

DE MELK ALS EMULSIE

HET OPROOMINGSPROCES

REDE, UITGESPROKEN OP DEN 9-DEN MAART 1926
TER GELEGENHEID VAN DEN ACHTSTEN VER-
JAARDAG DER LANDBOUWHOOGESCHOOL
DOOR DEN RECTOR-MAGNIFICUS

IR. B. VAN DER BURG



DE MELK ALS EMULSIE

HET OPROOMINGSPROCES

REDE, UITGESPROKEN OP DEN 9-DEN MAART 1926, TER GELEGENHEID
VAN DEN ACHTSTEN VERJAARDAG DER LANDBOUWHOOGESCHOOL
DOOR DEN RECTOR-MAGNIFICUS

IR. B. VAN DER BURG.

Mijne heeren curatoren, professoren, lectoren, dames en heeren assistenten en studenten en verder Gij allen, die U hierheen hebt opgemaakt om den achtsten verjaardag der landbouwhoogeschool te vieren, zeer gewaardeerde toehoorderessen en toehoorders.

Toen BENNO MARTINY in 1871 zijn ook nu nog vooral uit een geschiedkundig oogpunt belangwekkend boek: „*Die Milch, ihr Wesen und ihre Verwerthung*”, het licht deed zien, liet hij de inleiding van dit werk beginnen met deze woorden: „Dieses Buch will das gesammte bisherige Wissen über die Milch und deren Verwerthung „in naturwissenschaftlicher und ökonomisch-technischer Beziehung „geschichtlich entwickelt darlegen”.

De kennis van de melk en het wetenschappelijk inzicht in de processen, die zich bij hare verwerking tot zuivelproducten afspelen, waren omstreeks 1870 nog zeer beperkt, zoodat het in dien tijd inderdaad mogelijk was „das gesammte Wissen” over dat onderwerp in een niet te omvangrijk boek uiteen te zetten. Pas enkele jaren geleden had PASTEUR de grondslagen van de wetenschappelijke microbiologie gelegd. Van hoeveel belang deze wetenschap in de toekomst voor de zuivelbereiding zou worden, kon toen ter tijd nauwelijks worden vermoed. Van het begrip „melkhygiëne” kon bij een nagenoeg volkomen gemis aan bacteriologische kennis natuurlijk nog geen sprake zijn. Aan een latere generatie zou het zijn voorbehouden,

licht te verspreiden over de beteekenis van de microorganismen in verband met melk en melkproducten.

Men was — nu ruim vijftig jaar geleden — niet alleen op biologisch, maar ook op chemisch en fysisch-chemisch gebied pas aan het begin van de ontwikkeling der zuivelwetenschap.

De techniek der zuivelbereiding was in dien tijd nog zeer eenvoudig. Zuivelbereiding was een handwerk, dat uitsluitend op de boerderijen werd uitgeoefend en de eenige zuivelproducten, die men maakte, waren boter en kaas. De bereiding daarvan geschiedde met vrijwel dezelfde hulpmiddelen en volgens dezelfde werkwijzen, als deze door vorige geslachten waren gebezigd.

Voor zoover de melk voor de boterbereiding ontroomd moest worden, goot men ze in ondiepe houten, steenen of metalen vaten, die men op een koele plaats — meestal in een kelder — rustig liet staan. Na een of twee etmalen schepte men den room, die zich dan op de melk verzameld had, af.

Ook thans wordt deze wijze van ontrooming op de boerderij en in de huishouding nog veelvuldig toegepast. Intusschen had reeds in 1863 de Zweedsche landbouwer JOH. GUST. SWARTZ een ander ontroomingstoestel aanbevolen, volgens hetwelk de melk direct na het melken in ongeveer 40 cm diepe metalen vaten in ijswater wordt geplaatst. Dit stelsel, dat door SWARTZ bij toeval gevonden werd en dat onafhankelijk van hem terzelfder tijd ook werd toegepast door DAHL, destijds directeur van de landbouwschool te Aas bij Christiania¹⁾, is in onze zuivelfabrieken, waar men zich in het bijzonder op de bereiding van kaas uit meer of minder sterk afgeroomde melk toelegt, algemeen in gebruik geweest. In latere jaren is het daar vervangen door een nieuw stelsel, hetwelk omstreeks 1904 in Friesland het eerst is toegepast en waarvan men niet met zekerheid kan zeggen, wie er de uitvinder van is. Wij duiden het daarom aan als het Friesche stelsel. Het bestaat hierin, dat men de melk, zoodra deze de fabriek binnenkomt, na ze zoo noodig eerst tot $\pm 40^{\circ}$ C. te hebben voorgewarmd, snel tot circa 12° of lager afkoelt om ze vervolgens in bakken van 2000 tot 3000 liter inhoud en 40 tot 50 cm diepte gedurende ongeveer 10 uren te laten oproomen.

Zooals wij straks nader zullen zien, ligt de verklaring van het verschijnsel, dat men bij de beide laatstgenoemde methodes onder voor een snelle roomvorming oogenschijnlijk zoo ongunstige omstandigheden, n.l. de lage temperatuur en de tamelijk groote hoogte van de melklaag in betrekkelijk korten tijd een vrij volledige oprooming kan verkrijgen, niet bepaald voor de hand.

¹⁾ B. MARTINY, Geschichte der Rahmgewinnung. I Teil, blz. 118 (1909).

