



Cellulose, een eindeloze bron van mogelijkheden

Ir. E.R.P. Keijzers
Dr. J.E.G. van Dam
Dr. Gulden Yilmaz

Rapport nr. 1274



Colofon

Titel	Cellulose een eindeloze bron van mogelijkheden
Auteur(s)	Ir. E.R.P. Keijsers, Dr. J.E.G. van Dam, Dr. Gulden Yilmaz
Nummer	Food & Biobased Research nummer 1274
ISBN-nummer	978-94-6173-078-7
Publicatiedatum	Augustus 2011
Vertrouwelijk	Nee
OPD-code	10/161
Goedgekeurd door	Gulden Yilmaz

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.

Samenvatting

De opkomende biobased economy zorgt voor een verschuiving in het gebruik van grondstoffen van minerale olie naar plantaardige producten. Huidige en nieuwe industrieën die plantaardige grondstoffen verwerken zullen door middel van marktwerking hun grondstofbehoefte invullen. Eén van de markten waarop grootschalige concurrentie te verwachten is, en ook nu al meer en meer door de traditionele industrieën, waaronder de papierindustrie, gevoeld wordt, is de markt voor cellulose grondstoffen.

Cellulose en cellulose bevattende producten (hout, vezels, textiel, papier) worden in veel industriële sectoren ingezet. Vanwege de inganggezette transitie naar de biobased economy worden cellulosegrondstoffen ook intensief onderzocht als koolhydraatbron voor nieuwe toepassingen in de (2^e generatie) biobrandstoffen en ‘groene’ chemicaliën productie (bioethanol, butanol, etc). Benutting van cellulose als koolhydraatbron voor ethanolproductie vermijdt de competitie met makkelijker fermenteerbare koolhydraten uit de voedselketen (suiker en zetmeel). Ook voor cellulosegrondstoffen zijn verschillende concurrerende markten te identificeren, die bij grootschalige afname de effecten zullen voelen en waarbij voor de toekomst rekening gehouden moet worden met toenemende competitie en schaarse grondstof toelevering (landgebruik, biodiversiteit).

Vanwege de grote diversiteit van potentiële cellulose bronnen en de grote verschillen in kwalitatieve eigenschappen en samenstelling van deze cellulose types is het van belang in kaart te brengen voor welke toepassingen de verschillende grondstoffen het meest geschikt zijn. Voor het opstellen van een dergelijke “cellulose matrix” dient aandacht te zijn voor de kwalitatieve aspecten van de grondstof alsook voor de kwantitatieve beschikbaarheid en praktische verwerkbaarheid van de grondstof in de applicatie.

De cellulose matrix moet een bruikbaar instrument worden, waarmee stakeholders keuzes kunnen maken wat betreft grondstof, proces en markt. Een aantal voorbeelden:

- Een grondstofproducent moet met behulp van de matrix kunnen beslissen welk proces het beste geschikt is om een bepaalde markt met zijn grondstof te bedienen, waarbij hij ook inzicht krijgt in al bestaande processen en concurrerende grondstoffen.
- Een eigenaar van een proces – de grondstofverwerkende industrie – moet kunnen beslissen welke andere grondstoffen hij zou kunnen toepassen en welke markten hij daarmee kan bedienen.
- Een producent van cellulose gebaseerde eindproducten kan met behulp van de matrix bepalen welke grondstoffen in aanmerking komen en in combinatie met welke geschikte processen.

- De cellulose grondstoffenhandel kan mogelijk alternatieve (lokale) producten leveren, van gelijkwaardige kwaliteit, waardoor betere logistieke organisatie mogelijk wordt en transport afstanden kunnen worden verkleind.
- Voor overheden kan de matrix inzicht verschaffen in de keuze voor ondersteuning van die ontwikkelingen die als meer duurzaam kunnen worden aangemerkt.

WUR-FBR heeft tijdens deze initiële studie een gedetailleerde matrix opgesteld, waarbij de verschillende componenten van de matrix zijn geïdentificeerd en een eerste invulling van de matrix is opgezet. Huidige en nieuwe cellulosegrondstoffen zijn geïnventariseerd. Belangrijke chemische en fysische eigenschappen van deze grondstoffen, voor het gebruik in processen en producten, zijn geïdentificeerd. De prijs en beschikbaarheid van deze grondstoffen is onderzocht. Huidige en nieuwe cellulose ontsluitingstechnologieën zijn geïnventariseerd. De voorwaarden waaraan grondstoffen moeten voldoen om geschikt te zijn voor de diverse processen zijn bijeengebracht. Procesparameters die invloed hebben op de eigenschappen van de celluloseproducten zijn onderzocht. Huidige en opkomende markten op basis van cellulose zijn geïnventariseerd. De eisen die cellulose-markten stellen aan de door de processen uit de grondstoffen geproduceerde celluloses zijn onderzocht.

Het opstellen en invullen van een voor stakeholders bruikbare cellulose matrix vereist een tweetal stappen. Ten eerste het verminderen van de benodigde hoeveelheid data door de kenmerken van grondstoffen, processen en markten per groep vast te leggen. In dit rapport is deze stap genomen voor gedefinieerde groepen en kenmerken. Voor specifieke groepen kan de data verder uitgebreid worden. Ten tweede het opstellen van een database waarmee de vragen van stakeholders beantwoord kunnen worden. De antwoorden die uit deze database verkregen worden hebben een richtinggevend karakter, verdere specificatie vindt plaats met literatuurreferenties en uiteindelijk toegepast onderzoek.

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
1 Inleiding	6
2 Methode	9
3 Inventarisatie Grondstoffen, Processen en Markten	11
3.1 Inventarisatie Grondstoffen	11
3.1.1 Overzicht	12
3.2 Inventarisatie Cellulose ontsluitingsprocessen	13
3.2.1 Overzicht	13
3.3 Inventarisatie: Markten	14
3.3.1 Overzicht	14
4 Karakterisering Grondstoffen, Processen en Markten	15
4.1 Karakterisering Grondstoffen	15
4.1.1 Data set: Chemische en fysische eigenschappen van de grondstoffen	15
4.1.1.1 Overzicht belangrijkste data	15
4.1.2 Data set: Prijs en beschikbaarheid van de grondstoffen	21
4.1.2.1 Overzicht belangrijkste data	21
4.2 Karakterisering ontsluitingsprocessen	22
4.2.1 Data set: Procesparameters en economische schaal van de ontsluitingsprocessen	22
4.2.1.1 Overzicht belangrijkste data	23
4.2.2 Data set: Eisen van de ontsluitingsprocessen aan de eigenschappen van de grondstof	24
4.2.2.1 Overzicht belangrijkste data	25
4.3 Karakterisering Markten	27
4.3.1 Data set: Omvang en prijs van de markten	27
4.3.1.1 Overzicht belangrijkste data	27
4.3.2 Data set: Eisen van de markten aan ontsloten cellulose	29
4.3.2.1 Overzicht belangrijkste data	29
5 Discussie	30
5.1 Beschikbaarheid data	30
5.2 Gebruiksvorm Cellulose matrix	31
5.3 Volledigheid cellulose matrix	32
5.4 Verdere ontwikkeling van de cellulose matrix	32
6 Conclusies	33
Bijlage 1. Glossary	34

1 Inleiding

De opkomende biobased economy zorgt voor een verschuiving in het gebruik van grondstoffen van minerale olie naar plantaardige producten. Huidige en nieuwe industrieën die plantaardige grondstoffen verwerken zullen door middel van marktwerking hun grondstofbehoefte invullen. Eén van de markten waarop grootschalige concurrentie te verwachten is, en ook nu al meer en meer door de traditionele industrieën, waaronder de papierindustrie, gevoeld wordt, is de markt voor cellulose grondstoffen.

