

Joodgetal

van onverzadigde vetten



Door Pim Muller en Bob Ignacio
Begeleidend docent: Dhr. Weenen
28 februari 2011, te Tilburg

Inhoudsopgave

• Voorwoord.....	3
• Inleiding.....	4
• Wat zijn vetten?.....	6
- Hoe ontstaan vetten?.....	7
- Wat zijn de verschillen tussen verzadigde en onverzadigde vetten?.....	8
- Welke verschillende soorten vetten zijn er?.....	9
• Vetten en organismen.....	11
- De vertering van vetten.....	11
- Vet als energiebron.....	13
- Andere toepassingen van vetten in organismen.....	22
- Vetten en hart- en vaatziekten.....	24
• De bepaling.....	26
- Vet oplossen.....	26
- Hanus-reagens.....	27
- Oplossingen gereedmaken voor titratie.....	27
- Titreeren met 0,1M natriumthiosulfaat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$).....	28
• De berekening.....	30
- Formule.....	30
- Waarden van de bepalingen.....	31
- Alle berekeningen.....	33
• Conclusie.....	35
• Materiaallijst.....	36
• Bronnenlijst.....	37
• Nawoord.....	38
• Bijlage.....	39

Voorwoord

Wij hebben lang nagedacht over het onderwerp van ons profielwerkstuk. Het moest binnen de grenzen van ons profiel vallen, het moest haalbaar zijn met de middelen die wij op school tot onze beschikking hebben, maar bovenal moest het een onderwerp zijn waar wij ook echt geïnteresseerd in waren. Veel mogelijke onderwerpen zijn ter sprake gekomen; geen van allen wekte genoeg interesse bij ons op. Dat was tenminste, tot Dhr. Weenen ons een geschikt onderwerp voorlegde. We hebben onderzocht of zijn suggestie - onderzoek doen naar het joodadditiegetal van onverzadigde vetten – binnen de eisen voor het profielwerkstuk viel en nog belangrijker, of het onderwerp aan onze eisen voldeed. Het onderwerp bleek aan beide eisen te voldoen en vereiste bovendien een ingewikkeld (uitdagerend) scheikundig onderzoek. Dit laatste trok ons over de streep, waarna wij hebben besloten dit als onderwerp te gebruiken voor ons profiel werkstuk.

Wij willen Dhr. Weenen bedanken voor al zijn hulp en al zijn tijd die hij in ons profielwerkstuk heeft gestoken. Zonder zijn kennis van zaken en zijn motiverende woorden waren wij nooit in staat geweest dit onderzoek te schrijven. Daarnaast willen wij het Theresialyceum bedanken voor de locatie en de materialen die zij beschikbaar hebben gesteld voor ons onderzoek. Ten slotte danken wij onze technisch onderwijs assistent, Dhr. Hurkens, voor al het voorbereidende en assisterende werk dat hij heeft verricht.

Inleiding

De term 'vet' wordt in het dagelijkse leven vaak in één adem genoemd met woorden als 'obesitas' en 'zwembandjes'. Nou is deze associatie begrijpelijk en zeker niet onterecht, maar vetten zijn meer dan alleen maar stoffen die ons dik kunnen maken en onze gezondheid kunnen doen verslechteren. Vetten zijn stoffen die onmisbaar zijn voor elke vorm van leven, inclusief planten, bacteriën en schimmels. Wij moeten iedere dag dan ook een bepaalde hoeveelheid hiervan binnenkrijgen door middel van onze voeding: circa 100 gram voor mannen en circa 80 gram voor vrouwen. De dagelijkse inname moet voor ongeveer een derde bestaan uit verzadigde vetten, voor een derde uit enkelvoudig onverzadigde vetten en voor een derde uit meervoudig onverzadigde vetten.

Wanneer we over onverzadigde vetten spreken, hebben we het over vetten met een hoog gehalte aan onverzadigde vetzuren. Deze vetzuren bevatten één of meerdere dubbele koolstof-koolstof bindingen; bindingen die dus niet verzadigd zijn met waterstofatomen, vandaar ook de naam 'onverzadigd vet'. Enkel- en meervoudig onverzadigde vetten worden over het algemeen gezien als vetten die de gezondheid bevorderen, waar verzadigde vetten juist als ongezond worden beschouwd. De laatste jaren proberen instanties en overheden de consumptie van enkel- en meervoudig onverzadigde vetten te stimuleren door verscheidene campagnes en keurmerken, wat geleid heeft tot een stijging van de verkoop en productie van vetarme producten, maar ook tot een stijging in het gebruik van producten met - in verhouding - veel onverzadigde vetten. Om een degelijk product neer te kunnen zetten moeten de voedselproducenten, zoals 'onze eigen' voedselgigant Unilever, in staat zijn om de 'onverzadigheidsgraad' van onverzadigde vetten te kunnen bepalen. Dit brengt ons bij de hoofdvraag van ons onderzoek: *Hoe bepaal je de mate van onverzadigheid van vetten in voedingsmiddelen?*

Voor producenten van margarine is deze vraag van groot belang: in margarine zitten namelijk veel onverzadigde vetten; een hoeveelheid die de laatste jaren alleen maar is toegenomen. Onverzadigde vetten zijn bij kamertemperatuur meestal vloeibaar. Als het mengsel van onverzadigde en verzadigde vetten gemiddeld een te hoge mate van

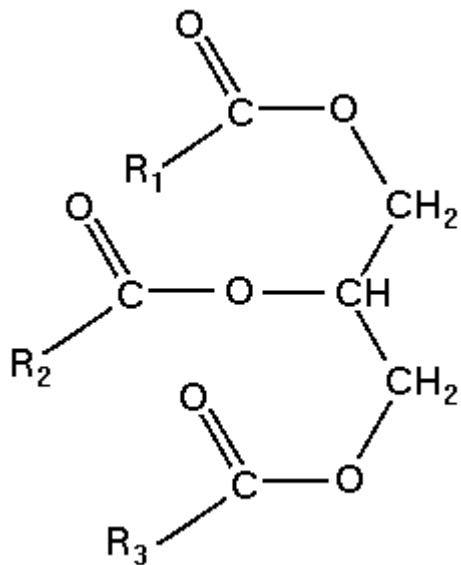
onverzadigheid heeft, wordt margarine te waterig en is hij dus niet goed smeerbaar. Men is in staat om dit exces aan onverzadigde vetten om te zetten in verzadigde vetten waardoor de gewenste balans gerealiseerd kan worden. Hiertoe moet eerst bekend zijn wat de mate van onverzadigdheid is van het mengsel van vetten. Oftewel, hoeveel dubbele koolstof-koolstof bindingen er aanwezig zijn in het mengsel. De chemische methode waarmee dit nauwkeurig te bepalen is, heet de 'joodadditiegetal-bepaling'. Hoe deze bepaling werkt en wat onze eigen bevindingen zijn met het gebruik van deze methode is te lezen in dit verslag.

Daarnaast gaan wij dieper ingegaan op de eigenschappen van vetten en behandelen we de toepassingen van vetten in de biologie en in de voedselindustrie.

Wat zijn vetten?

Vetten zijn organische stoffen die bestaan uit de esters van 3 vetzuren aan glycerol.

Vetzuren zijn ketens die bestaan uit koolstof, waterstof en zuurstofatomen. Glycerol is een zogenaamd 3-voudig alcohol, vanwege de 3 karakteristieke OH-groepen die het molecuul



Figuur 1. Triglyceride

bevat. De zuurgroepen van de vetzuren binden door middel van esterbindingen aan deze OH-groepen van het glycerolmolecuul. Dit is een

condensatiereactie: er komt water vrij. Het molecuul dat bij deze reactie ontstaat, is een triglyceride.

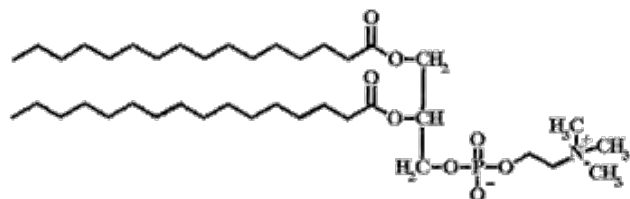
Hiernaast is weergegeven hoe een dergelijk vet er dan uit komt te zien. Het is de algemene structuurformule van een triglyceride. De restgroepen zijn de rest van het vetzuur.

Fosfolipiden

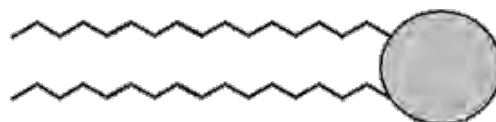
Fosfolipiden zijn gebouwd als vetten (triglyceriden), waarin er één vetzuur is ‘vervangen’ door een fosfaatgroep. Fosfolipiden zijn geen vetten, maar zogenaamde “vetachtige stoffen”.

Vetten bestaan namelijk enkel uit koolstof, waterstof- en zuurstofatomen. De fosfaatgroep neemt een erg belangrijke eigenschap met zich mee, namelijk het feit dat hij hydrofiel

(gepolariseerd, kan waterstofbruggen aangaan) is. Fosfolipiden bestaan dus uit een hydrofiel en een hydrofoob (het overige molecuul) deel.



Op het plaatje is de chemische



Figuur 2. fosfolipide

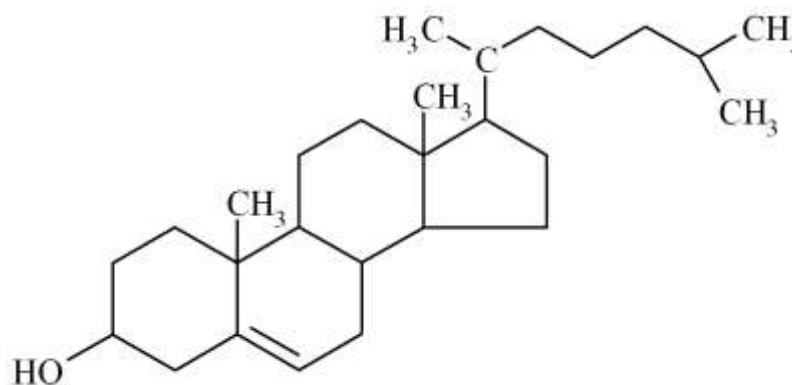
structuur van een fosfolipide (lecithine)

te zien en de schematische weergave van de hydrofiel kop en hydrofobe staarten die deze structuur veroorzaakt. Dit is een belangrijke eigenschap van het molecuul, ook in het

menselijk lichaam. Celmembranen, bijvoorbeeld, bestaan voor een groot deel uit deze fosfolipiden. Later gaan we in op verdere toepassingen van fosfolipiden.

Steroïden

Steroïden zijn, net als fosfolipiden, vetachtige stoffen. Karakteristiek voor deze steroïden is dat zij specifieke koolstofringen bevatten. De belangrijkste en bekendste steroïde is cholesterol. Cholesterol is de grondstof voor de hormoonproductie in de mens. Op verdere eigenschappen en toepassingen van cholesterol komen we later terug. In figuur 3 is de structuurformule van cholesterol weergegeven.



Figuur 3. cholesterol

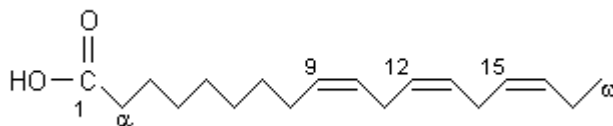
Hoe ontstaan vetten?

In mensen, dieren en planten kan vet uit koolhydraten worden gesynthetiseerd. Daarbij worden de koolhydraten eerst omgezet in acetyl-CoA. Door het aan elkaar koppelen van acetyl-CoA moleculen worden daarna vetzuren gevormd. Wanneer deze vetzuren een bepaalde lengte hebben, koppelen ze automatisch aan glycerol. Hiermee is dit proces erg beknopt uitgelegd, later gaan wij hier dieper op in.