Het is niet mijne bedoeling in de voordracht van hedenmiddag de ontwikkeling van de techniek der zuivelbereiding, zooals wij die in de laatste 50 jaren hebben kunnen waarnemen, verder te verfolgen. Evenmin heb ik mij tot taak gesteld, U een overzicht te geven van de vorderingen der zuivelwetenschap in dat tijdvak. In den tijd, die mij daarvoor beschikbaar staat, zou zoomin het een als het ander behoorlijk tot zijn recht kunnen komen. Beter scheen het mij, uit de veelheid der onderwerpen, die de belangstelling van den deskundige op zuivelgebied gaande houden, er één wat uitvoeriger te bespreken. Hiervoor heb ik mijn keuze laten vallen op de oprooming van de melk, een onderwerp, dat ik reeds heb ingeleid door U in korte trekken het stelsel volgens SWARTZ en de Friesche methode te beschrijven. Er zijn in den loop van den tijd talrijke onderzoekingen over het oproomingsproces bekend gemaakt. Pas in de laatste jaren echter zijn wij de verklaring der verschijnselen, die wij bij de oprooming kunnen waarnemen, nader gekomen. Hiertoe hebben vooral de onderzoekingen van VAN DAM en SIRKS aan het Rijkslandbouwproefstation te Hoorn en van RAHN aan het zuivelproefstation te Kiel veel bijgedragen.

Ik wil mijne besprekingen over de oprooming laten beginnen bij de beschouwing van het beeld, dat de microscopische bezichtiging van een droppeltje verdunde melk ons oplevert. Dit eenvoudige preparaat, door GILTAY¹⁾ gekozen als één van de objecten, welke hij gebruikte bij zijn onderwijs in het leeren zien door den microscoop, is om allerlei redenen altijd weer even belangwekkend en leerzaam.

Bekijken we een droppeltje met de vier- of vijfvoudige hoeveelheid water verdunde melk onder den microscoop, dan zien wij in een overigens gelijkmatig verlicht veld een groot aantal ronde vlekjes, die, als wij ons preparaat van pas gemolken, nog warme melk hebben gemaakt, of wel van melk, die we vooraf op lichaamstemperatuur verwarmden, vrijwel zuiver cirkelvormig begrensd zijn.

Bij verder onderzoek van het preparaat stellen wij gemakkelijk vast, dat de waargenomen vlekjes beelden zijn van bolvormige objecten, bestaande uit een stof, welke een sterker lichtbrekend vermogen en een lager soortelijk gewicht heeft dan de omringende vloeistof en de slotsom ligt voor de hand, dat wij hier te doen hebben met de vetbolletjes der melk.

Wij merken terloops nog op, dat deze bolletjes een middellijn

¹⁾ DR. E. GILTAY, Hoofdzaken uit het zien door den microscoop, met behulp van zeven objecten. Leiden, (1890); Sieben Objecte unter den Mikroskoop, Leiden, (1893).

hebben van ongeveer 1 tot 10 micron en dat vooral de kleinere zeer duidelijk de BROWN'sche beweging vertoonen.

Het feit, dat de vetbolletjes der melk zelfs dan, wanneer ze zeer dicht opeen liggen, zooals dit in den room het geval is, niet samenvloeien, heeft men in den loop der jaren op verschillende wijzen trachten te verklaren. Wij vinden o.a. in een publicatie van STORCH ¹⁾ over den bouw van de vetbolletjes, een overzicht van de opvattingen, welke vroegere onderzoekers hieromtrent waren toegegaan.

Volgens de oudste theorieën zouden ze niet uitsluitend uit vet bestaan, doch omgeven zijn door een wel uiterst dun, maar vast omhulsel, het zoogenaamde haptogeen membraan, hetwelk men zich dacht samengesteld uit onoplosbare caseïne of een andere vaste stof.

De naam haptogeen membraan is volgens BEAU ²⁾ afkomstig van ASCHERSON (1838), die de vorming er van opvatte als een zuiver fysisch verschijnsel. Volgens hem zou het ontstaan door een capillaire verdichting van eiwitstoffen op het oppervlak der vetdruppeltjes.

In den tijd dat STORCH zijne onderzoekingen publiceerde — 1897 — had de theorie van de vaste vliesjes vrijwel afgedaan en plaats gemaakt voor een andere, volgens welke de vetbolletjes omgeven zouden zijn door een tengevolge van moleculaire aantrekking op hare oppervlakte verdichte plasmalaag. Deze zou een vloeibaar omhulsel vormen en alle melkbestanddeelen zouden volgens sommige onderzoekers aan den opbouw ervan kunnen deelnemen; anderen waren daarentegen van meening, dat het uitsluitend uit opgeloste caseïne bestond.

Een derde opvatting uit dien tijd was, dat de vetbolletjes noch een vast noch een vloeibaar omhulsel bezitten; de taai vloeibaarheid van het melkplasma moest dan de eenige omstandigheid zijn, welke het samenvloeien van de vetdruppeltjes verhindert.

In latere jaren verdedigden VÖLTZ ³⁾ en later ABDERHALDEN en VÖLTZ ⁴⁾ op grond van de door hen verrichte onderzoekingen nog eens weer de theorie van het vaste vliesje. Zij overgoten bij hunne proeven melk met een laag water, zonder dat vermenging van de beide vloeistoffen plaats had. De room, die zich nu op de melk vormde, steeg door de bovenstaande waterlaag omhoog. Genoemde onderzoekers namen aan, dat op deze wijze de vetbolletjes werden afgewasschen en dat een eventueel aanwezig vloeibaar omhulsel hierdoor moest worden weggenomen. Zij verzamelden de aan de oppervlakte van het water gekomen room op een filter. Nadat zij het filter

¹⁾ 36-te Beretning fra den Lab. for landøkonomiske Forsøg, blz. 58 en vlg. (1897).

²⁾ Revue générale du lait, 2, 341 en vlg. (1903).

³⁾ PFLÜGERS Arch. f. Physiol. 102, 373 (1904).

⁴⁾ Zeitschr. f. physiol. Chemie, 59, 13—19 (1909).

met inhoud gedroogd en vervolgens door behandeling met aether alle vet verwijderd hadden, konden zij in het residu de aanwezigheid van vliesjes, waaraan gedeeltelijk de bolvorm nog te herkennen was, aantonen.