Cellulose is één van de meest voorkomende natuurlijke polymeren, die voorkomt in structurele celwanden van alle hogere planten en in sommige algen. Ook enkele bacteriën zijn in staat cellulose uit te scheiden. Jaarlijks wordt door natuurlijke aanwas van biomassa vele miljarden tonnen cellulose door fotosynthese uit CO₂ geproduceerd en vastgelegd. Slechts een klein deel van de jaarlijks geproduceerde cellulose wordt door de huidige industrieën ingezet als cellulosegrondstof. Het gaat daarbij m.n. om hout en vezelgewassen zoals katoen, vlas, jute en kokos. Daarnaast maken de huidige industrieën gebruik van gerecyclede stromen (o.a. oud-papier) en in mindere mate ook van andere reststromen die cellulose bevatten. Voor zowel de huidige als nieuwe industrieën die cellulose grondstoffen gebruiken is inzicht in de prijs, beschikbaarheid en kwaliteit van traditionele en alternatieve cellulose grondstoffen van groot belang. Dit inzicht kan nieuwe trajecten versnellen en keuzes binnen industrieën voor nieuwe grondstoffen ondersteunen. Dit inzicht kan tevens leiden tot optimaal gebruik van de beschikbare cellulosegrondstoffen, waarbij de juiste cellulosegrondstof voor de juiste industrie gevonden wordt, reststromen optimaal ingezet worden en cellulose-producten vele malen gerecycled kunnen worden.

Cellulose heeft meestal een duidelijke functie in de plant waaruit het gewonnen kan worden. Deze functie bepaalt de eigenschappen van de vezel(bundels). Het is dus mogelijk om aan de hand van de functie van de cellulose in de plant aannames te maken over de eigenschappen van de cellulose. Zo zijn de vezelbundels in jute en hennep stijf en sterk omdat deze grote dunne planten rechtop moeten blijven staan. Vezels in bladmateriaal zijn vaak minder sterk. De vezels in een kokosnoot zijn flexibel, omdat deze vezels de vrucht heil houden wanneer ie uit de boom valt. Deze flexibiliteit wordt mede veroorzaakt door de grote fibrilhoek in een kokosvezel.

Cellulose en cellulose bevattende producten (hout, vezels, textiel, papier) worden in veel industriële sectoren ingezet. Vanwege de inganggezette transitie naar de biobased economy worden cellulosegrondstoffen ook intensief onderzocht als koolhydraatbron voor nieuwe toepassingen in de (2^e generatie) biobrandstoffen en ‘groene’ chemicaliën productie (bioethanol, butanol, etc). Benutting van cellulose als koolhydraatbron voor ethanolproductie vermijdt de competitie met makkelijker fermenteerbare koolhydraten uit de voedselketen (suiker en zetmeel).

Ook voor cellulosegrondstoffen zijn verschillende concurrerende markten te identificeren, die bij grootschalige afname de effecten zullen voelen en waarbij voor de toekomst rekening gehouden moet worden met toenemende competitie en schaarse grondstof toelevering (landgebruik, biodiversiteit).

De huidige cellulose industrie is gebaseerd op planten die voornamelijk bestaan uit (hemi-) cellulose en lignine. De nieuwe grondstoffen bevatten vaak ook zetmeel of eiwit. Allerlei testen die gebruikt worden om de kwaliteit of samenstelling van de nieuwe grondstoffen te bepalen blijken aangepast te moeten worden, omdat zetmeel of eiwit de bepaling storen. Communicatie tussen de verschillende stakeholders, boer, celluloseproducent en eindgebruiker wordt daardoor steeds belangrijker. Er zijn bijvoorbeeld geen eisen aan de maximale hoeveelheid eiwit in vezels voor de papierindustrie, omdat er nooit eiwit in papiervezels zit/zat. Ook moet er opnieuw gezocht worden naar oplossingen voor bijvoorbeeld het silicagehalte in stro, één van de redenen waarom er niet langer stro karton wordt gemaakt in Nederland.

Vanwege de grote diversiteit van potentiële cellulose bronnen en de grote verschillen in kwalitatieve eigenschappen en samenstelling van deze cellulose types is het van belang in kaart te brengen voor welke toepassingen de verschillende grondstoffen het meest geschikt zijn. Voor het opstellen van een dergelijke “cellulose matrix” dient aandacht te zijn voor de kwalitatieve aspecten van de grondstof alsook voor de kwantitatieve beschikbaarheid en praktische verwerkbaarheid van de grondstof in de applicatie.

Doel

De cellulose matrix moet een bruikbaar instrument worden, waarmee stakeholders keuzes kunnen maken wat betreft grondstof, proces en markt. Een aantal voorbeelden:

- Een grondstofproducent moet met behulp van de matrix kunnen beslissen welk proces het beste geschikt is om een bepaalde markt met zijn grondstof te bedienen, waarbij hij ook inzicht krijgt in al bestaande processen en concurrerende grondstoffen.
- Een eigenaar van een proces – de grondstofverwerkende industrie – moet kunnen beslissen welke andere grondstoffen hij zou kunnen toepassen en welke markten hij daarmee kan bedienen.
- Een producent van cellulose gebaseerde eindproducten kan met behulp van de matrix bepalen welke grondstoffen in aanmerking komen en in combinatie met welke geschikte processen.
- De cellulose grondstoffenhandel kan mogelijk alternatieve (lokale) producten leveren, van gelijkwaardige kwaliteit, waardoor betere logistieke organisatie mogelijk wordt en transport afstanden kunnen worden verkleind.

- Voor overheden kan de matrix inzicht verschaffen in de keuze voor ondersteuning van die ontwikkelingen die als meer duurzaam kunnen worden aangemerkt.

WUR-FBR heeft tijdens deze initiële studie een gedetailleerde matrix opgesteld, waarbij de verschillende componenten van de matrix zijn geïdentificeerd en een eerste invulling van de matrix is opgezet.



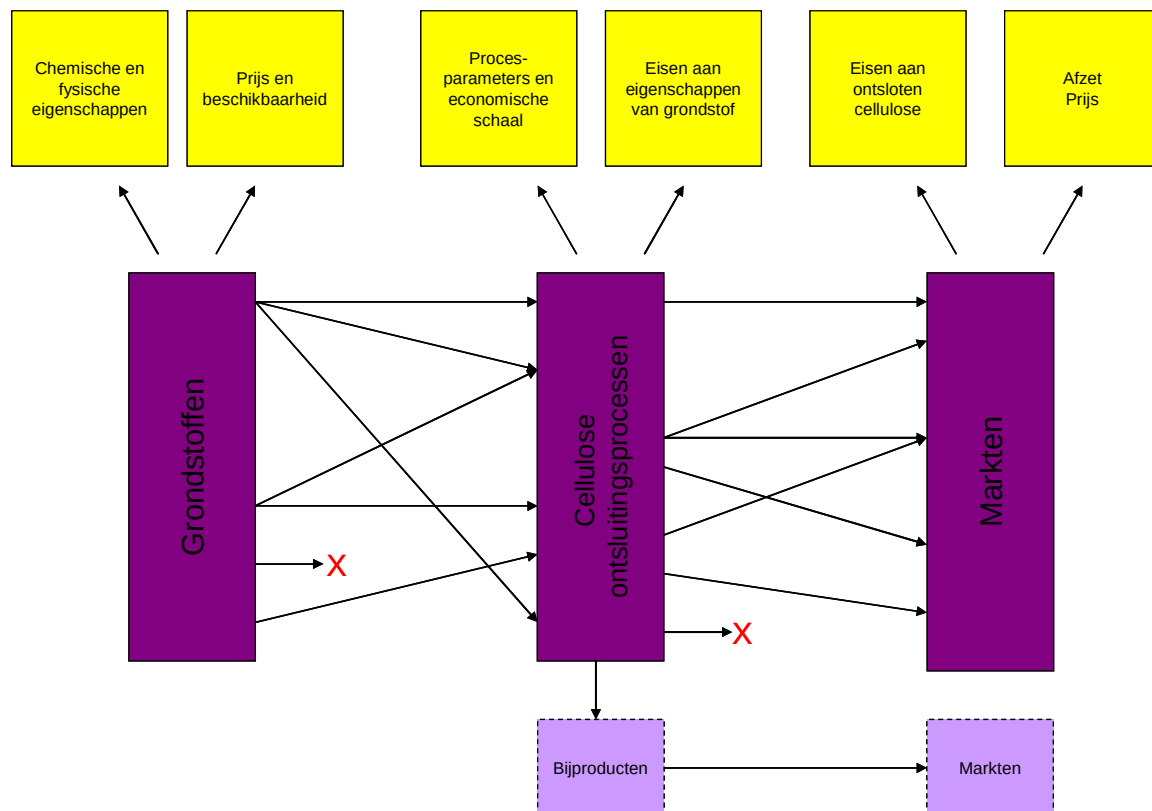
Stro als mogelijke grondstof voor ethanol, Ethanol gemaakt uit bijvoorbeeld stro

2 Methode

De hoeveelheid literatuur en kennis over cellulose is nagenoeg onuitputtelijk. Het aanbrengen van orde in de literatuur en kennis is noodzakelijk om de keuzes zoals verwoord in het doel van de cellulose matrix te kunnen maken.

