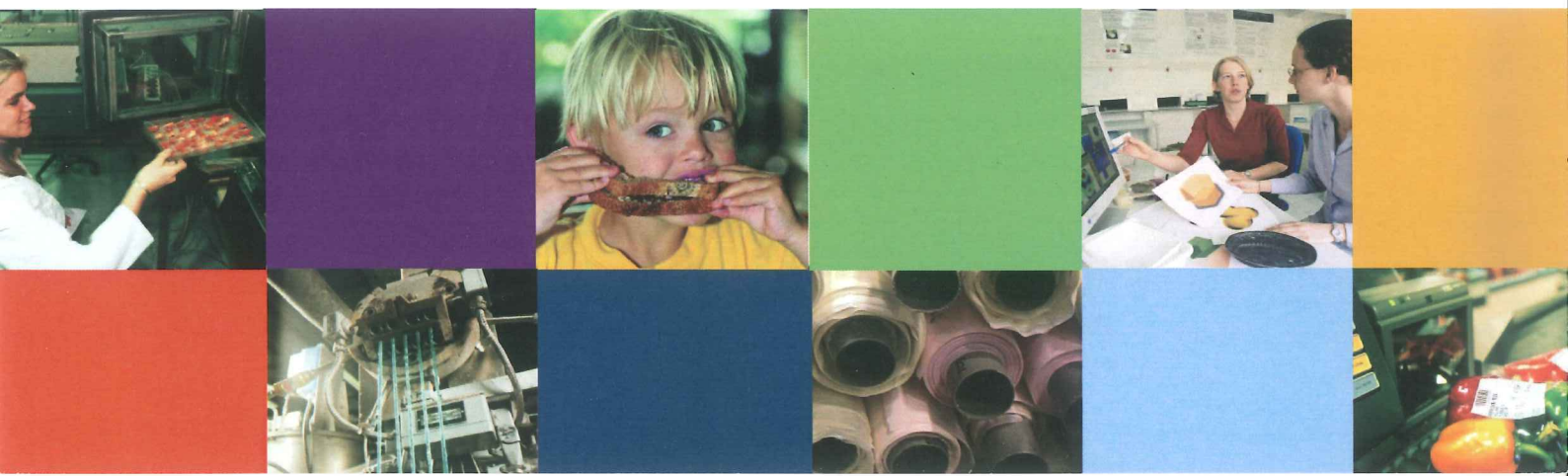




Technologie voor het maken van een volgende generatie vleesvervangers: de shear cell technologie

Remco Hamoen, Jeroen Knol, Johan Vereijken

Rapport 1396



Technologie voor het maken van een volgende generatie vleesvervangers: de shear cell technologie

Remco Hamoen, Jeroen Knol, Johan Vereijken

Rapport 1396

Colofon

Titel	Technologie voor het maken van een volgende generatie vleesvervangers: de shear cell technologie
Auteur(s)	Remco Hamoen, Jeroen Knol, Johan Vereijken
Nummer	1396
ISBN-nummer	978-94-6173-612-3
Publicatiedatum	april 2013
Vertrouwelijk	Nee
OPD-code	12620045
Goedgekeurd door	Ben Langelaan

Wageningen UR Food & Biobased Research
P.O. Box 17
NL-6700 AA Wageningen
Tel: +31 (0)317 480 084
E-mail: info.fbr@wur.nl
Internet: www.wur.nl

© Wageningen UR Food & Biobased Research, instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, hetzij mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele fouten of onvolkomenheden.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system of any nature, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publisher. The publisher does not accept any liability for inaccuracies in this report.

Abstract

It is expected that the global demand for meat and meat products will be doubled in 2050, compared to the present figures. The development of a new generation meat replacing products may help to meet this increasing demand in a sustainable way, especially if the characteristics of these meat replacers have a closer resemblance to real meat products. This resemblance is of crucial importance: a substantial part of the meat eaters will only choose for meat replacers if the preparation, mouth feel and overall experience is similar to the current meat products.

With the current state-of-the-art technologies meat replacing products can be made that mimic the characteristics of chicken meat in terms of fibre structure and bite. Recently two new technologies, electrostatic spinning and the shear cell technology, have been developed on lab-scale that have the potential to create an even more fibrous texture and, therefore, could be the start of an entire new generation of meat replacing products.. This report focusses on the shear cell technology.

The existing technologies have originally been developed to efficiently mix and heat dispersions, and have later been adopted for the structuring and texturization of proteins. The shear technology, however, has specifically been developed to create structured materials. Due to the simple shear flow in a shear cell, proteins will align in the flow field, thereby forming fibrous structures. Both the formation process as well as the length of the fibres can be narrowly controlled in a shear cell.

The proof-of-principle for the shear cell technology has been delivered by the research group of Dr. Van der Goot of Wageningen University (Dept. Food Process Engineering). Several publications from this group have demonstrated the potential to create fibrous structures from different (plant) proteins. These fibrous structures clearly contained a hierarchical structure, which is one of the most important characteristics of the structure of meat. This observation clearly indicates the potential of the shear cell technology to form the basis for an entire new generation of meat replacing products with textural properties that closer meet the consumer demands.

The purpose of this study is to substantiate the next step in the development of this technology: the transition from fundamental research (proof-of-concept) to more applied research (technology development). In this phase the scale-up of the technology requires special emphasis. For this purpose different designs of the scaled up shear cell technology have been made of which the pros and cons are discussed in this report. Special attention in this discussion is paid to sustainability aspects, as they are crucial for the successful implementation of the technology (next to the quality aspects of the products).

At this moment two configurations for the shear cell have been developed: the conical and the cylindrical shear cell. The cylindrical one appears to be the most appropriate for scaling-up to larger processing volumes. In the scale-up assessment 5 different application sectors are discerned: 1. Domestic use; 2. Restaurants; 3. Out-of-home / food services; 4. Retail business (e.g., butchery) and 5. Food industry. The relevant process parameters have been quantified for each of these sectors, and, using these figures, an estimation of the design parameters for the shear cell has been made.

The Food industry sector concerns the large volume production of meat replacement products, for which the extrusion technology is currently the standard. Compared to this latter technology, the shear cell technology may provide advantages in terms of sustainability, next to the improved textural properties of the product. The calculations show that the required energy input during production may be 25 to 40% lower. With respect to water use and product losses during cleaning the differences between the two technologies are estimated to be very small. The investment costs for the shear cell technology are estimated to be 40 to 60% of the costs involved with the extrusion technology.

The other four sectors are all aimed at the de-central / local production of meat replacing products on a smaller scale. This kind of production has the following advantages:

- No energy use for distribution and cold chain storage of the products.
- Less food waste, as production can be tailor-made to the local demand.
- The possibility to make meat replacing products for specific target groups, e.g. with respect to nutritional (allergy, amino acid demand) and textural quality (chewing and swallowing requirements).
- The possibility to better fulfil consumer requirements with respect to the use of additives, herbs and spices, as well as regional or organic ingredients.

The shear cell technology is currently the only technology suited for small-scale production of meat replacing products, and as such, has the potential to open a new market segment. This unique advantage, combined with the better quality of the products, will be brought forward in the coming period during discussions with (potential) producers of meat replacers, equipment suppliers as well as end-users of the technology like restaurants, catering and out-of-home services. This report provides an excellent substantiation for these discussions.

Finally, we like to emphasize that the shear cell technology that has been developed in The Netherlands, is unique in the world. This technology can provide The Netherlands an additional competitive advantage in the area of meat replacing products – an area where The Netherlands has already been frontrunner for years.

Samenvatting

De mondiale vraag naar vlees en vleesproducten zal ten opzichte van nu in 2050 verdubbeld zijn. Eén van de mogelijkheden om op een duurzame manier aan deze toenemende vraag te voldoen is de ontwikkeling van vleesvervangers, die beter dan de huidige vleesvervangers aansluiten bij de wensen van de consumenten met betrekking tot gelijkenis op vlees. Deze gelijkenis is van cruciaal belang omdat het, om een deel van de vleeseters te laten kiezen voor vleesvervangers, noodzakelijk is producten te ontwikkelen die zowel in bereiding, mondgevoel en complete beleving niet onder doen voor vlees.

Met de gangbare technieken kunnen vleesvervangers gemaakt worden die de vezelachtigheid/beet van kippenvlees benaderen. Recent zijn op labschaal een tweetal technologieën ontwikkeld die in potentie meer vezelachtige structuren genereren en derhalve aan de basis kunnen liggen van een nieuwe generatie vleesvervangers. Deze technologieën zijn elektrostatisch spinnen en een technologie die we hier aanduiden als de shear cell technologie. In dit rapport wordt alleen aandacht besteed aan deze laatste technologie.

De bestaande technologieën zijn oorspronkelijk bedoeld om efficiënt te mengen (en te verhitten), maar deze zijn aangepast voor het structureren van eiwitten. De shear cell daarentegen is ontworpen om te structureren. In de shear cell worden de eiwitten in een unidirectioneelstromingsveld uitgelijnd in de omwentelingsrichting. Door dit uitlijnen ontstaan structuren, waarin met het oog reeds vezels te onderscheiden zijn. Zowel het vormingsproces van de vezels als de lengte ervan kan in de shear cell nauwkeurig gereguleerd worden.

Wat betreft technologische haalbaarheid van de shear cell technologie is het 'proof of principle' reeds geleverd. In diverse publicaties van de onderzoeksgroep van Van der Goot (WU Proceskunde) is aangetoond dat met diverse (plantaardige) eiwitten vezelachtige structuren gevormd kunnen, met daarin duidelijk een hiërarchische structuur, wat één van de belangrijke kenmerken is van de vleesstructuur. Met de shear cell technologie kan dus in potentie een nieuwe generatie vleesvervangers gemaakt worden, die wat betreft texturele eigenschappen beter voldoet aan de wensen van de consument.

Het doel van deze studie is een gedegen basis te leggen voor een verdere stap in de ontwikkeling van deze technologie, de stap van de overgang van fundamenteel onderzoek (principe ontwikkeling) naar meer toegepast onderzoek (technologie ontwikkeling). In deze fase staat de problematiek rond de opschaling centraal. Om hier inzicht in te krijgen, zijn in deze studie diverse ontwerpen voor de opgeschaalde shear cell geschetst en de voor- en nadelen bediscussieerd. Daarbij wordt met name aandacht besteed aan duurzaamheidsaspecten, omdat deze aspecten naast kwaliteitsaspecten van de producten van cruciaal belang zijn voor het introduceren van een nieuwe technologie.

Op dit moment zijn er voor het gebruik in het laboratorium twee typen shear cell apparaten ontwikkeld: de conische en de cilindrische shear cell. Voor opschaling is deze laatste het meest geschikt. Er worden vijf sectoren voor opschaling van de shear cell onderscheiden, te weten apparaten voor gebruik in 1) het huishouden, 2) restaurants, 3) food services (zorginstellingen), 4) de detailhandel (slagerij) en 5) de industrie. Voor elk van deze sectoren zijn de procesparameters geïnterpreteerd en ontwerpparameters voor de shear cell ingeschat.

De industriële sector betreft de grootschalige productie van vleesvervangers waarvoor thans extrusie de meest gangbare technologie is. De shear cell lijkt hiervoor, naast de reeds genoemde texturele karakteristieken, een beter perspectief te bieden wat betreft de benodigde energie input bij de productie. Berekeningen laten zien dat deze 25 tot 40% lager kan zijn dan bij inzet van de extrusietechnologie. Wat betreft watergebruik en productverliezen bij schoonmaken lijken er slechts kleine verschillen te zijn tussen de beide technologieën. De shear cell technologie lijkt dus wat betreft duurzaamheidsaspecten (energie, water en productverliezen) door het geringere energieverbruik beter te scoren dan de gangbare extrusie technologie. Ook zijn de investeringskosten van de shear cell technologie aanzienlijk lager (40 tot 60%) dan die voor de extrusietechnologie.

De vier andere sectoren zijn alle gericht op decentrale productie van vleesvervangers op kleinere schaal. Een dergelijke productie biedt de volgende voordelen:

- Geen energieverbruik voor distributie en koeling van vleesvervangers.
- Minder voedselverspilling omdat de productie beter op de vraag kan worden afgestemd.
- De mogelijkheid om gericht vleesvervangers te maken voor specifieke doelgroepen met betrekking tot nutritionele (bijvoorbeeld allergische eiwitten, gehalte aan essentiële aminozuren) en texturele kwaliteit (bijvoorbeeld kauwbaarheid) van de vleesvervangers.
- De mogelijkheid om beter in te spelen op consumentenwensen betreffende het gebruik van additieven, verse kruiden en specerijen en regionale of biologische ingrediënten.

De shear cell technologie is thans de enige technologie die geschikt lijkt voor de kleinschalige productie van vleesvervangers en kan dus dit nieuwe marktsegment openen. Dit unieke voordeel - en de potentiële betere kwaliteit - zal in de komende periode naar voren worden gebracht in besprekingen met vertegenwoordigers van (potentiële) producenten van vleesvervangers, gebruikers van vleesvervangers zoals cateraars en restaurants, zorginstellingen en producenten van apparatuur. Dit rapport biedt een uitstekende basis voor de discussies met deze vertegenwoordigers.