De chemische samenstelling van de vetvrije massa, welke ABDERHALDEN en VÖLTZ op de aangegeven wijze verzamelden, bleek bij hunne verschillende proeven zeer uiteen te loopen; het aschgehalte b.v. schommelde tusschen de 4,5 en de 45%. Men dient in verband hiermede hunne conclusies dan ook met de noodige voorzichtigheid te beoordeelen. Wat de natuur der eiwitstoffen van de vliesjes aangaat, kwamen onderzoekers tot de slotsom, dat het omhulsel zeker niet uitsluitend uit caseïne bestaat; het is zelfs niet onmogelijk, dat caseïne geheel ontbreekt. Er moet een eiwitstof aanwezig zijn, die verschilt van caseïne en melk-albumine. Volgens hen heeft men waarschijnlijk met een mengsel van verschillende eiwitstoffen te doen.

Wij zullen op de feiten, welke de tegenstanders van de vliesjes-theorie ter bestrijding daarvan meenden te kunnen aanvoeren, niet verder ingaan. Liever laten wij de vroegere beschouwingen verder geheel rusten en trachten wij de vraag, waarom de vetbolletjes in de melk niet tot grootere vetdruppels en ten slotte tot een vetlaag samenvloeien, te beantwoorden door de melk te bezien in het licht van de theorie der emulsies in het algemeen.

Hiertoe beschouwen wij eerst een emulsie, welke zoo eenvoudig mogelijk van samenstelling is, n.l. een die bestaat uit zuivere olie verdeeld in gedestilleerd water.

Als wij deze beide vloeistoffen te zamen een korten tijd in één vat schudden, krijgen wij slechts een zeer tijdelijke verdeling van de olie in het water en omgekeerd tegelijkertijd ook van het water in de olie; zoodra wij het mengsel met rust laten, treedt er weer een scheiding op. Er bestaat n.l. in het grensvlak tusschen de beide vloeistoffen een vrij groote spanning, welke er naar streeft het aanrakingsvlak zooveel mogelijk te verkleinen. Door lang en krachtig te schudden kan men echter een houdbare emulsie van olie in water tot stand brengen; het omgekeerde, de vorming van een bestendige verdeling van water in zuivere olie, hoewel theoretisch even goed denkbaar, is tot heden niet mogelijk gebleken.

De emulsies als bovenbedoeld zijn altijd van een geringe concentratie; een hooger oliegehalte dan 2% heeft men niet kunnen bereiken¹⁾, gewoonlijk bevatten ze veel minder olie. Een voorbeeld van een emulsie van dit soort levert ons o.a. het condensatiewater

¹⁾ Lewis, Koll. Zeitschr., 4, 211 (1909).

van een stoommachine. Op de 1000 liter water is hier ongeveer 1 liter olie in uiterst fijn verdeelden toestand aanwezig ¹⁾). De druppeltjes hebben een middellijn van omstreeks 0,1 micron, dit is één tienduizendste millimeter.

Wij hebben nu na te gaan, waaraan het te danken is, dat deze zeer kleine oliedruppeltjes hun individueel bestaan in het water wél kunnen handhaven. Van een omhullend vliesje, dat hen beschermt, kan hier natuurlijk geen sprake zijn. Er zijn klaarblijkelijk na de fijne verdeeling van de olie andere omstandigheden opgetreden, welke een effect uitoefenen tegengesteld aan dat van de grensvlakspanning en van een zoodanige grootte, dat het de laatste in evenwicht kan houden. De bron van deze aan de grensvlakspanning tegengesteld gerichte kracht is, zooals het onderzoek geleerd heeft, de electriche lading, welke de fijn verdeelde partikeltjes olie in het water bezitten.

Men kan het bestaan van deze lading bij de gedispergeerde deeltjes eener emulsie volgens een microscopische methode op vrij eenvoudige wijze aantoonen. Daartoe brengt men een druppel van de te onderzoeken vloeistof op een voorwerp-glaasje tusschen twee electrodes, b.v. platinadraden, die aan de polen van een electriche batterij verbonden zijn. Zoodra men den stroom sluit, waardoor dus de vetdruppeltjes in een electriche veld komen te liggen, ziet men ze zich bewegen in de richting van de positieve pool. Verandert men de richting van den electriche stroom dan wijzigt zich daarmede ook de bewegingsrichting der vetbolletjes.

Het feit, dat de vetdruppeltjes alle een lading bezitten met hetzelfde teeken, is oorzaak, dat ze elkander evenals de gelijknamige polen van twee magneten, afstooten. Dit is een omstandigheid, die het samentreffen van twee oliedruppeltjes onder invloed van de BROWN'sche beweging tegengaat en het ineenvloeien er van voorkomt.

LEWIS ²⁾ heeft berekend, bij welke grootte van de druppeltjes er evenwicht optreedt tusschen de bedoelde aan elkaar tegengestelde krachten. Hij vond, dat dit het geval is, wanneer de deeltjes een middellijn hebben van ongeveer 0,1 micron.

DONNAN ²⁾ vond op grond van thermodynamische beschouwingen dezelfde „kritische" waarde.

De feiten blijken met de theorie geheel in overeenstemming te zijn. De grootte der oliedruppeltjes van de condenswater-emulsie uit den stoom-cylinder ligt, zooals wij reeds zagen, in dit gebied. Ook bij

¹⁾ W. CLAYTON, The theorie of emulsions, blz. 2 (1923).

²⁾ CLAYTON, *ibid.* blz. 15.

andere emulsies van zuivere olie in water zijn de afmetingen der deeltjes van de orde, zooals de theorie die verlangt.

Evenals de oliedruppeltjes, waarvan zoeven sprake was, bezitten ook de vetbolletjes der melk een negatieve elektrische lading. Dat deze lading in dit geval echter niet alleen verantwoordelijk kan worden gesteld voor de bestendigheid van den emulsietoestand, volgt reeds daaruit, dat de zoeven genoemde kritische waarde voor de middellijn hier enkele tientallen malen overschreden wordt. Bij de melk moet dus nog een andere stabiliseerende factor in het spel zijn.