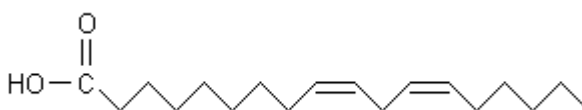
Mensen en dieren kunnen bepaalde vetzuren niet maken die planten wel kunnen maken. Dit doen ze door azijnzuurmoleculen aan elkaar te koppelen. Deze vetzuren zijn de zogenaamde essentiële vetzuren. Doordat mensen en dieren ze niet kunnen maken, moeten ze deze binnenkrijgen via voedsel.

Voorbeelden van essentiële vetzuren zijn linolzuur (omega-6) en alfa-linoleenzuur (omega-3). Alfa-linoleenzuur (omega-3) en linolzuur (omega-6) zijn de belangrijkste essentiële vetzuren. Uit deze vetzuren kunnen de rest van de essentiële vetzuren gemaakt worden.

Rechts zie je de structuurformule van alfa-linoleenzuur (fig. 4) en linolzuur (fig. 5).



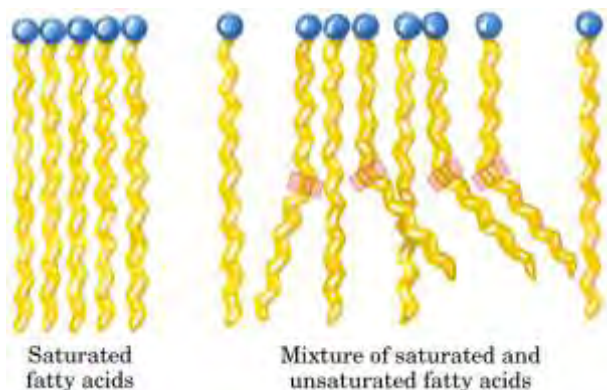
Figuur 4. alfa-linoleenzuur



Figuur 5. linolzuur

Wat zijn de verschillen tussen verzadigde en onverzadigde vetten?

Vast vet bestaat uit vetzuren met lange koolstofketens en is vaak verzadigd. Vloeibaar vet, daarentegen, bestaat uit vetzuren met korte koolstofketens en is (enkel- of meervoudig) onverzadigd. Wanneer vetzuren verzadigd zijn, houdt dat in dat de bindingen van de koolstofatomen volledig zijn ‘opgevuld’ met waterstofatomen. Zij bevatten dus geen dubbele bindingen. Op het plaatje hieronder is duidelijk aangegeven wat het verschil is tussen



Figuur 6. Verzadigde en onverzadigde vetzuren.

verzadigde en (meervoudig) onverzadigde vetzuren. Meervoudig onverzadigd houdt simpelweg in dat een vetzuur meerdere dubbele bindingen bevat.

Wij hebben onderzocht hoe we de mate van onverzadigdheid van vetten kunnen bepalen. Maar waarom is dat nou zo interessant? Dit is erg interessant, omdat de

verschillen tussen met name verzadigde en onverzadigde vetzuren uiterst belangrijk zijn om te begrijpen wat wel en wat geen gezond voedsel is. De mate van (on)verzadigdheid zorgt

voor grote verschillen in de eigenschappen van vetten. Dit komt door het feit dat een dubbele binding de vrije draaibaarheid van een enkele binding mist. Hierdoor komt er in de vetzuurketen van een onverzadigd vetzuur een knik te zitten (fig. 6.). Deze knik zorgt ervoor dat vetten met onverzadigde vetzuren verder van elkaar af komen te liggen dan vetten met verzadigde vetzuren. De verzadigde vetzuren kunnen zich namelijk, door de vrije draaibaarheid in het molecuul, oprollen tot een compact molecuul. Verzadigde vetten kunnen op deze manier dichter bij elkaar komen te zitten dan onverzadigde vetten, die met de knik in het vetzuren als het ware een waaier van vetzuren krijgt. De van der Waals krachten zijn als gevolg hiervan kleiner tussen onverzadigde vetmoleculen, waardoor deze vetten een lager smeltpunt krijgen en bij kamertemperatuur meestal vast zijn. Deze regel geldt echter niet altijd; onverzadigde vetzuren kunnen zó lang zijn, dat ze door hun grote massa sterke van der Waals krachten uitoefenen of de vetmoleculen om hen heen. Zo kunnen onverzadigde vetten bij kamertemperatuur ook vast zijn.

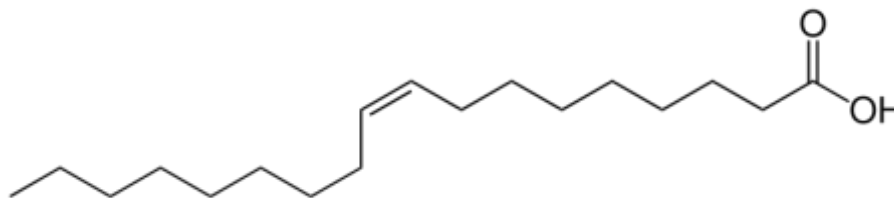
Welke verschillende soorten vetten zijn er?

We hebben het nu voornamelijk over onverzadigde en verzadigde vetten gehad. Om nog even samen te vatten: Verzadigde vetten zijn vetten die een hoog gehalte aan verzadigde vetzuren bevatten. Onverzadigde vetten bevatten een veel lager gehalte aan verzadigde vetzuren. Verzadigde vetten zijn vast bij kamertemperatuur, onverzadigde vetten zijn vloeibaar. Verder is het zo dat vetten met een hoog gehalte aan meervoudig onverzadigde vetzuren zelfs vloeibaar zijn als je ze in de koelkast zou leggen. Dus: hoe meer onverzadigd, hoe minder stabiel.

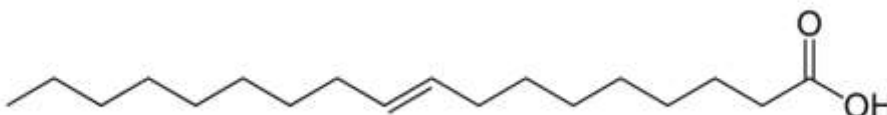
Naast deze verzadigde en onverzadigde vetten, bestaat er ook nog zoiets als transvetten. Transvetten zijn erg schadelijk voor je gezondheid. De meest voorkomende manier waarop transvetten ontstaan, is bij het harden van plantaardige oliën (hydrogenering). Dit wordt gedaan, omdat vet op deze manier langer houdbaar is en goed toepasbaar op diverse manieren.

Karakteristiek voor natuurlijke onverzadigde vetten is dat de dubbele bindingen altijd van het cis-type zijn. Bij de hydrogenering van deze vetten verandert deze binding in eentje van het

trans-type (vandaar ook de naam: transvetten). De binding van het cis-type zorgt voor een kromming in het molecuul. Bij transvetten is deze kromming er niet. Op de volgende pagina is aangegeven hoe deze verschillen er schematisch uitzien.



Figuur 7. oliezuur (natuurlijk, cis-type)



Figuur 8. Elaidinezuur (transvet, trans-type)

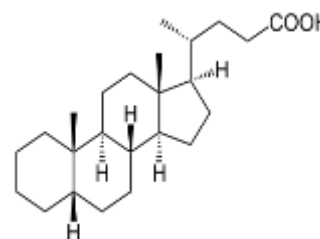
Transvetten hebben eigenschappen die lijken op die van verzadigde vetten. Verzadigde vetten zijn echter een stuk minder schadelijk dan transvetten, zo is bewezen. Verzadigde vetten zorgen voor verhoging van het 'slechte' LDL-cholesterolgehalte, maar ook voor verhoging van het goede HDL-cholesterolgehalte (in meerdere mate, zelfs). Transvetten zorgen voor verhoging van het slechte LDL-cholesterolgehalte en daarbij ook nog eens voor verlaging van het goede HDL-cholesterolgehalte.

Vetten en organismen

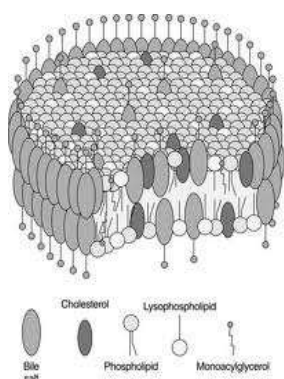
De vertering van vetten

Galzure zouten

Vetten zijn energierijke, maar ook grote en ingewikkelde moleculen, waardoor de vertering ervan een erg ingewikkeld proces is. Om te beginnen is er het probleem van oplosbaarheid. Vetten lossen uit zichzelf niet goed op in water, vanwege het overwegend apolaire karakter van de vetzuren. Vetten vormen kleine apolaire milieus in polaire oplosmiddelen zoals water: vetdruppeltjes. De vetmoleculen waaruit deze vetdruppeltjes bestaan hebben gezamenlijk een kleinere oppervlakte dan



Figuur 9. Cholaanzuur



Figuur 10. Een micel

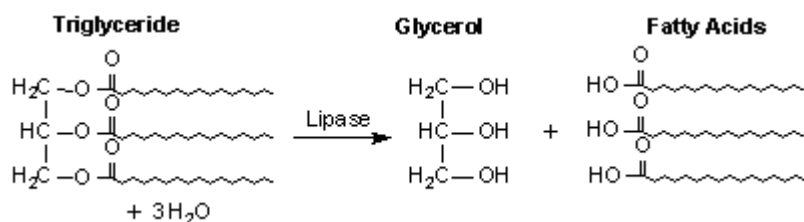
wanneer de moleculen opgelost zouden zijn. Deze verkleining van het reactieoppervlak gaat gepaard met een verlaging van de reactiesnelheid. Ons lichaam zou als gevolg hiervan te weinig vet tot zich toe nemen, met ernstige gezondheidsklachten en uiteindelijk de dood als gevolg. Gelukkig kent de mens een mechanisme om de vetdruppeltjes te emulgeren, zodat er minder dan 5% van het vet dat men tot zich neemt uitgescheiden wordt: de galzure zouten.

Galzuren zijn stoffen die ontstaan na de hydroxylatie van cholesterol.

Ze worden door de lever uitgescheiden wanneer er voedsel uit de maag de darmen binnenkomt. Galzuren worden aan het eind van de darmen voor 97,5% weer geresorbeerd, waardoor er nauwelijks nieuwe galzuren aangemaakt hoeven te worden. Het menselijk lichaam kent meerdere galzuren, die allemaal afgeleid zijn van het meest voorkomende galzuur: Cholaanzuur (fig. 9.). Galzuren vormen samen met bepaalde ionen (meestal kaliumionen, K^+) galzure zouten, die bestaan uit een relatief lang hydrofoob deel en een hydrofiel deel dat waterstofbruggen aan kan gaan. Deze stoffen werken als emulgator: de

relatief grote vetdruppels vallen uiteen in kleinere vetdruppeltjes, die daarna met de galzure zouten micellen vormen. Deze micellen (fig. 10.) bevatten in het midden de vetmoleculen en aan de buitenkant de galzure zouten, met hun hydrofobe kant naar het midden gericht en hun hydrofiele kant naar buiten.