Wij hebben er voor gekozen om de kennis te rangschikken rond een drietal gebieden. Ten eerste rond de bestaande en toekomstige grondstoffen die cellulose bevatten. Ten tweede rond de verwerkingsprocessen, die ontwikkeld zijn of worden om grondstoffen om te zetten in producten. Ten derde rond de huidige en toekomstige markten van cellulose bevattende producten. De kennis over de drie gebieden is op een logische manier met elkaar verbonden. Bij de kennis over de verschillende processen wordt per proces opgeslagen wat de eisen zijn die het proces aan zijn uitgang producten stelt. Bij de markten wordt opgeslagen welke eisen de markten stellen aan de producten uit de processen. Uit deze rangschikking volgt de cellulose matrix. De cellulose matrix legt verbanden tussen grondstoffen, verwerkingsprocessen en markten voor de producten.

Een grafische weergave van de matrix wordt gegeven in figuur 1.



Figuur 1: De cellulose matrix, geel = data set, paars=inventarisatie; X = ongeschikt voor verdere opwaardering

Centraal in de matrix staan de inventarisaties (overzichten) van de grondstoffen, de cellulose ontsluitingsprocessen en de markten. Pijlen tussen deze inventarisaties laten o.a. zien dat meerdere grondstoffen in hetzelfde proces verwerkt kunnen worden en dat verschillende combinaties van grondstoffen en processen kunnen leiden tot eenzelfde product.

Er is in de afgelopen decennia zeer veel kennis opgebouwd over de eigenschappen van houtvezels en de invloed van het klimaat, de bodemsoort en de jaargetijden op deze eigenschappen. Doordat hout een meerjarig gewas is middelen deze effecten enigszins uit bij het oogsten. Voor de meeste eenjarige gewassen is minder bekend over de invloed van het klimaat e.d. op de cellulose/vezeleigenschappen. Daarnaast speelt hier het oogsttijdstip een grote rol. De verbouwing van een gewas (lignine vorming) treedt b.v. pas na een aantal maanden op. Bij overstap op deze gewassen is dus nog een grote slag te maken.

De grondstoffen worden gekarakteriseerd door een tweetal sets met data. De eerste set bevat informatie over de chemische en fysische eigenschappen van de specifieke grondstof. De tweede set bevat data over de prijs en beschikbaarheid van die grondstof.

De cellulose ontsluitingsprocessen worden ook door een tweetal sets met data gekarakteriseerd. De eerste set bevat data over het proces, waaronder procesparameters en economische schaal. De tweede set bevat data over de eisen die gesteld worden door het proces aan de eigenschappen van de grondstof. De combinatie van grondstof en ontsluitingsproces resulteert in bijproducten. Eigenschappen van de bijproducten en de bijbehorende markten worden in de cellulosematrix buiten beschouwing gelaten.

De markten worden beschreven met een tweetal data sets. De eerste data set beschrijft de eisen die door de markten worden gesteld aan de ontsloten cellulose. De tweede set data beschrijft de omvang van de markt en de prijs.

De kennis en literatuur over cellulose is grotendeels Engelstalig vastgelegd. Daarom is de cellulosematrix ook in het Engels opgesteld.

In hoofdstuk 3 worden de inventarisaties grondstoffen, verwerkingsprocessen en markten besproken. In hoofdstuk 4 de bijbehorende datasets.

3 Inventarisatie Grondstoffen, Processen en Markten

3.1 Inventarisatie Grondstoffen

De grondstoffen zijn onderverdeeld in primaire, secundaire en tertiaire cellulose-grondstoffen. Primaire cellulosegrondstoffen worden voor de cellulosetoepassing geteeld. Secundaire grondstoffen komen vrij bij de teelt van gewassen. Tertiaire cellulose-grondstoffen komen vrij bij verwerkingsprocessen en gebruik. Naast b.v. de bekende vezelgewassen, komen hierbij dus ook de residuen en bijproducten, en de gerecyclede cellulosestromen aan bod. De inventarisatie is niet volledig, en kan dat ook niet zijn. Er worden steeds weer nieuwe planten geteeld, waarin de eigenschappen en concentraties van de cellulose veranderd zijn. Daarnaast zijn de residuen en bijproducten afhankelijk van veranderingen in de processen.

Het aanbrengen van een ordening in de grondstoffen is belangrijk, omdat er dan bij gebrek aan kennis over een bepaalde grondstof gekeken kan worden naar een vergelijkbare grondstof. Helaas zijn de verschillen tussen grondstoffen vaak te groot om eigenschappen van de ene grondstof als leidraad voor een andere te gebruiken. Voor veel processen en producten zijn het juist de voor de leek kleine verschillen tussen grondstoffen die het verschil maken.



Primaire cellulose grondstof: Vlas



Secundaire cellulose grondstof: Kokosbushes

3.1.1 Overzicht

In tabel 1 is een overzicht gegeven van de mogelijke grondstoffen.

Tabel 1. Indeling Cellulose grondstoffen

Primary Cellulose sources	
1	Softwoods
2	Hardwoods
3	Non-wood
3.1	Seed hairs / fluff or floss fibres
3.2	Bast fibres Dicotyledons
3.3	Hardfibres (leaf fibres, stem fibres, seed hull fibre)
3.4	Grasses & reeds
3.5	Brush / piassava fibres
3.6	Miscellaneous
3.7	Specialties
Secondary Cellulose sources	
4	Forestry residues
4.1	Softwoods Bark, branches, needles , cones Sawdust
4.2	Hard woods bark, branches, leaves, seeds Sawdust
5	Agro-Residues / Agri-food residues
5.1	Cereal grain straws and hulls
5.2	Starch (tuber) crop residues
5.3	Sugar crop residues
5.4	Oil crop residues
5.5	Fruits and nuts prunings and residues
5.6	Flowers and gardening byproducts and residues
5.7	Nature management and conservation biomass waste
Tertiary Cellulose sources	
6.1	Recollected textile waste
6.2	Primary pulp mill residues
6.3	Municipal solid waste
6.4	Building demolition waste
6.5	Manure
6.6	Compost / dredgings

3.2 Inventarisatie Cellulose ontsluitingsprocessen

De ontsluitingsprocessen omvatten de huidige pulprocessen, nieuwe pulprocessen en biorefineries. Hoewel processen vaak geschikt zijn om verschillende grondstoffen te verwerken, zijn de procesparameters geoptimaliseerd voor één grondstof. Verandering van grondstof vereist b.v. andere temperatuur, druk of verblijftijd.

3.2.1 *Overzicht*

In tabel 2 is een overzicht gegeven van de ontsluitingsprocessen.

Tabel 2. Indeling cellulose ontsluitingsprocessen

1 Cellulose extraction
1.1 Harvesting / storage and transport
1.2 Textile processing
2 Pulping processes
2.1 Mechanical pulp (groundwood pulp)
2.2 Thermo-mechanical pulp (TMP)
2.3 Chemithermomechanical pulp (cTMP)
2.4 Kraft pulping 90% (sulphate process)
2.5 Sulfite pulping 10% (acid pulping)
2.6 Alkaline pulping
2.7 Organosolv pulping
2.8 Acetosolv pulping / MILOX
3 New biorefinery and lignocellulose processing
3.1 Steam explosion / ultrasonication
3.2 Hydrolysis (enzyme)
3.3 Pyrolysis / hydrothermal liquefaction / hydrogenation (HTU) / syngas
3.4 Activated carbon
3.5 Biopulping / white rot fungi
4 Dissolving cellulose
4.1 Viscose process
4.2 Lyocell process NNMO
4.3 Other processes ammonia / phosphoric acid
4.4 Ionic liquids
4.5 Nanocellulose

3.3 Inventarisatie: Markten

Het overzicht van de cellulose markten is zeer uitgebreid, het omvat alle mogelijke toepassingen voor cellulose o.a. voor bouwmaterialen, textiel, nonwovens, papier, karton, maar ook dissolving cellulose, vezelgevulde composieten en cellulose films. Daarnaast de groeiende markt voor op cellulose gebaseerde chemicaliën en biobrandstoffen.