Om na te gaan, welke dat kan zijn, beschouwen wij eerst weer een systeem, waarvan wij de samenstellende bestanddeelen nauwkeurig kennen. We nemen hiervoor olie en water, waaraan een weinig natron- of kalizeep is toegevoegd. Het blijkt, dat wij nu heel gemakkelijk een fijne verdeling van de olie in de verdunde zeepoplossing tot stand kunnen brengen. Het is heelemaal niet noodig, het mengsel sterk te schudden. Onder geschikte omstandigheden vormt de emulsie zich zelfs zonder dat de vloeistoffen door elkaar geschud worden. De olie wordt, zooals men dat uitdrukt, door de zeep gepeptiseerd.

De concentratie van de emulsie aan olie is vrijwel onbepaald. PICKERING heeft stabiele emulsies weten te bereiden, waarvan de disperse phase 99% van het geheele systeem uitmaakte.

Ter verklaring van de werking der zeep bij de totstandkoming en het in-stand-houden van de fijne verdeling van de olie in het water moeten wij herinneren aan de door GIBBS geformuleerde wet, betrekking hebbende op de adsorbtie van stoffen in het oppervlak van een oplosmiddel. Volgens de bedoelde wet wordt een stof, die de oppervlakte-spanning van een vloeistof verlaagt, in het oppervlak geadsorbeerd, dat wil dus zeggen, dat de concentratie van die stof daar grooter wordt dan binnen in de vloeistof. Deze wet geldt nu niet alleen voor het oppervlak van een oplossing tegenover de lucht of tegenover haar eigen damp, ze is evengoed van toepassing op het grensvlak tusschen twee in elkaar onoplosbare vloeistoffen zooals water en olie.

Van zeep is bekend, dat ze de oppervlakte-spanning van water verlaagt, zij moet zich dus in het scheidingsvlak tusschen water en olie ophoopen. De verlaging van de grensvlakspanning tusschen beide vloeistoffen maakt, dat de olie gemakkelijk verdeeld kan worden in kleine druppeltjes, die dan met een dun zeepvliesje omhuld worden en zich daardoor niet zoo gemakkelijk meer tot grootere droppels vereenigen, wanneer ze ten gevolge van een of andere oorzaak tegen elkaar botsen. Het spreekt wel van zelf, dat de cohesie, de samenhang, van het om de oliedruppeltjes gevormde huidje, een grooten

invloed moet hebben op de houdbaarheid van de emulsie. Overigens is ook hier de beteekenis van de electricische lading, die het samen-treffen van de gedispergeerde deeltjes tegenwerkt, niet geheel uit het oog te verliezen.

Evenals zeep zijn verschillende andere tot de zoogenaamde hydro-phile colloïden behorende stoffen, zooals gelatine, agar, zetmeel, tragacanth-gom, eiwit enz., geschikte stoffen voor het emulgeeren van olie in water.

In melk zijn nu minstens drie verschillende eiwitverbindingen aanwezig, n.l. caseïne, albumine, en globuline. Elk van deze stoffen afzonderlijk is geschikt om een emulsie te stabiliseeren. Het is niet bekend of de adsorptie van een der genoemde eiwitten gemakkelijker plaats vindt dan die van de andere. Wij zullen dus moeten aannemen dat ze alle een verdichting in het grensvlak ondergaan en zoo gezamenlijk een beschuttend laagje om het vetbolletje vormen. Hoe dik dit laagje is, valt moeilijk met zekerheid te zeggen; RAHN ¹⁾ meent, dat men het op ± 5 miljoenste millimeter kan schatten. Vast staat echter, dat dit omhulsel het karakter kan aannemen van een tamelijk vast vliesje. Er is verder alle reden aan te nemen, dat ook de zouten van de melk, voor zoover deze in colloïdalen toestand aanwezig zijn, in het grensvlak geadsorbeerd kunnen worden. Het feit, dat ABDERHALDEN en VÖLTZ zulke hooge aschgehalten vonden in de door hen geïsoleerde vliesjes, ²⁾ zal waarschijnlijk hieruit moeten verklaard.

Uit hetgeen wij tot hiertoe besproken hebben, moge duidelijk geworden zijn, dat er bij de melk twee factoren samenwerken ter stabiliseering van de emulsie n.l. de electricische lading der vetbolletjes en de beschuttende laag, waarmede ze omhuld zijn. Terwijl emulsies van zuivere olie in water hare bestaanbaarheid uitsluitend danken aan de electricische lading der deeltjes, staat bij de melk de beteekenis daarvan verre bij die van den anderen factor ten achter. Hierbij zij nog opgemerkt, dat uit metingen van SIRKS ³⁾ blijkt, dat de lading van de vetbolletjes in melk kleiner is dan die van oliedruppels in zuiver water.

Wij willen thans de verschijnselen, welke bij de oprooming van melk optreden, nader bekijken. Melk, waarin wij door mengen het vet gelijkmatig verdeeld hebben, vertegenwoordigt een systeem, dat niet in evenwicht is. Het vet heeft immers een lager soortelijk gewicht dan het melkplasma, zoodat de resultante van de krachten, die op een vetbolletje werken, naar boven toe gericht is en zal trachten het een opwaartsch gerichte beweging mede te deelen. Bij deze

¹⁾ RAHN, Molkereiphysik, blz. 42 (1925).

²⁾ Zie blz. 7.

³⁾ Versl. v. landbk. onderz. der Rijkslandb. proefst., XXIX, blz. 143 (1924).

beweging ondervinden de vetbolletjes een groote wrijving, die voor de kleine naar verhouding grooter is dan voor de grootere. Evenals fijn zandstof in water langzamer naar den bodem zakt dan grove zandkorrels, die toch hetzelfde soortelijk gewicht hebben, stijgen de kleine vetbolletjes in de melk veel trager omhoog dan de grootere.