Lipolyse



Figuur 11. De hydrolyse van triglyceriden

Verreweg het grootste percentage van de vetten in onze voedingsmiddelen zijn de triglyceriden, zowel in vet uit planten als in vet uit dieren. Het grootste deel van de vetten die dieren en planten opslaan, worden namelijk in de vorm van triglyceriden opgeslagen. De triglyceriden die zich in de micellen bevinden worden stapsgewijs afgebroken tot er alleen glycerol en vetzuren overblijven, dit proces wordt lipolyse genoemd (naar de grieks woorden 'lipos' voor vet, en 'lysis' voor kapotmaken). Deze nettoreactie (fig 11.) bestaat uit meerdere reacties en wordt gekatalyseerd door verschillende enzymen, die allemaal vallen onder de noemer 'lipasen'. Lipase zet triglyceriden om in diglyceriden, diglyceriden in monoglyceriden en monoglyceriden in glycerol en een vetzuur. De esterbindingen in fosfolipiden worden door andere enzymen gehydrolyseerd, waarbij er naast vetzuren en glycerol ook fosforzuur en choline ontstaan.

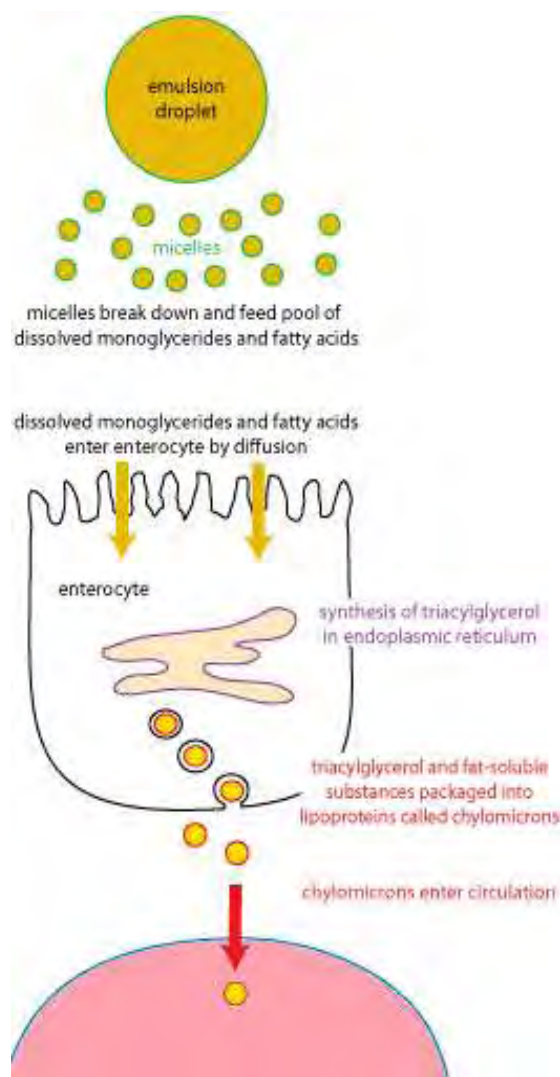
Lipoproteïnen

Eenmaal het membraan van de darmcellen gepasseerd, vormen de vetzuren samen met glycerol weer triglyceriden, en nemen ook de fosfolipiden weer hun oude vorm aan. Het enige doel van de lipolyse was het prepareren van de tryglyceriden, opdat deze het membraan van het darmweefsel konden passeren. In de darmcellen worden de esterbindingen weer hersteld en worden de vetten klaargemaakt voor transport via de bloedbaan en het lymfe.

Om dit te bereiken moeten de vetten weer geëmulgeerd worden; de galzure zouten zijn achtergebleven in de darmen, om deels geresorbeerd en deels uitgescheiden te worden. In dieren worden vetten in het inwendige milieu vervoerd in lipoproteïnen. Een lipoproteïne is een klein deeltje dat speciale proteïnen bevat, die lipiden op een atomair niveau kunnen binden, waardoor deze gedeeltelijk kunnen oplossen in water. Het hydrofiële gedeelte van de apolipoproteïne wijst naar buiten net zoals bij de galzure zouten. De lipoproteïnen bevatten ook de door de darmcel geabsorbeerde fosfolipiden en bepaalde steroïden die een emulgerende werking hebben. Triglyceriden en cholesterol worden in deze lipoproteïnen door het hele lichaam vervoerd, goed afgeschermd van het polaire milieu van het bloed. (Er bestaan verschillende soorten lipoproteïnen. Het verschil zit in de samenstelling en in de functie van de lipoproteïnen. Dit wordt later in dit hoofdstuk uitgebreider besproken.)

Vet als energiebron

Vetten zijn stoffen met een zeer grote energiedichtheid. Dat wil zeggen dat zij per gram stof een grote hoeveelheid chemische energie bevatten: 1 gram vet bevat ongeveer 9,5 kcal aan energie, waar 1 gram glucose en 1 gram eiwit respectievelijk 4,2 en 4,1 kcal aan energie opleveren. Deze eigenschap ontleent vet aan het feit dat de vetzuren van de tripliceerden veel energiehoudende C-H bindingen bevatten in verhouding tot bijvoorbeeld glucose. De hoeveelheid energie per gram vet kan variëren, aangezien triglyceriden sterk van vetzuursamenstelling kunnen veranderen en de hoeveelheid potentiële energie per vetzuur afhangt van de lengte van zijn koolstofketen. Vet wordt echter door geen enkel organisme als primaire energiebron gebruikt, die rol wordt vervuld door koolhydraten. Deze koolhydraten ontstaan als een reactieproduct van de



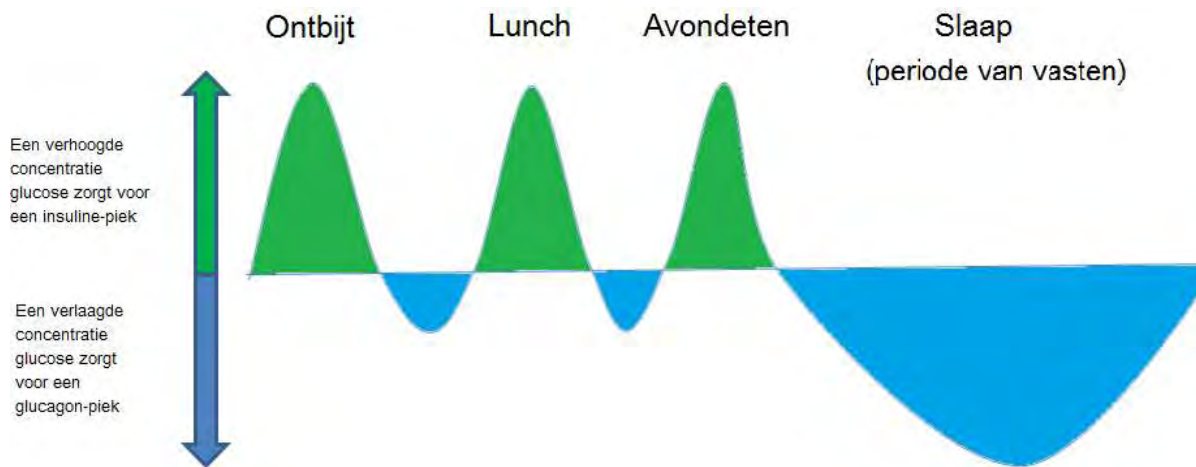
Figuur 12. Lipolyse en de vorming van lipoproteïnen

fotosynthese in autotrofe organismen zoals planten. Organismen hebben dus een directe geschikte bron van energie voorhanden en gebruiken vet alleen als een manier om energie op te slaan voor hun nageslacht. Dieren gebruiken vet ook niet als primaire energiebron, omdat vetmoleculen de bloed-hersenbarrière niet kunnen passeren. De bloed-hersenbarrière weerhoudt het gros van de giftige stoffen en gevaarlijke micro-organismen ervan onze hersencellen te betreden en voorkomt zo dat onze hersenen beschadigd raken.

Vetmoleculen kunnen deze barrière echter ook niet passeren, waardoor hersencellen volledig aangewezen zijn op de verbranding van koolhydraten.

bètaoxidatie

Koolhydraten kunnen door organismen maar in beperkte mate opgeslagen worden. De mens slaat een excès aan glucose op in de vorm van glycogeen in de lever, maar de opslagcapaciteit van deze stof is beperkt tot ongeveer 500 gram, wat goed is voor maximaal 2000 Kcal. Dit is ruim voldoende om de periode tussen twee maaltijden te



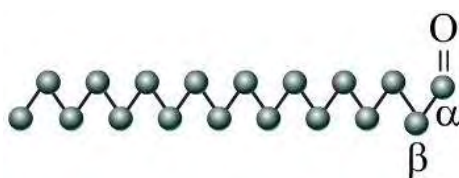
Figuur 13. De schommeling van de concentraties van insuline en glucagon

overbruggen, maar te klein om een mens langer dan een dag in leven te houden wanneer deze geen voedsel tot zich neemt. Vetten bieden daarvoor de ultieme oplossing: ze bieden veel energie per gram, waardoor men relatief weinig energie kwijt is aan het meedragen van de vetvoorraad, en ze zijn - in tegenstelling tot koolhydraten - voor langere tijd in ons lichaam op te slaan. Deze opslag vindt plaats in vetweefsel verspreid over ons hele lichaam, maar concentreert zich meer op bepaalde plekken, zoals de onderbuik. In het geval van een lage bloedsuikerspiegel, wanneer er dus een tekort aan glucose in het bloed is, scheidt de lever het hormoon glucagon af. Glucagon is een hormoon dat de bloedsuikerspiegel weer tracht te

verhogen, onder andere door de omzetting van glycogeen tot glucose te stimuleren.

Daarnaast stuurt glucagon een ander enzym aan: 'hormone-sensitive lipase' (HSL). HSL werkt als een katalysator bij de lipolyse van triglyceriden in het vetweefsel. Een lage concentratie glucose in het bloed leidt zo tot een verhoogde afbraak van vetten in vetweefsel. De afbraakproducten van deze reactie, glycerol en losse vetzuren, gaan de bloedbaan in om vervoerd te worden naar weefsels die energie nodig hebben. De losse vetzuren zouden zonder hulp niet op kunnen lossen in ons bloed. Daarom binden ze aan albumine - een veel voorkomend eiwit in ons bloed - om de oplosbaarheid te vergroten.

De oxidatie van deze vetzuren is een ingewikkeld proces dat veel verschillende stappen

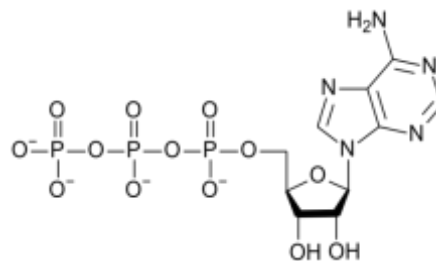


Figuur 14. Vetzuur met β-koolstofatoom

betreft. De oxidatie van vetzuren wordt ook wel bètaoxidatie (of β-oxidatie) genoemd, omdat er stapsgewijs steeds stukken van twee koolstofatomen van het vetzuur gescheiden worden, en deze scheiding dus telkens plaatsvindt bij het tweede koolstofatoom (fig.