Ten slotte willen we nogmaals benadrukken dat de in Nederland ontwikkelde shear cell technologie uniek is in de wereld. Deze technologie kan Nederland een voorsprong geven op het gebied van vleesvervangers, een gebied waarin Nederland in de laatste jaren reeds een koppositie heeft verworven.

Inhoudsopgave

Abstract	3
Samenvatting	5
1 Inleiding	8
1.1 Achtergrond	8
1.2 Shear cell technologie	9
1.3 Doelstelling van de studie	11
1.4 Leeswijzer	12
2 Shear cell technologie	13
2.1 Vezelvorming met eiwitten	13
2.2 Vezelvorming met de shear cell technologie	14
2.3 Huidige shear cell varianten	15
3 Opschaling van de shear cell technologie	19
3.1 Ontwerpregels met betrekking tot opschaling	19
3.2 Scenario's voor opschaling van de technologie	20
3.2.1 Thuis	22
3.2.2 Restaurants	23
3.2.3 Food Service (o.a. Zorgsector)	24
3.2.4 Slagerij (inclusief vegetarische slagers)	24
3.3 Dimensionering van de conceptontwerpen	24
4 Vergelijking van shear cell technologie met extrusie.	27
4.1 Energiegebruik	28
4.2 Waterver- en gebruik	30
4.3 Voedselverspilling	31
4.4 Economische aspecten	32
5 Discussie en conclusies	33
6 Route naar implementatie	35
Referenties	36
Dankbetuiging	38
Bijlage	39

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

De komende decennia zal de mondiale vraag naar vlees en vleesproducten nog verder stijgen. Ten opzichte van nu zal deze vraag in 2050 verdubbeld zijn. Eén van de mogelijkheden om aan deze vraag te voldoen is de ontwikkeling van een nieuwe generatie vleesvervangers die beter aansluit bij de wensen van de consumenten met betrekking tot gelijkenis op vlees. Zoals uit eerder onderzoek is gebleken is het, om een deel van de vleeseters over te halen te kiezen voor vleesvervangers, noodzakelijk om producten te ontwikkelen die zowel in bereiding, mondgevoel en complete beleving niet onder doen voor vlees (Hoek, 2010; Knol et al, 2012).

Vleesvervangers worden gemaakt door eiwitten te mengen, te garen en te koelen. Het is de bedoeling dat door de behandeling eiwitten gestructureerd worden tot vezelachtige producten waarvan de macrostructuur en textuur zoveel mogelijk op vlees lijken.

Het maken van vleesvervangers kan worden opgedeeld in een drietal stappen: het produceren en isoleren van eiwitten, het vormen van een vezelachtige structuur voor een gewenste macrostructuur en textuur en als laatste het op smaak brengen en vormgeven van de vleesvervanger. Grondstoffen die als uitgangsmateriaal voor vleesvervangers kunnen dienen zijn in een eerder project in kaart gebracht (Stegeman et al, 2010). In deze rapportage ligt de focus op de tweede stap, het creëren van de vezelachtige structuur.

Momenteel zijn er een tweetal technieken in commercieel gebruik voor het vormen van vezelachtige eiwitstructuren. Deze technieken duiden we hieronder kort aan met de termen Mengen & Roeren en Extrusie. Met de eerst genoemde techniek worden de ingrediënten van de vleesvervanger gemengd tot een relatief laag visceuze suspensie (met een hoger vochtgehalte dan gebruikelijk voor extrusieprocessen). Veelal worden specifieke polysachariden toegevoegd waardoor een vezelachtigere structuur wordt verkregen. Bij deze techniek wordt conventionele apparatuur voor mengen, verhitten en vormgeven gebruikt.

Met de techniek Extrusie worden de ingrediënten gemengd en verhit in een extruder. Door de combinatie van afschuif- en rekkrachten in de extruder worden vezelachtige structuren gevormd, echter de vezels zijn relatief kort.

Met de technieken Mengen & Roeren en Extrusie kunnen vleesvervangers gemaakt worden die de textuur/beet van kippenvlees benaderen. Beide technieken waren oorspronkelijk bedoeld om ingrediënten efficiënt te mengen, maar zijn aangepast voor het maken van structuren voor vleesvervangers. Een duurzame en rendabele technologie voor het maken vezelachtige structuren van eiwitten was nog niet beschikbaar. In het verleden zijn dergelijke structuren gemaakt met de spintechnologie. Echter, de producten gemaakt met deze technologie en de toen beschikbare grondstoffen (met name eiwitverrijkte fracties uit soja) bleken nietaan de consumentenwensen voldoen. Verder is deze technologie vooral door het grote watergebruik en de bijkomende afvalstromen (veroorzaakt door de grote hoeveelheden zout en niet-gebruikt eiwit) niet duurzaam.

Recent zijn op labschaal een tweetal technologieën ontwikkeld die vezelachtige structuren genereren en in potentie aanzienlijk duurzamer zijn dan de gangbare technologieën Roeren en Mengten en Extrusie (Kolfshoten et al., 2011). Deze technologieën zijn elektrostatisch spinnen en een technologie die we hier aanduiden als de shear cell technologie. In dit rapport wordt alleen aan deze laatste technologie aandacht besteed; het elektrostatisch spinnen wordt door TNO onderzocht.

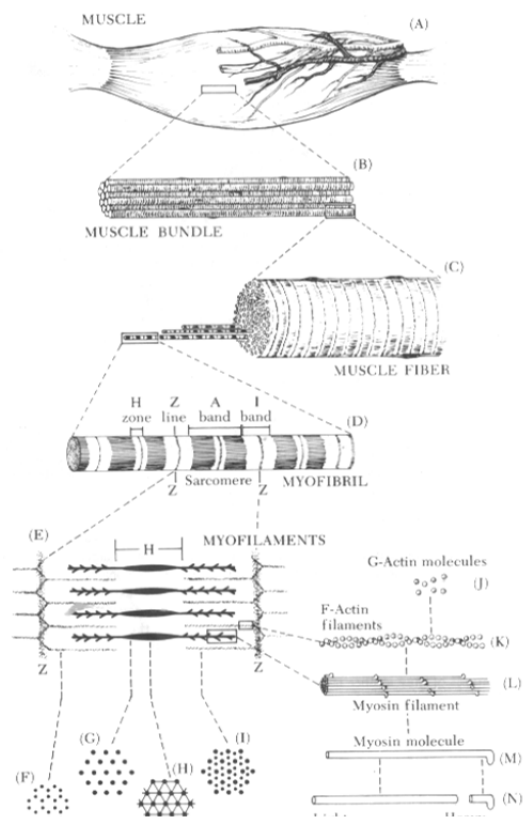
1.2 Shear cell technologie

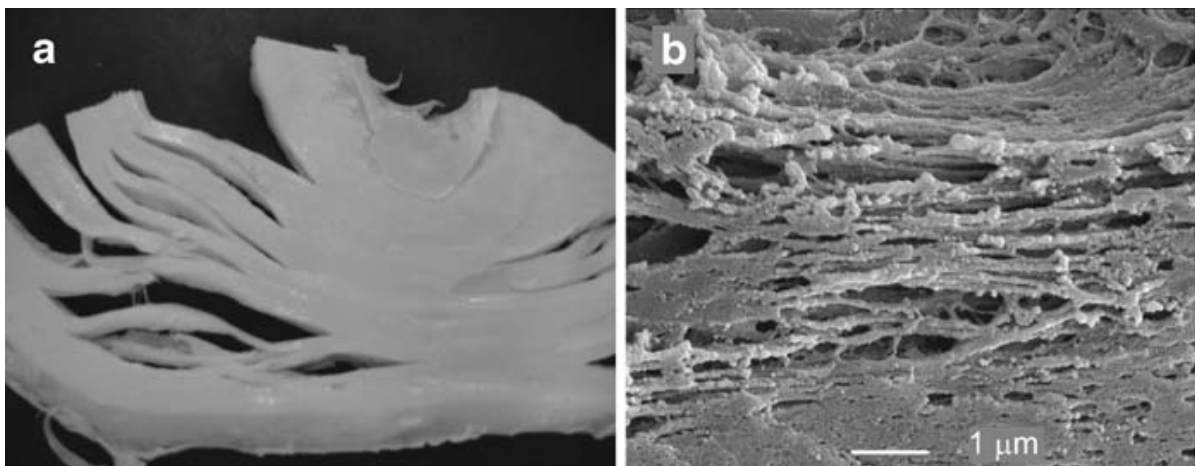
De doelstelling van dit project is om inzicht te verkrijgen in de technologische en economische haalbaarheid van de shear cell technologie voor het maken van vezelachtige structuren op basis van plantaardige eiwitten. Wat betreft technologische haalbaarheid is het “proof of principle” reeds geleverd. In diverse publicaties van de onderzoeksgroep van Van der Goot (Manski 2007a,b, 2008) is aangetoond dat vezelachtige structuren gevormd kunnen worden met als uitgangsmateriaal het melkeiwit caseïne. Manski (2007a) heeft laten zien dat met de shear cell technologie bij gebruik van een 30% Ca-caseïnaat dispersie vezels gevormd met een dikte van 100 tot 200 nanometer (zie Figuur 1). Uit deze figuur wordt tevens duidelijk dat er sprake is van een hiërarchische structuur, wat één van de belangrijke kenmerken is van devleesstructuur (zie kader 1). Indien palmvet wordt

toegevoegd ontstaan er bundels van vezels die ingebed zijn in lagen van palmvet. Ook een aantal plantaardige eiwitgrondstoffen (afkomstig van soja en tarwe) zijn uitgetest. Deze testen wijzen erop dat ook met deze materialen vezelachtige structuren worden verkregen (Figuur 1; A.J. van der Goot, persoonlijke communicatie).

Kader 1: De opbouw van de skeletspier.

De bouwstenen van een spier, de myo- en actinefilamenten die samen een sarcomeer vormen, zijn geordend in langgerekte myofibrillen. Deze myofibrillen zijn in de lengterichting gebundeld tot vezels. De vezels zijn weer in de lengterichting gebundeld tot spierbundels. De spierbundels zijn in de lengterichting geordend tot spieren.





Figuur 1. Vezelstructuur ontstaan door Ca-caseïnaat te verwerken in de shear cell (a). In b is een opname te zien van de microstructuur.

Dit rapport is gericht op het gebruik van de shear cell technologie voor het maken van vezelachtige structuren. De inzet van deze technologie is echter niet beperkt tot deze toepassing, maar is ook op andere gebieden mogelijk. Zo hebben Van der Goot en medewerkers aangetoond dat met deze technologie uit tarwemeel gluten en zetmeel gewonnen kunnen worden (Peighambardoust et al., 2008). De functionaliteit van het geïsoleerde gluten bleek gelijk aan of beter dan die van commerciële glutenpreparaten (Van der Zalm et al, 2011). Verder kan deze technologie worden ingezet om het broodbereidingsproces verder te optimaliseren. Door gebruik te maken van stromingspatronen als in de shear cell, lijkt overknedden van deeg minder voor te komen (Peighambardoust et al, 2005, 2006). Er is aangetoond dat het mogelijk is om een goed brood te maken van deeg dat in de shear cell is bewerkt (Peighambardoust et al, 2010). Hierdoor zouden voor deze toepassing ook tarwerassen gebruikt kunnen worden met een lagere bakkwaliteit. Dergelijke rassen worden veel geteeld in Nederland omdat die rassen onder de Nederlandse omstandigheden een hogere opbrengst per hectare opleveren dan rassen met een hoge bakkwaliteit.

Afgezet op de Technologisch Innovatie Piramide (zie kader 2) bevindt de shear cell technologie zich momenteel op de overgang van Principe-ontwikkeling (de basis) naar Technologie-ontwikkeling (de 2^e laag). De “proof of principle” van de shear cell technologie voor het maken van vezelachtige structuren is reeds geleverd. Voor de nabije toekomst ligt het accent op de overgang van labschaal naar pilotschaal, waarin de problematiek rond opschaling centraal staat. Als de technologie is opgeschaald en de economische potentie goed lijkt, dus als de nieuwe technologie producten oplevert waar vraag naar is/zal komen, kan de ontwikkeling overgaan naar het gebied van de vraagontwikkeling (de top van de piramide). In het vraagontwikkelingsgebied spelen niet meer de technologische afdelingen een leidende rol, maar nemen andere afdelingen uit een bedrijf (bijvoorbeeld marketing) deze over. Ook andere delen van de kennisinfrastructuur komen hier naar voren. In deze fase van het innovatieproces gaat het om vragen rond het organiseren van productieketens, kwaliteit, logistiek, bedrijfseconomische aspecten, marktomvang etcetera.

Kader 2: De Technologische Innovatie Piramide

Deze piramide bestaat uit drie begrensde gebieden, die tijdens de verschillende fases van het innovatieproces, tot aan marktintroductie, doorlopen worden. Verschillende spelers bevolken de gebieden en zij creëren in elk gebied een eigen dynamiek. De piramidevorm van het model symboliseert dat er heel veel ideeën onderin nodig zijn om tot een aantal concrete toepassingen te komen die op de markt komen. Circa 95% van de gestarte R&D-trajecten leveren uiteindelijk niet het gewenste product op. Sommige trajecten leveren helemaal niets op, de meeste leiden weer tot nieuwe ideeën, waarvan dan ook weer slechts zo'n 5% levensvatbaar blijkt te zijn.