De Amerikaansche onderzoeker STOKES heeft een formule afgeleid, welke ons in staat stelt de snelheid te berekenen, waarmede een bolvormig lichaampje zich onder invloed van de zwaartekracht in een middenstof verplaatst. Voor de berekening moeten wij behalve de soortelijke gewichten van het bolletje en van de middenstof, de middellijn van het deeltje kennen en ten slotte nog een factor, n.l. de absolute viscositeit, dit is de inwendige wrijving, van het systeem. Hebben wij voor melk al die gegevens gemeten, dan zijn wij in staat de snelheid, waarmede een vetbolletje van gegeven afmetingen in melk, welke wij rustig laten staan, opstijgt, te becijferen. Voor een vetbolletje met een middellijn van 0.01 mm — zoo een behoort al tot de allergrootste — vinden wij dan een snelheid van ongeveer 1 cm per uur; een vetbolletje, dat 10 maal kleiner is, stijgt echter in denzelfden tijd slechts 0,1 mm.

Ten einde nu te kunnen beoordeelen of de uitkomsten van onze berekeningen door de feiten bevestigd worden, die wij bij de opromming van melk waarnemen, dienen wij eerst iets meer te weten omtrent de grootte der vetbolletjes.

Volgens de gegevens, welke wij hieromtrent in de handboeken over melk of over zuivelbereiding vinden, schommelt de grootte ongeveer tusschen 1 en 10 micron, met een gemiddelde van omstreeks 2,5 micron. Deze gegevens zijn voor ons doel echter niet voldoende. Het is duidelijk, dat de gemiddelde grootte der vetbolletjes in verschillende melkmonsters wel dezelfde kan zijn, terwijl het eene monster betrekkelijk meer groote vetdruppeltjes bezit dan het andere. Dit nu zou op de snelheid, waarmede de room zich vormt, en vooral op het percentage vet uit de melk, dat in een gegeven tijd in den room terecht komt, een grooten invloed kunnen uitoefenen.

Voor de beoordeeling van de vraag of de formule van STOKES bruikbaar is om ons een juist beeld te geven van de snelheid, waarmede de opromming van melk tot stand zou kunnen komen, dienen wij te weten, hoe het melkvet verdeeld is over de verschillende klassen, waarin wij de vetbolletjes naar hunne grootte kunnen rangschikken. Hiervoor is het noodig, dat men van een groot aantal bolletjes de middellijn meet en de uitkomsten dezer metingen in een frequentie-tabel ordent. Om het overzicht gemakkelijk te maken verdient het aanbeveling de gegevens grafisch voor te stellen in een zoogenaamde frequentie-kromme.

Metingen, als hier bedoeld, zijn het eerst uitgevoerd aan het

Rijkslandbouwproefstation te Hoorn door VAN DAM en SIRKS¹⁾ in verband met een door hen verricht onderzoek over de oprooming volgens het Friesche stelsel. Wanneer wij nu de gegevens van de genoemde onderzoekers nader bekijken, valt ons één feit bijzonder op, n.l. dat de frequentie van de vetbolletjes met een middellijn grooter dan 5 micron zoo uiterst klein is en de gezamenlijke massa van deze bolletjes dus ook slechts een klein deel van alle aanwezige vet kan uitmaken. Nu kan volgens berekeningen, gemaakt aan de hand van de formule van STOKES, een vetbolletje van 5 micron in 24 uren tijds slechts ongeveer 6 cm opstijgen. De snelheid van de rest is kleiner. Die, welke het veelvuldigst voorkomen, meten omstreeks 2.5 micron en brengen het in een etmaal nog niet tot 1 cm.

Vergelijken wij deze uitkomsten van de berekening met hetgeen de praktijk ons laat zien, dan komen wij voor verschillende verrassingen te staan.

Daar is in de eerste plaats het feit, dat een hoogte van de melklaag van een halve meter en meer geen beletsel blijkt te zijn om in 10—12 uren een vrij volledige oprooming te krijgen. In dien tijd kan 75—80 en onder gunstige omstandigheden meer dan 90 % van het vet in den room overgaan. Volgens de theorie zouden wij moeten verwachten, dat gekoelde melk slecht oproomt. Deze melk toch heeft een verhoogde viscositeit, waardoor de vetbolletjes een grooteren weerstand ondervinden. Voorts is het verschil in soortelijk gewicht tusschen het melkvet en -plasma door de afkoeling verminderd, doordat het vet bij afkoeling meer inkrimpt dan het plasma; het actieve gewicht der vetbolletjes — de opwaarts drijvende kracht — is dus kleiner geworden. Geheel in tegenstelling met onze verwachtingen, blijkt de gekoelde melk bij het Friesche stelsel en bij dat van SWARTZ echter veel sneller op te roomen dan volgens de oude methodes, waarbij ze bij hoogere temperatuur en in een dunne laag wordt weggezet.

Natuurlijk heeft het niet ontbroken aan pogingen een aannemelijke verklaring te geven van de gunstige uitkomsten, welke de beide hierboven genoemde oproomingsstelsels opleveren. De meeste aandacht is daarbij geschonken aan het oudste van de twee, dat van SWARTZ. Men meende hier de snelle roomvorming te kunnen verklaren, door aan te nemen, dat er bij het koelen stroomingen in de melk optreden, welke de opstijging van het vet in de hand werken. Erg overtuigend was die proeve van verklaring niet en voor het Friesche stelsel, waarbij de melk niet tijdens de oprooming, maar daarvóór wordt afgekoeld, kon ze in geen geval gelden.

¹⁾ Versl. v. landb.k. onderz. der Rijkslandb. proefst., XXVI, blz. 127 en vlg. (1922).

Wij laten dit punt voorloopig nog even rusten. Er zijn nog meer onverwachte verschijnselen, waarop wij eerst de aandacht willen vestigen. Onderzoekingen door VAN DAM en SIRKS¹⁾ te Hoorn en door RAHN²⁾ te Kiel te zelfder tijd onafhankelijk van elkaar verricht, brachten aan het licht, dat een toevoeging van stoffen, zooals saleb, tragacanth, gelatine, arabische gom en zetmeel, die de viscositeit van de melk sterk verhoogden, de oprooming bevorderden, terwijl door die toevoegsels het soortelijk gewicht van het melkplasma nauwelijks gewijzigd wordt. Reeds eerder n.l. in 1916 had HAMMER³⁾ hetzelfde verschijnsel waargenomen bij melk, waaraan hij „viscogen” d.i. suikerkalk had toegevoegd. Ook deze stof verhoogt de taaivloeibaarheid der melk.

