



INNOVATIONSNETVÆRK
FOR MILJØTEKNOLOGI

Bæredygtige hør- og hampetekstiler

Udvikling af tekstilkoncept med nye enzymatiske
forarbejdningsmetoder på basis af lokalt producerede
tekstilråvarer

Slutrapport
Udarbejdet af:
Bodil E. Pallesen
11. august 2016



Styrelsen for Forskning
og Innovation

Ministeriet for Forskning, Innovation
og Videregående Uddannelser

INDHOLDSFORTEGNELSE

1	FORORD	4
2	RESUMÉ	5
3	INTRODUKTION OG PROJEKTMÅL	6
3.1	Projekt mål og indsatsområder	8
4	VÆRDIKÆDEN: FRA MARK TIL FÆRDIGT TEKSTIL – STATE OF THE ART	9
4.1	Spindhør og hamp – hvorfor netop disse afgrøder?	10
4.1.1	Fiberindhold i hør- og hamp	12
4.1.2	Hør- og hampestrået opbygning	13
4.1.3	Rødning af hør og hamp	15
4.2	Høst af hør og hamp til tekstile formål – en udfordring	15
4.3	Fremstilling af tekstilfibre	16
5	FORSØG MED ENZYMATISK RØDNING AF HAMPEFIBRE	18
5.1	Formål med enzym-forsøgene	18
5.2	Udgangsmaterialet	18
5.3	Enzymforsøgene	19
6	PRØVETEKSTILER TIL NYE DESIGNS TIL MODEBRANCHEN	21
6.1	Udvikling af nye design med hampetekstiler ved Rachel Kollerup	22
6.2	Resultaterne af kvalitetsforsøg på SEIDRA samt Rachel Kollerup	23
7	MILJØANALYSE – LCA – AF VÆRDIKÆDEN HAMP TIL TEKSTIL	24
7.1	Formålet	24
7.2	Scenarier	24
7.3	Livscyklus	25
7.4	Resultater af miljøanalysen af hamp til tekstil	26
8	FORMIDLING OM BÆREDYGTIGE TEKSTILER FRA HØR OG HAMP	27
8.1	Hamp – på Folkemødet Bornholm 2016	27
8.2	Launch Nordic – deltagelse i challenge 2015	29
8.3	Øvrig formidling	29
9	KONKLUSION OG ANBEFALINGER	30
10	BILAG 1. MILJØANALYSE, UDARBEJDET AF FORCE TECHNOLOGY, RASMUS NIELSEN	31

Rapporten er udarbejdet som afslutning på projektet
*“ Bæredygtige hør- og hampetekstiler –
Udvikling af tekstilkoncept med nye enzymatiske
forarbejdningsmetoder på basis af lokalt producerede
tekstilråvarer ”*, der er støttet af Innovationsnetværket
INNO-MT (Innovationsnetværk for miljøteknologi).

Projektet er gennemført i 2015-2016 i et samarbejde
mellem Teknologisk Institut, FORCE Technology, Rachel Kollerup,
Novozymes og Seidra Textilwerke GmbH.

Rapporten er udarbejdet af:

Bodil Engberg Pallesen, Teknologisk Institut
Rasmus Nielsen, FORCE Technology (bilag 1 - Miljøanalyse)

Med bidrag fra:
Rachel Kollerup
Birgit Bonefeld
Stig Træff, Novozymes
Michael Pilger, SEIDRA

Kontakt:

Rachel Kollerup
Mølleåparken 109, 1 sal
Brede
2800 Kongens Lyngby
+45 40 18 07 55
rk@rachelkollerup.com
www.rachelkollerup.com

Samt

Teknologisk Institut, AgroTech, Miljøteknologi,
Att.: Bodil E. Pallesen
Agro Food Park 15, 82001 Århus N
Mail: bdp@teknologisk.dk
www.teknologisk.dk

Forsidefoto: Martin Håkan / Coverganda.dk

1 FORORD

I arbejdet på at fremme udviklingen indenfor en bæredygtig produktion af tekstiler har et konsortium bestående af modedesigner og innovator Rachel Kollerup¹ og hampeekspert Bodil Engberg Pallesen fra Teknologisk Institut² samt FORCE Technology³, Novozymes⁴ samt SEIDRA Textilwerke, fokuseret på afgrøderne hamp og hør, som potentielle tekstilråvarer, der kan dyrkes i Danmark uden brug af kemikalier og dermed gøre produktionen af tekstiler mere bæredygtig. Konsortiet har sat sig for at undersøge hvad der skal til for at rykke produktionen af især hamp eller hør nærmere til Danmark, så produktionen bliver mere gennemsigtig og bæredygtig.

Det lykkedes at skaffe medfinansiering via et mindre boble-udviklingsprojekt under INNO-MT med titlen: "Bæredygtige hør- og hampetekstiler – Udvikling af tekstilkoncept med nye enzymatiske forarbejdningsmetoder på basis af lokalt producerede tekstilråvarer"⁵. Projektet startede op juni 2015, og løb frem til 30. juni 2016.

Med baggrund i mange års erfaringer med udvikling af nye produkter fra hør og hamp ved AgroTech, nu Teknologisk Institut⁶, og Novozymes ekspertise indenfor enzymer valgte projektgruppen at fokusere på udvikling af et tekstilkoncept med nye enzymatiske forarbejdningsmetoder på basis af lokalt producerede tekstilråvarer, både hamp og hør, og demonstrere konceptet som værende et bæredygtigt alternativ for modeindustrien. Bæredygtigheden er nærmere undersøgt gennem miljøanalyser udført af FORCE Teknologi og der er arbejdet med nye designs mm. Resultaterne blev præsenteret bl.a. ved Folkemødet på Bornholm 2016 under titlen: "Hamp, fremtidens bæredygtige afgrøde til tekstil-, fødevarer- og byggeindustrien".

Projektet bobler videre, og der arbejdes på at søsætte et større projekt, der tager udgangspunkt i tekstilkonceptet med enzymatisk forarbejdning, herunder de mange led i værdikæden fra mark til færdigt tekstil, og de mange delprocesser, som man kan sætte ind på at forbedre: Høst og indledende forarbejdning af hampestænglerne på marken, frilægning af fibre, kartning af fibre, blødgøring, spinding af fibre til garn, blegning og farvning osv. Tovholdere er her Teknologisk Institut, afdelingerne for Tekstil samt Miljøteknologi i tæt samarbejde med øvrige projektdeltagere fra såvel det eksisterende konsortium samt nye partnere.

Der skal på vegne af hele konsortiet udtrykkes en tak for økonomisk støtte fra Innovationsnetværket INNO-MT, og Styrelsen for Forskning og Innovation.

*Bodil Engberg Pallesen
Projektleder
Teknologisk Institut, AgroTech
August 2016*

¹ www.rachelkollerup.com

² www.teknologisk.dk

³ <http://forcetechnology.com/da>

⁴ <http://www.novozymes.com/en>

⁵ <http://www.agrotech.dk/projekter/project/kommer-vi-til-gaa-med-dansk-producerede-hoer-og-hampetekstiler>

⁶ PALLESEN BE (2010), Hamp til isolering og som dyrkningsmedie i væksthuse, Indlæg Plantekongres 2010, http://www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Plantekongres/Sider/PL_PLK_2010_Resume_H1-2_Bodil_E_Pallesen.pdf

2 RESUMÉ

I dag er der ikke en dansk eller skandinavisk produktion af hamp eller hør til tekstiler. Indtil 1972 havde Danmark velfungerende hørskætterier, der producerede hørfibre til tekstile formål. Efter vi kom i EU kunne Danmark ikke konkurrere med Belgien, Holland og Frankrig m.fl., der er specialister i fremstilling af lange hørfibre. Siden har disse lande fået hård konkurrence af f.eks. Rumænien (inden de kom i EU) samt Indien og Kina. Der foregår en forarbejdning af såvel hør- som hampefibre i EU, men det er især til industrielle formål såsom isolering, bilkompositter, papir m.v., og kun i mindre grad til tekstile formål. Man kan ikke konkurrere på prisen på importerede fibre fra Kina m.v.

