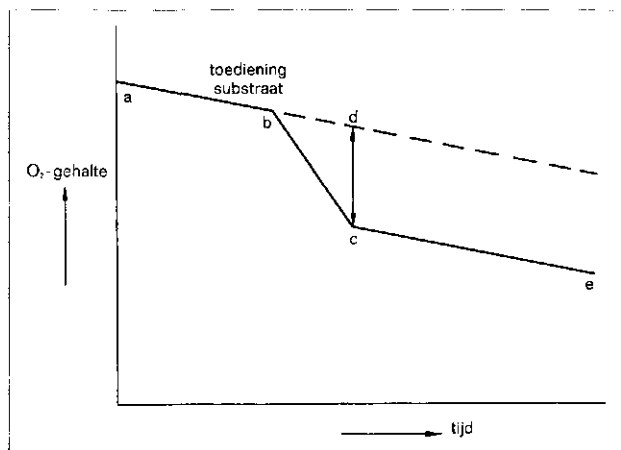
Uit experimenten waarin met een constante concentratie van het toegevoegde substraat, maar met een reeks variërende concentraties van éénzelfde type slib werd gewerkt, verkregen Vernimmen c.s. als resultaat dat de STOD onafhankelijk is van de slibconcentratie in de respiatiemeter.

Vernimmen c.s. verrichtten hun experimenten met resp. de volgende substraten: natriumacetaat, methanal, methanol, ethanol, isopropanol, isobutanol, fenol, melk en rioolwater. Als men voor elk substraat slechts de resultaten verkregen met geacclimatiseerd slib in beschouwing neemt, blijkt dat de STOD-waarden voor de verschillende substraten uiteenlopen van 10-90 % van de BOD_{20} . Blijkbaar wordt bij sommige substraten het grootste deel van de totale zuurstofbehoefte vervuld door snelle biologische oxidatie (weinig synthese van nieuw celmateriaal); voor andere substraten is de initiële oxidatie laag, wat er op wijst dat een groot percentage van het substraat wordt benut voor synthese of dat slechts een deel van het molecuul wordt afgebroken gedurende de relatief korte STOD-bepaling.

Een praktische toepassing van de STOD zou kunnen zijn dat men voor bepaalde typen afvalwater de STOD/ BOD_{20} gaat vaststellen. Men kan dan uit routinematige STOD-bepalingen steeds meteen de BOD_{20} berekenen. Deze methode kan uiteraard alleen worden toegepast voor die typen afvalwater die weinig spreiding in de STOD/ BOD_{20} -verhouding vertonen.

Het belangrijke voordeel van deze werkwijze boven het werken met COD/ BOD -verhoudingen is, dat hier twee biochemische bepalingen van de zuurstofconsumptie worden gecorreleerd. Bij gebruik van COD/ BOD -verhoudingen worden twee principieel verschillende bepalingen van de zuurstofconsumptie gecorreleerd, nl. een chemische en een biochemische bepaling; bij de COD-

Afb. 4 - Voorbeeld van een respiatiecurve (STOD-bepaling).



bepaling worden bepaalde stoffen geoxideerd die geen BOD hebben, terwijl soms andere stoffen die wel een BOD hebben, bij de COD-bepaling niet worden geoxideerd.

Conclusies

1. Bij gebruik van synthetisch afvalwater bevattende 300 mg/l glucose en 300 mg/l glutaminezuur, kan het verloop van de biochemische zuurstofconsumptie bij de substraateliminatie goed worden beschreven als een reactie van de tweede orde.
2. Als het plateau van Busch voor allerlei soorten afvalwater meetbaar en reproduceerbaar is, vormt de hoogte van dit plateau een veel karakteristieker maat voor de zuurstofbehoefte van een afvalwatermonster dan bv. de waarde van de BOD₅.
3. Of de bepaling van de TOD geschikt is om gebruikt te worden als routinematige bepaling in de praktijk, hangt af van de mogelijkheid om het plateau van Busch voor allerlei soorten afvalwater nauwkeurig vast te stellen.
4. Het is van belang voor allerlei soorten afvalwater de verhouding COD/T_bOD te bepalen. Om vast te stellen welke fractie van de gemeten COD betrekking heeft op biologisch degradeerbare componenten, moet men niet langer met COD/BOD₅-verhoudingen werken, doch met COD/T_bOD-verhoudingen, omdat de T_bOD een duidelijk fundamentele grootheid is, wat van de BOD₅, gezien de arbitraire keuze van de 5 dagen, niet gezegd kan worden.
5. Het aantrekkelijke van de STOD-bepaling is dat men in zeer korte tijd het biochemische zuurstofverbruik tijdens de assimilatieve fase kan bepalen. Het is

de moeite waard te onderzoeken of er voor bepaalde typen afvalwater een constante verhouding bestaat tussen de STOD en de BOD₂₀.

Literatuur

1. Busch, A. W. (1958). *BOD progression in soluble substrates*. Sew. Ind. W. 30, 1336.
2. Busch, A. W., Grady, L., Shivaji Rao, T. and Swilley, E. L. (1962). *Short-term total oxygen demand test*. JWPCF 34, 354.
3. Busch, A. W. and Myrick, N. (1961). *Aerobic bacterial degradation of glucose*. JWPCF 33, 897.
4. Fohr, P. G. (1970). *Inwoners en inwoner-equivalenten*. H₂O 3, 188.
5. Gaudy jr., A. F. (1962). *Studies on induction and repression in activated sludge systems*. Appl. Microb. 10, 264.
6. Gaudy jr., A. F., Komolrit, K. and Bhatla, M. N. (1963). *Sequential substrate removal in heterogenous populations*. JWPCF 35, 903.
7. Gils, H. W. van (1964). *Bacteriology of activated sludge*. Dissertatie. Wageningen.
8. Grady, L. and Busch, A. W. (1963). *BOD progression in soluble substrates. VI. Cell recovery techniques in the TbOD test*. Proc. 18th Ind. Waste Conf. Purdue Univ., 194.
9. Hiser, L. L. and Busch, A. W. (1964). *An 8-hour biological oxygen demand test using mass culture aeration and COD*. JWPCF 36, 505.
10. Hoover, S. R., Jasewiez, L. and Porges, N. (1953). *An interpretation of the BOD test in terms of endogenous respiration of bacteria*. Sew. Ind. W. 25, 1163.
11. Komolrit, K. and Gaudy, A. F. (1964). *Substrate interaction during shock loadings to biological treatment processes*. Proc. 19th Ind. Waste Conf., Purdue Univ., 796.
12. Orford, H. E. and Ingram, W. T. (1953). *Deoxygenation of sewage. II. The logarithmic formula as applied to sewage*. Sew. Ind. W. 25, 424.
13. Revelle, C. S., Lynn, W. R. and Rivera, M. A. (1965). *Bio-oxidation kinetics and a second order equation describing the BOD reaction*. JWPCF 37, 1679.
14. Stumm-Zollinger, E. (1968). *Substrate utilization in heterogenous bacterial communities*. JWPCF 40, R 213.
15. Vernimmen, A. P., Henken, E. R. and Lamb, J. C. (1967). *A short-term biochemical oxygen demand test*. JWPCF 39, 1006.