De Technologische Innovatie Piramide (uit Bos en Van den Heuvel (2005)).

In gebied 1, de principeontwikkeling, worden ideeën voor nieuwe technologieën, materialen of producten uitgewerkt. Idealiter sluiten de potentiële mogelijkheden van de nieuwe technologie of product aan bij een marktvraag of een vraag naar producten die goedkoper, beter, veiliger en/of gezonder zijn. In dit gebied wordt er naar gestreefd de technologische haalbaarheid van het nieuwe idee aan te tonen zodat het idee kan doorgroeien naar de volgende fase van het innovatieproces.

Wanneer blijkt dat een idee technologisch haalbaar lijkt (proof of principle is aangetoond) en ook de economische potentie goed lijkt, kan het doorstoten naar de 2^e laag, het technologieontwikkelingsgebied.

Hier wordt de technologie van het idee verder ontwikkeld en opgeschaald (dus bijvoorbeeld het bouwen van een concreet apparaat op middelgrote schaal, waarbij kan worden onderzocht tegen wat voor problemen men bij het opschalen van de technologie aanloopt).

In dit gebied spelen de technische ontwikkelaars bij de bedrijven samen met universiteiten en kennisinstituten een leidende rol. De verblijftijd van een innovatie in dit gebied ligt tussen enkele maanden en vele jaren, afhankelijk van de complexiteit van de innovatie.

1.3 Doelstelling van de studie

Met de shear cell technologie kan in potentie een nieuwe generatie vleesvervangers gemaakt worden, waarvan de eigenschappen zullen verschillen van die van de bestaande vleesvervangers. In potentie kunnen langere vezels gemaakt worden, waardoor de texturele/beet eigenschappen van het product waarschijnlijk beter voldoen aan de wensen van de consument. Het doel van deze studie is een gedegen basis te leggen voor een verdere stap in de ontwikkeling van deze technologie, de stap van de overgang van fundamenteel onderzoek (principe ontwikkeling) naar meer toegepast onderzoek (technologie ontwikkeling). In deze fase staat de problematiek rond de opschaling centraal. Om hier inzicht in te krijgen, worden in deze studie diverse ontwerpen voor de opgeschaalde shear cell geschetst en bediscussieerd. Daarbij wordt met name aandacht besteed aan duurzaamheidsaspecten, omdat deze aspecten, naast consumentenacceptatie van de nieuwe producten, van cruciaal belang zijn voor het introduceren van een nieuwe technologie. De duurzaamheidsaspecten worden daarom vergeleken met de meest gangbare (Vereijken, 2006 en Riaz, 2011) technologie voor het maken van vleesvervangers, de extrusie technologie. Verder

wordt aandacht besteed aan de economische aspecten, met name de investeringskosten van de opgeschaalde shear cell in vergelijking met de extruder.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de shear cell technologie beschreven evenals de huidige varianten van het apparaat. Hoofdstuk 3 is gericht op de opschaling. De ontwerpregels worden beschreven, evenals diverse scenario's voor de opschaling en de daarbij behorende dimensionering van de apparatuur. In hoofdstuk 4 wordt de opgeschaalde shear cell vergeleken met de extruder wat betreft duurzaamheid en economische aspecten. Het rapport wordt afgesloten met de belangrijkste conclusies (Hoofdstuk 5) en een route naar implementatie van de shear cell technologie (hoofdstuk 6).

2 Shear cell technologie

2.1 Vezelvorming met eiwitten

Eiwitten kunnen worden beschouwd als polymeren van lange ketens met repeterende eenheden (de aminozuren). Deze ketens zijn opgebouwd uit flexibele eenheden. De evenwichtstoestand is door de vrije draaibaarheid om de bindingen in de hoofdketen te vergelijken met een wanordelijke kluwen wol. Een product opgebouwd uit polymeren in een dergelijke configuratie is volledig isotroop, dat wil zeggen, de eigenschappen van het product zijn in alle richtingen dezelfde.

Voorkeursoriëntatie, ofwel anisotropie, is te verkrijgen door de kluwen te vervormen door er een kracht op uit te oefenen, bijvoorbeeld in een stromingsveld. Zodra de kracht wordt weggenomen zal de kluwen terugveren naar de oorspronkelijke toestand. Het terugveren is te voorkomen door het fixeren van de structuur, bijvoorbeeld door verlaging van de temperatuur, verwijdering van het oplosmiddel of het toevoegen van een crosslink-middel. Van de oriënteerbaarheid van polymeren wordt dankbaar gebruik gemaakt bij het maken van vezels of folies. Deze producten worden gekarakteriseerd door een hoge mate van anisotropie in de macroscopische eigenschappen, zoals sterkte en vervormbaarheid.

De meest eenvoudige manier om polymeerketens een voorkeursoriëntatie te geven is door middel van zogenaamde rek- of elongatiestroming. Rekstroming is het type stroming dat optreedt wanneer een materiaal door een convergerend kanaal beweegt en vloeistofdeeltjes ten opzichte van elkaar worden uitgerekt. Dit type stroming is dominant bij het spinnen van vezels, waarbij materialen worden verkregen met een sterke voorkeursoriëntatie in één richting. Zoals reeds eerder is vermeld wordt de vezelspinttechnologie met eiwitten verder door TNO uitgewerkt. Oriëntatie van polymeerketens kan ook verkregen worden met een ander type stroming, namelijk de zogenaamde afschuifstroming (Engels: shear flow). Bij afschuifstroming staat de snelheidsgradiënt loodrecht op de deformatierichting (in tegenstelling tot rekstroming, waar de snelheidsgradiënt parallel is aan de deformatierichting, Figuur 2). Onder invloed van afschuifstroming kunnen polymeerketens zich uitrekken en uiteindelijk micro-fibrillen vormen. Dit is het principe dat in de shear cell wordt toegepast.



Figuur 2. Dispergeren in afschuifstroming of in elongatiestroming.

2.2 Vezelvorming met de shear cell technologie

Zoals hierboven beschreven, wordt bij de shear cell technologie gebruik gemaakt van een afschuiving om vezelstructuren te vormen. Shear cell apparaten zijn uniek vanwege het combineren van een gedefinieerd stromingsprofiel en grote afschuifspanning. Het stromingsprofiel beïnvloedt het vormingsproces van de vezels – de mate van afschuifkracht kan gebruikt worden om de totale vezellengte en concentratie nauwkeurig te reguleren. De shear cell is dus specifiek gericht op structureren. Dit in tegenstelling tot een extruder, een machine die vaak gebruikt wordt voor het maken van producten als pasta's en chips, maar tegenwoordig ook voor vleesvervangers. De extruder is gangbaar gericht op mengen, pompen en vormgeven. Het extrusieproces resulteert in een combinatie van afschuivings- en rekkrachten, afhankelijk van de geometrie van de extruderonderdelen (schroefopbouw, schroefhuis, uitstroomopening). Het minder goed gedefinieerde krachtenveld in een extruder leidt ertoe dat er, naast krachten die zorgen voor vezelvorming, ook krachten optreden die vezels beschadigen. Dit beperkt de mogelijkheden voor vezelvorming. Hierdoor worden er, in vergelijking met de shear cell, in een extruder naar verwachting mindervezelachtige structuren gevormd, en zijn de gevormde structuren minder goed gedefinieerd en korter. Door extra aanpassingen van de extruder en van de procescondities kan het vezelachtige karakter van de structuren wel verbeterd worden.

De structuren die in de shear cell gevormd worden, moeten gefixeerd worden. In eerste instantie werd hiervoor het enzym transglutaminase gebruikt. Dit enzym zorgt voor dwarsverbindingen tussen de eiwitketens en fixeert daardoor de structuur. Omdat de kosten van dit enzym hoog zijn, is door Van der Goot en medewerkers naar alternatieven gezocht. Een heel geschikte methode bleek verhitte te zijn: verwarmen van de shear cell tot een temperatuur in de range van 90 - 130°C leidt, afhankelijk van vooral de eiwitgrondstof, tot fixatie van de structuur. Bij die temperaturen ontvouwen globulaire eiwitten, waardoor zij allerlei interacties met elkaar kunnen aangaan (zowel covalente als niet-covalente) en de structuur gefixeerd wordt. De meeste industriële eiwitten van plantaardige grondstoffen zijn globulaire eiwitten en lenen zich derhalve goed voor fixatie door verhitting.

Met dispersies in de orde van 30-50% materiaal in water kunnen met de shear cell technologie vezelachtige structuren gevormd worden. De concentraties zijn mede afhankelijk van de gewenste structuren (o.a. stevigheid), het type van de grondstof (gluten, soja, melkeiwit etc.) en de zuiverheid ervan. Wat dit laatste betreft zijn zowel isolaten (eiwitgehalte >90%) als concentraten (eiwitgehalte >60%) gebruikt. Concentraten lijken, waarschijnlijk mede door de aanwezigheid van op koolhydraten gebaseerde vezels, betere vezelachtige structuren op te leveren.

De labschaal experimenten zijn tot nu toe altijd bij een constante verblijftijd uitgevoerd, te weten 15 minuten. De instelling van de shear rate is wel gevarieerd: in het gebied van 30-200 s⁻¹ worden

vezelachtige structuren gevormd. Bij lagere afschuifsnelheden worden meestal meer isotrope structuren gevormd; afschuifsnelheden boven 200 s^{-1} zijn nog niet getest

Samenvattend zijn de uitgeteste procesparameters:

- Concentratie van eiwitgrondstof in water: 30-50%
- Temperatuur: $90 - 140^\circ\text{C}$
- Verbliftijd: standaard ingesteld op 15 minuten
- Shear rate: $30-200 \text{ s}^{-1}$

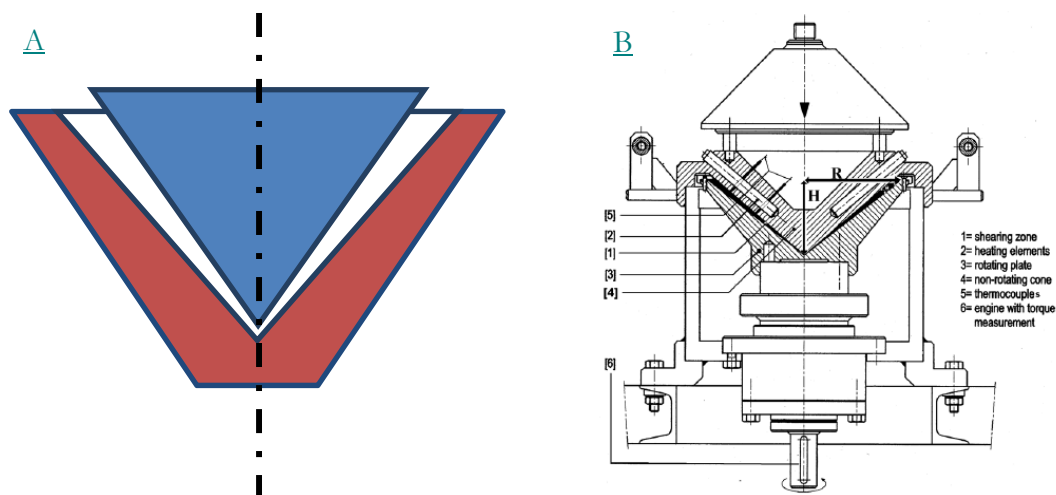
Bij deze instellingen varieert de energie input per kg product van 100 tot 400 kJ. Aangetekend moet worden dat er nog geen optimalisatie van de procesparameters heeft plaatsgevonden. Met name de verbliftijd waarbij de vezelachtige structuren gevormd worden moet nog verder onderzocht worden. Het is goed mogelijk dat de gewenste structuren al in een veel kortere tijd gevormd worden dan bij de nu gehanteerde standaardinstelling van 15 minuten. Voor de energie-input is de verbliftijd een significante factor: een halvering van de verbliftijd leidt tot een halvering van de energie input.

2.3 Huidige shear cell varianten

Labschaal

Momenteel zijn er twee varianten van de shear cell beschikbaar.

De eerste variant is weergegeven in Figuur 3. Deze bestaat uit twee kegels met een verschillende hoek. In de schematische weergave (Figuur 3A) is het roterende deel rood aangegeven. Het blauwe deel staat stil. Tussen deze twee delen bevindt zich het product.