Derfor er der etableret et konsortium bestående af modedesigner og innovator Rachel Kollerup og hampeekspert og seniorkonsulent Bodil Engberg Pallesen fra Teknologisk Institut samt Rasmus Nielsen, FORCE Technology, Novozymes og SEIDRA Textilwerke, for at fremme mulighederne for at producere bæredygtige hampetekstiler tættere på eller i Danmark. Konsortiet har haft til formål at kortlægge, hvor der kan sættes ind i værdikæden fra mark til færdigt produkt, herunder specielt kikke på mulighederne mht. enzymatisk frilægning af hør- og hampefibre. Et mindre bobleprojekt blev formuleret: "Bæredygtige hør- og hampetekstiler – Udvikling af tekstilkoncept med nye enzymatiske forarbejdningsmetoder på basis af lokalt producerede tekstilråvarer". Projektet har til formål at udvikle et tekstilkoncept med nye enzymatiske forarbejdningsmetoder på basis af lokalt producerede tekstilråvarer, og demonstrere konceptet som værende et bæredygtigt alternativ for modeindustrien. Målgruppen har været modeindustrien, designere, studerende og forbrugeren, samt øvrige interessenter i værdikæden, herunder også producenter af tekstiler og råvarer.

Bobleprojektet opnåede støtte fra INNO-MT og gik i gang juni 2015, og er afsluttet pr. 30. juni 2016.

I løbet af projektperioden er der gennemført en række indledende forsøg med enzymatisk behandling af ubehandlede hampestængler og skættede hampestængler, dyrket i Danmark. Enzymerne er leveret af Novozymes. Der er arbejdet med forskellige hampekvaliteter bl.a. fra partner i projektet SEIDRA Textilwerke og tekstilet er testet med enzymatiske behandlinger (Bio-polishing – leveret af Novozymes) for at forbedre tekstilkvaliteten i forbindelse med gentagne vaske og strygninger. Der er gennemført en miljøanalyse af FORCE Technology på hampeværdikæden sammenlignet med bomuld og polyester, herunder kikket på miljøbelastning på konkrete designs. Endvidere er der fremstillet eksempler på bæredygtige designs med hamp, som er præsenteret ved bl.a. Folkemødet Bornholm⁷, i forbindelse med en stand omhandlende "Hamp til bæredygtige materialer som tekstiler mm".

De indledende enzymforsøg viser, at der er et potentiale ved at gå denne vej, og at de anvendte råvarer, bl.a. hamp dyrket i Danmark, opnår en forbedret kvalitet, som er spindbar. Der er dog fortsat en lang vej at gå, for at kunne have konceptet på plads og dokumentere fiberkvaliteten og konsistens i behandlingsmetoderne. Indsatsen skal kombineres med fortsat at forbedre høst- og bjergningsmetoderne, herunder forarbejdning af lange fibre som er spindbare. Den enzymatiske vej vil i langt højere grad kunne effektiviseres og automatiseres end traditionel forarbejdning af hamp, og derved være et skridt på vej mod en realistisk produktion af tekstilfibre i Danmark.

Fremstilling af designs på basis af vævede og også strikkede hampekvaliteter har været et konkret resultat, som der er taget udgangspunkt i ved miljøanalyser.

Efterbehandling af hampetekstilet i form af enzymbehandling har vist en forbedring af tekstilkvaliteten. Bio-polishing-processen har været ny for de testede hampe-tekstilkvaliteter, og de positive resultater bør der arbejdes videre med.

⁷ <http://www.teknologisk.dk/hoer-om-hamp-paa-folkemoedet-paa-bornholm/37211>

Miljøanalysen viser at man skal optimere hele konceptet med hampeværdikæden for at kunne dokumentere en væsentlig miljøforbedring i forhold til den eksisterende produktion af hamp til tekstiler. Dette er logisk nok, i det den nuværende produktion af hamp til tekstiler, som foregår primært i Kina, på nuværende tidspunkt ikke er særlig bæredygtig. I det optimerede scenarie, hvori enzymbehandling indgår viser en positiv miljøeffekt. Potentialet for at forbedre konceptet med hamp og hør til tekstiler og dermed forbedre bæredygtigheden er derfor et vigtigt indsatsområde, hvis der skal være reelle alternativer til bomuld og den nuværende meget miljøbelastende produktion af tekstiler – og her skal der fokuseres på hele værdikæden.

Projektgruppen arbejder videre med formulering af et større projekt med basis i de opnåede resultater i bobleprojektet, herunder fortsat identificere teknologiske udviklingsbehov i værdikæden. Konsortiet udvides i denne proces til at dække relevante aktører i hele værdikæden, herunder end-users og netværket til tekstil- og modebranchen.

3 INTRODUKTION OG PROJEKTMÅL

Den nuværende produktion af tekstiler er stærkt miljøbelastende, hvor især dyrkning og produktion af bomuld til tekstiler i 3. verden og transporteret over store afstande udgør en stor belastning for miljøet pga. stort forbrug af vand og sprøjtegifte i dyrkningsledet, og stort vand- og kemikalieforbrug til forarbejdning af bomuld til tekstiler, og energi til transport. Derfor efterlyser modeindustrien/-branchen alternativer til miljøbelastende råmaterialer og ressourceforbrugende tøjspild, dvs. større bæredygtighed igennem hele værdikæden. Men det er en kolossal udfordring at gøre produktionen mere bæredygtig og samtidig spare på ressourcerne.

Udover at modeindustrien er en af verdens mest forurenende industrier, er industrien også skævvredet i alle livsled, lige fra det yderst miljøbelastende og ressourcekrævende forbrug af råmaterialer til tøjfibre, til kummerlige fabriks- og arbejdsforhold på travle systuer i udviklingslandene, til de tons vis af tøjaffald, som billigere og billigere tøjpriser er skyld i. Også i Danmark har vi problemerne, og hvert år smider hver dansker 16 kilo tøj i affaldsbeholderen⁸.



Bomuld, der dyrkes i den 3`verden, bliver sprøjtet op til 70 gange hver sæson, pga. meget store problemer med skadegørere og ukrudtsbekæmpelse. Bomuldsproduktionen udgør på verdensplan kun cirka 2,5 procent af det samlede landbrugsareal.

⁸ <http://mim.dk/nyheder/2015/jan/brosboel-toeibranchens-regning-til-miljoet-skal-ned/>

Bomuldsproduktionen står til gengæld for 25 procent af det samlede forbrug af insektgifte og 10 procent af det samlede pesticidforbrug⁹. Dertil kommer et stort forbrug af vand og gødning og energi, der koster miljøet. Efterfølgende er der en række arbejdsmiljøproblemer med forarbejdning af bomuldsfibrene, hvor der indgår kemi, herunder blegning og farvning af fibre, problemer med børnearbejde osv.¹⁰ Dertil kommer transport til Europa, som også udgør en belastning for miljøet.

I dag er der ikke en dansk eller skandinavisk produktion af hamp eller hør til tekstiler. Indtil 1972 havde Danmark velfungerende hørskætterier, der producerede hørfibre til tekstile formål. Efter vi kom i EU kunne Danmark ikke konkurrere med Belgien, Holland og Frankrig m.fl., der er specialister i fremstilling af lange hørfibre. Siden har disse lande fået hård konkurrence af f.eks. Rumænien (inden de kom i EU) samt Indien og Kina. Der foregår en forarbejdning af såvel hør- som hampefibre i EU, men det er især til industrielle formål såsom isolering, bilkompositter, papir m.v., og kun i mindre grad til tekstile formål. Man kan ikke konkurrere på prisen på importerede fibre fra Kina m.v.