De verschillende eindtoepassingen stellen vaak zeer specifieke eisen aan de grondstoffen. Vanuit de eigen industrie lijkt het vaak zo te zijn dat in een andere industrie een veel groter aantal grondstoffen ingezet kan worden. In de praktijk valt dat mee/tegen, ook bij bijvoorbeeld tweede generatie brandstoffen zijn er veel eisen aan de grondstof die de keus beperken. Typisch een geval van groener gras bij de buurman.

3.3.1 Overzicht

In tabel 3 is een overzicht gegeven van de cellulose markten. De markten zijn onderverdeeld in productgroepen. De eisen die aan cellulose gesteld worden voor de producten binnen deze productgroepen zijn vergelijkbaar, maar verschillen op detailniveau.

Tabel . Indeling Cellulose markten

1	Textiles
2	Non-woven
3	Wood, timber
4	Pulp, paper and board
5	Cellulose dissolving pulp
6	Cellulosic Films
7	Building materials
8	Cellulosic fibre Composites
9	Green chemicals

4 Karakterisering Grondstoffen, Processen en Markten

4.1 Karakterisering Grondstoffen

De grondstoffen worden gekarakteriseerd met twee verschillende datasets. De chemische en fysische eigenschappen data set zijn “vaste” eigenschappen van de grondstof. Prijs en beschikbaarheid zijn variabele eigenschappen.

Cellulosevezels worden wereldwijd in grote hoeveelheden toegepast, toch mag niet vergeten worden dat er ook niet cellulosehoudende vezels bestaan. Denk bijvoorbeeld aan isolatiematerialen van glas of steenwol, allerlei voedingsvezels, vezels uit wieren, asbest. Daarnaast zijn er natuurlijk kunstmatige vezels, met vaak zeer specifieke eigenschappen wat betreft sterkte of absorptie. Daar vinden we dan wel weer cellulose terug, sigaretfilters bestaan bijvoorbeeld uit celluloseacetaat vezels.

4.1.1 Data set: Chemische en fysische eigenschappen van de grondstoffen

Deze dataset bevat chemische en fysische eigenschappen van grondstoffen.

De chemische samenstelling van de grondstoffen bevat zowel het percentage cellulose (en andere stoffen), als een karakterisering van de cellulose. De fysische eigenschappen hebben betrekking op de afmetingen van de cellulosevezels. De data die in deze dataset wordt opgeslagen is direct gelinkt aan de eisen die de processen stellen aan de grondstof en de eisen die de markten stellen aan de cellulose (paragraaf 4.2.2 en 4.3.2)

De chemische samenstelling van een grondstof is geen eenvoudige opsomming van de componenten. Voor het ontsluiten van de cellulose is de relatie tussen de componenten evenzeer van belang. De exacte verbindingen tussen cellulose, hemi-cellulose, lignine en de andere componenten bepalen de geschiktheid van een grondstof voor een bepaalde ontsluitingsmethode. Hierdoor stellen de verschillende processen en markten zeer verschillende eisen aan de cellulose.

De fysische eigenschappen van de cellulosevezels moeten op verschillende schalen worden vastgelegd. Voor de diverse markten zijn b.v. vezelbundels, elementaire vezels, micro- of nano-fibrillen de bouwstenen.

4.1.1.1 Overzicht belangrijkste data

De chemische data bestaat allereerst uit de samenstelling:

- Polysaccharides
- Cellulose
- Hemicellulose
- Pectins
- Lignin
- Other plant components

De cellulose wordt verder gekarakteriseerd door een aantal variabelen:

A. Fibre Dimensions

- Fibre length
- Diameter
- Lumen
- Cell wall thickness

B. Cellulose properties

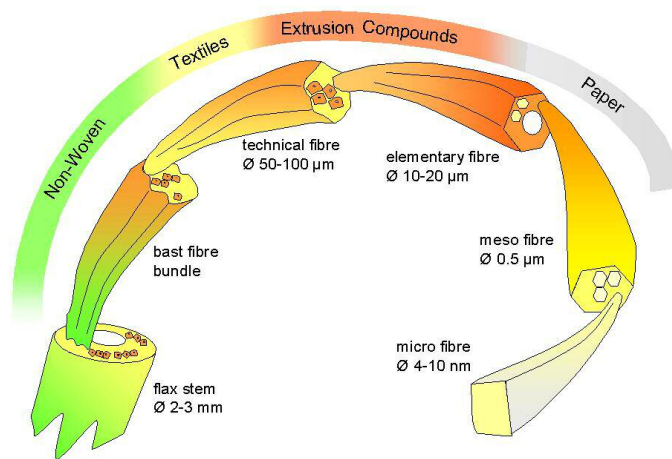
- Cellulose fibre strength properties
- Microfibril orientation
- Density
- Polymerisation degree Molecular mass distribution
- Swelling
- Solubility in alkali / ionic liquids

C. Cellulose Quality parameters

- Purity
- DP
- Crystallinity / amorphous phase

A. Fibre dimensions:

Cellulose houdende vezels in planten is een breed begrip. Er kan gesproken worden over vezelbundels, elementaire vezels, micro- of nanofibrillen. De elementaire vezel is een enkele plantencel. Vezelbundels zijn bundels van elementaire cellen, micro- of nanofibrillen zijn delen van de elementaire vezel. De vezellengte en diameter kan op alle vier de niveaus bepaald worden. Het lumen is de open ruimte binnen een elementaire cel, sommige vezelbundels hebben ook een open ruimte in het midden. De grootte van het lumen wordt bepaald in de dwarsrichting, zodat de totale diameter van de vezel gevormd wordt door het lumen en twee maal de celwanddikte. Vezels met een grootte lengte over diameterverhouding zijn bijvoorbeeld erg geschikt voor het versterken van composietmaterialen. Vezels met een klein lumen en dus relatief grootte celwanddikte zijn stijf.



Vezelfmetingen en toepassing van vlas

Cellulose vezels zijn hydrofiel, ze kunnen aan elkaar gebonden worden door het toevoegen van water en vervolgens te drogen. Vezels die nooit gedroogd zijn hebben andere eigenschappen dan vezels die al wel een droging hebben ondergaan. Voor sommige toepassingen zijn hydrofobe vezels vereist. Bij de productie van MDF maakt men de vezels hydrofoob door het hout zo te splitsen dat hydrofobere lignine aan de buitenkant komt te liggen. Voor sommige composieten en geotextielen worden chemicaliën aan de vezels gebonden die met hun hydrofiële kant aan de vezel vastzitten en met hun hydrofobe kant naar buiten wijzen.

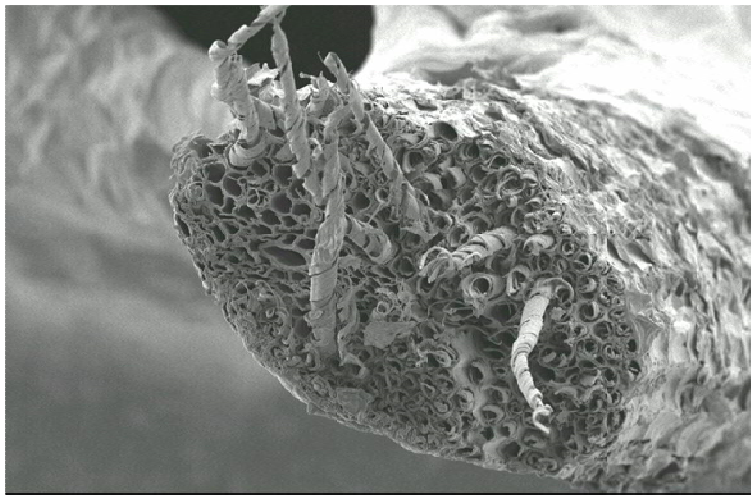
B. Cellulose properties

- cellulose fibre strength properties

De sterkte van de cellulose vezels kan bepaald worden m.b.v. speciale trekproeven. De sterkte wordt aangetast door de verschillende processtappen die de grondstof ondergaat. Dit gebeurt zowel door mechanische als chemische processen.