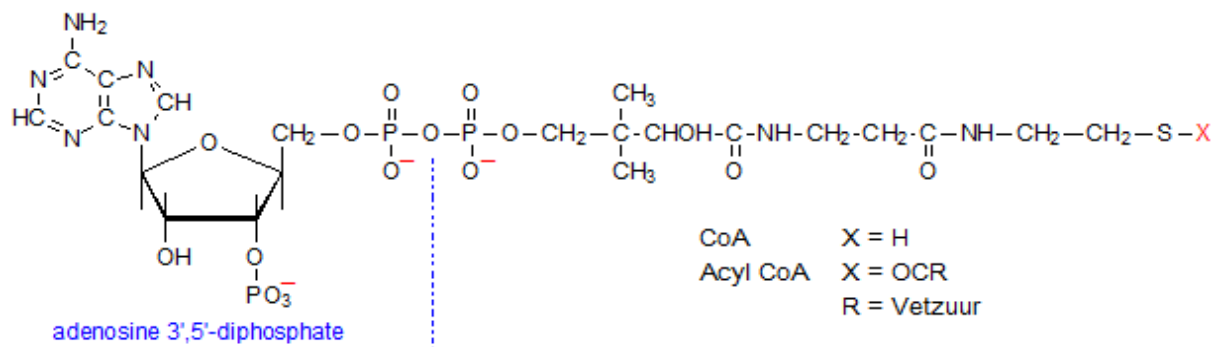
14.). Vetzuren worden geoxideerd in de 'energiecentrales' van onze cellen: de mitochondriën. Deze celorganellen bevinden zich in bijna al onze cellen en zijn in cellen waar de energiebehoefte groot is, bijvoorbeeld spier- en

hartcellen, in grote getale aanwezig. In mitochondriën wordt de chemische energie uit vetzuren en glucose overgedragen aan Adenosinetrifosfaat (ATP), een stof die bij de celstofwisseling een sleutelrol speelt als drager van chemische energie (fig.15). Bij de hydrolyse



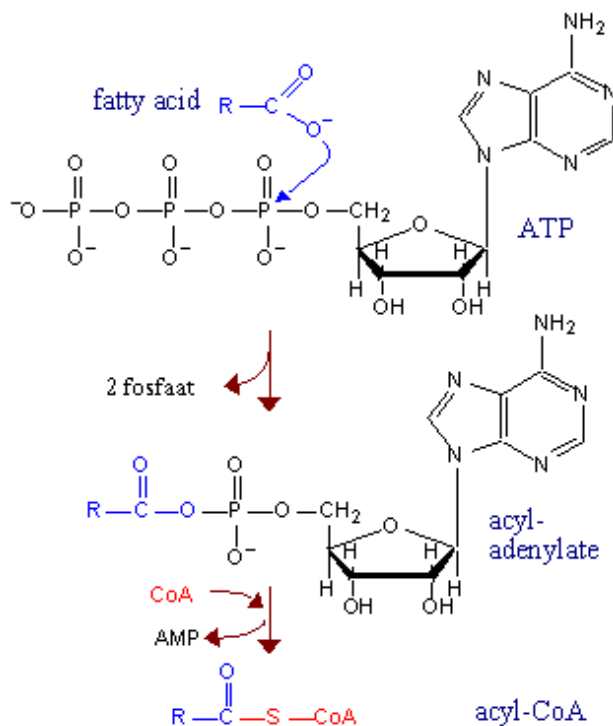
Figuur 15. Adenosinetrifosfaat (ATP)

van ATP, waarbij adenosinedifosfaat (ADP) en fosfaat ontstaat, komt veel energie vrij. Deze energie kan de cel vervolgens gebruiken voor allerlei celprocessen. ADP kan vervolgens weer een fosfaatgroep accepteren (een proces dat energie kost) om ATP te creëren dat weer als energiedrager kan fungeren.



Figuur 16. Co-enzym A

Uit een serie van redoxreacties moet er uit de oxidatie van een vetzuur dus ATP ontstaan. Voordat dit kan gebeuren moeten de vetzuren eerst 'geactiveerd' worden (fig. 17.). Dit betekent dat ze zich veresteren met het co-enzym 'co-enzym A', vaak afgekort als CoA (fig. 16.). Een co-enzym is een stof die zelf geen enzymatische werking heeft, maar wel onmisbaar is voor de werking van een eiwit. CoA is een onmisbaar co-enzym in zowel de oxidatie van vetzuren, als in de oxidatie van koolhydraten. De 'adenosine 3',5'-difosfaat'-groep fungeert als herkenningspunt voor eiwitten, waardoor het CoA beter bindt aan deze enzymen. De verestering van een vetzuur met CoA kost energie: Een molecuul ATP verliest twee fosfaatgroepen en wordt adenosinemonofosfaat (AMD). Uit deze reactie ontstaat een thio-ester van CoA met een vetzuur, genaamd acyl-CoA. Acyl-CoA moet vervolgens vanuit het celplasma de mitochondriën in, wat gebeurt met behulp van het enzym carnitine. In de mitochondriën kan vervolgens de bètaoxidatie plaatsvinden.

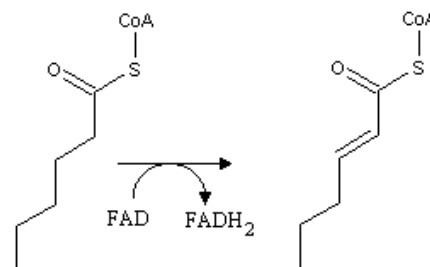


Figuur 17. De activatie van een vetzuur

De β -oxidatie betreft 4 stappen:

1. Dehydrogenatie

De eerste stap houdt de dehydrogenatie (fig.18) in van acyl-CoA. Deze reactie wordt gekatalyseerd door het enzym acyl-CoA dehydrogenase. Er wordt een dubbele binding gevormd tussen koolstofatoom 2 en 3, waarbij het acyl-CoA twee waterstofatomen en twee elektronen afgeeft aan een oxidator, flavin adenine dinucleotide

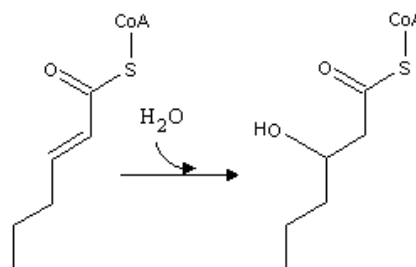


Figuur 18. Dehydrogenatie

(FAD). De dubbele binding die bij deze reactie ontstaat, is altijd een transbinding. De enzymen die bij deze reactie als katalysator werken zijn zeer stereospecifiek; alleen de transbinding kan verder geoxideerd worden. De reactieproducten van deze redoxreactie zijn $FADH_2$ ($FAD + 2$ waterstofatomen) en trans- Δ^2 -enoyl-CoA. De elektronen die FAD geaccepteerd heeft toen het $FADH_2$ werd, worden in de elektronentransportketen gebruikt om ATP te genereren.

2. Hydratatie

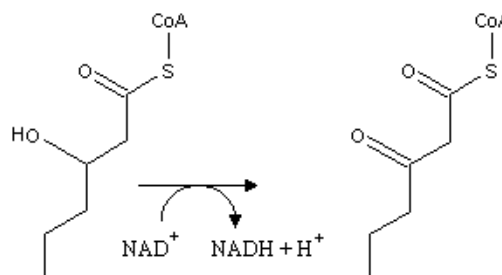
Aan het trans- Δ^2 -enoyl-CoA wordt een watermolecuul toegevoegd. Deze hydratatie (fig. 19.) van de dubbele transbinding wordt gekatalyseerd door enoyl-CoA Hydratase. Hierbij ontstaat L-hydroxyacyl-CoA.



Figuur 19. Hydratatie

3. Oxidatie

Vervolgens katalyseert hydroxy-CoA dehydrogenase de oxidatie (fig. 20.) van het ontstane alcohol. Nicotinamide adenine dinucleotide (NAD^+) fungeert als oxidator, waarbij $NADH + H^+$ ontstaat. De overgedragen elektronen creëren in de

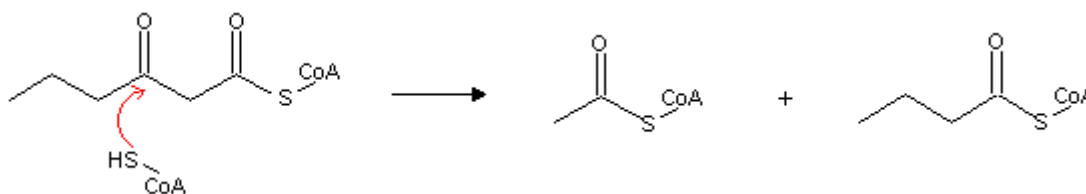


Figuur 20. Oxidatie

elektronentransportketen weer ATP. Het L-hydroxyacyl-CoA is geoxideerd tot β -ketoacyl-CoA.

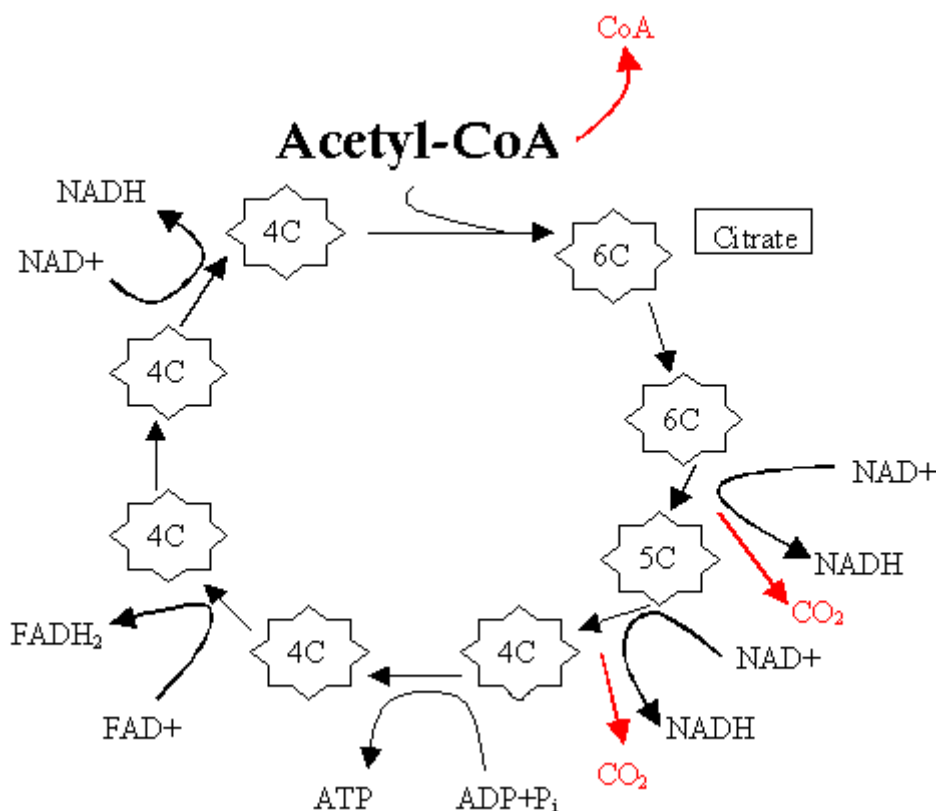
4. Thiolyse

De laatste stap van de bètaoxidatie is de thiolyse (fig. 21.). Hierbij ontstaat er onder toevoeging van 'Co-enzym A' één molecuul acyl-CoA (dat twee koolstofatomen korter is dan



Figuur 21. Thiolyse

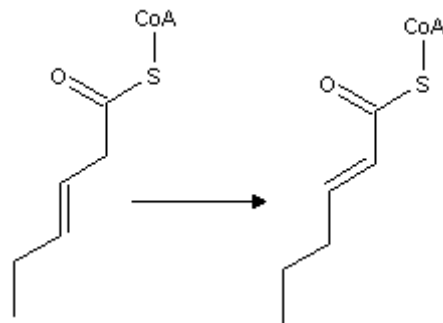
het acyl-CoA waarmee het proces is begonnen) en een molecuul acetyl-CoA. Acetyl-CoA speelt ook bij de oxidatie van glucose een belangrijke rol. In de zogenaamde citroenzuurcyclus (fig. 22.) wordt acetyl gebruikt om een koolhydraat met 4 koolstofatomen



Figuur 22. De Citroenzuurcyclus

(oxaalazijnzuur) om te zetten in een koolhydraat met 6 koolstofatomen (citroenzuur). Het citroenzuur doorloopt vervolgens de citroenzuurcyclus, waarin de redoxreacties meerdere moleculen ATP opleveren. Het acetyl-CoA dat ontstaat bij de bètaoxidatie komt in deze cyclus samen met het acetyl-CoA dat ontstaat bij de oxidatie van glucose. Het acyl-CoA dat uit de bètaoxidatie komt verloopt de 4 stappen weer opnieuw en opnieuw, tot alle koolstofatomen gebruikt zijn om acetyl-CoA te vormen. Dit is tenminste, als het vetzuur een even aantal koolstofatomen heeft. Als het vetzuur een oneven aantal koolstofatomen heeft, blijft er op het einde van de cyclus één molecuul achter met 3 koolstofatomen. Dit propionyl-CoA wordt met behulp van enzymen omgezet in Succinyl-CoA, wat een tussenproduct is in de citroenzuurcyclus.