Derfor er der etableret et konsortium bestående af modedesigner og innovator Rachel Kollerup og hampeekspert og seniorkonsulent Bodil Engberg Pallesen fra Teknologisk Institut samt FORCE Technology, Novozymes og SEIDRA Textilwerke, for at fremme mulighederne for at producere bæredygtige hampetekstiler tættere eller i Danmark. Konsortiet har modtaget støtte til et såkaldt bobleprojekt "Bæredygtige hør- og hampetekstiler – Udvikling af tekstilkoncept med nye enzymatiske forarbejdningsmetoder på basis af lokalt producerede tekstilråvarer", fra INNO-MT, et innovationsnetværk under Styrelsen for Forskning og Innovation.



Hør- og hampetekstiler er behagelige at have på og er langt mere bæredygtige end bomuld, men produceres ikke i Danmark og kun i meget lille målestok i EU. Så det er stort set kun Kina og Asien, der producerer hampetekstiler i dag¹¹. Foto: AgroTech, Teknologisk Institut.

⁹ http://wwf.panda.org/about_our_earth/about_freshwater/freshwater_problems/thirsty_crops/cotton/

¹⁰ <https://www.danwatch.dk/undersogelse/danske-toejproducenter-er-uvideende-om-boerne-og-tvangsarbejde-i-bomuld/>

¹¹ Projektomtale på AgroTechs gamle hjemmeside. <http://www.agrotech.dk/projekter/project/kommer-vi-til-gaa-med-dansk-producerede-hoer-og-hampetekstiler>

3.1 PROJEKTMÅL OG INDSATSOMRÅDER

Projektets formål har været at udvikle et tekstilkoncept med nye enzymatiske forarbejdningsmetoder på basis af lokalt producerede tekstilråvarer, som hør og hamp, der kan dyrkes i Danmark, og demonstrere konceptet som værende et bæredygtigt alternativ for modeindustrien.

Målgruppen har været modeindustrien, designere, studerende og forbrugeren, samt øvrige interessenter i værdikæden, herunder også producenter af tekstiler og råvarer.

Bobleprojektet har søgt at afklare hvilke teknologiske muligheder og begrænsninger, der ligger i tekstiler af hør og hamp. Derfor kigges på de mange led i værdikæden fra mark til færdigt tekstil, og der er mange delprocesser, som man kan sætte ind på at forbedre: Høst og indledende forarbejdning af hampestænglerne på marken, skætning, kartning af fibre, blødgøring, spinding af fibre til garn, blegning og farvning osv.

I Danmark dyrkes kun mindre arealer med hamp om end arealet er steget til 600 hektar i 2016, og spindhør dyrkes slet ikke. Formålet med at dyrke hamp i Danmark er især til fødevare- og kosttilskuds- og medicinformål, og kun i mindre grad fiber-formål pga. selve forarbejdningen af hamperåvaren fra marken kun sker i meget lille omfang, og typisk bliver hampestænglerne sendt til udlandet for at blive forarbejdet til fibre. Der foregår en mindre forarbejdning af hør- og hampefibre – importeret fra udlandet - som konverteres til nonwoven-måtter til f.eks. isolering og vækstmedier og kompositter. Disse produkter er baseret på udviklingsarbejde gennemført af Bodil E. Pallesen, AgroTech, nu under Teknologisk Institut, og kommerialiseret i virksomheden Advance Nonwoven. De anvendte fibre er generelt for korte til at spindes og udnyttes til tekstiler. Så udfordringen med at kunne fremstille fibre til tekstile formål er store. AgroTech har tidligere arbejdet med udvikling af alternative rødningsprocesser i hør og hamp, denne viden udnyttes i bobleprojektet, mhp. på at kunne frembringe egnede fibre, der kan spindes til tekstiler.

Projektet har taget udgangspunkt i test af enzymer til frilægning af hampefibre mhp. at nå frem til fibre som er spindbare til tekstiler. Novozymes har stillet enzymer til rådighed i projektet, og er interesseret i at identificere de teknologiske udfordringer, der er, herunder finde løsninger på disse.

Projektet har også arbejdet med andre udfordringer i værdikæden, så som hør og hamps følsomhed mht. at kunne tåle vask og strygninger og undgå at krølle. Derfor er gennemført forsøg med BioPolishing enzymer fra Novozymes, mhp. at forbedre hør og hamps egenskaber og friske udseende.

I projektet arbejdede Rachel Kollerup med gennemførelse af forsøg med BioPolishing på udvalgte hampe- og hørtekstile kvaliteter. Rachel Kollerup er en af modebranchens udviklere og formidlere om bæredygtig mode og står for fremstilling af prøvekollektion samt formidling af resultater. Samarbejdspartner Seidra Textilwerke (STW) deltog i projektet med mindre forsøg med fremstilling af bæredygtige tekstiler fra hør og hamp, som indgår i eksempler på bæredygtigt tøjdesign fremstillet af RK.

Hampe- og høråvarenes bæredygtighed blev vurderet vha. miljøanalyser af hele værdikæden af FORCE Technology, der også har set på LCA-vurderinger af udvalgte kollektioner med hør og hamp, for at dokumentere miljøprofiler for konkrete miljøprofiler.

Resultater og identifikation af barrierer, herunder viden og erfaringer fra bobleprojektet skal anvendes til formulering af kommende teknologiudviklingsprojekter, hvor projektgruppen vil søge at løse de identificerede teknologiske barrierer og videreudvikle konceptet omkring hvordan fremtidens bæredygtige mode kan se ud.

Forventningen er et bæredygtigt højteknologisk dansk koncept, hvor hør- og hampetekstiler kan blive et af fremtidens innovative, bæredygtige tekstiler, som den meget ressourcintensive tekstilindustri vil efterspørge. Og som forventes at have et kolossalt potentiale indenfor tøj- og modebranchen, der efterspørger bæredygtige løsninger.

Udfordringen i bobleprojektet er med andre ord at transformere råvarer fra hør og hamp til færdige tekstile råvarer på en bæredygtig måde, dvs. forarbejdning af en råvare fra marken og frem til fiberkvaliteter, som kan spindes.

4 VÆRDIKÆDEN: FRA MARK TIL FÆRDIGT TEKSTIL – STATE OF THE ART

Valg af råvare faldt på afgrøderne spindhør og hamp, der let kan dyrkes i Danmark. Det er begge to bæredygtige alternativer til modeindustrien, og afgrøderne har gennem århundreder været anvendt til tekstil, men har under den industrielle revolution tabt terræn til fordel for bomuld. Hamp var forbudt at dyrke i en årrække pga. indhold af THC, det blev forbudt i 1961, pga. indholdet af cannabinol (THC)¹², men siden 1998 har det været tilladt at dyrke hamp med ubetydeligt indhold af THC. Ikke mindst hampeplanten er interessant. Hamp gror ubesværet i den danske muld uden brug af pesticider, har et stort biomassepotentiale og hele planten kan anvendes bl.a. til andre høj kvalitetsprodukter indenfor fødevarer- og byggeindustrien.

Hamp og hør er begge indbegrebet af en bæredygtig tekstilråvare med gode egenskaber: de er slidstærke tøjfibre, der holder godt på varmen i kulden og virker afkølede for kroppen om sommeren og fugten absorberes ubesværet. Faktisk har planten nogle af de samme egenskaber, som man kender fra uld.



Råvarekvaliteter i forskellige stadier og kvaliteter i løbet af forarbejdningsprocessen i Kina. Her indgår arbejdstunge/manuelle såvel som kemiske behandlinger af fibrene for at opnå tilfredsstillende resultater.¹³

¹² Pga. bestemmelse i artikel 28, 2 i Enkelt Konventionen af 30. marts 1961

¹³ Textiva.com

4.1 SPINDHØR OG HAMP – HVORFOR NETOP DISSE AFGRØDER?

Spindhør og hamp anses for værende de mest interessante fiberafgrøder, der kan dyrkes i Danmark, og indeholder fibre med unikke egenskaber: et højt cellulose indhold, lavt ligninindhold, god tekstilkvalitet, høj fiberstyrke, god absorptionsevne samt god isolerende evne. Egenskaber, som gør fiberne velegnede i en række industrielle produkter som tekstiler – såvel vævede eller spundne produkter, miljøvenlige isoleringsmaterialer, biofiltre til f.eks. olieabsorption, plantefibermåtter, papir, fibre- og kompositmaterialer. Hamp er yderligere interessant, idet den har et større udbyttepotentiale end hør og flere anvendelsesområder. Fra landmandens synspunkt er det lettere opnå et større dækningsbidrag i hamp end f.eks. spindhør. Samtidig kan frø fra begge afgrøder anvendes til fødevarer, samt tekniske og medicinske formål, det sidste er især gældende for hamp.