- microfibril orientation

De microfibrillen in de celwanden van de elementaire vezels liggen niet evenwijdig in de lengterichting van de vezel. De hoek waaronder deze vezels liggen bepaalt b.v. de rek van de vezel. Bij het uitrekken van de vezels verschuiven de microfibrillen t.o.v. elkaar. Voor vezels liggen de microfibrillen onder een hoek van 5-10 graden met de lengterichting, de maximale rek van cellulose houdende vezels is daarom vaak klein. Kokosvezels b.v. hebben een grotere hoek tussen de microfibrillen en de lengterichting van de cel, daarom hebben deze vezels een grote maximale rek.



Microfibril oriëntatie in een kokosvezel: grote hoek dus grote maximale rek

- density

De dichtheid van pure cellulose is ongeveer 1,4 kg/dm³. Dichtheden van vezels zijn aanmerkelijk lager.

- polymerisation degree Molecular mass distribution

Cellulose is een polymeer dat opgebouwd is uit glucose eenheden. Het gemiddeld aantal eenheden waaruit de cellulose is opgebouwd verschilt per plant. Tijdens de chemische processen waarmee de cellulose ontsloten wordt vermindert het aantal eenheden per polymeer. Bij toepassingen van de cellulose als dissolving cellulose bijvoorbeeld worden eisen gesteld aan het minimaal aantal eenheden. Wanneer het aantal eenheden sterk vermindert is, levert dat ook een sterktevermindering van de vezels op.

- swelling

Het zwellgedrag van vezels wordt bepaald door de samenstelling, bouw van de cel etc. Vezels die makkelijk zwellen zijn eenvoudiger chemisch te behandelen, maar ook minder dimensiestabiel.

Wateropname is voor veel toepassingen van cellulose van belang. Plaatmaterialen zijn er voor binnen en buitentoe toepassingen, ongewassen katoen wordt naast gewassen katoen verkocht. De hoeveelheid water die cellulose vasthoudt wordt o.a. bepaald door de structuur. Vezels worden in hun zwellling beperkt doordat verschillende lagen elkaar hinderen. Veel planten hebben daarnaast een waslaag die water afstoot, bij stro zit deze waslaag aan de buitenkant en niet rond iedere individuele vezel, bij katoen en kapok heeft ieder vezel zo'n waslaagje. De waterafstotendheid van kapok is zelfs zo hoog dat er jarenlang reddingsvesten van gemaakt werden. Helaas neemt kapok wel veel olie op, de reddingsvesten werden onbruikbaar na invoering van schepen die niet enkel op wind en stoomkracht voeren.

- solubility in alkali / ionic liquids

De oplosbaarheid van de vezels in verschillende media is van belang voor de diverse chemische processen.

In Tabel 3.1 wordt voor de grondstoffen de bekende waarden voor de eigenschappen gegeven.



Houtchips

Tabel 3.1. Data set: Chemische en fysische eigenschappen van de grondstoffen

Grondstof	Chemische samenstelling grondstoffen	Vezelafmetingen		Cellulose eigenschappen	Cellulose Kwaliteit
	Cellulose / Hemicell / Lignin / Extr / Ash	L mm	D μm		DP / crystalliniteit
Primary Cellulose sources					
Softwood	43-45/20-23/28/2-9/0.4	2.7-4.5	30-45		
Hardwood	40-50/25/16-24/2-5/0.2	0.7-2.5	20-30		/50-75%
Cotton	85-90/.1-3/0.4/2.8/1.6	18-25	20		3000-7000/60-80%
Bast & leaf fibres (jute, ramie, flax, hemp, sisal)	55-75 / 7-15 / 3-15/8-10/1-4	2.5-6.0	20-30		6500 -8000 / 55-95%
Grasses and reeds	40-45/20-30/20-30/2-5 ?	1.0-2.7	10-20		1500-8000 /
Secondary Cellulose sources					
Mixed wood (forestry / saw dust)	20-55/2-25/-/-/0.2-20	0.7-4.5			
Straws (Agro residue)	35-45/15-30/10- 20/ 3-17	0.5-1.5	8-15		
Tertiary cellulose sources					
Recollected textile waste	-	-		Heterogeen vermengd met synthetische en semi-synthetische vezels	Mixed cellulose I (katoen) en II (viscose) en derivaten (CDA)
Primary pulp mill residues Deinking sludge / primary sludge	35-45% cellulose in natte fractie (50% dm) met hoog as gehalte (15-25%) en aandeel lignine (20-30%)	-		Mechanisch beschadigd / voornamelijk korte vezel fractie	-
Municipal solid waste	30-35% cellulose houdende biomassa, *	-		Cellulose aandeel variabel gemengd in organische fracties GFT, plastics,	-
Building demolition waste	Ca 5% gewichts aandeel niet steenachtig (kunststoffen / hout en vezelplaat)	0.7-4.5		Heterogene fractie van hout en houtvezelproducten met aandeel verf / lijm en metaal	-
Manure	27% cellulose / 17% hemicellulose / 9% lignin dm basis rundermest (<30% dm)	-		Heterogene fractie van vezels/deels afgebroken	-
Compost / dredgings	-	-		Heterogene fractie van vezels/deels afgebroken	-

*position paper Iea MSW and its role in sustainability

4.1.2 Data set: Prijs en beschikbaarheid van de grondstoffen

De prijs en beschikbaarheid van de grondstof is plaats- en tijdsafhankelijk. In deze dataset wordt naast de wereldprijs en totale beschikbaarheid van de grondstof gekeken naar lokale invloeden en transportmogelijkheden. De daadwerkelijke beschikbaarheid van een grondstof wordt door zeer veel factoren beïnvloed, waaronder b.v. politieke. Het totaal invullen en up-to-date houden van deze dataset lijkt onmogelijk. Het invullen op grote lijnen en alleen in specifieke gevallen verdere detaillering lijkt haalbaar.

De prijs van een cellulose grondstof wordt deels bepaald door de transportkosten. De drijvende houtvloten in o.a. Scandinavië zijn een ideale oplossing, er wordt nauwelijks energie verbruikt en de boomstammen hebben een hoge dichtheid en een hoog droge stofgehalte. Voor veel andere gewassen zorgen met name de dichtheid tijdens het vervoer en het hoge watergehalte ervoor dat transport over grote afstanden geen optie is. Soms zou vervoer van de grondstof meer energie kosten dan er uiteindelijk uit de grondstof gewonnen kan worden. Kleinschalige mobiele installaties waarbij de grondstof verdicht wordt en een deel van het water verwijderd kunnen hierbij een oplossing bieden. Natuurlijk zijn er ook uitzonderingen, het vervoer van oudpapier naar China is rendabel, omdat anders de containers leeg teruggebracht zouden worden.

4.1.2.1 Overzicht belangrijkste data

De prijs en beschikbaarheid van de diverse grondstoffen verschilt per gebied. Naast de wereldproductie moet per gebied een overzicht gemaakt worden. Deze dataset omvat voor primaire cellulose bronnen b.v.:

- Production volume e.g. Ha
- Production yield e.g. Yield/Ha
- Production e.g. dry matter
- Price e.g. f.o.b.



Vervoer van grondstoffen

Voor secundaire en tertiaire cellulose bronnen worden vergelijkbare gegevens in de dataset opgenomen.

In Tabel 3.2 is een overzicht gegeven van de belangrijkste data

Tabel 3.2. Data set: Prijs en beschikbaarheid van de grondstoffen

Grondstof	Totale productie (ton/j)	Prijsrange €/t
Primary Cellulose sources		
Softwood+hardwood?	1200-1500 . 10 ⁶	Pulp 400-450
Cotton	27 . 10 ⁶	Pulp 2500-4000
Jute	2.5 . 10 ⁶	Raw jute 350-700
Other (Coir, flax hemp, kenaf, ramie sisal)	Each between 90-500 . 10 ³	Flax/ hemp / sisal (300-600, kort) 700-1000 (lang); 1600-2000 textiel kwaliteit Abaca pulp 1500-2500
Grasses and reeds	-	40-150
Secondary Cellulose sources		
Mixed wood (forestry)	-	Mixed wood 10-20 / pellets 90/ saw dust 200
Straws (Agro residue)	350-730 10 ⁶	40-150
Tertiary cellulose sources		
Recollected textile waste	550-900 10 ³ (UK) / 10. 10 ⁶ (USA) / 75. 10 ³ (NL)	-
Primary pulp mill residues	100.000?/	-
Municipal solid waste	243 10 ⁶ (USA) 8.10 ⁶ (NL)	-31
Building demolition waste	25. 10 ⁶ (NL)/ 3% hout	10
Manure	-	-
Compost / dredgings	-	-

4.2 Karakterisering ontsluitingsprocessen

De karakterisering van ontsluitingsprocessen is complex, omdat ieder ontsluitingsproces op verschillende manieren kan worden uitgevoerd. Optimalisatie van procesomstandigheden, nieuwe katalysatoren of enzymen b.v. kunnen de eisen die aan grondstoffen gesteld worden om via een ontsluitingsproces omgezet te worden in bruikbare cellulose producten veranderen. Huidige optimale schaalgroottes van ontsluitingsprocessen kunnen door veranderende economische omstandigheden of combinaties met andere industrieën wijzigen.

