

CHEMIE EN MICROBIOLOGIE VAN DE ANAËROBE VERGISTING

Het anaërobe gistingsproces is zeer interessant en bestaat uit verscheidene groepen micro-organismen die samenwerken om complex organisch materiaal om te zetten tot CH_4 , CO_2 , H_2O , H_2S en NH_3 .

Het gistingsproces kan verdeeld worden in vier fasen (Lettinga G. et al, 1993):

1. **Hydrolyse**

Omzetting van complex, onopgelost materiaal in minder complexe, opgeloste stoffen die dan door de bacterie kunnen worden opgenomen. Dit gebeurt door extracellulaire enzymen die door de fermentatieve bacteriën worden uitgescheiden.

2. **Fermentatie of zuurvorming**

De opgeloste stoffen worden in de cellen van fermentatieve bacteriën omgezet in een reeks eenvoudige verbindingen die weer worden uitgescheiden. Er worden vluchtige vetzuren, alcoholen, melkzuur, CO_2 , H_2 , NH_3 , H_2S en nieuw celmateriaal gevormd.

3. **Acetogenese (intermediaire zuurvorming)**

De fermentatieproducten worden omgezet in acetaat, waterstof en carbonaat en eveneens nieuw celmateriaal.

4. **Methanogenese**

Acetaat, waterstof, carbonaat, formiaat en methanol worden omgezet in methaan, CO_2 en nieuw celmateriaal.

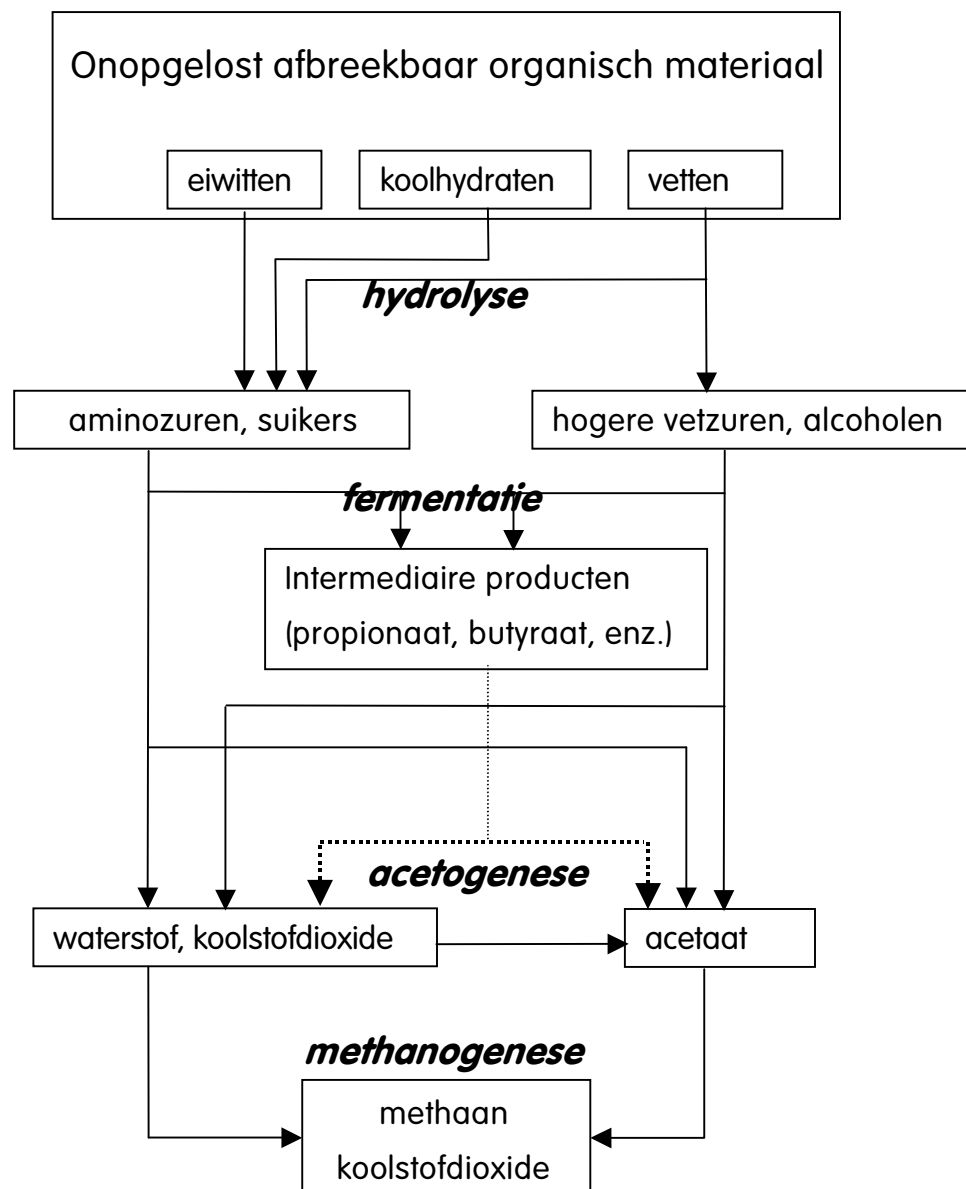


Fig. : Anaërobe afbraak van complex organisch materiaal

1. Hydrolyse

Consortiums van anaërobe bacteriën breken complex onopgelost organisch materiaal af tot monomere moleculen zoals aminozuren, alcoholen, suikers en vetzuren. De hydrolyse wordt gekatalyseerd door extracellulaire enzymen zoals cellulasen, proteasen en lipasen. De hydrolytische fase is relatief traag en wordt onderschat als snelheidsbeperkende stap van de anaërobe vergisting (Bitton G., 1994; Lettinga G. et al., 1993). Verschādene factoren kunnen van invloed zijn op de mate en de snelheid van de hydrolyse van een substraat, waaronder :