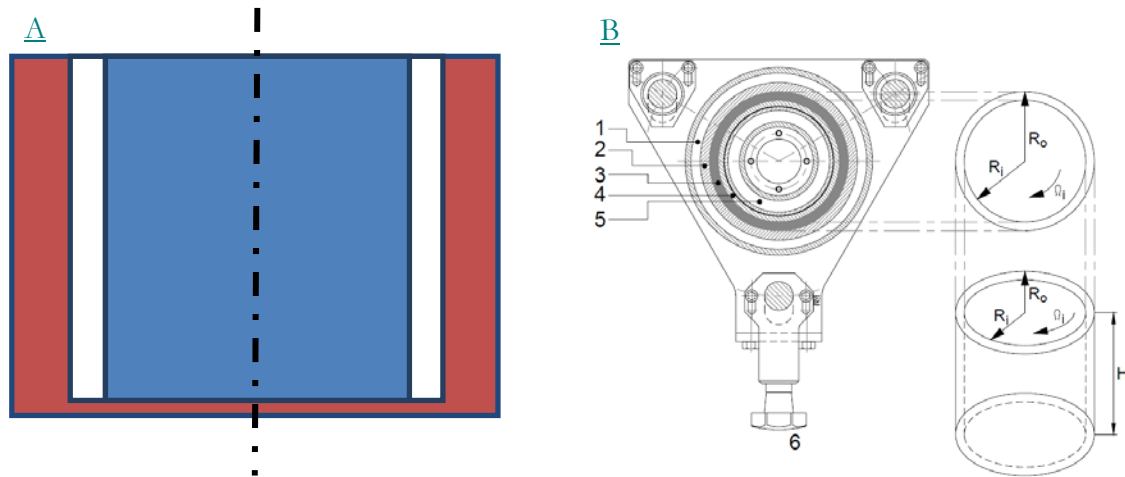
Figuur 3. Conische shear cell. In de schematische weergave(A) is het roterende conus rood, het product wit en stilstaande conus blauw.

Door de verschillende hoeken van de conussen neemt in deze variant de spleet lineair toe met de radius, waardoor de shear rate $\dot{\gamma}$ constant is:

$$\dot{\gamma} = \frac{\vec{v}}{d} = \frac{\omega \cdot r}{k \cdot r} = \frac{\omega}{k} \quad (1)$$

Waarin k de verhouding is tussen de straal en de grootte van de spleet.

De tweede variant is weergegeven in Figuur 4 en gebaseerd op een couette geometrie bestaande uit twee concentrische cilinders.



Figuur 4. Couetteshear cell. In de schematische weergave (A) is de stilstaande cilinder rood, het product wit en roterende cilinder blauw.

Omdat de straal over de gehele hoogte is, is de shear rate constant en gelijk aan:

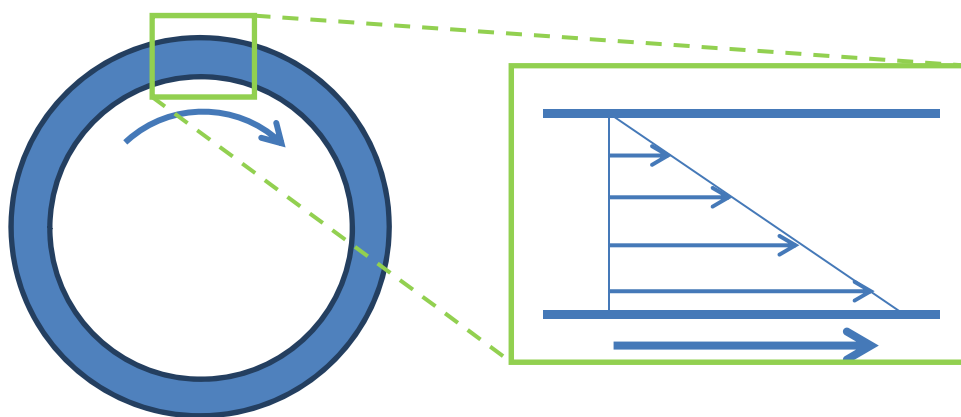
$$\dot{\gamma} = \frac{\vec{v}}{d} = \frac{\omega \cdot r_{avg}}{r_{buiten} - r_{binnen}} \quad (2)$$

Voor opschaling is deze laatste variant het meest geschikt. Ten eerste omdat deze relatief hetmeeste product bevat en ten tweede om dat deze eenvoudiger te maken is.

De cilindrische shear cell (Couette cel) bestaat uit 2 cilinders, die met een verschillende snelheid draaien. Daarbij zijn 4 uitvoeringen denkbaar:

- De binnenste cilinder staat stil en de buitenste roteert,
- De buitenste cilinder staat stil en de binnenste roteert,
- Beide cilinders roteren met een verschillende snelheid,
- Beide cilinders roteren tegen elkaar in.

Een apparaat met een stilstaande buitencilinder heeft meerdere voordelen. Zo is de aandrijving eenvoudiger te realiseren en is het lossen van het product minder complex. In de schematische weergave (Figuur 4A) roteert dan het blauwe deel en staat het rode deel stil. Het product bevindt zich tussen de 2 cilinders. Het aanzicht van boven is schematisch weergegeven in Figuur 5.



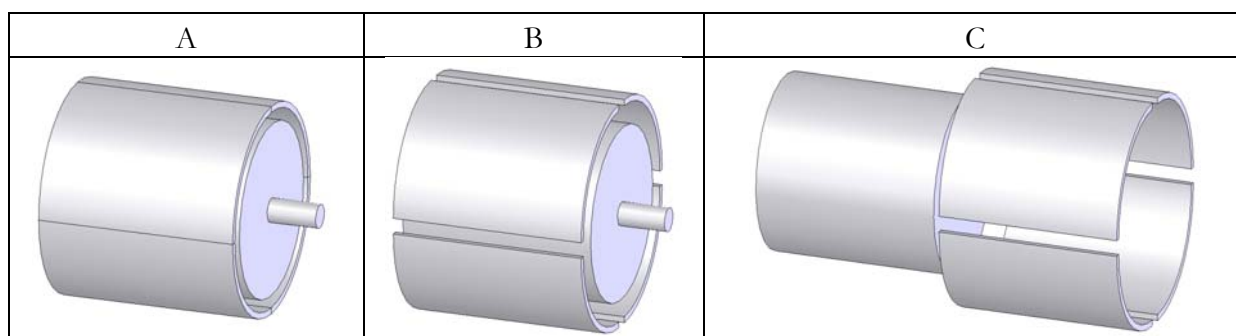
Figuur 5. Schematische weergaven van een CouetteShear cell.

In het rechter deel van Figuur 5 is duidelijk te zien hoe de schuifspanning is opgebouwd. Deze schuifspanning is afhankelijk van het onderlinge snelheidsverschil van de 2 cilinders en de afstand tussen de cilinders.

Er kleeft echter één nadeel aan deze configuratie. Taylor (1923) heeft aangegeven dat wervelingen kunnen optreden wanneer de binnenste cilinder een relatief hoog toerental t.o.v. de buitenste cilinder heeft. Deze kunnen de vorming van vezelachtige structuren verhinderen.

Pilot- / productieschaal

Wanneer een Couette cel gebruikt zou worden voor de productie van vezelachtige vleesvervangers, dan zou het productieproces globaal uit de volgende stappen kunnen bestaan:



Figuur 6. Schematische weergaven van de productie stadia.

1. Vullen (Figuur 6A)

De buitenmantel wordt gesloten alsmede de voor- en achterzijde van het systeem. Vervolgens wordt het uitgangsmateriaal in het systeem (tussen de cilinders) gepompt.

2. Afschuiven (Figuur 6A)

De binnenste cilinder wordt d.m.v. een elektromotor aangedreven. Het toerental kan gedurende het proces worden aangepast, afhankelijk van de gewenste structuur en de viscositeit van het systeem. In deze fase moet de ontstane structuur ook gefixeerd worden; het ligt voor de hand om dit te doen door het verhogen van de temperatuur.

3. Openen (Figuur 6B)

Zodra het product is gestructureerd wordt de buitenmantel geopend. De 4 segmenten verplaatsen iets naar buiten, waardoor het product alleen nog contact maakt (en meedraait) met de roterende binnen cilinder.

4. Legen (Figuur 6C)

De roterende cilinder wordt langzaam naar achteren bewogen. D.m.v. messen kan het product in dunne repen van de cilinder worden gesneden en verder worden verwerkt.

5. Sluiten (Figuur 6A)

Als het product van de cilinder is verwijderd, kan de cilinder weer in de buitenmantel worden geschoven en kunnen de segmenten vervolgens worden gesloten. De cyclus begint dan weer bij stap 1.

3 Opschaling van de shear cell technologie

3.1 Ontwerpregels met betrekking tot opschaling

Om na te gaan of de wervelingen ook ontstaan in de opgeschaalde uitvoering van de Couette cell moet de theorie van Taylor worden gegeneraliseerd. In de hier beschreven context houdt dat in dat de theorie moet worden geëxtrapoleerd. We zijn ons ervan bewust dat extrapolaties grotere onzekerheid met zich kunnen meebrengen.

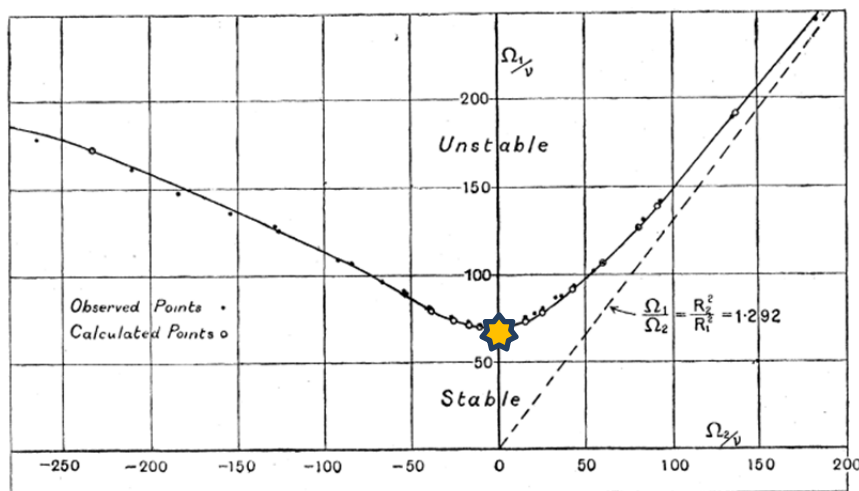


Fig. 18. Comparison between observed and calculated speeds at which instability first appears; case when $R_1 = 3.55$ cm., $R_2 = 4.035$ cm.

Figuur 7. Stabiele en instabiele regio's als functie van binnen- en buiten toerental.

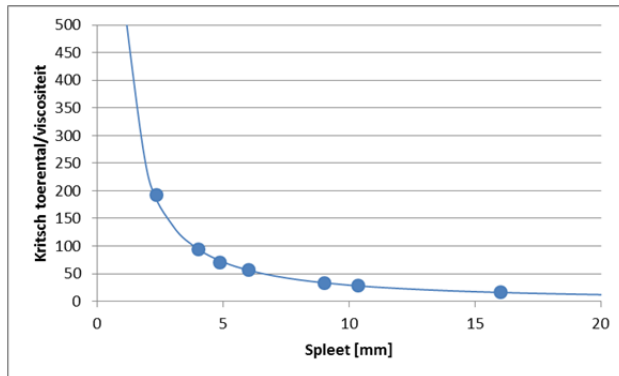
In Figuur 7 is te zien dat de overgang van het stabiele naar het instabiele gebied een minimum vertoont bij een stilstaande buitencilinder (in de figuur aangegeven met een ster). Met een meedraaiende buiten cilinder (in de figuur naar rechts)gaat het toerental van de binnencilinder waarbij het proces instabiel wordt omhoog en nadert de asymptoot, met $\frac{\Omega_1}{\Omega_2} = \text{constant}$. Met een tegendraaiende buitencilinder (in de figuur naar links) neemt het toerental waarbij de overgang plaatsvindt, ook toe, maar minder sterk dan bij de meedraaiende cilinder.

Eerder is al aangegeven dat een apparaat waarbij de buitenste cilinder stilstaat meerdere praktische voordelen heeft. Daarom is bij het ontwerpen van de shear cell uitgegaan van een roterende binnencilinder en een stilstaande buitencilinder, ondanks het kleinere, stabiele werkgebied.

Als de buiten cilinder stil staat, dan is de shear rate:

$$\dot{\gamma} = \frac{r_{\text{binnen}} \omega_{\text{binnen}}}{d} \quad (2)$$

Het kritische toerental is een functie van de spleetbreedte en neemt af bij een toenemende spleet (Figuur 8).



Figuur 8. Kritisch toerental als functie van spleetbreedte; boven het kritische toerental kunnen ongewenste wervelingen ontstaan.

De meest voor de hand liggende opties om de shear cell op te schalen is het vergroten van de cilinders (zowel in diameter als in lengte, het vergroten van de spleet en het verlagen van het toerental.

Dit ontwerp is gebaseerd op het kritisch stabiliteitspunt. Wanneer er tijdens de productie vezelstructuren worden gevormd, kunnen deze het ontstaan van wervels belemmeren. Hierdoor verschuift het kritisch stabiliteitspunt omhoog en kan het toerental wellicht omhoog, waardoor de productietijd afneemt en de productiehoeveelheid toeneemt.