Meende men vroeger, dat slecht oproomende melk, zooals men die in de praktijk meermalen aantreft, — òf een grootere taaivloeibaarheid moest hebben dan normaal oproomende melk, òf wel gemiddeld kleinere vetbolletjes moest bezitten dan de laatste, — de onderzoekingen bevestigden dat geenszins. Het verschil in grootte der vetbolletjes bij de twee soorten melk is, als het bestaat, meestal zoo gering, dat de invloed daarvan op de oprooming van geen betekenis kan zijn, terwijl de melk, die het beste oproomt, somtijds een grootere taaivloeibaarheid heeft dan de andere.

Dit alles lijkt nu zeer paradoxaal. Men zou geneigd zijn de vraag te stellen, of de reeds meermalen genoemde wet van STOKES voor de berekening van de snelheid, waarmede de vetbolletjes in de melk opstijgen, wel gebruikt mag worden. Wie hieraan mocht twijfelen, kan echter onmiddellijk gerustgesteld worden; de door directe meting gevonden waarden zijn met de berekende in overeenstemming⁴⁾.

Wij moeten thans wijzen op een verschijnsel, dat voor de verklaring van de oprooming van veel belang is. Bij de voorafgaande beschouwingen hebben wij stilzwijgend aangenomen, dat elk vetbolletje in de melk geïsoleerd is en zich vrij van alle andere beweegt. Het microscopisch onderzoek leert echter, dat zij zich in melk, die eenigen tijd met rust gelaten wordt, tot groepen van twee of meer vereenigen; dikwijls kan men waarnemen, dat er verscheidene in een grooten tros samenhangen. Het is gemakkelijk in te zien, dat een groep van aaneengesloten vetbolletjes een geringeren hydrodynamischen weerstand ondervindt,

¹⁾ Verslag v. landb.k. onderz. der Rijkslandb. proefst., XXVI, blz. 108 en vlg. (1922).

²⁾ Forschungen auf dem Gebiete d. Milchwirtschaft, I, 136 en vlg. (1921).

³⁾ B. W. HAMMER, Agr. Exp. Stat. Ames, Iowa, Research Bull, no. 31, blz. 81 (1916).

⁴⁾ VAN DAM en SIRKS, ibid. 166.

en dus vlugger omhoog moet stijgen, dan elk deeltje afzonderlijk. Men kan berekenen, dat een honderdtal onderling gelijke bolletjes, die tot een gesloten groep aaneen gekit zijn, ongeveer 20 maal zoo snel kunnen stijgen als elk der samenstellende deelen afzonderlijk. Deze berekening geeft wel is waar slechts eene benadering, wijl de vorm der trossen vrij sterk van den bolvorm verschilt, hiertegenover staat echter, dat het aantal eenheden, waaruit de groep bestaat, dikwijls veel grooter is dan honderd. Inderdaad heeft men bij groote trossen snelheden kunnen meten, welke meer dan het honderdvoudige bedroegen van die, waarmede afzonderlijke vetbolletjes zich bewegen ¹⁾).

Het verschijnsel van de trosvorming of agglutinatie der vetbolletjes in de melk was reeds lang bekend. BENNO MARTINY geeft in zijn in het begin van mijn voordracht aangehaalde boek op bladzijde 84 een keurige tekening van het microscopisch beeld der vetbolletjes, in welke figuur verscheidene groepen zijn afgebeeld.

BABCOCK ²⁾, die in 1893 de agglutinatie nader heeft beschreven, was de eerste, die dit verschijnsel in verband bracht met de oprooming. Volgens hem bevat melk steeds een weinig fibrine; door coagulatie van deze stof zouden de vetbolletjes tot groepen worden samengekleefd. Merkwaardig genoeg beschouwt BABCOCK dit als een voor de roomvorming ongunstige omstandigheid. Hij was hiermede, zooals wij thans weten, op den verkeerden weg.

Eerst de reeds genoemde onderzoekingen te Hoorn en te Kiel hebben ons de juiste beteekenis van de trosvorming voor de oprooming geopenbaard. Deze onderzoekingen brachten duidelijk aan het licht, dat slechts dan een vlugge oprooming kan tot stand komen, als de vetbolletjes zich in groepen vereenigen. Naar mate deze groepen grooter worden, stijgen ze sneller omhoog en wordt een grooter deel van het in de melk aanwezige vet in de roomlaag verzameld. De gunstige invloed, welke slijmstoffen, gelatine, gom en dergelijke op de oprooming uitoefenen, blijkt uitsluitend hieraan te danken te zijn, dat die stoffen de agglutinatie bevorderen.

TRAUBE en RACKWITZ ³⁾ deden dezelfde waarneming bij latex, waaraan zij IJslandsch mos toevoegden.

Zoo is ook de snelle oprooming der melk volgens het stelsel van SWARTZ en volgens de Friesche methode voornamelijk toe te schrijven aan het feit, dat de lage temperaturen, welke hier toepassing vinden, de tot stand koming van het genoemde verschijnsel in de hand werken.

¹⁾ VAN DAM en SIRKS, *ibid.* blz. 171.

²⁾ W. A. STOCKING, *Manuel of milk products*, blz. 226 (1919).

³⁾ Sakurei, *Bioch. Zeitschr.* 149, 525—533 (1924).

Overigens hebben wij bij deze oproomingsstelsels nog rekening te houden met een bijzondere omstandigheid, welker invloed niet over het hoofd mag worden gezien. Deze bestaat hierin, dat door de afkoeling van de melk het vet van den vloeibaren toestand, waarin het oorspronkelijk verkeerde, in een vasteren overgaat.