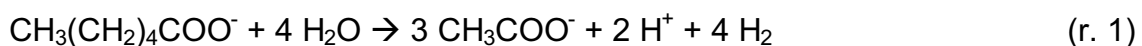
- de procestemperatuur
- de verblijftijd
- de deeltjesgrootte
- de pH
- de NH_4^+ -N concentratie
- de concentratie aan hydrolyseproducten (bijv. vluchtige vetzuren)
- de samenstelling van het substraat (bijv. het gehalte lignine, vet, koolhydraat en eiwit)

2. Fermentatie

Zuurvormende bacteriën zoals *Clostridium* zetten suikers, aminozuren en vetzuren om tot organische zuren (mierenzuur, azijnzuur, propionzuur of bterzuur), alcoholen, ketonen, CO_2 en H_2 . De gevormde eindproducten zijn afhankelijk van het soort bacteriën evenals de procescondities (pH, temperatuur, redox potentiaal) en het type vergister (Bitton G., 1994). Zo wordt bij tweetrapsvergisting (zuurvorming en methaangisting ruimtelijk gescheiden) een mengsel van butyraat, acetaat, propionaat, ethanol, CO_2 en H_2 gevormd terwijl van een ééntrapsvergisting (zuurvorming en methaangisting in één reactor) acetaat, H_2 en CO_2 verreweg de belangrijkste producten zijn van de fermentatieve bacteriën. Bij de afbraak van aminozuren ontstaat eveneens ammoniak die de pH van de vergister kan beïnvloeden.

De anaërobe afbraak van hogere vetzuren gebeurt via het mechanisme van β -oxidatie. Hierbij worden steeds fragmenten van twee koolstofatomen afgesplitst.

Voorbeeld: β -oxidatie van capronzuur (C_6):

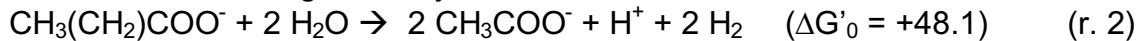


Hieruit is af te leiden dat de goede activiteit van de waterstofconsumerende bacteriën van zeer groot belang is voor een goede fermentatie (Lettinga G. et al, 1993).

3. Acetogenese

Acetogene bacteriën zoals *Syntrobacter wolinii* en *Syntrophomonas wolfei* (McInerney MJ et al., 1981) zetten vetzuren en alcoholen om in acetaat, H_2 en CO_2 . De genus naam verwijst naar de afhankelijkheid van deze organismen voor een syntropische relatie met andere organismen. Syntropisch betekent letterlijk 'samen eten' (Wille C., 1996).

Voorbeeld: omzetting van butyraat



Uit reactie r. 2 blijkt dat boterzuur (dit geldt ook voor ethanol en propionzuur) onder standaardcondities niet zal worden afgebroken, gezien deze reactie geen energie oplevert (positieve vrije enthalpie $\Delta G'_0$). Hierdoor zullen vetzuren opstapelen. Bij lage waterstofconcentraties kan de afbraak van deze producten echter wel energie opleveren. De methanogene bacteriën zorgen voor deze lage H_2 -spanning.

Volgende vergelijking moet dit duidelijk maken.



De werkelijke verandering van vrije energie voor reactie r. 3 is:

$$\Delta G = \Delta G_0 + RT \ln \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} \quad (r. 4)$$

In een goed werkende methaanreactor komt de partiële druk van waterstof niet boven 10^{-4} atm.. Gemiddeld ligt deze doorgaans rond de 10^{-6} atm. (Lettinga G. et al, 1993).

4. Methanogenese

De methanogenese (CH_4 productie) wordt vooral bewerkstelligd door twee groepen bacteriën.

Een eerste groep zijn de *hydrogenotrofe methanogens* die waterstof en koolstofdioxide omzetten in methaan. Deze groep methanogenen is verantwoordelijk voor ongeveer 30% van het, in een normaal werkende anaërobe zuiveringsinstallatie, geproduceerde methaan. (D.T. Hill et al, 1987; Lettinga G. et al, 1993)



Uit reactie r. 5 wordt dus duidelijk dat deze groep bacteriën de lage waterstofspanning, nodig voor de omzetting van vetzuren en alcoholen tot acetaat, bewerkstelligt.

Een tweede groep methanogene bacteriën zijn *deacetotrofe methanogens* (ook acetoclastische bacteriën of acetaat splitsende bacteriën genoemd). In een methaangistingsreactor wordt ongeveer 70% van de totale methaanproductie verzorgd door deze groep bacteriën (D.T. Hill et al, 1987; Lettinga G. et al, 1993).



Een derde, kleine groep bacteriën kan zowel acetaat als waterstof tot methaan omzetten (Leleu G., 1996).