Onverzadigde vetzuren vereisen voor er bètaoxidatie kan plaatsvinden eerst een isomerisatie (fig. 23.). Het enoyl-CoA hydratase enzym werkt namelijk alleen wanneer de dubbele binding tussen het 2^e en het 3^e koolstofatoom ligt. 2,4-dienoyl-CoA reductase reduceert de dubbele binding tussen het 3^e en

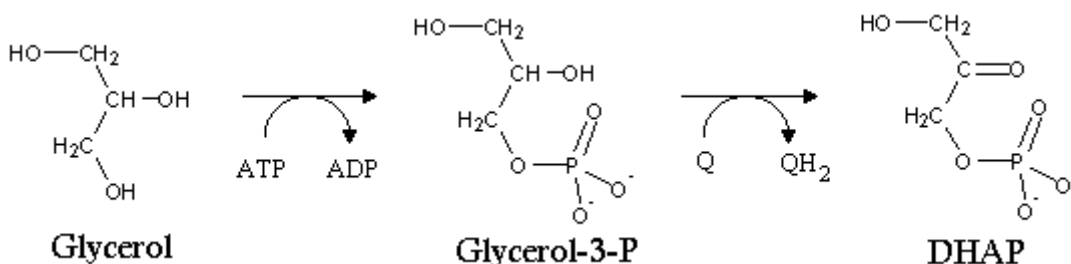


Figuur 23. Isomerisatie

het 4^e koolstofatoom en vormt de dubbele binding op de juiste plaats. Het ontstane trans- Δ^2 -enoyl-CoA verloopt vervolgens gewoon de rest van de stappen van de bètaoxidatie.

Glycerol

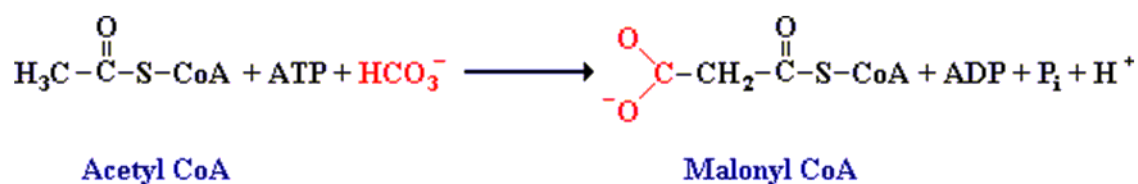
Glycerol wordt in ons lichaam ook gebruikt als energiebron. In de mitochondriën wordt Glycerol geoxideerd tot dihydroxyacetonfosfaat in een proces dat glycolyse (fig. 24.) heet, waarna het dihydroxyaceton fosfaat (DHAP) de twee ontvangen elektronen afgeeft aan de elektronentransportketen. Daar worden deze elektronen gebruikt om ATP te creëren.



Figuur 24. Glycolyse

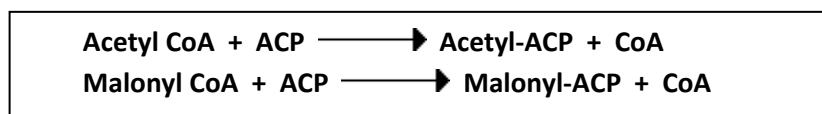
Vetzuursynthese

Ons lichaam reageert automatisch op overvloeden of tekorten van energierijke stoffen in onze bloedbaan. Wanneer wij net hebben gegeten, geeft de alvleesklier insuline af aan het bloed, als een reactie op de stijgende concentratie glucose. Men zou insuline de tegenhanger van glucagon kunnen noemen, want insuline stimuleert juist de opslag van energierijke stoffen in plaats van de afgifte van deze stoffen, zoals glucagon dat doet. Insuline stimuleert de omzetting van glucose in glycogeen, maar regelt ook de opslag van energie in vet. In het geval van een te hoge bloedsuikerspiegel, wordt er uit pyrodruivensuiker – een koolhydraat uit de citroenzuurcyclus – acetyl-CoA gevormd. Uit dit acetyl-CoA worden vervolgens in de lever en (in mindere mate) in het vetweefsel vetzuren gesynthetiseerd. Deze vetzuursynthese lijkt sterk op de bètaoxidatie, alleen dan omgekeerd. De vetzuursynthese vindt plaats in het grondplasma van de cel en niet in de mitochondriën zoals de β -oxidatie. Daarnaast wordt er bij de vetzuursynthese gebruik gemaakt van het co-enzym ACP (acyl carrier protein) in plaats van het co-enzym CoA.



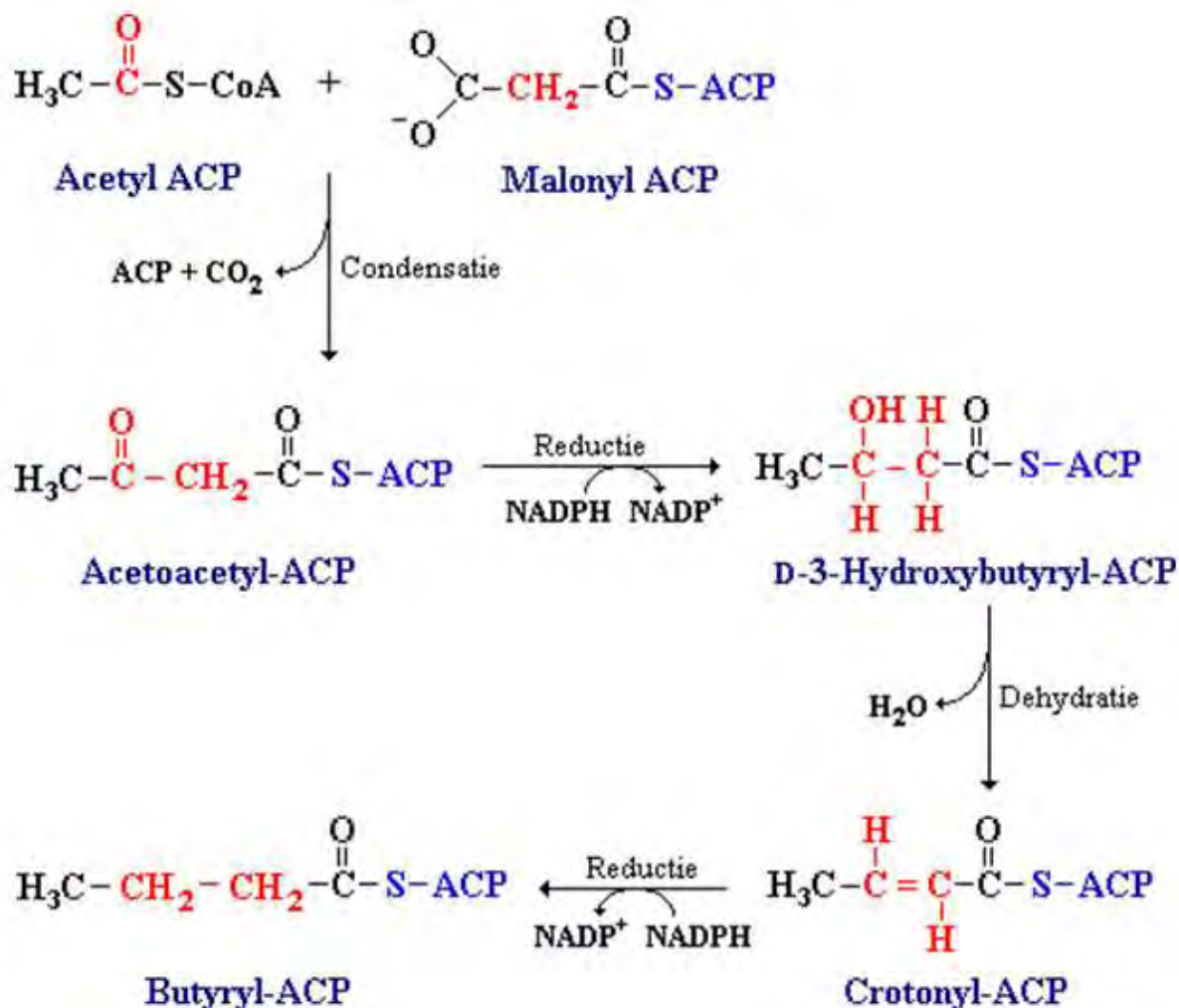
Figuur 25. Carboxylering van acetyl-CoA tot malonyl-CoA

Het proces begint met de carboxylering (fig. 25.) van acetyl-CoA tot malonyl-CoA door het enzym carboxylase. De carboxylgroep van het gevormde malonyl-CoA is afkomstig van een bicarbonaation. Zowel acetyl-CoA als malonyl-CoA reageren met ACP (fig. 26.) en vormen respectievelijk acetyl-ACP, malonyl-ACP en tweemaal CoA. Hierop volgen 4 stappen die, wanneer ze een aantal keer herhaald worden, een vetzuur opleveren.



Figuur 26. De reacties van acetyl-CoA en malonyl-CoA met ACP

Allereerst condenseren acetyl-ACP en malonyl-ACP tot acetoacetyl-ACP waarbij er CO₂ wordt afgesplitst. Dit acetoacetyl-ACP wordt gereduceerd door NADPH tot d-3-hydroxybutyryl-ACP. Deze laatste wordt gedehydrateerd tot crotonyl-ACP, wat op zijn beurt weer gereduceerd wordt tot butyryl-ACP. Hiermee is de eerste verlengingscyclus voltooid.



Figuur 27. Vetzuursynthese

Het ontstane butyryl-ACP condenseert daarna weer met malonyl-ACP, waardoor de keten weer twee koolstofatomen langer wordt. Dit proces wordt herhaald tot er een vetzuur met 16 koolstofatomen is ontstaan: palmitaat. Er wordt in eerste instantie nooit een kleiner of groter vetzuur gevormd. Later kunnen de vetzuren in het endoplasmatisch reticulum nog verlengd worden tot ketens van tot wel 24 koolstofatomen lang. Hier vindt ook het desaturatieproces plaats, ofwel het vormen van een dubbele binding in de keten, wat gestuurd wordt door enzymen die desaturasen heten. Deze desaturatie is nodig, aangezien sommige vetzuren die ons lichaam nodig heeft een dubbele binding hebben. De enzymen kunnen echter maar op een beperkt aantal plekken in het vetzuur een dubbele binding aanbrengen, waardoor

een paar vetzuren niet gemaakt kunnen worden. Deze vetzuren worden essentiële vetzuren genoemd, de mens moet deze via zijn voeding binnenkrijgen.