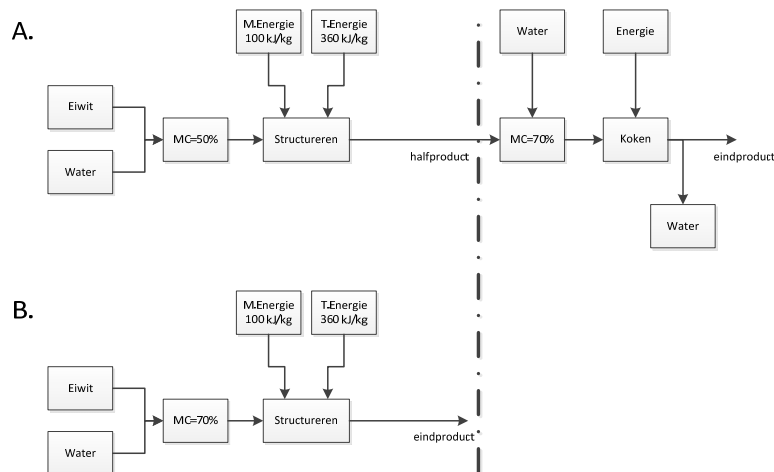
3.2 Scenario's voor opschaling van de technologie

Productie met een Shear cell is een batch proces. Shear cell apparaten met verschillende productie capaciteiten kunnen voor verschillende sectoren worden ingezet. Afhankelijk van de sector verschilt het gewenste productievolume, de productietijd (uren per dag dat het apparaat effectief wordt gebruikt) en daarmee de capaciteit van het apparaat. We onderscheiden 5 sectoren, variërend van een apparaat voor huishoudelijk gebruikt (sector thuis) tot een apparaat voor de industriële productie. Deze vijf sectoren en de daarbij behorende schaalgrootten in termen van productievolume, - tijd en -capaciteit staan weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1. Overzicht van de verschillende schaalgrootten met bijbehorende productievolume, - tijden en capaciteiten.

Sector	Productievolume	Productietijd	Capaciteit
Thuis	0.5 kg/dag	0.5 uur/dag	1 kg/uur
Restaurants	5 kg/dag	3 uur/dag	1.7 kg/uur
Food services	15 kg/dag	3 uur/dag	5 kg/uur
Slagerij	50 kg/dag	5 uur/dag	10 kg/uur
Industrie	3 ton/dag	8 uur/dag	375 kg/uur

Naast het verschil in schaalgrootte zijn er nog meer verschillen tussen de toepassingen in de verschillende sectoren. Het grootste verschil zit tussen de sector industrie en de andere sectoren. Dit heeft te maken met de houdbaarheid van het product, die in hoge mate afhangt van het vochtgehalte. In Figuur 9 is dit schematisch weergegeven.



Figuur 9. Vereenvoudigde processchema shear cell technologie, uitgaande van een laagvochtgehalte (A) en een hoog vochtgehalte (B). MC (moisture content) is watergehalte.

Bij de industriële toepassing van de shear cell (Figuur 9A) zit een groot tijdsverschil tussen productie en consumptie. Hierdoor speelt de microbiële houdbaarheid een belangrijke rol. Om deze te garanderen is een gekoelde logistieke keten nodig of, zoals veelal gebeurt met geëxtrudeerde producten, moet het product zelfs gedroogd worden om bederf te voorkomen. Wanneer het product op locatie wordt geproduceerd, is een kortere houdbaarheid acceptabel. Dit biedt de mogelijkheid om hogere vochtgehaltes toe te passen, waardoor direct een eindproduct wordt verkregen het gewenste vochtgehalte (Figuur 9B). Daarnaast hoeven in deze producten geen, door de consument vaak ongewenste, houdbaarheidsverlengende additieven te worden gebruikt.

Shear cell technologie op industriële schaal lijkt geen specifieke voor- en nadelen te bieden wat betreft kenmerken van het product (anders dan de vezelachtigheid) ten opzichte van de extrusie technologie: er wordt een tussenproduct gemaakt dat verder moet worden opgewerkt tot een vleesvervanger. In de andere sectoren is extrusie nog niet ingezet, mede omdat extrusie een complex proces (o.a. zijn er veel variabelen die de textuur van het product beïnvloeden) en daardoor niet of nauwelijks geschikt is om door consumenten te laten uitvoeren. De shear cell technologie betreft een aanzienlijk eenvoudiger proces dat minder complexe en daardoor waarschijnlijk ook minder kostbare apparatuur vereist.

De shear cell technologie lijkt derhalve perspectieven te bieden voor een geheel nieuw marktsegment voor vleesvervangers, het segment van productie op locatie en directe consumptie.

Hieronder wordt ingegaan op de nieuwe mogelijkheden die dit biedt richting consument en op ontwerpeisen van de benodigde apparatuur.

Naast het logistieke/microbiële voordeel biedt het bereiden van producten op kleinere schaal voor directe consumptie nog meerdere andere voordelen, namelijk:

- De versheid van het product. Het product dat op kleine schaal bereid wordt is vers. Daardoor kunnen bij de productie verse kruiden en specerijen gebruikt worden. Deze verse smaakmakers zullen de producten een groter vers karakter geven dan industrieel bereide producten.
- De mogelijkheid om voor specifieke doelgroepen kleine batches te maken. Bij verschillende doelgroepen kan gedacht worden aan consumenten met een allergie (bijvoorbeeld voor melk en gluten), consumenten die specifieke ingrediënten nodig hebben (bijvoorbeeld eiwitten met een hoge nutritionele kwaliteit voor ouderen), maar ook doelgroepen die specifieke texturele producteigenschappen nodig hebben (bijvoorbeeld mensen met slikproblemen).
- De mogelijkheid tot verwerking van gevoelige additieven. In de industrie is het gebruik van sommige specifieke additieven zoals bepaalde gezonde ingrediënten of smaak- en geurstoffen zeer lastig vanwege hun instabiliteit bij processing en opslag. Een goed voorbeeld hiervan zijn hoog onverzadigde vetzuren zoals visvetzuren. Deze vetzuren zijn zeer instabiel vanwege hun hoge gevoeligheid voor oxidatie (ontstaan van onder andere ongewenste geurstoffen/ranzigheid). Door het bereiden en direct consumeren van shear-cell producten is het mogelijk deze zeer gezonde stoffen makkelijker toe te passen.
- De gebruiker heeft gehele vrijheid wat betreft combinatie van ingrediënten. Hierdoor kan er gemakkelijk gevarieerd worden met verschillende grondstoffen, inclusief eiwitten van plantaardige en dierlijke oorsprong. Deze vrijheid kan bijdragen aan het geleidelijk overgaan van consumptie van dierlijke eiwitten naar plantaardige. Daarnaast kunnen op kleine schaal verkrijgbare duurzame regionale producten verwerkt worden die op industriële schaal nog niet beschikbaar zijn. Verder leidt de combinatie van ingrediënten tot consument-specifieke producten, met andere woorden, voor ieder wat wils.

De verschillende sectoren stellen andere eisen met betrekking tot de apparatuur. Daarom worden de ontwerpeisen per sector behandeld evenals enkele inherente voordelen per sector.

3.2.1 *Thuis*

Bij het gebruik van de shear cell in de thuissituatie is het belangrijk dat het technisch functioneren onafhankelijk van de kennis en ervaring is gewaarborgd: er komt altijd een goed product uit. Gebruiksgemak speelt hierbij ook een belangrijke rol. Daarnaast moet rekening gehouden worden met de volgende ontwerpeisen: veiligheid (mechanisch, elektrisch), productie van geluid, warmte en geur, reinigbaarheid en design. Het energieverbruik is voor de gemiddelde consument een minder belangrijk criterium.

Een shear cell bestaande uit twee conische elementen zou een zeer geschikte configuratie zijn, die eventueel apart (stand-alone) of als elementen voor een keukenmachine geleverd zou kunnen worden.

Voor de consument thuis is het een groot voordeel dat de vleesvervanger uit langhoudbare ingrediënten gemaakt kan worden. Dit geeft zowel flexibiliteit in productie moment als in type product. De consument kan zelf bepalen welke grondstoffen gebruikt worden. Dit heeft als groot voordeel dat gebruik van verse smaakmakers mogelijk is en – vaak door de consument ongewenste -conserveermiddelen niet nodig zijn. Bovendien zullen de kosten van de ingrediënten laag zijn, zodat de consument een voordelig product kan maken.

Verder is er direct zicht op de bereiding wat grote voordelen biedt voor consumenten met een allergie. Voor mensen met een allergie is het namelijk een grote uitdaging om geschikte producten te vinden in de markt. Daarbij komt ook nog dat bedrijven geregeld recepten wijzingen wat een grote alertheid vraagt van de allergische consument.

3.2.2 Restaurants

Keukenapparatuur wordt in restaurants in het algemeen toegepast door professionele gebruikers, die de onderliggende relaties tussen procesinstellingen en producteigenschappen begrijpen, en deze ook gebruiken bij het ontwikkelen van nieuwe producten en concepten. Ruimte om procesparameters te variëren en robuustheid van de apparatuur speelt voor deze gebruikers een belangrijkere rol dan voor de thuisconsumenten. Daarnaast moet het apparaat geschikt zijn voor meer routinematige productie, bij voorkeur ook met een snelle responstijd om te voorkomen dat teveel product op voorraad moet worden gemaakt. Reinigbaarheid is in alle gevallen een zeer belangrijk criterium.

Voor de toepassing in restaurants zal de meerwaarde vooral zitten in het maken van nieuwe texturen die leiden tot nieuwe smaak beleving. Ook het gebruik van op kleine schaal beschikbare ingrediënten, zoals biologische en/of regionale producten biedt mogelijkheden voor profilering van het restaurant, evenals nieuwe eiwit bronnen zoals algen en insecten. Deze nieuwe eiwitbronnen kunnen via deze weg mogelijk makkelijker een plek in de markt veroveren. Ook kan het introduceren van de shear cell technologie binnen de restaurantsector de ontwikkeling van meer geavanceerde hybride producten bevorderen. De shear cell maakt het mogelijk om verschillende combinaties van vlees of vis met plantaardige eiwitten te verwerken tot aantrekkelijke getextureerde producten.

De ontwikkeling van deze nieuwe concepten in de restaurantsector kan een mooie opstap zijn voor nieuwe concepten in de retail.

3.2.3 *Food Service (o.a. Zorgsector)*

Voor toepassing in het Food Service gebied gelden feitelijk dezelfde criteria als voor de restaurants, waarbij de geschiktheid voor routinematige productie, herhaalbaarheid en snelle responstijd nog wat zwaarder wegen dan de ruimte die het apparaat moet bieden voor nieuwe producten en concepten.

Heel belangrijk binnen de zorgsector is dat de shear cell technologie, zoals hierboven al toegelicht, de mogelijkheid om voor de specifieke doelgroepen speciale producten te maken die inspelen op specifieke medische behoeftes aan voedingsstoffen (gehalte aan eiwit, aminozuursamenstelling, gezondheid bevorderende stoffen als visvetzuren, etc.). Verder bestaat er binnen de zorg de doelgroep van ouderen/patiënten die moeilijk eten in verband met krachtverlies en slikproblemen. Voor deze specifieke doelgroep kunnen zachtere texturen ontwikkeld worden. Op deze manier kan wel de sensatie van vleeseten voor deze groep binnen handbereik komen.

3.2.4 *Slagerij (inclusief vegetarische slagers)*

Het kleinschalige productiesysteem voor de detailhandel heeft vergelijkbare ontwerpeisen als het systeem voor restaurants en de zorgsector. Belangrijk is de mogelijkheid om het aanbod-gericht af te stemmen op de vraag van de consument (zowel wat betreft hoeveelheid als smaak). De shear cell technologie kan gebruikt worden om kleine hoeveelheden te produceren. De beperkte productietijd biedt de mogelijkheid om gedurende de dag de voorraad aan te vullen, vergelijkbaar met de wijze waarop een ambachtelijk slager gehakt zou kunnen aanvullen. Hierdoor wordt overproductie, en daarmee afval in de vorm van overschotten, verminderd of zelfs voorkomen.

Producttechnisch kan de shear cell technologie voor de slagerij bijdragen aan het verder ontwikkelen van hybride producten: dierlijke en plantaardige ingrediënten kunnen makkelijk gecombineerd worden tot een getextureerd product. Ook past de shear cell technologie goed binnen de opkomende vraag naar milieuvriendelijke, biologische en/of regionale producten. Ook voor slagerijen lijkt het belangrijk dat de shear cell technologie de mogelijkheid biedt vleesvervangers te maken zonder gebruik te maken van conserveermiddelen. Aangezien consumenten gewend zijn dat producten van de slager beperkt houdbaar zijn, sluit dit goed aan bij de verwachting van de consumenten

3.3 Dimensionering van de conceptontwerpen

De ontwerpen en daarbij behorende parameters zijn gebaseerd op experimentele gegevens uit lab-schaal experimenten en op uitvoerige discussies met experts binnen Wageningen WUR (vooral met Dr. Atze Jan van der Goot). De ontwerpparameters zijn weergegeven in Tabel 3 en in de bijlage. Deze zijn gebaseerd op de berekeningen op basis van de stabiliteitscurves zoals

bediscussieerd in sectie 3.1 De producteigenschappen die gebruikt worden als uitgangspunten van de berekening zijn weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2. Producteigenschappen die gebruikt worden als uitgangspunten voor de berekeningen.