4.2.1 Data set: Procesparameters en economische schaal van de ontsluitingsprocessen

De ontsluitingsprocessen voor cellulose worden gekarakteriseerd door de procesparameters (temperatuur, druk, chemicaliën), die moeten worden toegepast voor effectieve omzetting en ook de economische schaal waarop ze bedreven kunnen worden. Deze procesparameters bepalen voor een deel de toepasbaarheid van ontsloten cellulose voor de beoogde markten. De dataset

geeft dan ook geen volledig beeld van de processen, maar focust op de procesparameters die een effect kunnen hebben op de eigenschappen van de cellulose.

4.2.1.1 Overzicht belangrijkste data

Belangrijke parameters die in de data set vermeld worden zijn:

- Maximum and minimum pressure
- Maximum and minimum temperature
- Chemical load
- Mechanical impact
- Economy of scale

In deze dataset kan ook een link gelegd worden naar de te verwachten bijproducten en de mogelijke opbrengsten van deze bijproducten in de bijbehorende markten.

In tabel 3.3 worden de belangrijkste procesparameters gegeven.

Tabel 3.3. Procesparameters en economische schaal van de ontsluitingsprocessen

Processen	Schaal grootte	Yield	Procescondities Druk	Temp	Chemicals	Mechanical impact
1	Cellulose extraction					
1.1	Harvesting / storage and transport	Large		Ambient	Ambient	Low
1.2	Textile processing	Small		Ambient	Ambient	Low
2	Pulping processes					
2.1	Mechanical pulp (groundwood pulp)	Medium	95%	Ambient	Moderate	n.a.
2.2	Thermo-mechanical pulp (TMP)	Medium	93%	Moderate	Moderate	Low
2.3	Chemithermomechanical pulp (cTMP)	Small	90%	Moderate	Moderate	Moderate
2.4	Kraft pulping 90% (sulphate process)	Large	40%	High	High	High
2.5	Sulfite pulping 10% (acid pulping)	Large	40%	High	High	High
2.6	Alkaline pulping	Large		High	High	High
2.7	Organosolv pulping	Small		High	High	High
2.8	Acetosolv pulping / MILOX	Small		High	High	High
3	New biorefinery and lignocellulose processing					
3.1	Steam explosion / ultrasonication	Small		High	High	Low
3.2	Hydrolysis (enzyme)	Small		Ambient	Moderate	Low - Enzymatic
3.3	Pyrolysis / hydrothermal liquefaction / hydrogenation (HTU) / syngas	Small		High	High - burning	Low
3.4	Activated carbon	Small		High	High - burning	n.a.
3.5	Biopulping / white rot fungi	Small		Ambient	Moderate	Low-Enzymatic
4	Dissolving cellulose					
4.1	Viscose process	Small		High	High	High
4.2	lyocell process NNMO	Small		High	High	High
4.3	Other processes amonia / phosphoric acid	Small		High	High	High
4.4	Ionic liquids	Small		High	High	High
4.5	Nanocellulose	Small		High	High	Low

4.2.2 Data set: Eisen van de ontsluitingsprocessen aan de eigenschappen van de grondstof

De verschillende ontsluitingsprocessen stellen eisen aan de grondstof. Wanneer een grondstof niet voldoet aan deze eisen is het niet mogelijk om met het gekozen ontsluitingsproces een kwalitatief of kwantitatief interessant product voor een markt te produceren. Deze data set bevat de huidige eisen die door de processen worden gesteld. Verdere ontwikkeling van de ontsluitingsprocessen kan een gestelde eis doen vervallen.

4.2.2.1 Overzicht belangrijkste data

De eisen die een proces aan een grondstof stellen zijn natuurlijk gekoppeld aan de beoogde cellulose kwaliteit. De eisen die aan de grondstof gesteld worden kunnen in een aantal groepen verdeeld worden:

- Physical properties e.g. size, dry matter
- Chemical composition e.g. interaction between cellulose/hemicellulose and lignin
- Unwanted components e.g. extractives and minerals (ash/silica)
- Prior treatments of raw material
- Physical, Chemical, Biological stability of the Cellulose

In tabel 3.4 wordt een overzicht gegeven aan de belangrijkste eisen per verwerkingsproces.



Productieproces en grondstof bepalen de levensduur van geotextielen

Tabel 3.4. Overzicht gegeven aan de belangrijkste eisen per verwerkingsproces

		Cellulose eigenschappen	Verontreinigingen	Voorbehandelingen
1	Cellulose extraction			
1.1	Oogst / opslag en transport	Volgroeid gewas / droog (<10% vocht)/ geperste balen	Houtdeeltjes / lignine	Roten / zwingelen (onthouten) / hekelen
1.2	Textile verwerking	Ontsloten bastvezels: A) lange vezels natspinnen lengte >30 cm); sterkte >50 cN/tex; fijnheid >40 Shirley; droog spinnen lengte >8 cm B) korte vezels (gecottoniseerd) (ringspinnen) (2,5-4,5 cm). C) menggarens	>95% zuiver (vrij van houtdeeltjes), kleur Ca 50-80% cellulose	Kaarden / bleken / twijnen / verven
2	Pulping processes			
2.1	Mechanical pulp (groundwood pulp)	Ongezuiverd houtstof	Compressie hout/ schors	Ontschorste houtblokken/ chips. Malen bij hoog vochtgehalte >30-45%
2.2	Thermo-mechanical pulp (TMP)	Hoog lignine % vezels	-	Chips stoomdruk refinieren
2.3	Chemithermomechanical pulp (cTMP)	Hoge opbrengst lange vezels	-	Chips voorbehandelen met NaOH /Na ₂ CO ₃
2.4	Kraft pulping 90% (sulphate process)	Sterke vezels	Rejects grove deeltjes / compressie hout	Chips Alkalisch (NaOH/ Na ₂ S) sulfaat kookstap
2.5	Sulfite pulping 10% (acid pulping)	Zwakkere vezels, eenvoudig te bleken		Zuur (Na ₂ SO ₂) sulfite kookstap
2.6	Alkaline pulping	-	-	Loog koking
2.7	Organosolv pulping	-	-	Methanol / ethanol koking
2.8	Acetosolv pulping / MILOX	-	-	Aziijnzuur koking
3	New biorefinery and lignocellulose processing			
3.1	Steam explosion / ultrasonication	Mechanische aantasting / hogere porositeit / laag hemicellulose %	Compressie hout / knopen	Stoom druk impregnatie
3.2	Hydrolysis (enzyme)	Chemisch / enzymatisch gedepolymeriseerd tot cellobiose / glucose	pentose	Lignine extractie
3.3	Pyrolysis / hydrothermal liquefaction / hydrogenation (HTU) / syngas	Thermische omzetting / afbraak cellulose / hemicellulose en lignine	-	Gehele biomassa omzetting
3.4	Activated carbon	Thermische omzetting	Non-cellulose	Microcrystalline cellulose 800-950 °C
3.5	Biopulping / white rot fungi	Partieel ontsloten	Schimmel biomassa	Inoculatie bevochtigde biomassa
4	Dissolving cellulose			
4.1	Viscose process	Cellulose (II)	geen	Dissolving cellulose van hoogste zuiverheid NaOH. H ₂ S, Xanthaat
4.2	Lyocell process NMMO	Cellulose (II)	minimaal	Dissolving cellulose van mindere zuiverheid; N-methylmorpholine-N-oxide
4.3	Other processes ammonia / phosphoric acid	Cellulose (III) preserved morphology	geen	Dissolving cellulose van hoge zuiverheid in Liquid ammonia of Super phosphoric acid (74%)
4.4	Ionic liquids (DMAc/LiCl)		geen	Dissolving cellulose van hoogste zuiverheid
4.5	Nanocellulose	10-30 nm fibril diameter 100-1000 nm lengte	geen	Dissolving cellulose van hoogste zuiverheid / hoge druk / temp homogenisatie disintegratie / microfluidizer

4.3 Karakterisering Markten

De cellulose markten zijn constant in ontwikkeling, bij vervanging van de ene grondstof naar een milieuvriendelijkere grondstof kunnen zowel de prijzen voor het product als de eisen die aan het product gesteld worden veranderen. Dit geldt zeker wanneer het nieuwe biobased cellulose product een aardolie gebaseerd product vervangt. Op dat moment kan een afwijkende kleur of textuur t.o.v. het originele product een goed commercieel argument zijn. Op de langere termijn is het echter te verwachten dat de originele kwaliteitseisen zullen blijven gelden.