Andere toepassingen van vetten in organismen

Ons lichaam heeft niet alleen maar baat bij vetten als bron van energie. Vetten spelen ook een belangrijke rol als oplosmiddel, isolatiemateriaal, smeermiddel en als basisstof voor vetachtige stoffen.

oplosmiddel

Iets dat niet veel mensen weten, is dat sommige vitamines oplossen in vet. Vitamines zoals vitamine A, D, E en K zijn allemaal slecht oplosbaar in water, maar goed op te lossen in vetten. Mensen die dus op een dieet gaan waarin zij geen vetten verwerken, om af te vallen bijvoorbeeld, zullen dus vitaminetekorten krijgen, met alle gevolgen van dien. Deze vitamines zijn onmisbaar in het dagelijks functioneren van het menselijk lichaam. Zonder vet als oplosmiddel, zouden wij deze vitamines niet binnen kunnen krijgen in ons inwendig milieu.

Sommige narcotische middelen en giftige stoffen zijn ook goed oplosbaar in vetten. Deze stoffen kunnen dan ook opgeslagen worden in het vetweefsel van de mens. Het lichaam zal dit doen wanneer de concentraties van bepaalde giftige stoffen te hoog worden in het bloed. De stoffen worden dan opgeslagen in het vetweefsel, zodat het lichaam tijd krijgt om te herstellen. Deze stoffen kunnen daar overigens lange tijd blijven, soms zelfs jaren.

In visvet kunnen gevaarlijke hoge concentraties van bijvoorbeeld PCB (polychloorbifenyyl) zich ophopen, die de mens vervolgens binnen kan krijgen bij het eten van de vis.

Isolatiemateriaal

De isolerende werking van lichaamsvet is belangrijk voor bijna alle dieren. Het lichaam bewaart zo de warmte die ontstaat bij de processen die zich afspelen in onze cellen. Zou de mens geen lichaamsvet hebben, dan zou er veel meer energie verloren gaan aan het op temperatuur houden van ons lichaam. Voor dieren die een winterslaap houden is het

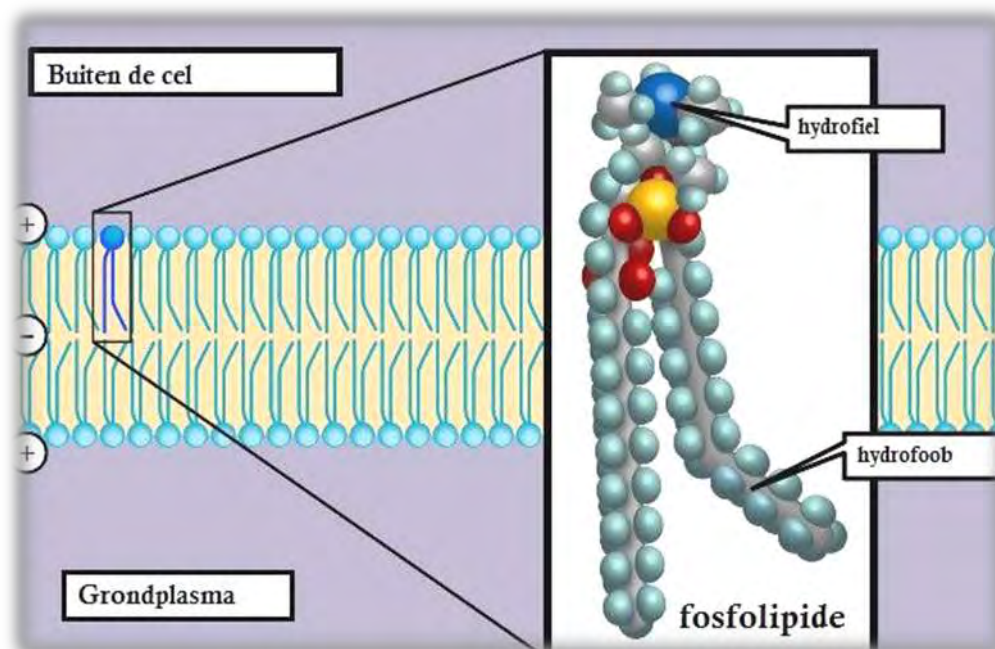
lichaamsvet nog belangrijker. Met een omgevingstemperatuur die bijna altijd lager is dan de lichaamstemperatuur, zouden de lichamen van de dieren in winterslaap te snel afkoelen.

Hun stofwisseling staat op een laag pitje, om genoeg energie over te houden om maanden lang zonder voedsel te kunnen. Deze lage stofwisseling gaat gepaard met weinig warmte uit chemische processen, waardoor de dieren geheel aangewezen zijn op hun lichaamsvet om hun lichaamstemperatuur op peil te houden.

Vetachtige stoffen

In het menselijk lichaam zijn verschillende stoffen te vinden die afgeleid zijn van triglyceriden. Deze 'vetachtige stoffen' worden vaak in de lever gesynthetiseerd, en hebben een grote variatie aan taken.

Fosfolipiden zijn amfifiele stoffen: ze hebben een hydrofiel en een hydrofoob gedeelte. De celmembranen (fig. 28.) van alle organismen zijn opgemaakt uit fosfolipiden. Deze fosfolipiden zitten in twee rijen, met hun hydrofiel gedeelten naar buiten gericht en hun hydrofobe



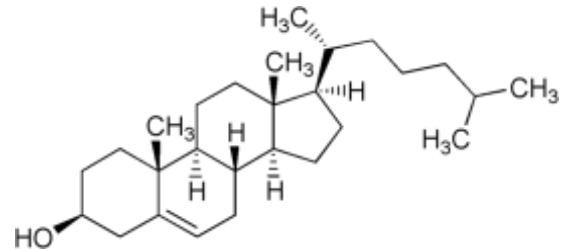
Figuur 28. Celmembraan

vetzuren naar elkaar gericht. Dit creëert een duidelijke grens tussen het grondplasma en de omgeving van een cel. In het overwegend apolaire milieu in het celmembraan kunnen allerlei structuren oplossen. Dit kunnen bijvoorbeeld transporteiwitten zijn, die stoffen actief door het

celmembraan transporteren (in tegenstelling tot bijvoorbeeld zuurstof, dat vrij door het celmembraan kan diffunderen).

Steroïden

Steroïden zijn vetachtige stoffen, die een andere structuur hebben dan triglyceriden en fosfolipiden. Deze stoffen bestaan niet uit glycerol en vetzuren, maar uit 4 cycloalkaanringen met daaraan een specifieke



Figuur 29. Cholesterol

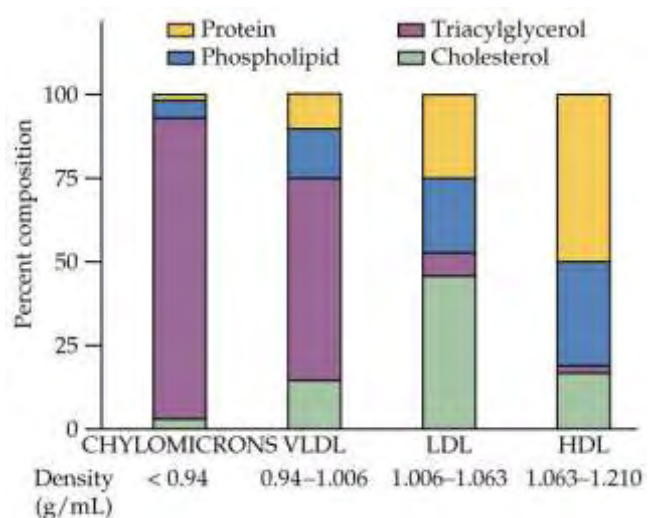
groep gebonden. Deze stoffen fungeren in ons lichaam onder andere als hormonen. Deze stoffen zijn voor ons van levensbelang; hormonen sturen alle belangrijke processen in ons lichaam aan.

Vetten en hart- en vaatziekten

Uit verschillende onderzoeken is gebleken dat het risico op hart- en vaatziekten stijgt naarmate men meer verzadigd vet en transvet in het dieet heeft zitten. Deze vetten zouden namelijk direct invloed hebben op de cholesterolconcentratie van het bloed.

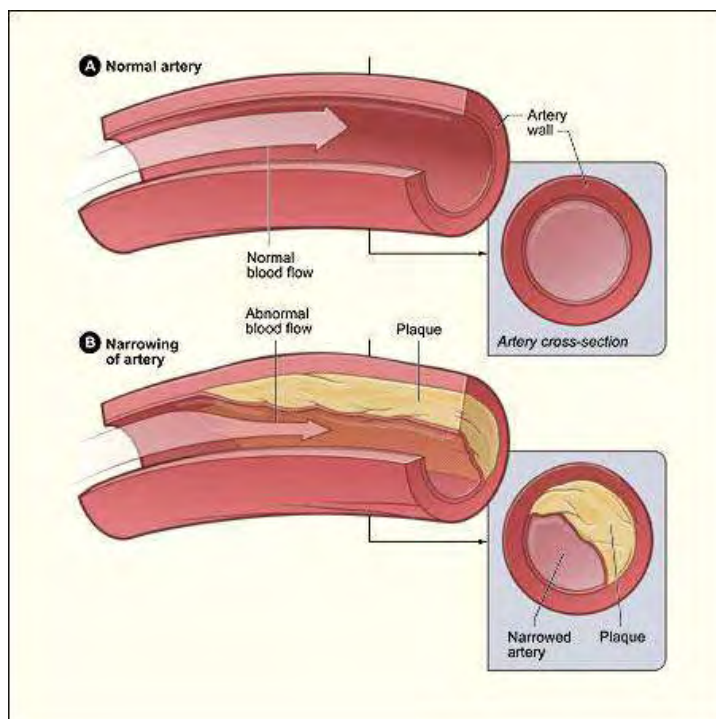
Cholesterol

Triglyceriden en andere lipiden worden door ons lichaam vervoerd in lipoproteïnen. Eerder hebben we al gezien dat er verschillende soorten lipoproteïnen (fig. 30.) bestaan. Ze verschillen van elkaar in dichtheid, doordat de samenstelling van de lipiden die ze vervoeren verschilt. De chylomicronen en very-low density lipoproteïnen (VLDL) vervoeren vooral triglyceriden, en hebben de laagste dichtheid. De low-density lipoproteïnen (LDL) vervoeren



Figuur 30. Lipoproteïnen ingedeeld op samenstelling

vooral cholesterol (fig. 29.) en de high-density lipoproteïnen (HDL) vooral eiwitten. Low-density lipoproteïnen transporteren cholesterol van de lever naar de rest van het lichaam. Deze lipoproteïnen worden daarom vaak LDL-cholesterol genoemd. High-density lipoproteïnen zijn de tegenhangers van LDL-cholesterol en vervoeren het excès aan cholesterol in het lichaam naar de lever, waar het afgebroken kan worden. LDL-cholesterol blijft in scheurtjes van de aderswanden steken, wanneer de concentratie ervan te hoog is. Met zijn hoge dichtheid, is het deeltje moeilijk van zijn plek te krijgen en kunnen er plaques



Figuur 31. Aderverkalking

ontstaan. Deze plaques vernauwen de aderen (fig. 31.), waardoor het hart harder moet pompen om er bloed doorheen te krijgen. Deze extra stress kan op de lange termijn leiden tot allerlei hartaandoeningen. Er bestaat ook nog het gevaar van een hartinfarct, wanneer een plaque ineens losschiet en een kransslagader van het hart verstopt.

Uit onderzoek is gebleken dat het eten van veel verzadigde- en transvetten de concentratie van LDL-cholesterol doet stijgen en de

concentratie van HDL-cholesterol doet dalen. Het mes snijdt dus aan twee kanten: meer LDL-cholesterol zorgt voor meer aderverkalking en er is minder HDL-cholesterol aanwezig om het cholesterol af te voeren naar de lever. Een dieet waarin veel enkel- en meervoudig onverzadigde vetten voorkomen zou de concentratie LDL-cholesterol juist moeten verlagen, terwijl het de concentratie HDL-cholesterol zou moeten verhogen.