Hampeplanten bliver ofte mere end 2,5 meter høj. Hunplanterne er generelt mere kraftige og med tydelige anlæg for frø. Foto: Bodil E. Pallesen, Teknologisk Institut, AgroTech



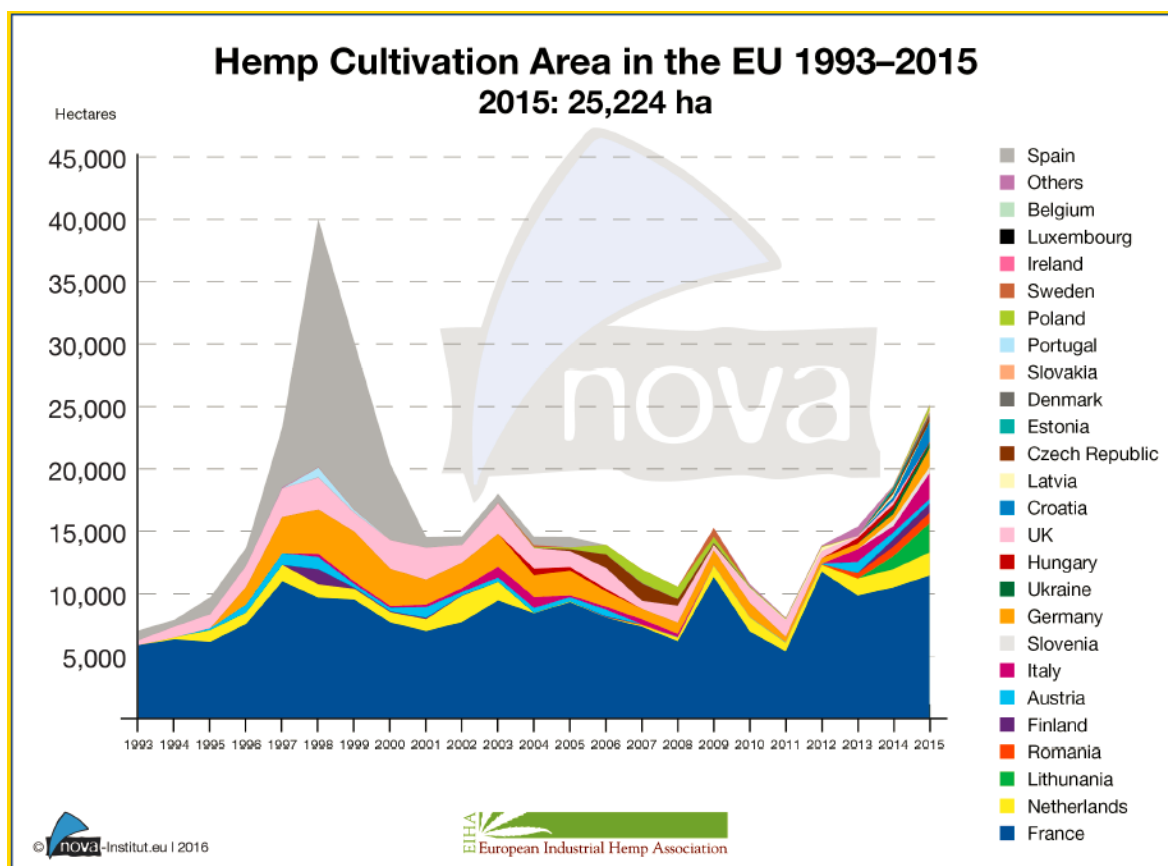
Hampe-hanplanterne er betydeligt mindre men tidligere modne end hunplanterne, juni 2016. Foto: Bodil E. Pallesen, Teknologisk Institut, AgroTech



Oliehørmark, anno 2016, Sverige. Her er ganske få marker med hør, og oliehørren har meget korte stængler og derfor mindre fiberholdig end spindhør. Foto: Bodil E. Pallesen, Teknologisk Institut, AgroTech.

Arealet med hamp er stigende i Europa såvel som resten af verden. I Europa er arealet steget eksplosivt de seneste tre år, men det er ikke pga. anvendelse til tekstile formål, da stort set al hamp til tekstile formål fremstilles i Asien, ikke mindst Kina. Arealet med hamp i Kina er kun omkring 20.000 hektar, hvoraf hovedparten

anvendes til fremstilling af hampefibre til tekstile formål, men også lidt til papir og kompositter. Produktionen foregår ved meget arbejdsintensiv forarbejdningsmetoder og en kemisk behandling for at frilægge fibre. Men hamp er fortsat en nicheproduktion, og udgør kun en lille del af produktionen af tekstile fibre, som også dækker hør, ramie, kenaf, uld, silke m.fl. og ikke mindst bomuld, som alene dækker et areal på 5,6 mio hektar¹⁴.



Figur 4.1. Arealet af hamp i EU-landene frem til 2015, www.eiha.org, men stort set ingen hamp forarbejdes til tekstile anvendelser. I Danmark var arealet med hamp godt 300 ha i 2015, og der er udlagt godt 600 ha i 2016. denne stigning skyldes især interessen for hamp til fødevarer og medicinske anvendelser.

Den stigende produktion af hamp til andre formål giver en fiberholdig restbiomasse, som vil kunne anvendes til tekstiler såfremt der i fremtiden vil være grundlag for en forarbejdning af hampestænglerne. Den stigende efterspørgsel af hampefrø, -blade og -skæver vil understøtte grundlaget for anvendelse af hamp til tekstile formål. Og bidrage til at arealet med hamp let kan øges, hvis der kommer en afsætning i gang af hampetekstiler.

4.1.1 FIBERINDHOLD I HØR- OG HAMP

Til tekstile formål er det indholdet og kvaliteten af fibre i form af cellulose, som er den vigtigste egenskab. Cellulose er opbygget af glukosemolekyler, der danner retlinede polymerkæder, som let pakker sig sammen parallelt, og som derved danner fibre. Denne opbygning er grundlaget for, at fibre kan have meget høje mekaniske styrker.

¹⁴ Zhang Jianchun. The Research Center of Chinahemp, China; fra Proceedings of the Symposium on Natural Fibres <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/i0709e/i0709e08.pdf>

Fibrene optræder som lange fibre, kaldet taver, i planter som hamp og hør, og som relativ korte fibre i træ: Fiberlængden er normalt mere end 30 mm hos hør og hamp, mod 1 – 3 mm i træfibre. Indholdet af cellulose udgør typisk 60-80 pct. i ubehandlet hamp og hør, og 40-50 pct. i træ. Desuden indeholder fibrene hemicellulose, mellem 15-20 pct. i hør og hamp og 20 pct. i træ, samt lignin, typisk 2 – 4 pct. i hør- og hampefibre, hvor ligninindholdet i træ typisk er 20-25 pct. Derudover indeholder fibrene mindre mængder pektin, voks og mineraler. Disse forskelle kan man udnytte bl.a. når man udvinder fibre fra hør og hamp til tekstile formål, hvor man kommer langt blot med mekaniske processer evt. kombineret med enzymatiske processer.

Tabel 4.1. Karakteristika for de vigtigste fibertyper spindhør, hamp, og til sammenligning jute og træ gennemsnitsværdier¹⁵

Fibre	Cellulose %	Diameter µm	Længde mm	Styrke MPa
Spindhør	75	20	33	700
Hamp	65	25	25	600
Jute	55	20	3	350
Træ	40	30	3	150

Til sammenligning indeholder bomuld 90 % og kun ganske lidt lignin¹⁶.