(Product) eigenschap		Waarde
Dichtheid ^a	kg/m ³	998
Specifieke warmte (C _p) ^a	kJ/kg.K	4.18
Viscositeit	Pa.s	100
Specifieke shear energie	kJ/kg	100
Shear rate	1/s	50

- a) Voor de berekeningen is de dichtheid en specifieke warmte van water genomen. Omdat de dichtheid en specifieke warmte van eiwit verschilt van die van water, zijn de 'overall' waarden van deze parameters een functie van de hoeveelheid toegevoegd eiwitpreparaat. De dichtheid heeft alleen effect op de hoeveelheid product (in kilogram) dat geproduceerd wordt als functie van de afmetingen van het apparaat. Een lagere specifieke warmte leidt tot een grotere temperatuurstijging ten gevolge van de viskeuze dissipatie. Later zal blijken dat dit nauwelijks effect heeft op het netto energieverbruik.

De berekening van de afmetingen en instellingen van de shear cell hebben een iteratief karakter. Uiteindelijk leiden de bovengenoemd eigenschappen en de binnendiameter tot de omwentelingssnelheid en de afstand tussen de cilinders (en daarmee de buitendiameter).

Afgaande op bovengenoemde gewenste productiecapaciteiten genoemd in Tabel 1, sectie 3.2 hebben we een schatting gemaakt voor shear-cell ontwerpparameters per sector. De belangrijkste ontwerpparameters en berekende effecten zijn weergegeven in Tabel 3.

Tabel 3. Ontwerp parameters (Zie bijlage).

		Thuis	Restaurant	Zorgsector	Slagerij	Industrieel
Capaciteit	kg/uur	1	1.7	5	10	375
Binnendiameter	mm	70	80	120	235	500
Buitendiameter	mm	76.7	87.2	128.6	246.3	516.1
Spleet	mm	6.7	7.2	8.6	11.3	16.1
Hoogte	mm	110	150	250	195	2430
Toerental binnenste cilinder	rpm	46	43	34.3	23	15.4
Mechanisch vermogen ^a	W	38	63	187	371	13900
Thermischvermogen	W	136	226	672	1332	49912
Totaalvermogen	W	174	289	859	1703	63812

- a) Het mechanisch vermogen betreft alleen de effectief toegevoegde mechanische energie. Energie verliezen in de motor en de lagers zijn hierin niet meegenomen.

In het algemeen kan worden gesteld dat een kleinere binnendiameter leidt tot een kleinere spleet en een hoger toerental (Tabel 3). De spleetbreedte bepaalt de dikte van de lapjes vleesvervanger die met de shear cell kunnen worden geproduceerd. Dit betekent dat in de thuissituatie de vleesvervangers een dikte hebben van 6.7 mm en op industriële schaal van 16.1 mm. Bij het openen van het apparaat kan nog enige expansie optreden (hetgeen mogelijkheden biedt om dan nog ingrediënten als geur- en smaakstoffen toe te voegen). De verkregen dikte leent zich uitstekend voor het maken van verkleind vlees (zoals gehakt) en reepjes. Verder kunnen uiteraard de lapjes op elkaar worden gelegd en aan elkaar worden verbonden tot dikkere stukjes, waarbij het nog mogelijk is om tussen de lapjes andere ingrediënten (bijvoorbeeld kaas) in te sluiten. Het verbinden van de lapjes kan met kippeneiwit – een ook in het huishouden gebruikelijk techniek – met plantaardige eiwitten (bv soja-eiwit kan als lijmmiddel worden gebruikt) of met crosslinkende enzymen zoals transglutaminase. Ook persen lijkt ons inziens mogelijkheden te bieden om lapjes met elkaar te verbinden.

4 Vergelijking van shear cell technologie met extrusie.

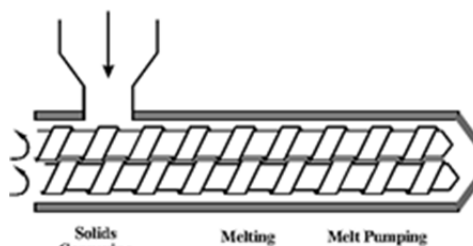
De Shear cell technologie wordt hieronder vergeleken met de klassieke extrusietechnologie (zie kader 3) omdat dit de meest gangbare technologie is voor het maken vleesvervangers (Vereijken, 2006 en Riaz, 2011). Beide technologieën maken gebruik van een roterend element, waardoor afschuiving ontstaat en vezelvorming optreedt. Echter de verkregen vezels zijn bij gebruik van de shear cell technologie langer en er kan eenvoudiger een hiërarchische structuur gevormd worden. Daardoor wordt de gelijkenis met vlees groter, een door vele consumenten gewenste eigenschap. Op deze verschillen wordt hieronder niet verder ingegaan (er zijn helaas nog geen sensorische studies uitgevoerd met producten die bereid zijn met de shear cell technologie). In de vergelijking ligt het accent op duurzaamheidsaspecten zoals energie, water en voedselverspilling. Verder wordt aandacht besteed aan economische aspecten.

Kader 3: Extrusie



Extruder.

In de extruder (zie bovenstaand figuur) wordt een mengsel van water en eiwit (veelal in de vorm van een eiwitconcentraat) met behulp van 2 schroefelementen (zie onderstaand figuur) bij een verhoogde temperatuur verwerkt tot een vezelachtig product.



Schematische weergave van een extruder met 2 schroeven.

In de laatste secties van de extruder wordt het product gekoeld. Na het verlaten van de extruder wordt het product gedroogd tot een vochtgehalte van ca. 8-10% om een langere houdbaarheid te verkrijgen. Voor consumptie dient het product weer bevochtigd te worden. Bij deze re-hydratie kan het product 3-5 keer zijn eigen gewicht aan water opnemen (Riaz, 2011).

Wanneer de productie van vleesvervangers op industriële schaal plaatsvindt, is het gebruikelijk dat, zoals reeds eerder vermeld, tussenproducten worden gemaakt met een relatief laag vochtgehalte. Om van deze tussenproducten vleesvervangers te maken is een nabewerking nodig. Tijdens deze nabewerking, vooral bij het opkoken van het product, wordt vocht door het product opgenomen en kunnen andere ingrediënten zoals smaak- en geurstoffen worden toegevoegd. Omdat deze stap bij gebruik van zowel de klassieke extrusie als de shear cell

technologie moet worden uitgevoerd, worden de extra energie en de hoeveelheid water die hiervoor nodig zijn, hieronder buiten beschouwing gelaten.

Aangetekend moet wel worden dat zowel met extrusie als de shear cell technologie ook producten gemaakt kunnen worden met een hoog vochtgehalte, vergelijkbaar met dat van vlees. Zoals reeds besproken moet het product dan gekoeld of bevroren worden en snel verwerkt tot vleesvervangers (smaak en vormgeven). Omdat het gebruik van de extruder voor dit soort producten zeer recent is ontwikkeld (Riaz, 2011) en nog slechts op beperkte schaal industrieel wordt toegepast, wordt op deze mogelijkheid in het kader van dit rapport niet verder ingegaan.

4.1 Energiegebruik

Mechanische energie

Het structureren van eiwitten kost energie. Deze energie wordt ondermeer gebruikt om de eiwitten te verstrekken tot vezels. De shear cell is speciaal ontworpen voor dit doel. Vrijwel alle energie komt daaraan ten goede. Bij extrusie ligt dat anders. Een extruder is ontworpen om te mengen, te kneden en vorm te geven. De actieve menging is zowel dispersief als distributief. Tevens vindt er een terugstroom van product plaats over de wikkelingen (flight) van de schroef. Hierdoor treedt inefficiënte vezelvorming op. Daarom wordt een speciale matrijs aan de uitgang van de extruder gekoppeld, waarin door de daarin optredende elongatiestroming vezelvorming wordt bevorderd.

Bij het mengen en kneden in de extruder wordt wel veel schuifspanning opgelegd, maar omdat deze spanning niet unidirectioneel is wordt hierdoor vezelvorming gehinderd. Deze schuifspanning kost wel energie, maar is niet functioneel. In de shear cell is de schuifspanning wel unidirectioneel en dus wel functioneel. Hierdoor zal het structureringsproces in een extruder meer energie kosten dan in een shear cell.

De efficiëntere afschuiving in een shear cell uit zich op twee vlakken. Het lagere koppel van de binnencilinder ten opzichte van de extruderschroef resulteert enerzijds in een direct lager energieverbruik. Anderzijds treedt er indirect een lager energieverbruik op, omdat dubbel (of over-) processing wordt voorkomen omdat er geen terugstroom plaatsvindt, zoals in een extruder.

Zoals reeds eerder beschreven, is de shear cell technologie een batch proces. Het grote voordeel van een extruder is dat het een continu systeem is, waarmee grote volumes per tijdseenheid kunnen worden verwerkt, terwijl het “actuele” processing volume relatief klein is. Nadeel is dat vanwege de korte processingtijd het product snel opgewarmd moet worden. Om oververhitting in het verdere deel van de extruder, door warmtegeneratie als gevolg van de afschuiving, te voorkomen, moet actief gekoeld worden. Dit leidt tot een hoger energieverbruik en mogelijk additioneel (koel)waterverbruik.

Verschillende bronnen geven variërende waarden voor de mechanische energie input bij een extruder. Bij eerder onderzoek van FBR aan andere eiwitrijke producten zoals kaas, bleek het energie gebruik 250kJ/kg te zijn. Clextral, een fabrikant van extruders, meldt een energiegebruik van ca. 145kJ/kg. Voor de shear cell is de energie input aanzienlijk lager, ca. 100kJ/kg (Van der Goot, persoonlijke communicatie). De shear cell is dus wat betreft mechanische energie een factor 1,5 tot 2,5 voordeliger.

In onderstaande tabel is als voorbeeld een waarde van 200kJ/kg voor de extruder genomen (een waarde tussen de beide bovengenoemde waarden in. Uit de onderstaande tabel blijkt dat mechanische energie wordt omgezet in thermische energie en dat de temperatuur in de extruder als gevolg van die omzetting meer stijgt dan in de shear cell.

Mechanisch		Extruder	Shear Cell
Specifieke mechanische energie	[kJ/kg]	200	100
delta T door afschuiving	[°C]	48	24

Energie voor verwarmen en koelen

Om een optimaal product te verkrijgen dient het product een temperatuur van ca. 130°C te bereiken. Omdat het product in een extruder door shear en frictie al meer opwarmt (zie bovenstaande tabel), is in principe minder aanvullende ‘opwarmenergie’ nodig. De energie voor het opwarmen van het product staat in onderstaande tabel.

Opwarmen		Extruder	Shear Cell
Temperatuur ingaand product	[°C]	20	20
Temperatuurstijging door afschuiving	[°C]	48	24
Eindtemperatuur	[°C]	130	130
Benodigde temperatuurstijging		62	86
Energie opwarmen	[kJ/kg]	260	360

Voor de shear cell is dus 100kJ/kg meer ‘opwarmenergie’ nodig dan bij de extruder. Hierbij moet wel de kanttekening worden gemaakt dat ‘opwarmenergie’ op een efficiëntere wijze kan worden toegevoegd (bijvoorbeeld met stoom) dan de warmte die vrijkomt door de mechanische energiedie alleen elektrisch kan worden gevoed. Hierdoor kan het verschil in energie voor opwarmen tussen de shear cell en de extruder mogelijk kleiner worden.

Om het product te fixeren moet in de laatste secties van de extruder gekoeld worden van ca. 130°C naar ca. 75°C. Hiervoor is extra energie nodig. De efficiëntie van en koelinstallatie wordt

aangeduid met ‘Coefficient of Performance’ (CoP). In onderstaande tabel is een CoP van 2.5 aangenomen. De ‘koelenergie’ voor extrusie wordt dan:

Koelen		Extruder
Temp in	[°C]	130
Temp uit	[°C]	75
CoP	[-]	2.5
Energie Koelen	[kJ/kg]	153

Bij de shear cell wordt het product aan de lucht gekoeld (niet geforceerd), waardoor geen additionele koelenergie nodig is.

Totaal energieverbruik

Wanneer de mechanische energie en de opwarm- en koelenergie samen worden genomen wordt het totale verbruik als volgt:

		Extruder	Shear Cell
Mechanisch	[kJ/kg]	200	100
Opwarmen	[kJ/kg]	260	360
Sub totaal	[kJ/kg]	460	460
Koelen	[kJ/kg]	153	
TOTAAL	[kJ/kg]	613	460

Dit duidt op een verschil van ca. 25% ten gunste van de shear cell die volledig wordt veroorzaakt door het koelproces. Dit verschil blijft hetzelfde, ook indien de mechanische energie input van de shear cell en/of de extruder, afwijkt van de aangenomen waarden van 100 resp. 200 kJ/kg. Dit komt omdat, wanneer meer mechanische energie moet worden toegevoegd, er minder thermische energie voor opwarmen hoeft te worden geleverd.