De bepaling

Door middel van het joodgetal kan de mate van onverzadigheid van vetten bepaald worden. De definitie van het joodgetal is: het aantal gram jood (I_2) dat kan binden aan 100 gram vet. Bij het bepalen van het joodgetal maken we gebruik van het feit dat aan de dubbele bindingen van onverzadigde vetzuren I_2 kan worden geaddedeerd (=toegevoegd). Dit houdt in dat de dubbele binding verdwijnt en de 2 'extra plaatsen' die daardoor ontstaan, worden opgevuld door I_2 . Naast jood, kunnen er ook andere halogenen zoals chloor en broom worden gebruikt.

Vet oplossen

Om I_2 aan het vet te laten adderen, moet eerst het vet worden opgelost. Zo is namelijk het reactieoppervlak het grootst, want de vetmoleculen zweven dan vrij in de oplossing. Vet is een erg apolaire stof en moet dus opgelost worden in een apolair oplosmiddel. Wij gebruikten hiervoor hexaan. We hebben het ook met ethanol geprobeerd, maar dit bleek niet voldoende te werken.

Onze hoeveelheid opgelost vet moest uiteraard bekend zijn, aangezien we voor het joodgetal moeten weten hoeveel jood er addeert aan 100 gram van een bepaald vet. Wij kozen voor een hoeveelheid van ongeveer 0,1 gram vet. Om zeker te weten dat het alleen vet was dat we afwogen oplossen, verwarmden wij de margarine en de bak & braadolie eerst in een reageerbuis. Vet is lichter dan water en komt daardoor dus bovenop in het mengsel terecht. Van de 'bovenkant' van de oplossing pakten wij een beetje vet met een plastic pipetje. Vervolgens gingen we het vet afwegen in een bekerglaasje, tot op een tienduizendste gram nauwkeurig. Vervolgens voegden wij ± 20 ml hexaan toe waarin om het vetmonster in op te lossen. Na het roeren van deze oplossing met een roerstaafje, werd het roerstaafje afgespoeld met hexaan, waardoor het totale volume iets meer dan 20 ml was.

Vervolgens goten wij deze oplossing in een 250 ml stop-erlenmeyer. Hierbij was het belangrijk dat we na het leeggieten van het bekerglaasje, we nog een paar keer met hexaan

het bekersglasje omspoelden. Dit om te voorkomen dat er druppels oplossing met opgelost vet achterbleven in het bekersglasje.

Naast een stop-erlenmeyer met vet opgelost in hexaan, moesten wij ook een blanco hebben. In deze blanco stop-erlenmeyer deden wij slechts +- 20 ml hexaan. Zonder deze blanco is de bepaling onmogelijk, dit wordt later duidelijk.

Hanus-reagens

Voor het adderen van jood aan het vet gebruikten wij een zogenaamde Hanus-reagens. Dit is een oplossing van jood en broom in ijsazijn. In een Hanus-oplossing van 2050 ml zit ongeveer 27g jood opgelost in ijsazijn en 6,0 ml broom opgelost in ijsazijn. Wij voegden steeds een bekende overmaat (20 ml) van deze oplossing aan de erlenmeyers toe. Om te zorgen dat wij steeds exact 20 ml toevoegden, gebruikten wij een glazen 20 ml-pipet. De exacte hoeveelheden waaruit deze Hanus-oplossing bestaat waren niet van belang voor onze bepaling. Wel moesten we zorgen dat we dezelfde hoeveelheid Hanus-oplossing aan het monster toevoegden, als aan de erlenmeyer met alleen hexaan (de blanco). Later bij het titreren konden wij namelijk aan het verschil tussen het getitreerde jood in de blanco en het getitreerde jood in de erlenmeyer met opgelost vet zien, hoeveel jood er is geadderd aan het vet.

Oplossingen gereedmaken voor titratie

Na de Hanus-oplossing te hebben toegevoegd, wikkelden wij de erlenmeyers (met stoppen erop) in aluminiumfolie. We hebben niet kunnen vinden waarom het van belang is dat deze erlenmeyers in het donker moesten staan, maar we volgden hiermee het voorschrift. Wellicht gaan er ongewenste reacties lopen als de stoffen bloot worden gesteld aan licht. Vervolgens zorgden we dat we één uur lang iedere 10 minuten de erlenmeyers zwenkten, om de stoffen die moeten reageren voldoende met elkaar in contact te laten komen. Nadat het uur verstreken was, zetten we de erlenmeyers op magneetroeders. Vervolgens voegden we,

onder continu roeren, een overmaat (± 45 ml) 10 % kaliumjodide-oplossing toevoegden aan beide erlenmeyers. Hierbij vindt deze reactie plaats:

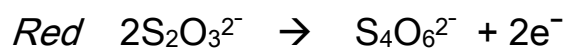
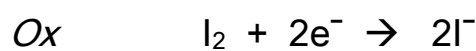


Dit is van belang, omdat zetmeel als indicator niet werkt in een oplossing met een apolair oplosmiddel. Het jood dat na de additiereactie nog aanwezig is, de overmaat dus, kan alleen getitreerd worden wanneer het opgelost zit in een polair oplosmiddel. Zetmeel lost alleen op in polaire oplosmiddelen en vereist jood opgelost in dat zelfde oplosmiddel om te functioneren. Hiertoe wordt het jood opgelost volgens de bovenstaande reactie. Dit is een evenwichtsreactie, die naar links afloopt naarmate er meer I_2 verdwijnt tijdens de titratie.

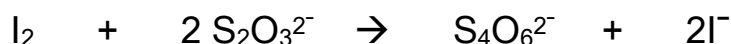
Als laatste voor het titreren voegden wij nog ± 100 ml demiwater toe. Ook dit deden we volgens het voorschrift, maar zelf weten we niet waarom dit nodig was aangezien het kaliumjodide opgelost zat in water.

Titreeren met 0,1M natriumthiosulfaat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)

Nu konden we gaan titreren met natriumthiosulfaat. De halfreacties die hierbij plaatsvonden zijn als volgt:



De complete reactievergelijking is dan:



Voor het titreren gebruikten wij een spuit voor het natriumthiosulfaat en een plastic pipetje voor het zetmeel (de indicator). Na het voorspoelen van de spuit, begonnen we met titreren.

De kleur van de oplossing (donkerbruin, de kleur van geconcentreerd I_2 in oplossing) werd lichter naarmate wij meer natriumthiosulfaat toevoegden. Dat is logisch, want er bleef steeds minder I_2 over in de oplossing, waardoor de kleur langzaam aan oranje werd. Wij gingen door met het toevoegen van het natriumthiosulfaat, tot de oplossing een gele kleur kreeg. Op dit punt voegde wij ± 2 ml zetmeel toe aan de oplossing. I_2 en zetmeel samen krijgen een donkerblauwe kleur. Vanaf dit punt titreerden wij verder, nog steeds onder goed roeren, net zolang totdat de donkerblauwe kleur was verdwenen en ook niet meer terugkwam. Dit betekende dat er geen I_2 meer in de oplossing zat.

De hoeveelheid natriumthiosulfaat dat is gebruikt bij de titratie staat in verhouding tot de hoeveelheid jood die aanwezig was in het mengsel. Het verschil tussen de uitkomsten van de blanco en het monster, geeft dus aan hoeveel mol jood er is geoxideerd aan de onverzadigde vetzuren. Via een berekening is vervolgens het joodgetal te bepalen.

Alle bepalingen zijn in duplo gedaan; voor elke blanco hebben we twee vetmonsters afgewogen, om vervolgens aan beide monsters de Hanus-oplossing toe te voegen. Dit hebben we gedaan om er zeker van te zijn, dat een fout bij de titratie meteen opgemerkt zou worden. Als de waarden van de duplo's te ver uit elkaar zouden liggen, is er iets fout gegaan tijdens de bepaling.

Berekening

De berekening van het joodgetal met de verkregen waarden na de titratie, is in één formule samen te vatten:

$$Joodgetal = \frac{(V_{\text{blanco}} - V_{\text{monster}}) \times 0,0999 \times 253,8}{2 \times M_{\text{monster}}} \times 100$$

V_{monster} = De hoeveelheid natriumthiosulfaat dat is gebruikt bij de titratie van het monster in liters.

V_{blanco} = De hoeveelheid natriumthiosulfaat dat is gebruikt bij de titratie van de blanco in liters.

0,0999 = De molariteit van de natriumthiosulfaat-oplossing. (bepaald door de technisch onderwijs assistent)

253,8 = De molaire massa van jood (I_2).

2 = Er moet hier door 2 gedeeld worden, omdat er met elke mol jood twee mol natriumthiosulfaat reageert.

M_{monster} = De massa van het vetmonster in gram.

100 = De definitie van het joodgetal is het aantal gram jood per 100 gram vet. Er moet dus met honderd vermenigvuldigd worden om van het aantal gram jood per 1 gram vet, aan het aantal gram jood per 100 gram vet te komen.

Op de volgende bladzijden zijn de waarden van onze bepalingen te zien.

Margarine	Duplo 1		Duplo 2		Blanco	
Voor	32,81		32,73		32,63	
Tussen	10,38	30,51	10,37	32,09	10,37	30,71
Na	23,24		25,50		13,95	
<u>Totaal</u>	29,70		28,95		39,02	

Tabel 1. ml natriumthiosulfaat gebruikt bij de titraties van Becel margarine

Bak & Braadolie	Duplo 1		Duplo 2		Blanco	
Voor	34,81		34,21		34,79	
Tussen	10,39	31,07	10,40	33,32	10,28	32,72
Na	25,42		28,00		18,23	
<u>Totaal</u>	30,07		29,13		39,00	

Tabel 2. ml natriumthiosulfaat gebruikt bij de titraties van Becel bak- & braad-olie

Frituurvet	Duplo 1		Duplo 2		Blanco	
Voor	32,95		34,70		31,67	
Tussen	10,36	28,45	10,35	31,09	10,38	31,80
Na	15,73		19,92		14,30	
<u>Totaal</u>	35,31		35,52		38,79	

Tabel 3. ml natriumthiosulfaat gebruikt bij de titraties van C1000 basis frituurvet

Zonnebloemolie	Duplo 1		Duplo 2		Blanco	
Voor	33,26		34,59		34,33	
Tussen	10,39	34,82	10,42	32,47	10,43	31,32
Na	27,90		28,15		16,48	
<u>Totaal</u>	29,79		28,49		38,74	

Tabel 4. ml natriumthiosulfaat gebruikt bij de titraties van Cap D'or zonnebloemolie

Aantal gram vet	Becel Margarine	C1000 basis Frituurvet	Becel Bak & Braadolie	Cap D'or Zonnebloemolie
Duplo 1	<i>0,1099 (0,1832)</i>	<i>0,1031</i>	<i>0,0960 (0,0980)</i>	<i>0,0954</i>
Duplo 2	<i>0,1112 (0,1854)</i>	<i>0,1014</i>	<i>0,1030 (0,1051)</i>	<i>0,1044</i>

Tabel 5. aantal gram afgewogen vet van de gebruikte voedingsmiddelen

(De waarden van Becel margarine en Becel bak- & braadolie zijn niet te waarden die zijn afgelezen van de weegschaal. De margarine bestaat maar voor 60% uit vetten, en de verkregen waarden zijn daarvoor gecorrigeerd. De bak- & braadolie bestaat voor 98% uit vetten en de waarden zijn eveneens gecorrigeerd. De waarden zonder correctie staan erbij vermeld tussen haakjes. Het frituurvet en de zonnebloemolie bestaan beiden voor 100% uit vetten.)