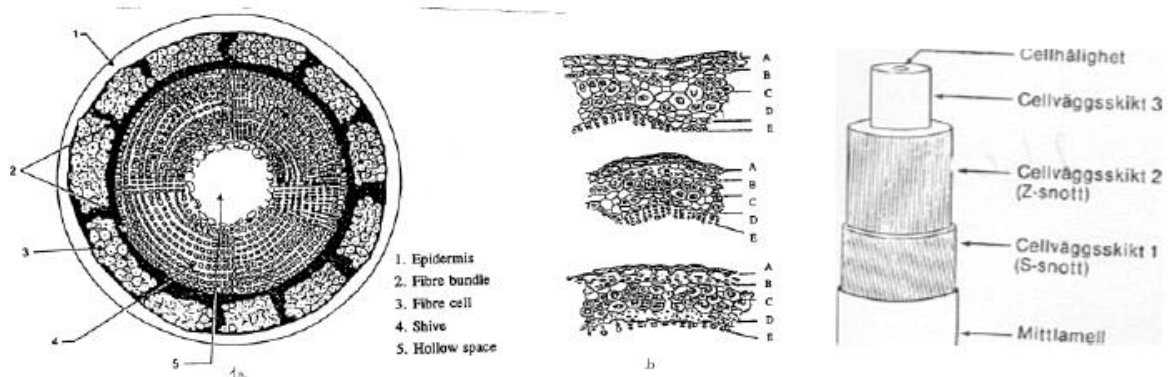
4.1.2 HØR- OG HAMPESTRÅET OPBYGNING

Hør- og hampestråets opbygning er en forudsætning der kan udnyttes til at spinde garn af fiberne. Såvel hør- som hampestrået har en karakteristisk opbygning med fiberbundter, som omkranser den træholdige midterstilk. Denne består af vedceller, kaldet skæver. Denne opbygning er årsag til, at fibre kan frilægges ved en mekanisk proces. Dette er muligt selv ved kun let rødne hørstrå. Under frilægningen frigøres de enkelte fibre i fiberbundet. Fuldstændig frilægning af fibre til cellulosefibre sker normalt ved en forpulpning af fibre, som det kendes ved cellulosefremstilling. Herved fjernes yderligere sukkerstoffer og lignin, der er indeholdt i fiberen. Hør (og hampe-) stænglens opbygning fremgår af figur 4.2. samt fig xx. Et tværsnit af hørstænglen viser, at den består af forskellige lag. Under overhuden er indlejret fiberbundter, der er stærke bastfibre, også kaldet taver. Fiberbundterne forløber i hele stænglens længde fra rod til top. Inderst i stænglen findes et hulrum.

Fiberbundterne består af 10-40 enkeltfibre, se fig. xx. Længden af disse er fra 14 µm - 70 mm, gns. 20-35 mm. Enkeltfiberen er opbygget af forskellige lag, der hver består af ordnede rækker af fibriller. Den primære celle væg består af pektiner og lignin, mens den sekundære væg fortrinsvis består af cellulose. Slutproduktet er elementarfiberen bestående af (næsten) ren cellulose. For hør er målt mere end 90% cellulose¹⁰. Kambiumcellerne adskiller fibre fra skævedelen, og de nedbrydes under rødningprocessen.

¹⁵ DFFE, 2006, Værditilvækst og bedre miljø, – en bioteknologisk forskningsstrategi for nonfood og foder, DFFE

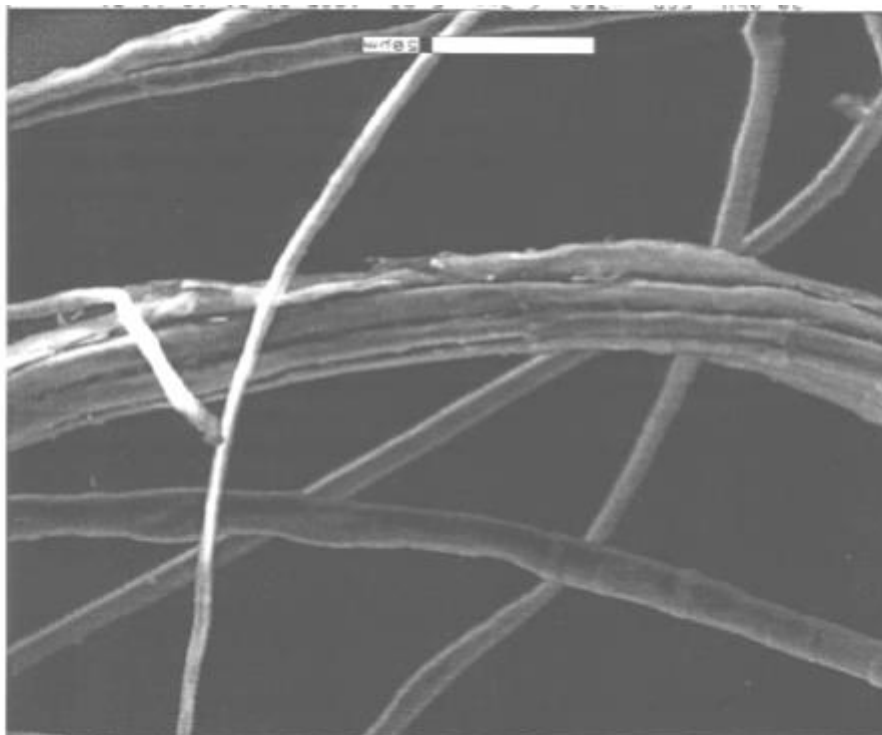
¹⁶ Acceptance of Bast Fiber Textiles for Sustainable Product Development. Speciale-afhandling af STANHOPE, CLAIRE MARGARET fra Faculty of North Carolina State University, 2012



Figur 4.2. TV: Tværsnit af hørstænglen¹¹. 1. Overhud. 2. Fiberbundt. 3. Fiber celle. 4. Skæve. 5. Hulrum.. Midt:: Tværsnit af sektorer af hørstråets yderdel under forskellige rødningsstadier. A. Overhud. B. Parenkymceller. C. Bastfibre D. Kambiumceller. E. Skæver. TH: Skematisk afbildning af elementarfiberen med midtflammelen yderst.¹⁷

Opbygningen af træfibre er lidt anderledes, idet cellulosefibrillerne her er bundet fast af en hemicellulose-lignin matrix, der nedbrydes under den kemiske proces til fremstilling af træcellulose.

I figur 4.3. ses de lange, slanke hørfibre med få fibriller, samt et fiberbundt, hvor fibre ikke er frilagt. Diameter for enkelte fibre er gennemsnitlig omkring 20 µm.



Figur 4.3. Foto af afkortede hørfibre med fibriller og afkortede fibre (SEM-foto) x 500, Foto: Bodil Pallesen, Teknologisk Institut, AgroTech¹⁸.

¹⁷ Fröier K, Zienkiewitz H, 1982, Linboken, Hemodling og hemberedning, LTs förlag, Stockholm; Gail Atkinson, 2008;

¹⁸ Pallesen B.E, 2000, Slutrapport: Produktion af hørfibre til industrielle formål. Landbrugets Rådgivningscenter, Landskontoret for Planteavl (i dag SEGES)

4.1.3 RØDNING AF HØR OG HAMP



Hør- og hampestrå ruskes for at bestemme rødningsgrad. Foto: Bodil E. Pallesen, Teknologisk Institut, AgroTech.