Doordat de verblijftijd in een extruder veel korter is dan in een shear cell, zal de netto balans nog wat slechter voor een extruder uitvallen. Stel dat voor een optimale structuurvorming het wenselijk is dat de temperatuur in de tweede helft van de extruder 130°C of hoger is. Dan moet de temperatuur halverwege al 130°C zijn. Daar is echter nog maar de helft van de mechanische energie gedissipeerd. Om wel de eindtemperatuur te halen moet dus extra warmte worden toegevoegd. Bovendien treedt er in het tweede deel van de extruder ook nog wrijving op, wat tot een extra temperatuurstijging leidt. Deze warmte moet extra worden weggekoeld. In dat geval kan het energie voordeel van de shear cell oplopen tot 40%.

4.2 Waterver- en gebruik

Voor het produceren van vleesvervangers is water nodig. In dit rapport maken we onderscheid tussen water dat nuttig aan het product wordt toegevoegd en als zodanig door de consument wordt opgenomen en water dat voor processingsdoeleinden zoals koeling wordt gebruikt. De eerste noemen we watergebruik, de laatste waterverbruik. Het watergebruik is voor de shear cell technologie vergelijkbaar met dat voor de extrusietechnologie: beide technologieën kunnen worden uitgevoerd met vergelijkbare concentraties van droge stof. Het waterverbruik kan bij extrusie technologie hoger zijn. Om het product te fixeren vindt namelijk in het tweede deel van de extruder geforceerde koeling plaats. Hiervoor wordt gewoonlijk een koelsysteem gebruikt waarin het water circuleert en vaak aan de lucht wordt gekoeld. Dit leidt niet of nauwelijks tot extra waterge- of verbruik..

Daarnaast wordt water gebruikt voor het schoonmaken van de apparatuur. Dit zal – omdat de shear cell technologie een batch proces in tegenstelling tot de continue extrusietechnologie – waarschijnlijk tot meer watergebruik leiden bij de shear cell technologie. Of het hier om aanzienlijke hoeveelheden water gaat, is nog niet in te schatten, omdat dan eerst ervaring moet worden opgebouwd met de opgeschaalde shear cell (zie ook 4.3).

4.3 Voedselverspilling

Kleinschalige productie zoals beschreven in paragraaf 3.2.1 t/m 3.2.4 (orde grootte 2-10 kg/uur) is niet goed mogelijk met een extruder. Kleinschalige productie vindt vooral plaats in de detailhandel (bijvoorbeeld kleine slagerijen), food services (cateraars, keukens bij zorginstellingen) en horeca (restaurants, cafetaria's), maar ook in supermarkten (bijvoorbeeld in de vers vleesafdeling) en natuurlijk in de thuissituatie. Een groot voordeel van de kleinschalige productie is minder overproductie: er kan veel beter worden ingespeeld op de behoefte aan het product (de juiste hoeveelheid op de juiste plaats). Daar staat dan wel tegenover dat de apparatuur vaak minder intensief wordt gebruikt.

In vergelijking met extrusie, komt de keten er anders uit te zien: de stap van grootschalige productie van het halffabricaat komt te vervallen. Daarmee komt ook de distributie van het al dan niet vochtrijke halffabricaat te vervallen: dit leidt tot minder (gekoelde) opslagcapaciteit en minder (gekoeld) transport en in het geval van het vochtrijke halffabricaat tot minder transport van water. Door deze veranderingen in de keten kan weer winst in duurzaamheid geboekt worden: minder energieverbruik voor distributie en minder voedselverspilling door productie “on demand”.

Bij grootschalige (industriële) productie kan er wel sprake zijn van voedselverspilling. Deze zal optreden wanneer het apparaat gereinigd wordt. Extrusie is een continu proces. Reiniging vindt slechts plaats wanneer de productie is onderbroken. Dit verlies is in de regel te verwaarlozen ten opzichte van de geproduceerde hoeveelheid. De shear cell technologie is een batch proces. Reiniging zou na elke batch kunnen plaatsvinden, maar het is de vraag of dat noodzakelijk is. Bovendien is niet bekend hoeveel product in de shear cell achterblijft. Om deze vragen te beantwoorden zijn experimenten met een opgeschaalde shear cell noodzakelijk.

4.4 Economische aspecten

Investeringskosten

In een shear cell wordt de mechanische energie efficiënter ingezet voor de structuurvorming dan in een extruder. Daardoor is er een minder krachtige motor nodig. Dit leidt tot lagere investeringskosten. Bovendien is een shear cell minder complex. Zo ontbreken de 2 schroeven (zie kader 3), die perfect op elkaar afgesteld moeten zijn. Door de afwezigheid hiervan worden eveneens kosten bespaard. Ook treden in een shear cell geen hoge drukken op zoals in de extruder. Hierdoor kunnen dunwandige cilinders worden gebruikt in plaats van zware, massieve schroefhuiselementen. De schatting van de reductie van de investeringskosten ligt tussen de 40 en 60%.

Operationele kosten

Hierover kunnen nog vrijwel geen uitspraken gedaan worden; eerst moet er ervaring zijn opgedaan met pilot proeven. Wel is te verwachten dat de operationele kosten bij de shear cell technologie lager zullen zijn, omdat er per kg product minder energie wordt gebruikt (in de orde van 25%). Echter, deze technologie is een batch proces in tegenstelling tot de extrusietechnologie. Dit leidt tot een verhoging van de operationele kosten, met name ook wat betreft personeelsinzet.

5 Discussie en conclusies

Met de shear cell technologie kunnen vezelachtige structuren gevormd worden uit zowel dierlijke (het melkeiwit caseïne) als plantaardige eiwitten (eiwitten uit soja en tarwe). Deze vezelachtige texturen vertonen een hiërarchische structuur, één van de belangrijke kenmerken van de vleesstructuur. Het “proof of principle” van deze technologie is dus reeds geleverd. Voor de nabije toekomst ligt daarom de nadruk op de overgang van principe-ontwikkeling naar technologie-ontwikkeling, waarin overgang van labschaal naar pilot schaal, en dus de problematiek rond de opschaling (inclusief duurzaamheidsaspecten) centraal staat. In deze studie is hiertoe een aanzet gegeven.

Voor opschaling is de cilindrische shear cell (Couette cel) bestaande uit 2 cilinders, die met een verschillende snelheid draaien, het meest geschikt. Er worden vijf sectoren voor opschaling van de shear cell onderscheiden, te weten apparaten voor gebruik in 1) het huishouden, 2) restaurants, 3) food services (zorginstellingen), 4) de detailhandel (slagerij) en 5) de industrie. Voor elk van deze sectoren zijn de procesparameters geïnventariseerd en ontwerpparameters voor de shear cell ingeschat.

De industriële sector betreft de grootschalige productie van vleesvervangers waarvoor thans extrusie de meest gangbare technologie is. De shear cell lijkt hiervoor, naast de reeds genoemde texturele karakteristieken, een beter perspectief te bieden wat betreft de benodigde energie-input bij de productie. Berekeningen laten zien dat deze 25 tot 40% lager kan zijn dan bij inzet van de extrusietechnologie. Wat betreft waterge- of verbruik lijken er slechts kleine verschillen te zijn tussen de beide technologieën. Alleen wat betreft watergebruik voor schoonmaken zal de extrusietechnologie waarschijnlijk – omdat het een continu proces is en de shear cell technologie een batch proces – wat beter scoren op gebruik van water. Om dezelfde reden kan de voedselverspilling (productverliezen bij schoonmaken) lager zijn dan bij de inzet van de shear cell technologie. Echter de productverliezen zijn in de regel zeer laag ten opzichte van de geproduceerde hoeveelheden. De shear cell technologie lijkt dus wat betreft duurzaamheidsaspecten alleen beter te scoren dan de gangbare extrusietechnologie door het lagere energiegebruik. Aangetekend moet wel worden dat deze meer diepgaande studie aantoont dat het verschil in energie-input tussen de shear cell technologie en de extrusietechnologie aanzienlijk lager is dan verwacht op basis van de zeer verkennende studie van Kolfsoeten et al. (2011).

Verder zijn de investeringskosten voor de shear cell technologie aanzienlijk lager (40-60%) dan die voor de extrusie technologie. Met betrekking tot een inschatting van de operationele kosten zijn aanvullende experimenten op pilot schaal noodzakelijk. Additionele experimenten zijn ook noodzakelijk om de aannames die gemaakt zijn bij de diverse ontwerpen te bevestigen.

De vier andere scenario's zijn alle gericht op relatief kleinschalige productie van vleesvervangers. Hiervoor is nog geen technologie beschikbaar. De shear cell technologie kan dit marktsegment openen en zodoende een unieke plaats gaan innemen. Kleinschalige productie van vleesvervangers op decentrale locaties biedt de volgende voordelen:

- Geen energieverbruik voor distributie en koeling van vleesvervangers
- Minder voedselverspilling omdat de productie beter op de vraag kan worden afgestemd
- De mogelijkheid om gericht vleesvervangers te maken voor specifieke doelgroepen met betrekking tot nutritionele (bijvoorbeeld allergische eiwitten, gehalte aan essentiële aminozuren) en texturele kwaliteit (bijvoorbeeld kauwbaarheid) van de vleesvervangers
- Beter in te spelen op de wensen van de consument met betrekking tot het gebruik van additieven, verse kruiden en specerijen en regionale of biologische ingrediënten.

6 Route naar implementatie

Zoals reeds in de conclusies is vermeld, biedt de shear cell technologie een aantal voordelen ten opzichte van de gangbare technologieën voor de bereiding van vleesvervangers. Het “proof of principle” van deze technologie voor deze toepassing is reeds geleverd. Er is echter nog steeds behoefte aan de verdere ontwikkeling van het wetenschappelijke inzicht in deze technologie, met name richting processen die zich in de shear cell afspelen. Dit vergroot niet alleen het inzicht in de bereiding van vleesvervangers met de shear cell technologie, maar biedt met name ook mogelijkheden voor het inzetten van de shear cell technologie in andere toepassingsgebieden, bijvoorbeeld als scheidingstechnologie of in de broodbereiding. Aanzetten voor de ontwikkeling van shear cell technologie in deze richting zijn reeds gegeven door de groep van Atze Jan van der Goot. (WU Proceskunde).

Ook richting de productie van vleesvervangers heeft shear cell technologie nog verdere ontwikkeling en dan vooral wat betreft kennisopbouw voor opschaling. Het onderhavige rapport legt hiervoor een gedegen basis. Uit het rapport blijkt dat shear cell technologie potentiële voordelen heeft voor de industriële productie van vleesvervangers. Echter uit verkennende besprekingen met vertegenwoordigers van het Nederlandse bedrijfsleven (zowel grote concerns als het MKB) bleek nog slechts weinig animo om deel te nemen in de verdere ontwikkeling van de shear cell technologie richting vleesvervangers (overigens mogelijk wel richting vezelachtige eiwitstructuren voor andere toepassingen).

Uit dit rapport blijkt duidelijk dat er grote kansen liggen voor de verdere ontwikkeling van de shear cell technologie voor kleinschalige productie van vleesvervangers op locatie en “on demand”. De shear cell technologie is thans de enige technologie voor de productie van vleesvervangers die voor deze kleinschalige productie geschikt lijkt. Dit unieke voordeel moet zeker uitgebuit worden. Daarom zullen in de komende periode besprekingen worden gevoerd met vertegenwoordigers van (potentiële) producenten van vleesvervangers, gebruikers van vleesvervangers zoals cateraars en restaurants, zorginstellingen en producenten van apparatuur. Accent zal daarbij liggen op middelgrote apparatuur voor de sectoren die in dit rapport aangeduid zijn met de termen slagerij, zorginstellingen en restaurants. Dit rapport biedt een uitstekende basis voor de discussies met deze vertegenwoordigers.

Ten slotte willen we nogmaals benadrukken dat de in Nederland ontwikkelde shear cell technologie uniek is in de wereld. Deze technologie kan Nederland een voorsprong geven op het gebied van vleesvervangers, een gebied waarin Nederland in de laatste jaren reeds een koppositie heeft verworven. Verder kan de shear technologie aan de basis liggen van een geheel nieuwe generatie vleesvervangers, onder meer vanwege de betere textuur en de kleinschalige productie op locatie. Daarmee kan deze duurzame technologie een belangrijke bijdrage leveren aan een vergroting van de markt voor deze vleesvervangers en dus aan de verduurzaming van de voedselproductie.