4.3.1 Data set: Omvang en prijs van de markten

Deze data set omvat o.a. de huidige prijzen en prijsontwikkeling en de huidige marktgrootte en marktontwikkeling. Prijzen en marktgrootte verschillen per regio, concurrentie op regionale markten bepaalt veelal de prijzen. Dat geldt met name voor de vezeltoepassingen van cellulose en in minder mate voor de chemische en biobrandstoftoepassingen.



Vezelversterkte composieten



Nieuwe bouwmaterialen

4.3.1.1 Overzicht belangrijkste data

Deze dataset bevat prijzen en marktgroottes verdeeld naar regio. De data set zal continu up to date gehouden moeten worden. Belangrijke data in de set zijn:

- Huidige prijs (per regio)
- Prijsontwikkeling
- Huidige markt
- Markt ontwikkeling

In tabel 3.5 worden marktprijzen en groottes gegeven.

Tabel 3.5. Data set: Omvang en prijs van de markten

Cellulose markt		Prijsrange (grondstofprijs €/ ton)	Marktomvang Schattingen wereldwijd (Mt)
1	Textiles	1200 - 1900	70 (fibre)
2	Non-woven	200-400	0.6
3	Wood, timber	45-60 €/ m ³	1200-1500
4	Pulp, paper and board	450-650	328 paper 186 pulp(2003) 19-21 (nonwood pulp)
5	Cellulose dissolving pulp	1600-2000	4.5
6	Cellulosic Films	3000-3500	0.10
7	Building materials	-	-
8	Cellulosic fibre Composites	200-400	0.07 -0.8 (automotive)
9	Green chemicals	50-100	-



Papierfabriek

4.3.2 Data set: Eisen van de markten aan ontsloten cellulose

Deze data set bevat de eisen die de markten stellen aan de ontsloten cellulose. Dit omvat zowel eisen van energieverbruikers aan biobrandstoffen uit cellulose als b.v. eisen van de papierindustrie aan cellulosevezels. De dataset bevat dus niet de eigenschappen van papier dat geproduceerd wordt uit cellulose, maar bevat de eisen die een papierfabrikant stelt aan de cellulose die ingekocht wordt. Ook voor de andere markten worden de eisen aan de cellulose beschreven en niet de eisen aan het eindproduct.

4.3.2.1 Overzicht belangrijkste data

De eisen die een markt stelt aan de cellulose zijn vaak zeer specifiek voor het gekozen product. De eisen van de markten die cellulose als vezel toepassen zijn gericht op de samenstelling en zuiverheid, maar ook op vezelafmetingen en sterkte. De eisen van de markten die cellulose als polymeer of suikerbron toepassen zijn meer gericht op de chemische eigenschappen van het cellulosepolymeer.

Tabel 3.6. Data set: Eisen van de markten aan ontsloten cellulose

Markt		Eisen van de Markt
1	Textiles	Zuiverheid / kleur / vezellengte verdeling
2	Non-woven	Zuiverheid / vezellengte
3	Wood, timber	Dichtheid / sterkte en modulus
4	Pulp, paper and board	Brightness, tensile and tear, freeness
5	Cellulose dissolving pulp	α -Cellulose %, DP
6	Cellulosic Films	α -Cellulose %
7	Building materials	Sterkte, vocht absorptievermogen, brandveiligheid
8	Cellulosic fibre Composites	Compatibiliteit
9	Green chemicals	Glucose opbrengst

5 Discussie

5.1 Beschikbaarheid data

Het totaal invullen van de cellulose matrix met alle data over alle grondstoffen, processen en markten is een onmogelijke, en ook onnodige exercitie. Het is onmogelijk, omdat er een continue groei is van de diversiteit in grondstoffen en omdat processen en markten continu in ontwikkeling zijn. Het is ook onnodig omdat de cellulose matrix gebruikt kan worden voor het in de juiste richting sturen van de diverse stakeholders, en nooit bedoeld kan zijn om de eindoplossing te geven aan stakeholders. Allereerst is een beperking van de data mogelijk door per inventarisatie (grondstoffen, processen, markten) overkoepelende data op te nemen die gelden voor een hele groep grondstoffen, processen en markten. Deze groepen worden al gegeven in de paragrafen 3.1, 3.2 en 3.3. Per groep kunnen dan de belangrijke grondstoffen, markten of processen verder ingevuld worden. Vervolgens is er een beperking van de totale hoeveelheid data mogelijk in een aantal datasets:

- Data set: Chemische en fysische eigenschappen van de grondstoffen

De hoeveelheid chemische en fysische data kan verkleind worden door een aantal sleutelparameters vast te stellen. Deze sleutelparameters zijn absolute voorwaarden voor processen of producten. Dit kan de vezellengte zijn voor de fysische eigenschappen en b.v. de cellulosepolymerisatie graad voor de chemische eigenschappen. Wanneer b.v. de vezellengte van een grondstof te kort volgens de eisen van de textielindustrie, hoeft de data die nodig zijn voor de overige eisen van de textielindustrie niet ingevuld of bepaald te worden.

- Data set: Prijs en beschikbaarheid van de grondstoffen

De hoeveelheid data die vastgelegd moet worden kan beperkt worden door een minimumeisen te stellen aan de beschikbaarheid van de grondstoffen (b.v. 10.000 ton d.s./jaar).

- Data set: Procesparameters en economische schaal van de ontsluitingsprocessen

Deze dataset kan nooit volledig zijn, omdat de precieze procesparameters voor iedere grondstof en markt door middel van onderzoek vastgesteld moet worden. De data moet met name vastgelegd worden op hoofdgroepen en met nadruk op de eisen vanuit de markten

In de tabellen 3.1 tot en met 3.6 zijn de verschillende data sets al op deze manier verkleind. Hierdoor is het mogelijk om een snel overzicht van de matrix te krijgen, voor een nauwkeurige beantwoording van de vragen van de gebruiker is een verdieping van de kennis nodig.

In een tweetal andere datasets is niet de hoeveelheid data, maar de beschikbaarheid van de data een probleem:

- Data set: Eisen van de ontsluitingsprocessen aan de eigenschappen van de grondstof

Huidige en toekomstige processen concentreren zich op een bepaalde groep grondstoffen. Daardoor is er vaak nog niet onderzocht wat de mogelijkheden zijn om andere grondstoffen te verwerken. Er is aanvullend onderzoek nodig om te bepalen of een bepaald ontsluitingsproces geschikt te maken is voor andere grondstoffen, al dan niet met aanvullende processtappen.

- Data set: Eisen van de markten aan ontsloten cellulose

De eigenschappen en eisen die eindgebruikers stellen aan ontsloten cellulose zijn vaak ontstaan doordat deze eigenschappen en eisen bereikt kunnen worden met de huidige grondstoffen. Andere grondstoffen zullen andere eigenschappen geven, waardoor indien mogelijk ook de eisen die eindgebruikers aan de producten zullen stellen moeten worden aangepast. Het strikt vasthouden aan de huidige eigenschappen en eisen beperkt de ontwikkeling van nieuwe industrieën en producten. In deze dataset zou naast de huidige eisen, ook rekening gehouden moeten worden met mogelijke aanpassingen.

In de tabellen 3.4 en 3.6 is een globaal overzicht gegeven van de eisen van de ontsluitingsmethoden aan de grondstof en de markten aan de ontsloten cellulose.