Rødningsprocessen er nødvendig, for at taverne (-fibrene) kan frigøres fra resten af plantedelene. Under danske forhold vil noget af rødningen foregå på marken, såkaldt markrødning, og man kan så f.eks. kombinere det med en enzymatisk proces, som i bobleprojektet. Rødningsprocessen foregår ved, at mikroorganismene trænger ind i strået. Her nedbryder de vha. enzymer først og fremmest pektiner, der binder fiberbundterne sammen med veddelen (skæverne). De aktuelle mikroorganismer forekommer naturligt på stængelen og i jorden bl.a. *cladosporium herbarium* og *penicillium sp.* Der skal fugtighed til at starte rødningsprocessen, og processen fremmes af temperatur og graden af luftfugtighed. Graden af rødning har stor indflydelse på kvaliteten. Ved en overrødning svækkes især fiberens styrke og dermed kvaliteten. Rødningsperiodens længde er afhængig af om afgrøden har været skårlagt og af vejrforholdene (varme og fugtighed), men strækker sig ofte over 2 til 4 uger.

4.2 HØST AF HØR OG HAMP TIL TEKSTILE FORMÅL – EN UDFORDRING

Til industrielle formål er høsten af hamp blevet effektivt mekaniseret, ikke mindst i Vesteuropa og Canada, men endnu ikke til tekstile formål. Skårlægning af industrihamp foregår typisk med specialhøster, der skårlægger afgrøden og efterfølgende rødner på marken inden stænglerne presses i baller. Fiberanvendelsen går især til kompositter og isoleringsmaterialer.



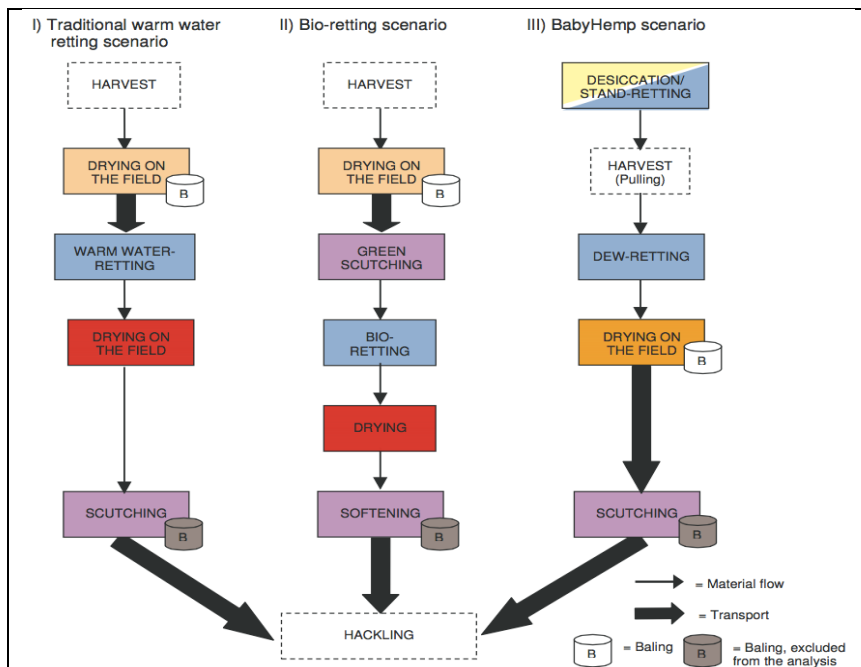
Hampeavler siden 1998 Jørgen Heggelund, Køge med sin hampeafgrøde mellem 2½ og 3 m høj. I projektet er bl.a. anvendt hamperåvarer fra Jørgen Heggelund, som har været skårlagt med special høster og efterfølgende rødnnet på marken. Specialhøsteren med ribbebord øverst th. er samtidig i stand til at høste frøene samtidig med skårlægning af fiberråvaren. Foto Bodil E. Pallesen, Teknologisk Institut, AgroTech.

I arbejdet med udvikling af nyt koncept for en bæredygtig tekstilproduktion arbejder projektgruppen også med alternativer og tilpasninger til eksisterende teknologi så det er muligt at bjerge hampestænglerne så de også kan udnyttes til tekstile formål.

4.3 FREMSTILLING AF TEKSTILFIBRE

Målet for at fremstille en god tekstil-fibre kan kort fortalt beskrives ved at eventuelt lignin- samt helst også hovedparten af hemicelluloseindholdet skal fjernes, så man opnår en kvalitet af fibre, som er stærk og let kan spindes til fine tekstilkvaliteter. Processen med at fjerne lignin kaldes "cottonisering" eller "degumming". "Degumming" kan udføres ved kogning eller kemisk, mikrobiel eller enzymatisk behandling. Men forud er de rå stængler skættet, så skæverne og fibre (der sidder yderst på stænglerne) bliver adskilt. Skætningen foregår typisk med store forarbejdningsanlæg fra f.eks. LaRoche, Temafa eller tilsvarende hør- og hampe-teknologier.

Værdikæden fra mark til tekstilråvare er lang. De mange delprocesser i figur 4.4. viser, at der er mange steder hvor man kan forsøge at sætte ind på at gøre forarbejdningen mere bæredygtig. I bobleprojektet har vi tilpasset scenarierne og især arbejdet videre med frilægning af fibrene vha. enzymer.



Figur 4.4. De mange processer fra mark til færdig tekstil er skitseret her af Turunen¹⁹.



Fremstilling af hampefibre til spinding – i 3`verden, her Kina²⁰.

¹⁹ Life Cycle Analysis of Hemp Textile Yarn. Turunen. 2006

²⁰ www.eiha.org Robert Hertel, CEO HempAge AG for the EIHA 7th conference, Wesseling 2010

5 FORSØG MED ENZYMATISK RØDNING AF HAMPEFIBRE

5.1 FORMÅL MED ENZYM-FORSØGENE

Bobleprojektet skal ses som et forprojekt, til afklaring af hvilke teknologiske muligheder og begrænsninger der ligger i tekstiler af hør og hamp, inkl. dokumentere hvad de medfører af miljøforbedringer i forhold til eksisterende produktion af tekstiler baseret på bomuld. Derfor kikkedes på mange led i værdikæden fra mark til færdigt tekstil, og hvor der er mange delprocesser, som man kan sætte ind på at forbedre: Høst og indledende forarbejdning af hampestænglerne på marken, skætning, kartning af fibre, blødgøring, spinding af fibre til garn, blegning og farvning osv. Projektgruppen har mere end 20 års erfaring med hør- og hampefibre og udvikling af nye produkter.

Formålet med den eksperimentelle testning er at vurdere om bastfibre, især hamp, der er skættet efter dugrødning, kan gøres mere egnede til tekstilfremstilling, ved brug af enzymatiske løsninger.

Tekniske egenskaber, der ønsket opnået, er at:

- forbedre mængden af cellulose
- reducere pektinindholdet
- reducere ligninindholdet
- fremme blødhed af fibre
- undgå gulfarvning af fibre

I projektet er gennemført indledende forsøg med miljøoptimeret rødningsproces ved hjælp af enzymer til udvikling af et bæredygtigt tekstilkoncept for hør og hamp. Endvidere er undersøgt om enzymerne kan øge tekstilets holdbarhed i forhold til mange vask, og dermed forbedre hør og hamps egenskaber og friske udseende, Et mål har også været at vurdere om enzymer kan fjerne eller markant reducere behovet for anvendelse af blegemidler.

Formålet er også at udvikle og optimere forsøgsmetoderne samt gennemføre en række analyser til vurdering af fiberkvalitet samt egnethed i forhold til de krav der stilles ved anvendelse som tekstil.

5.2 UDGANGSMATERIALET

Der er gennemført en række screeninger af enzym-behandlinger på såvel dansk og udenlandsk dyrket hamp. Udgangsmaterialet, der har været til rådighed til eksperimenterne, er maskinhøstet hamp, der normalt høstes med henblik på udnyttelse til dyrkningsmætter, kompositter, isoleringsmateriale samt importeret kinesisk råhamp (ikke rødnet) fra 2015-sæsonen.



Hamperåvare anvendt i forsøgene. Foto: Birgit Bonefeld

Den maskinhøstede danske hamp er høstet med specialhøster til hamp industrielle formål, som bevirker at hampefibrene i udgangsmaterialet er 1) dekortikerede og 2) særdeles forkortede, allerede inden den videre mekanisk og våde processering igangsættes. Derved afviger høstmetoden for udgangsmaterialet markant fra høstning af hamp til anvendelse i etableret industri for tekstilfibre-forædling, hvor stængler høstes så fiberlængden bevares, oftest manuelt.