Becel margarine

Duplo 1

$$\text{Joodgetal} = \frac{(0,03902 - 0,02970) \times 0,0999 \times 253,8}{2 \times 0,1099} \times 100 = 107,51$$

Duplo 2

$$\text{Joodgetal} = \frac{(0,03902 - 0,02895) \times 0,0999 \times 253,8}{2 \times 0,1112} \times 100 = 114,80$$

Gemiddeld joodgetal

$$\text{gemiddel joodgetal} = \frac{107,51 + 114,80}{2} = 111,16$$

C1000 basis Frituurvet

Duplo 1

$$\text{Joodgetal} = \frac{(0,03879 - 0,03531) \times 0,0999 \times 253,8}{2 \times 0,1031} \times 100 = 42,79$$

Duplo 2

$$\text{Joodgetal} = \frac{(0,03879 - 0,03552) \times 0,0999 \times 253,8}{2 \times 0,1014} \times 100 = 40,88$$

Gemiddeld joodgetal

$$\text{gemiddel joodgetal} = \frac{42,79 + 40,88}{2} = 41,84$$

Becel Bak- & Braadolie

Duplo 1

$$\text{Joodgetal} = \frac{(0,03900 - 0,03007) \times 0,0999 \times 253,8}{2 \times 0,0960} \times 100 = 117,93$$

Duplo 2

$$\text{Joodgetal} = \frac{(0,03900 - 0,02913) \times 0,0999 \times 253,8}{2 \times 0,1030} \times 100 = 121,48$$

Gemiddeld joodgetal

$$\text{gemiddel joodgetal} = \frac{117,93 + 121,48}{2} = 119,71$$

Cap D'or zonnebloemolie

Duplo 1

$$\text{Joodgetal} = \frac{(0,03874 - 0,02979) \times 0,0999 \times 253,8}{2 \times 0,0954} \times 100 = 118,93$$

Duplo 2

$$\text{Joodgetal} = \frac{(0,03874 - 0,02849) \times 0,0999 \times 253,8}{2 \times 0,1044} \times 100 = 124,47$$

Gemiddeld joodgetal

$$\text{gemiddel joodgetal} = \frac{118,93 + 124,47}{2} = 121,70$$

Conclusie

De bepaling van het joodadditiegetal is een goede methode om de mate van onverzadigdheid van onverzadigde vetten te bepalen. De waarden die wij hebben verkregen zijn niet te controleren met behulp van literatuur, omdat wij unieke vetmengsels hebben gebruikt die niemand anders kan hebben getest. Toch hebben wij genoeg aanwijzingen dat de bepaling is gelukt, en nauwkeurig is. In de grafiek (bijlage 1) is duidelijk te zien dat het frituurvet het laagste joodgetal heeft. Dit is zeer waarschijnlijk, omdat algemeen bekend is dat het frituurvet wat wij gebruiken hebben (frituurvet dat bij kamertemperatuur vast is) weinig onverzadigde vetten bevat. De oliën daarentegen bevatten veel meer onverzadigde vetten, waardoor hun joodgetal ook bijna drie keer zo hoog ligt als het joodgetal van frituurvet. De margarine van Becel staat bekend om het hoge gehalte van onverzadigde vetzuren, waardoor het ook geen verrassing is dat deze voor een vaste stof een relatief hoog joodgetal heeft.

Het feit dat de duplo's redelijk bij elkaar in de buurt liggen geeft nog maar eens aan dat deze proef betrouwbaar te noemen is. Met betere middelen tot onze beschikking, hadden wij deze proef nog nauwkeuriger uit kunnen voeren. Daarbij valt te denken aan nauwkeurigere weegschalen en machines om automatisch te titreren, om fouten te voorkomen.

Voedselproducenten die deze middelen wel tot hun beschikking hebben kunnen met de joodgetalbepaling zeer nauwkeurig de mate van onverzadigdheid van een vetmengsel bepalen.

Materiaallijst

Hier volgt onze materiaallijst van donderdag 17 februari 2011, toen wij bepalingen aan 4 verschillende vetten deden.

- 16 stop-erlenmeyers
- 9 bekeerglaasjes
- 4 reageerbuizen
- Reageerbuistang
- 3 spuit
- Gasbrander
- Lucifers
- Demiwater (in spuitflessen)
- 500 ml Hanus-reagens (in een 500 ml-erlenmeyer)
- Nauwkeurige weegschaal (voor afwegen op een tienduizendste gram nauwkeurig)
- Weegschaal
- 2 Magneetroeders
- 1% Zetmeel
- Glazen 20 ml-pipet
- Pipetteerballon
- 6 plastic pipetjes
- Hexaan
- 0,0999M Natriumthiosulfaat
- 10% Kaliumjodide-oplossing
- Latex handschoenen
- Frituurvet, merk: C1000 basis
- Margarine, merk: Becel dieet
- Bak- en braadolie, merk: Becel
- Zonnebloemolie, merk: Cap d'or

Bronnenlijst

Gebruikte literatuur (boeken, tijdschriften, krantenknipsels)

- Verkerk, G. Broens J.B., Bouwens, R.E.A., (2004) Binas tabellenboek
- Biezenaar, P. Bijsterbosch, J. Bruin, A de. (2005) Nectar vwo bovenbouw, biologie deel 2.

Gebruikte internetbronnen

- http://www.cbbbr.nl/nieuws_7_juni05_vetten.html
- <http://www.kruidenvrouwtje.nl/voeding/verzadigde-vz.htm>
- <http://www.kruidenvrouwtje.nl/voeding/onverzadigde-vz.htm>
- http://www.bioplek.org/sheets/sheet_vetten_schematisch.html
- <http://www.food-info.net/nl/ff/plantsterols.htm>
- <http://www.zowerkthetlichaam.nl/494/opbouw-van-vetten-en-cholesterol/>
- http://books.google.nl/books?id=B3IMDGteoUEC&pg=PA17&lpg=PA17&dq=ontstaan+vetten+planten&source=bl&ots=uROpkUy_tO&sig=1IScwlVOCG_xk4mQDkqxLeaW-c0&hl=nl&ei=SIRnTZDGFs2VOrjgsL0J&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=5&ved=0CDQQ6AEwBA#v=onepage&q=ontstaan%20vetten%20planten&f=false
- http://www.kokosolieplein.nl/Veelgestelde_vragen_over_kokosolie.html
- <http://wetenschap.infonu.nl/scheikunde/11383-vetten-en-olien.html>
- <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/202365/fat/2233/Functions-in-plants-and-animals>
- <http://www.chemistryexplained.com/Di-Fa/Fats-and-Fatty-Acids.html>
- <http://www.wisegeek.com/what-is-acetyl-coa.htm>
- <http://content.karger.com/ProdukteDB/produkte.asp?Aktion=ShowFulltext&ArtikelNr=100426&Ausgabe=232805&ProduktNr=224036#SA2>
- http://en.wikipedia.org/wiki/Fatty_acid_metabolism
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Lipolysis>
- <http://instruct.westvalley.edu/granieri/bio45lipid2.pdf>
- http://weightology.net/weightologyweekly/?page_id=319
- <http://www.biocarta.com/pathfiles/betaoxidationpathway.asp>
- <http://www2.ufp.pt/~pedros/bq/gng.htm>
- <http://www2.ufp.pt/~pedros/bq/fatty.htm>
- <http://www.natuurlijkerwijs.com/vetzuurstofwisseling.htm>

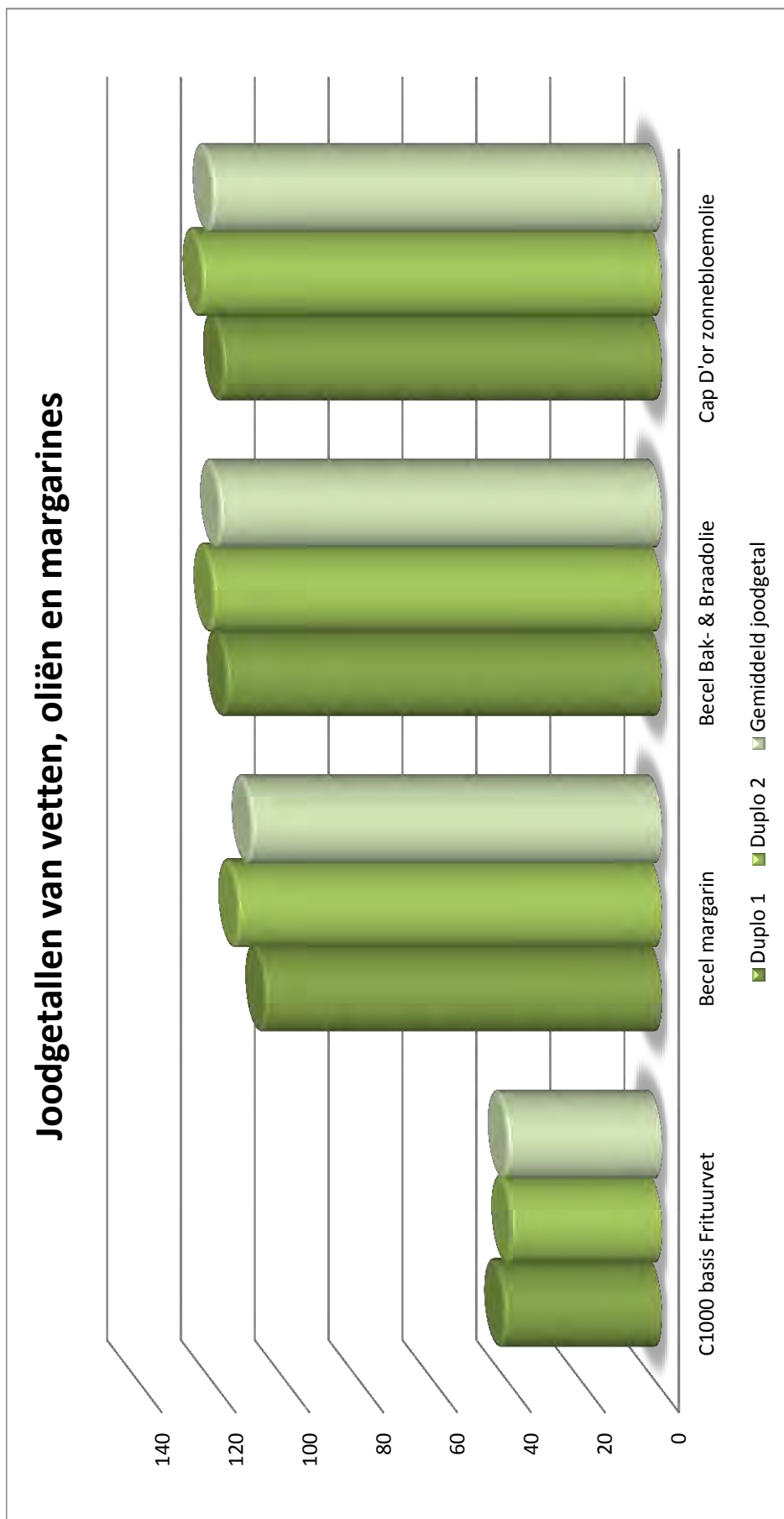
Nawoord

Nogmaals onze dank aan de heren S. Hurkens en C. Weenen voor hun bijdrage aan ons werkstuk. Wij vonden het absoluut een uitdaging en denken (en hopen) dat wij er goed uit zijn gekomen.

Bob Ignacio

Pim Muller

Bijlage 1



Figuur 1. Joodgetallen van de C1000 basis Frituurvet, Becel Margarine, Becel Margarine, Becel Bak- & braadolie en Cap D'or zonnebloemolie.