Referenties

- Bos, H., Van den Heuvel, M. (2005). Technologische Innovaties in de Keten,. © Agrotechnology& Food Innovations, Wageningen, ISBN 90-6754-925-8.
- Hoek, A.C. (2010). Will novel protein foods beat meat. Thesis Wageningen University
- Knol, J., Holthuysen, N., Nijenhuis, M., van Veggel, R. (2012). Vleesvervangers met een 'bite' - Welke factoren spelen een rol bij de consumentenacceptatie van een nieuwe generatie vezelachtige vleesvervangers. FBR rapport nummer 1322.
- Kolfschoten, R., Hamoen, R., Togtema, A., Vereijken, J. (2011). Verkenning van de duurzaamheidsaspecten van verschillende productietechnieken voor vleesvervangers. FBR rapport nummer 1263.
- Manski, J.M., van der Goot, A.J., Boom, R.M. (2007a). Formation of fibrous materials from dense caseinate dispersions. *Biomacromolecules*. 8(4): 1271-1279.
- Manski, J.M., van Riemsdijk, L., van der Goot, A.J., Boom, R.M. (2007b). Importance of intrinsic properties of dense caseinate dispersions for structure formation. *Biomacromolecules*.8(11), 3540-3547.
- Manski, J.M. van der Zalm, E.E.J., van der Goot, A.J., Boom, R.M. (2008). Influence of process parameters on formation of fibrous materials from dense calcium caseinate dispersions. *Food Hydrocolloids*, 22(4): 587-600.
- Peighambardoust, S.H., van der Goot, A.J., Hamer, R.J., Boom, R.M. (2005). Effect of simple shear on the physical properties of Glutenin Macro Polymer (GMP). *Journal of Cereal Science*,42(1):59-68.
- Peighambardoust, S.H.,van der Goot, A.J.,van Vliet, T., Hamer, R.J., Boom, R.M. (2006). Microstructure formation and rheological behaviour of dough under simple shear flow. *Journal of Cereal Science* 43(2): 183-197.
- Peighambardoust, S.H., Hamer, R.J.,Boom, R.M., van der Goot, A.J. (2008). Migration of gluten under shear flow as a novel mechanism for separating wheat flour into gluten and starch. *Journal of Cereal Science*, 48(2): 327-338.
- S.H. Peighambardoust, E. Fallah, R.J. Hamer, A.J. van der Goot (2010). Aeration of bread dough influenced by different way processing. *Journal of Cereal Science*, 51(1): 89-95.

Riaz, M.N. (2011). Texturized vegetable proteins. In Handbook of food proteins (G.O. Philips and P.A. Williams, eds.) Woodhead Publishing, Oxford, UK. pp 395-418.

Stegeman, D., Janssen, A.M., Helsper, J.P.F.G., Van der Meer, I.M., Kernebeek, H.R.J. (2010). Technologie en grondstoffen voor vleesvervangers en hoogwaardige eiwitten. FBR rapport 1179.

Taylor, G.I., (1923). Stability of a Viscous Liquid Contained between Two Rotating Cylinders, Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character, Vol. 223 (1923), pp. 289-343

Van der Zalm, E.E.J., van der Goot, A.J., Boom, R.M. (2011). Quality of shear fractionated wheat gluten - comparison to commercial vital wheat gluten. Journal of Cereal Science, 53(2):154-159.

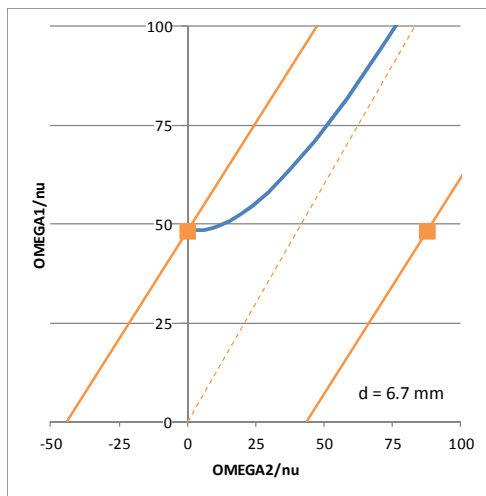
Vereijken, J.M. (2006), Currently available meat substitutes. In Sustainable protein production and consumption: Pigs or Peas (H. Aiking, J. de Boer and J. Vereijken eds.), Springer Verlag, Dordrecht, The Netherlands, pp 52-54.

Dankbetuiging

We willen graag alle experts bedanken die aan dit rapport een grote dan wel kleine bijdrage hebben geleverd door individuele discussies, in brainstorm bijeenkomsten en expert meetings. Onze speciale dank uit gaat naar Atze Jan van der Goot van het WU Laboratorium voor Levensmiddelenproceeskunde voor het beschikbaar stellen van zijn kennis en het tomeloze enthousiasme waarmee hij praat over de shear cell technologie en daardoor voor ons een belangrijke inspiratiebron vormde.

Verder willen het Ministerie van Economische Zaken bedanken voor het mogelijk maken van deze studie. Onze speciale dank gaat uit naar Annelie Boogerd en Tonnie Greutink van dit Ministerie voor de vruchtbare discussies over dit project en kritische begeleiding van de rapportage daarover.

Bijlage



Huishoud

Production

Capacity 1.0 kg/uur
Changeover time min
Batches per hour 3 -

Design

Inside radius (R1) mm
Outside radius (R2) 76.7 mm
R1/R2 0.91 -
R2²/R1² 1.20 -

d = 6.7 mm
Gap (d) 6.7 mm
d/R2 0.09 -
Height (H) mm
Batch volume (V) 0.3 liter

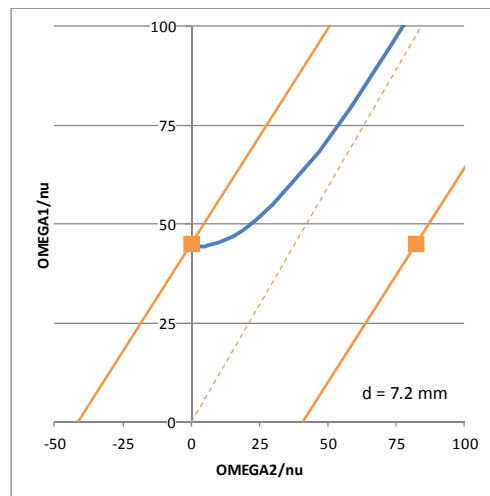
Critical point
Omega1/kin.visc. 48.5
n1 46.4 rpm
Shear Rate 50.4 1/s

Mechanical

Required mech. power 38 W
Required therm. power 136 W
Total required power 174 W
Rot. speed (n1) rpm
Rot. speed (n2) 0.000 rpm
Rot. speed (n2) 83.915 rpm
Omega1 4.817 rad/s
Omega2 0.000 rad/s
Omega2 8.788 rad/s

Omega2/Omega1 (mu) 0.0 -
Omega2/Omega1 (mu) 1.8 -
Omega1/kin.visc. 48.1
Omega2/kin.visc. 0.0
Omega2/kin.visc. 87.7

delta T by shear 24 °C



Restaurant

Production

Capacity 1.7 kg/uur
Changeover time min
Batches per hour 3 -

Design

Inside radius (R1) mm
Outside radius (R2) 87.2 mm
R1/R2 0.92 -
R2²/R1² 1.19 -

d = 7.2 mm
Gap (d) 7.2 mm
d/R2 0.08 -
Height (H) mm
Batch volume (V) 0.6 liter

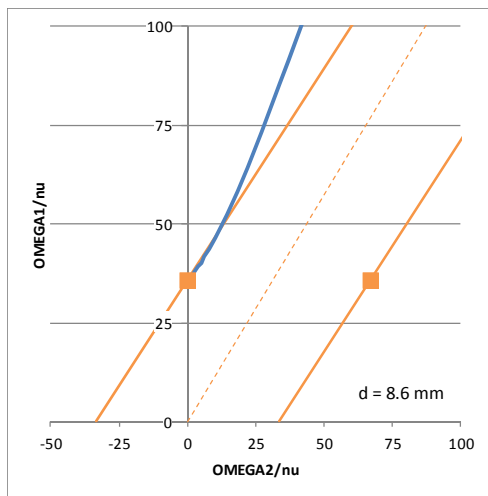
Critical point
Omega1/kin.visc. 44.55
n1 42.62 rpm
Shear Rate 49.56 1/s

Mechanical

Required power 63 W
Required therm. power 226 W
Total required power 290 W
Rot. speed (n1) rpm
Rot. speed (n2) 0.000 rpm
Rot. speed (n2) 78.895 rpm
Omega1 4.503 rad/s
Omega2 0.000 rad/s
Omega2 8.262 rad/s

Omega2/Omega1 (mu) 0.0 -
Omega2/Omega1 (mu) 1.8 -
Omega1/kin.visc. 44.9
Omega2/kin.visc. 0.0
Omega2/kin.visc. 82.5

delta T by shear 24 °C



Zorgsector

Production

Capacity 5.0 kg/uur
Changeover time 5 min
Batches per hour 3 -

Design

Inside radius (R1) 120.0 mm
Outside radius (R2) 128.6 mm
R1/R2 0.93 -
R2²/R1² 1.15 -

d = 8.6 mm
Gap (d) 8.6 mm
d/R2 0.07 -
Height (H) 250 mm
Batch volume (V) 1.7 liter

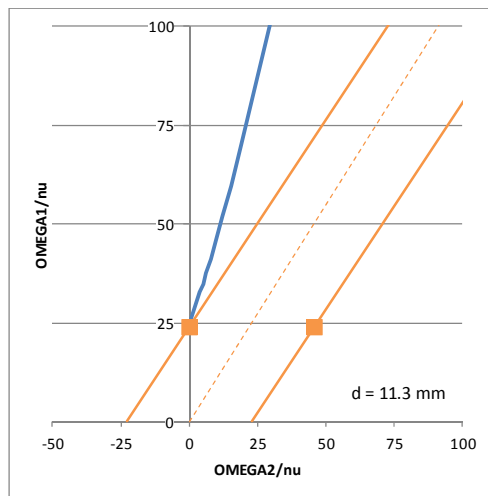
Critical point
Omega1/kin.visc. 35.41
n1 33.88 rpm
Shear Rate 49.39 1/s

Mechanical

Required power 187 W
Required therm power 672 W
Total required power 859 W
Rot. speed (n1) 34.30 rpm
Rot. speed (n2) 0.000 rpm
Rot. speed (n2) 64.002 rpm
Omega1 3.592 rad/s
Omega2 0.000 rad/s
Omega2 6.702 rad/s

Omega2/Omega1 (mu) 0.0 -
Omega2/Omega1 (mu) 1.9 -
Omega1/kin.visc. 35.8
Omega2/kin.visc. 0.0
Omega2/kin.visc. 66.9

delta T by shear 24 °C



Slagerij

Production

Capacity 10.0 kg/uur
Changeover time 5 min
Batches per hour 3 -

Design

Inside radius (R1) 235.0 mm
Outside radius (R2) 246.3 mm
R1/R2 0.95 -
R2²/R1² 1.10 -

d = 11.3 mm
Gap (d) 11.3 mm
d/R2 0.05 -
Height (H) 195 mm
Batch volume (V) 3.3 liter

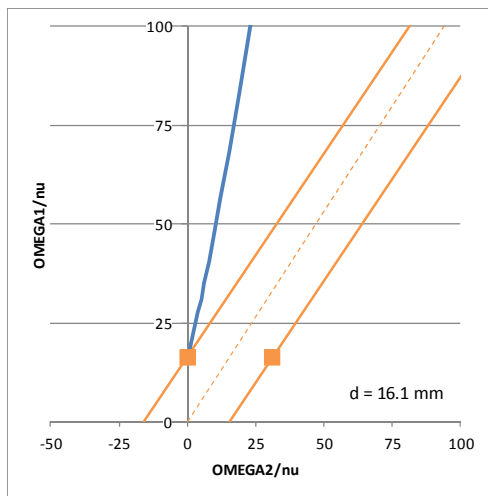
Critical point
Omega1/kin.visc. 24.99
n1 23.91 rpm
Shear Rate 51.99 1/s

Mechanical

Required power 371 W
Required therm power 1332 W
Total required power 1703 W
Rot. speed (n1) 23.00 rpm
Rot. speed (n2) 0.000 rpm
Rot. speed (n2) 43.886 rpm
Omega1 2.409 rad/s
Omega2 0.000 rad/s
Omega2 4.596 rad/s

Omega2/Omega1 (mu) 0.0 -
Omega2/Omega1 (mu) 1.9 -
Omega1/kin.visc. 24.0
Omega2/kin.visc. 0.0
Omega2/kin.visc. 45.9

delta T by shear 24 °C



Industrieel

Production

Capacity 375 kg/uur
 Changeover time 5 min
 Batches per hour 3 -

Design

Inside radius (R1) 500.0 mm
 Outside radius (R2) 516.1 mm
 R1/R2 0.97 -
 R2²/R1² 1.07 -

d = 16.1 mm
 Gap (d) 16.1 mm
 d/R2 0.03 -
 Height (H) 24.30 mm
 Batch volume (V) 125.1 liter

Critical point
 Omega1/kin.visc. 15.89
 n1 15.21 rpm
 Shear Rate 49.38 1/s

Mechanical

Required power 13900 W
 Required therm power 49912 W
 Total required power 63812 W
 Rot. speed (n1) 15.40 rpm
 Rot. speed (n2) 0.000 rpm
 Rot. speed (n2) 29.838 rpm
 Omega1 1.613 rad/s
 Omega2 0.000 rad/s
 Omega2 3.125 rad/s

Omega2/Omega1 (mu) 0.0 -
 Omega2/Omega1 (mu) 1.9 -
 Omega1/kin.visc. 16.1
 Omega2/kin.visc. 0.0
 Omega2/kin.visc. 31.2

delta T by shear 24 °C