5.3 ENZYMFORSØGENE

Forsøgene er gennemført i 2015/2016. De anvendte enzymer er leveret af Novozymes, og forsøgsprotokollen er udarbejdet i samarbejde mellem AgroTech og Novozymes. Der er eksperimenteret med bl.a. temperatur, behandlingstid, koncentration af enzym samt tilsætning af additiv, og dermed opnået værdifuld viden til et forhåbentlig kommende opfølgende projekt.

Enzymbehandlingen er gennemført som vådprocessering, af hampefibrene for at ændre den fysiske opbygning og kemiske komposition således at fibrene bliver egnede til forædling til tekstile formål.

Efter enzymbehandlingen er gennemført analyser bl.a.:

- Mikroskopiering (Lys og SEM - elektronmikroskopiering) for at vurdere de fysiske forandringer i fibrene
- Spektrometriske analyser, FTIR, for at få indtryk af ændringer af indholdsstoffer
- Protein-lektroforese m.fl. metoder er testet – venligt stillet til rådighed ved Århus Universitet.
- Subjektive analyser: blødhed, farveændring, umiddelbar styrke ved ruskning
- Fysiske test af fibrene: fiberlængde, hegling, kartning, håndspinding mm

Der har været for små prøvemængder til reel spinding og fremstilling af garn til reelle tekstile test, dette vil der naturligvis blive lagt vægt på i et kommende projekt.

Der har i nærværende bobleprojekt ikke været muligheder for at gennemføre kemiske analyse af de mange prøver, så her er anvendt, dette anbefales at indgå i kommende projekter.

Enzymforsøgene er gennemført på AgroTech, Teknologisk Institut i Skejby af Birgit Bonefeld tilknyttet projektet.

Indledende enzymforsøg på udvalgte danske hampefibre viser at enzymbehandlingen forbedrer fiberkvaliteten mærkbart



Tv: Enzymbehandling under styret temperaturforhold. I midten ses manuelt karteudstyr (normalt til uld) til efterbehandling af fibre. Th ses små fiberprøver, som er evalueret for fiberegenskaber. Foto: Birgit Bonefeld.



Fibre efter enzymbehandlingerne. Foto: Birgit Bonefeld.

Der er opnået en lang række delresultater og erfaringer mht. hvordan enzymerne påvirker hamperåvarerne, både hvad angår selve metoden, koncentration af enzym samt behandlingstid, men der er fortsat kun tale om indledende forsøg.

Den danske hamp er umiddelbart af en ret grov kvalitet, der normalt ikke er bjerget til at kunne udnyttes som lange bastfibre, som skal spindes. Men enzymbehandlingerne viser en effekt.

Den kinesiske hamp er såkaldt "grønskættet", hvilket vil sige at fibrene stadig er på et stadie, hvor de indeholder megen voks og vandopløselige stoffer, foruden lidt ligning og hemicellulose, som enzymerne er med til at fjerne, og dermed frilægge cellulosefibrene. Enzymbehandling har også vist positive resultater på den kinesiske hamp.

Der er eksperimenteret med en lang række evalueringsmetoder og analyser af de behandlede fibre for at vurdere resultaterne. Resultaterne er evalueret ved hjælp af de ressourcer og det udstyr der har været til rådighed. Vådprocesserede fibre er blevet forsøgt kartet, og er succesfuldt håndkarteret vha. manuel uldkarter. Der er taget billeder af mekanisk processerede fibre ved hjælp af henholdsvis lysmikroskop og SEM, og indledende kemiske analyser er foretaget med FTIR.

Fibrene er generelt blevet mere bløde, lysere og mere spindbare end det ubehandlede råvaremateriale. Det har vist sig svært realiserbart at spinde tråd ud fra de fibre, der er benyttet i dette studie; Grundet høstmetoden og relativ hård bearbejdning af fiberråvaren for at skætte fibre og skæver – hampen er jo ikke bjerget for at kunne anvendes til tekstil, men industrielle formål – er fiberlængden afkortet langt mere end ønskværdigt. Men effekten af enzymbehandlingen er jo delvis uafhængig af disse forhold. Fibrene er fx for korte til rok-spinding, og der er ikke umiddelbart adgang til industrialiseret bomuldsspinderi-faciliteter.

I forhold til opfølgingsstudier er det afgørende at udgangsmaterialet har længere fibre. Alternative høst-metoder indgår i overvejelser i forbindelse med opfølgning i større projekt.

Konklusionen af de indledende forsøg er at enzymforsøgene viser at det er muligt at opnå betydeligt forbedrede fibre fra det relativt grove udgangsmateriale. Behandlingerne med enzymer giver en kvalitetsforbedring, som når fibre er karterede viser et interessant potentiale med metoden, endskønt det er på laboratorieskala. Metoden er mere enkel end den "kinesiske" fremgangsmåde, hvor der er meget håndarbejde samt kemi, som indgår i fremstillingen af hampefibre, der kan kartes og spindes.

De opnåede erfaringer fra enzymforsøgene vil indgå i opbygning af kommende projektansøgning, som projektgruppen arbejder videre med.

6 PRØVETEKSTILER TIL NYE DESIGNS TIL MODEBRANCHEN

Udfordringerne med at knytte bæredygtige tekstile råvarer til modebranchen er store men ikke uovervindelige. I step et handler det fra designerens hånd om at arbejde med allerede producerede hampemetervarer for at dokumentere hvor lækkert tøj, der kan laves med materialet.

Fokus i projektet har især rettet sig mod hamp, pga. afgrødens mange bæredygtige aspekter mht. at være let at dyrke uden input af kemikalier / pesticider og et stort udbyttepotentiale samtidig med at hele planten kan anvendes til en lang række produkter, lige fra fødevarer og medicin til byggematerialer mm. Anvendelser og muligheder som styrker bæredygtigheden i produktionen og passer ind i begrebet cirkulær økonomi, pga. restmaterialer også kan genanvendes i alle produktionsled kan genanvendes, herunder også interessante anvendelser af affald.

Anvendelse af hamp i nye designs i fashionbranchen kræver også at man er bevidst om eventuelle ulemper ved tøjet, om det er særlig hårdt (mindre blødhed af tekstilet), har svært ved at kunne tåle vask, holdbarhed, farve osv. Mange af disse forhold er selvfølgelig afhængig af hvor dygtig en tekstilproducent kan fremstille tekstilet. Samarbejdet i projektet med østrigske SEIDRA Textilwerke har været en stor fordel, idet man her har været villig til at eksperimentere med fremstilling også af strikkede tekstilkvaliteter af hamp, som er en meget speciel og udfordrende råvare at arbejde med.

6.1 UDVIKLING AF NYE DESIGN MED HAMPETEKSTILER VED RACHEL KOLLERUP

Målet for denne del af projektet har været at vurdere nye designs holdbarhed og kvalitet, samt kunne indgå i miljøanalyser gennemført ved FORCE Technology. Samtidig har det været målet at præsentere eksempler på egne hampedesign bl.a. ved Folkemødet på Bornholm i juni måned for på egen stand at afholde workshops for at fortælle projektresultaterne herunder om bæredygtighed og vise eksempler på bæredygtigt hampedesign.



Nye design fremstillet af hamp og hør, designet af Rachel Kollerup. Her præsenteret ved Folkemødet Bornholm, juni 2016. Flere af modellerne indgår i miljøanalyserne, gennemført ved FORCE Technology. Foto: B. Pallesen, Teknologisk Institut, AgroTech.

Rachel Kollerup (RK) har eksperimenteret med hvordan hamp arter sig til tøj - hvordan det er at designe med hamp, og hvilke hensyn der skal tages i designfasen, for at opnå et godt bæredygtigt resultat, herunder med fokus også på hvad der evt. belaster miljøet i designfasen.