Vroeger heeft men vooral op gezag van SOXHLET algemeen aangenomen, dat het melkvet door de fijne verdeling, waarin het in de melk aanwezig is, zeer moeilijk vast zou worden. SOXHLET beweerde, dat het zelfs bij afkoeling tot nul graden Celsius vloeibaar bleef en jaren lang hebben anderen hem dit nagezegd, ja zelfs thans nog kan men in werken van recenten datum lezen, dat het vet in de melk in onderkoelden toestand voorkomt, terwijl FLEISCHMANN¹⁾ reeds in 1902 met zijne onderzoekingen over de soortelijke warmte van melk heeft aangetoond, dat het melkvet bij kamertemperatuur al vast begint te worden. Reeds lang daarvoor, nl. in 1890, had GILTAY²⁾ op grond van de waarneming, dat het microscopisch beeld der vetbolletjes niet altijd zuiver cirkelvormig begrensd is, er op gewezen, dat de vetbolletjes „niet uit een gemakkelijk beweeglijke vloeistof „kunnen bestaan, want kleine hoeveelheden daarvan nemen als ze „vrij in een ander vocht zweven, den bolvorm aan. Ze kunnen dus „slechts van een vaste of van zoogenaamde halfvaste stof zijn.”

Deze opmerking van GILTAY, gepubliceerd in een leerboek over microscopie, schijnt den onderzoekers, die zich met de melk bezig hielden, niet bekend te zijn geweest, tot ze door VAN DAM in zijn publicatie van een onderzoek over den physischen toestand van het melkvet weer naar voren is gebracht. Het hier bedoelde onderzoek van VAN DAM³⁾, dat berust op de meting van de uitzetting van op verschillende wijzen behandelde room, heeft ons een inzicht gegeven in de quantitative veranderingen, welke er in den aggregaatoestand van het vet optreden, als de melk gekoeld wordt. Door de afkoeling wordt de kristallisatie van het vet ingeleid. Deze in-tredende kristallisatie bevordert klaarblijkelijk de agglutinatie. Buitendien komt er bij het vastworden van het vet een niet onbelangrijke hoeveelheid smeltingswarmte vrij; de zich vormende trossen ver-warmen hierdoor het omringende plasma, waardoor ze in een minder viskeuse vloeistof komen te liggen en ten gevolge daarvan met grootere snelheid kunnen opstijgen. Uit een en ander blijkt, dat de samenstelling van het melkvet en de daarmede gepaard gaande meerdere of mindere neiging tot kristallisatie van invloed moet zijn op de snelheid, waarmede de room zich afscheidt.

¹⁾ Journ. f. Landw. 50. 33 (1902).

²⁾ GILTAY. Zie noot blz. 5.

³⁾ Versl. v. landbk. onderz. der Rijkslandb. proefst. XVI (1915).

De wetenschap, dat de agglutinatie der vetbolletjes voor de roomvorming van zooveel gewicht is, doet ons onmiddellijk de vraag stellen, door welke factoren dit verschijnsel bij emulsies in het algemeen wordt beheerscht. Wij laten dus het bijzondere geval, waarmede wij bij de melk te maken hebben, een oogenblik rusten om het vraagstuk uit een meer algemeen wetenschappelijk oogpunt te bekijken.

Het verschijnsel van de agglutinatie van de vloeistofbolletjes in een emulsie is tot op zekere hoogte te vergelijken met dat van de uitvlokking bij colloïdale oplossingen. Eigenlijk bestaat er tusschen een colloïdale oplossing en een emulsie slechts een gradueel verschil, hetwelk hierdoor gekenmerkt is, dat de disperse deeltjes van de laatste microscopisch zichtbaar zijn, terwijl die der andere zooveel kleinere afmetingen hebben, dat ze beneden die grens blijven.

Een emulsie van zuivere olie in water komt overeen met een colloïdale oplossing van het type, waartoe b.v. een goudsol behoort. Bij beide wordt de bestendigheid bepaald door de elektrische lading der deeltjes. Neemt men deze lading door toevoeging van geschikte zouten zoover weg, dat ze beneden een zekere grenswaarde daalt, dan vlokt het goud uit en wordt de bestendigheid van de emulsie opgeheven. Is de lading onder de „kritische” waarde gedaald, dan kunnen de oliedeeltjes, mede doordat de toevoeging van de electrolyten het electrisch geleidingsvermogen der vloeistof heeft verhoogd, elkaar onder invloed van de BROWN'sche beweging zoo dicht naderen, dat ze binnen elkanders aantrekkingsfeer komen. Hierbij treedt dan als eerste verschijnsel agglutinatie of trosvorming op. Zooals LIMBURG¹⁾ opmerkt, behoeft dit nog niet direct samenvloeiing tot grootere druppels, dus coagulatie, ten gevolge te hebben; het individueel bestaan der gliedruppels kan bewaard blijven. LIMBURG beschouwt de agglutinatie als een reversibelen vorm van coagulatie, welken men door de vloeistof te schudden althans voor het grootste gedeelte weer kan opheffen. Indien de bolletjes met een grootere kracht tegen elkaar botsen, vloeien ze samen; in het laatste geval hebben wij te doen met een niet omkeerbaar verschijnsel, hetwelk te vergelijken is met de botervorming bij het karnen.

Het feit, dat men de trosvorming bij emulsies van zuivere olie in water waarneemt, wijst er op, dat de aanwezigheid van een of andere kleefstof geen noodzakelijke voorwaarde is voor de tot stand koming der agglutinatie.

Beschouwen wij thans de emulsies, waarbij stoffen zooals zeep, gom, eiwit of iets dergelijks een beschuttende laag om de oliedeeltjes

¹⁾ H. LIMBURG, Onderzoekingen over emulsies, Diss. blz. 95. Delft (1924)

vormen. Indien een van deze stoffen in voldoende hoeveelheid aanwezig is, zoodat de oliedruppeltjes er volledig door omhuld zijn, neemt de emulsie, colloïd-chemisch gesproken, het karakter aan van de stof, die de beschuttende laag vormt. Dit komt bijv. bijzonder duidelijk uit, indien gelatine als emulgeerend agens aanwezig is. De electriche lading der oliedruppeltjes blijkt hier afhankelijk te zijn van den reëlen zuurheidsgraad van het milieu. Laat men dezen stijgen, dan wordt de lading eerst nul (het isoelectrische punt) om daarna van teeken te veranderen. Men heeft dus niet meer te doen met het grensvlak olie — water, doch met dat tusschen gelatine en water¹⁾.