5.2 Gebruiksvorm Cellulose matrix

De cellulose matrix moet een bruikbaar instrument worden, waarmee stakeholders keuzes kunnen maken wat betreft grondstof, proces en markt. De cellulosematrix kan beschikbaar gesteld worden als software of internetsite, waarbij een stakeholder zijn vraag zelfstandig kan stellen en de antwoorden kan beoordelen. Wanneer bijvoorbeeld een grondstofproducent wil weten wat hij met een bepaald cellulosegewas kan, krijgt hij een overzicht van mogelijke markten, mogelijke processen en inzicht in met welke gewassen hij eventueel concurreert. Daarnaast krijgt hij een overzicht van de ontbrekende kennis, voor welke processen en markten is geen kennis beschikbaar voor zijn gewas. Naast een verdere invulling van de datasets is een ontwikkeling van de software of internetsite nodig voordat de cellulosematrix op deze manier kan worden toegepast. De structuur van de matrix leent er zich voor om een database op te stellen waarin de verschillende datasets steeds verder ingevuld kunnen worden. Met behulp van gerichte zoekopdrachten kunnen dan antwoorden gecreëerd worden met behulp van deze database.

Nadat de stakeholder op bovenstaande manier antwoord heeft gekregen op zijn vraag, is het mogelijk om een verdieping van de kennis aan te bieden. Dit kan door toevoeging van literatuurreferenties aan de cellulosematrix, waarbij de stakeholder zelf zich in de materie kan verdiepen, of door het gericht benaderen van een onderzoeksinstituut.

5.3 Volledigheid cellulose matrix

Een belangrijke vraag voor de bruikbaarheid van de cellulose matrix is, of de informatie die in de cellulose matrix beschikbaar is, voldoende is om gerichte antwoorden te genereren. De grootste zorg gaat daarbij naar het ontbreken van inzicht in de mogelijkheden om bijproducten te verwaarden in huidige en toekomstige bioraffinageprocessen. Economische haalbaarheid van deze processen wordt niet alleen bepaald door de cellulose component, maar door de totale samenstelling en de daaruit te verkrijgen producten. Het uitbreiden van de cellulose matrix zodat ook alle andere producten hierin beschreven worden, ligt niet voor de hand. De complexiteit neemt daarbij teveel toe.

5.4 Verdere ontwikkeling van de cellulose matrix

De data die in dit project bijeengebracht en gestructureerd is, zal verder moeten worden uitgebreid. De complexiteit van cellulose en de verschillende manieren waarop de diverse markten cellulose karakteriseren maken het direct kopiëren van data uit literatuur nagenoeg onmogelijk. Vertaling van de gevonden data uit de literatuur naar de in te vullen data in de matrix is noodzakelijk. Het uitbreiden van de data door het uitgebreid bepalen van de data in het laboratorium is zeer kostbaar, waarbij veel overbodige data gegenereerd zal worden. Minstens zo belangrijk is het echter om een database op te zetten die de toegankelijkheid van de data voor stakeholders mogelijk maakt. Door samenwerking tussen een database-ontwikkelaar en onderzoekers met de benodigde kennis en inzicht in de wensen van de stakeholders kan een bruikbare cellulosematrix ontwikkeld worden.

6 Conclusies

De structuur en eerste invulling voor een cellulose matrix is opgesteld waarmee keuzes gemaakt kunnen worden door stakeholders met betrekking tot grondstoffen, processen en markten.

Huidige en nieuwe cellulosegrondstoffen zijn geïnventariseerd. Belangrijke chemische en fysische eigenschappen van deze grondstoffen, voor het gebruik in processen en producten, zijn geïdentificeerd. De prijs en beschikbaarheid van deze grondstoffen is onderzocht.

Huidige en nieuwe cellulose ontsluitingstechnologieën zijn geïnventariseerd. De voorwaarden waaraan grondstoffen moeten voldoen om geschikt te zijn voor de diverse processen zijn bijeengebracht. Procesparameters die invloed hebben op de eigenschappen van de celluloseproducten zijn onderzocht.

Huidige en opkomende markten op basis van cellulose zijn geïnventariseerd. De eisen die cellulose-markten stellen aan de door de processen uit de grondstoffen geproduceerde celluloses zijn onderzocht.

De eerste invulling van de cellulose matrix die in dit rapport gepresenteerd wordt, geeft stakeholders een globaal inzicht in de keuzemogelijkheden. Dit is bewerkstelligt door de totale hoeveelheid beschikbare data te comprimeren, door de kenmerken van grondstoffen, processen en markten per groep vast te leggen. Aan de hand van dit globale inzicht kan voor specifieke groepen de data verder uitgebreid worden.

Voor het tot stand brengen van een cellulose matrix die gedetailleerdere antwoorden geeft aan stakeholders is het vereist om de huidige data sets verder uit te breiden en onder te brengen in een database. De antwoorden die uit deze database verkregen worden hebben een richtinggevend karakter, verdere specificatie vindt plaats met literatuurreferenties en uiteindelijk toegepast onderzoek.

Bijlage 1. Glossary

Brightness	Kwaliteitsparameter voor papier; Het geeft aan hoe goed papier licht reflecteert ('witheid').
Dissolving cellulose	Chemische pulp primair bedoeld voor de bereiding van derivaten uit cellulose.
DP	Degree of polymerization, polymerisatiegraad. Het aantal monomeren in een macromolecuul of polymeer.
Freeness	Een eigenschap van papier(pulp). Het geeft aan hoe goed het materiaal te ontwateren is (een parameter die van belang is bij papierproductie).
Hardwood	Loofhout. Heeft korte, gladde vezels. Papier van loofhout is goed beschrijfbaar.
Hekelen	Materiaal door een fijne kam halen waarbij lange draden verkregen worden.
Hogere planten	Planten met een opbouw vanuit een centrale stengel met daaraan bladeren (ze hebben meestal ook een wortel).
Inoculatie	Het aanbrengen van/besproeien met sporen van schimmels.
Kaarden	Bij het kaarden worden de vezels ontward met behulp van naalden/stalen punten welke door het materiaal heen gekamd worden.
Ionic liquids	Gesmolten zouten met een kookpunt lager dan 100°C. Vloeistof bestaat alleen uit kationen en anionen.
Lyocell proces	Houtpulp wordt opgelost met N-methylmorpholine N-oxide waarna het materiaal gesponnen wordt. Het resultaat is Lyocell. Lyocell is een kunstmatige vezel op natuurlijke basis welke gebruikt wordt in kleding waardoor het makkelijker strijkbaar wordt.
Microfluidizer	Een apparaat waar vloeistoffen met deeltjes ingebracht worden. De deeltjes worden vervolgens bewerkt waarna ze dezelfde grootte hebben. Daarnaast geeft het een hoge opbrengst bij celdisruptie (vrijmaken van moleculen uit een cel).
Minerale olie	Hoogkokend destillaat van aardolie. Tegenhanger is dierlijke en plantaardige olie.
Natuurlijke polymeren	Natuurlijke polymeren zijn polymeren die direct worden geëxtraheerd en gewonnen uit biomassa zoals bijvoorbeeld hout, maïs, tarwe, rijst en aardappelen. Voorbeelden hiervan zijn zetmeel en cellulose.
Pulpproces	Biomassa tot fijngehakte uitgekookte vezels bewerken.
Refinen	Het mechanisch bewerken van papiervezels. De vezels worden gekneusd (gefribilleerd) of geknipt (verkort)”. Dit heeft effect op de sterkte, doorzicht en gladheid van het papier.
Roten	Losweken van de bast.
Softwood	Naaldhout. Heeft lange, ruwe vezels.

Tear	De kracht die nodig is om papier te doen scheuren (scheursterkte). Dit heeft is afhankelijk van de vezeloriëntatie in het papier.
Tensile	De kracht die nodig is om papier uit elkaar te trekken/te breken (treksterkte). De treksterkte is afhankelijk van de vezelsterkte en de binding tussen de vezels.
Twijnen	Het in elkaar draaien van tenminste twee draden.
Zwingelen	Een bewerking waarbij nadat het harde omhulsel van de stengel gebroken is, dit verwijderd wordt door de vezels tussen twee tegen elkaar indraaiende molens door te voeren.