De bestendigheid van de emulsie is, wanneer de gelatine-concentratie een zeker minimum heeft overschreden, onafhankelijk van de lading der deeltjes. LIMBURG constateerde hetzelfde met saponine als beschuttende stof. Hoewel saponine de grensvlakspanning niet bijzonder sterk doet dalen, is een dergelijke emulsie zeer bestendig. Zij vertoont echter het verschijnsel der trosvorming in bijzondere mate; dat de in een tros dicht opeen gepakte oliedruppeltjes in weerwil van de vrij grootte grensvlakspanning niet samenvloeien, wijst er op, dat saponine een zeer elastisch huidje vormt.

Het spreekt wel van zelf, dat men bij melk gezocht heeft naar de factoren, welke de meerdere of mindere agglutinatie beheerschen.

Aan de hand van de onderzoekingen van VAN DAM en SIRKS hebben wij reeds iets hieromtrent medegedeeld. De door afkoeling van de melk intredende kristallisatie van het vet bleek de vorming van trossen te bevorderen. Genoemde onderzoekers vonden voorts dat de zwaartekracht op dit proces geen invloed uitoefent, een waarneming, welke door die van LIMBURG bij emulsies van paraffine-olie wordt bevestigd.

Dat het meer of minder samenballen der vetbolletjes niet beheerscht wordt door hare electriche lading is, uit hetgeen wij hiervoor medegedeeld hebben, reeds waarschijnlijk geworden. Overigens is dit door metingen van SIRKS²⁾, verricht bij goed en slecht oproomende melk, nader bevestigd.

Geheel overeenkomstig de verwachtingen vond deze onderzoeker bij emulsies van zuiver botervet in water een veel hooger bedrag voor de lading dan bij melk. Werd het botervet in eiwithoudend melkserum geemulgeerd, dan werden ten naasten bij dezelfde waarden als in melk gevonden. Uit deze resultaten blijkt wel weer heel duidelijk, hoe de in het grensvlak geadsorbeerde stoffen het karakter

¹⁾ LIMBURG, *ibid.* blz. 85.

²⁾ Versl. v. landbk. onderz. der Rijkslandb. proefst. XXIX, blz. 137 en vlg. (1924).

en de eigenschappen der emulsie bepalen. De aard van deze stoffen schijnt ook het agglutinatie-proces te beheerschen. Alleen weten wij nog altijd niet, welk melk-bestanddeel hiervoor verantwoordelijk te stellen is. Wel is het zeker geworden, dat de veronderstelling van BABCOCK ¹⁾, dat de vetbolletjes door gestolde fibrine tot trossen samengevoegd worden, niet juist kan zijn; fibrine komt, zooals HEKMA ²⁾ vaststelde, in normale melk niet voor.

Dat het de caseïne, de albumine of de globuline der melk zou zijn, die de neiging der melkvetbolletjes tot trosvorming bepalen, is niet aan te nemen; immers dan zou het moeilijk te verklaren zijn, waarom dit proces bij de eene melk zooveel gemakkelijker optreedt dan bij een andere.

Klaarblijkelijk hebben wij in de melk te doen met een voorhands nog onbekende stof, die de eigenschap bezit, dat ze in het grensvlak geadsorbeerd wordt en dan de vetbolletjes gemakkelijk doet samenkleven.

Merkwaardig is, dat deze eigenschap bij verhitting van de melk verloren gaat. Dit verklaart dan ook, waarom hoog gepasteuriseerde en gekookte melk zoo slecht oproomt. De vetbolletjes blijven los van elkaar liggen en stijgen slechts uiterst langzaam omhoog. Wanneer men zulke melk lang genoeg laat staan, komen ten slotte althans de grootere vetbolletjes toch aan de oppervlakte, waar ze een dunne roomlaag vormen met een hooger vetgehalte dan die, welke wij bij vlugger oproomende melk verkrijgen. Bij de laatste is de room lossier van bouw.

De oude theorie volgens welke de vetbolletjes in de verhitte melk bezwaard zouden zijn met gestolde albumine, een theorie, die zoo aannemelijk leek, wijl de vermindering van de oprooming intreedt bij een verwarming boven 63° C., bij welke temperatuur ook de albumine begint te stollen, is ondeugdelijk gebleken.

RAHN ³⁾ toonde aan, dat de oorzaak van de slechte oprooming van verhitte melk gelegen is in een verandering in de naaste omgeving der vetbolletjes. Wanneer men n.l. melk door centrifugeeren ontroomt, de ondermelk pasteuriseert en dan weer met den niet verwarmden room vermengt, krijgt men een mengsel, dat zeer normaal oproomt. Het tegendeel is het geval, indien men de proef zóó uitvoert, dat men in plaats van de ondermelk den room pasteuriseert.

Ten slotte zij nog medegedeeld, dat men door aan verhitte melk gelatine of slijmstoffen toe te voegen, het agglutinatieproces en

¹⁾ l. c.

²⁾ Versl. v. landbk. onderz. d. Rijkslandb. proefst. XXVIII, blz. 22—46 (1923).

³⁾ Forschungen I, 142 en vlg. (1921).

daarmede de normale roomvorming weer kan herstellen. De toegevoegde stoffen kunnen dus de rol overnemen van de stof, welke door de verwarming boven 63° C. onwerkzaam was gemaakt.

Welke deze laatste stof is en waarom die in sommige melken nagenoeg ontbreekt, dat blijft ons voorloopig nog verborgen en zoolang dit het geval is, zullen wij moeten bekennen, dat een afdoende verklaring van het oproomingsproces nog niet is gegeven.