Udfordringen har rod i antagelsen at hamp ikke er det blødeste materiale at arbejde i, og RK har med rette sammenlignet hamp med hør for dets uflexibilitet. Tøj af hamp og hør er traditionelt kendt for at være udført i løsere snit med god plads til bevægelse. Men overflødighed af materialer er med til at øge CO₂ belastningen på materialeforbruget, derfor er en besparelse i materialeforbruget betydningsfuld for tøjets bæredygtighed. Endvidere har det været naturligt at designe en kollektion af hamp som passer til designstammen i Rachel Kollerups øvrige tøjkollektioner, som generelt set er kropsnære. Rachel Kollerup har på trods af de udfordringer fremstillet fine modeller på systuen af materialer med hamp og hør, som har vist sig levedygtige både design- og holdbarhedsmæssigt, og som kan bringes med til fremtidige kollektioner.

Lige så vigtigt har det været at dokumentere bæredygtighed i tøj af hamp - målt i CO₂ udledning - i forhold til andre materialer, som for eksempel uld. FORCE Technology A/S har lavet en LCA-screening af en hampekollektion til sammenligning med Rachel Kollerups og FORCE Technology's "LCA-kollektion" fra 2014²¹. Hampekollektionen er blevet til af et udvalgt på fire tilsvarende modeller, som blev testet i 2014 - forskellen dengang var blot materialevalget. Det viste sig, at hamp generelt set udleder markant mindre CO₂ i kategorien "materialer og produktion", mens den til gengæld slår heftigt i vejret i "brugsfasen". Det skyldes at hamp antageligt stryges mere end uld og polyester.

En del er hvad hypotesen antager, en anden del er den praktiske erfaring. I nærværende bobleprojekt har Rachel Kollerup testet hamp tøj for at se hvordan tøj arter sig i brug. Det har vist sig at tøj af hamp krøller mindre end antaget, og betyder, at vi allerede nu kan tillade os at justere på CO₂ regnskabet for brugsfasen, og derfor har vi en god prognose for at det kan batte at bruge hamp i stedet for eksempelvis uld til tøj. Og dermed også et vægtigt argument når der tales om bæredygtige tekstiler.

I projektet har Rachel Kollerup arbejdet tæt sammen med samarbejdspartner SEIDRA Textilwerke i Østrig mhp. at udvikle nye tekstiler med hamp, og bl.a. konkret i fremstilling af nye designs på basis af vævede og også strikkede hampekvaliteter, som der er taget udgangspunkt i ved miljøanalyser.

Udover råvarer fra SEIDRA er også materialer til hamp kollektionen købt fra grossist i USA. Begge typer af tekstiler har været gode at eksperimentere med, og resultatet har været eksempler på kollektioner med hamp, som har modtaget positiv respons bl.a. ved Folkemødet på Bornholm.



Rachel Kollerups design af hampekjole, også præsenteret ved Folkemødet Bornholm 2016, samt T-shirt præsenteret af Rachel Kollerup i svensk hørmærk 2016. Foto: Bodil E. Pallesen, Teknologisk Institut, AgroTech

6.2 RESULTATERNE AF KVALITETSFORSG OG PÅ SEIDRA SAMT RACHEL KOLLERUP

Der har været gennemført test af hampe- og hørtækstiler fremstillet på SEIDRA bl.a. mht. tålsomhed overfor gentagne vaske af tekstilet. Der har været gennemført afprøvninger med Bio-Polishing – enzymoverfladebehandling af tekstilet - for at vurdere om kvaliteten af tekstilet blev forbedret. Den enzymatiske

²¹ Environmental profile Rachel Kollerup designs, 2014 – udarbejdet af Force Technology 2014.

behandling med Novozymes BioPolishing anvendes normalt til bomuld, og går ud på at enzymerne under vask nipper de små slidte febriller af, så tøjet synes frisk længere tid.

Resultaterne har været positive. Det har vist sig at eksperimenterne med bio-polishing af f.eks. strikket hør gav en længere holdbarhed i forhold til vask. Vi vægter tøjs holdbarhed højt pga. man ved f.eks. færre vaske har en mindre miljøbelastning. Så derfor er det i stor interesse hvis vi kan efterbehandle stoffet på en miljøskånsom måde, så tøjet kan holde længere. Behandlingen er lykket med succes på det især den strikkede hørkvalitet.

Konklusionen er at efterbehandling af hampetekstilet i form af enzymbehandling har vist en forbedring af tekstilkvaliteten. Bio-polishing-processen har været ny for de testede hør- og hampe-tekstilkvaliteter, og de positive resultater bør der arbejdes videre med.

7 MILJØANALYSE – LCA – AF VÆRDIKÆDEN HAMP TIL TEKSTIL

7.1 FORMÅLET

Formålet med denne miljøvurdering er at få belyst potentialet for at dyrke hamp i Danmark. Den økologiske krise og evnen til at kunne frembringe produkter ressourceeffektivt bliver en større og større driver for markeder, og det er derfor værdifuld viden, om hamp kan ses som et mere effektivt og bæredygtigt alternativt til ellers traditionelle tekstiltyper som bomuld og polyester. Viser hamp sig at være et væsentligt bedre miljømæssigt alternativ, vil en satsning på, og investering i, en dansk hampetekstilproduktion være en potentiel profitabel forretning.

Formålet er derfor, miljømæssigt at sammenligne en dansk produceret og oparbejdet hampetekstil med de mest udbredte alternativer.

7.2 SCENARIER

Bomuldsproduktionen og produktionen af tekstiler har mange steder gennemgået en stor effektivisering de seneste årtier. Bomuldstekstilet fremstilles i dag derfor på store højeffektive fabrikker. Dog fremstilles der også stadig bomuldstekstiler, hvor der benyttes store dele håndkraft, hovedsageligt i Kina og Indien. Produktionen af hampetekstiler er næsten udfaset i Europa, og der er mange steder ikke sket den samme effektivisering af hampetekstilproduktionen som ved produktion af bomuldstekstiler. De teknologier, der ligger til grund for data omkring effektiviteten af produktionen af hampetekstiler, kan formodes at have et forbedringspotentiale. Det er vigtigt at understrege, at der i dette studie ikke er lavet yderligere undersøgelser eller vurderinger af, hvor meget en hampetekstilproduktion vil kunne effektiviseres i forhold til praksis i dag. Der er valgt at lave en miljøvurdering af, hvordan en dansk hampeproduktion vil kunne se ud baseret på eksisterende kilder, denne vurdering kaldes basisscenariet. Hertil er valgt at lave et optimeret scenarie, som vil forsøge at vise, hvor meget en hampeproduktion i dansk sammenhæng (vist i basisscenariet) vil skulle effektiviseres for at være et lige så godt alternativ som gængse tekstiltyper.

Scenarierne omkring forholdene for dansk produceret hampetekstil er baseret på overslag over, hvordan en dansk produktion højst sandsynligt vil kunne udformes. Disse overslag er lavet i to scenarier:

- Et basisscenarie som bygger på data fra to LCA studier (Turunen et al. 2006, Van Eynde 2015) for produktion af hampetekstil for teknologier knyttet til hampeproduktion i Kina, Østeuropa og Frankrig. Her er benyttet dansk elmix, dansk termisk energi og transportafstande passende ved dansk produktion og oparbejdning.

- Et optimeret scenarie som tager udgangspunkt i det første scenarie, men antager at en dansk produktion og oparbejdning af hamp til tekstil vil kunne gøres mere effektivt, end det er beskrevet i henviste kilder. Desuden er en større del af planten udnyttet.

Disse to scenarier for tøj af hampetekstil sammenlignes med to scenarier for global gennemsnitlig produktion af tøj af henholdsvis konventionel bomuld og polyester. Sammenligningen med et globalt gennemsnit af de to mest anvendte fibertyper til tekstil har til formål at vurdere om en dansk hampeproduktion vil have en væsentlig miljøforbedrende effekt ved vores tøjforbrug.

7.3 LIVSCYKLUS

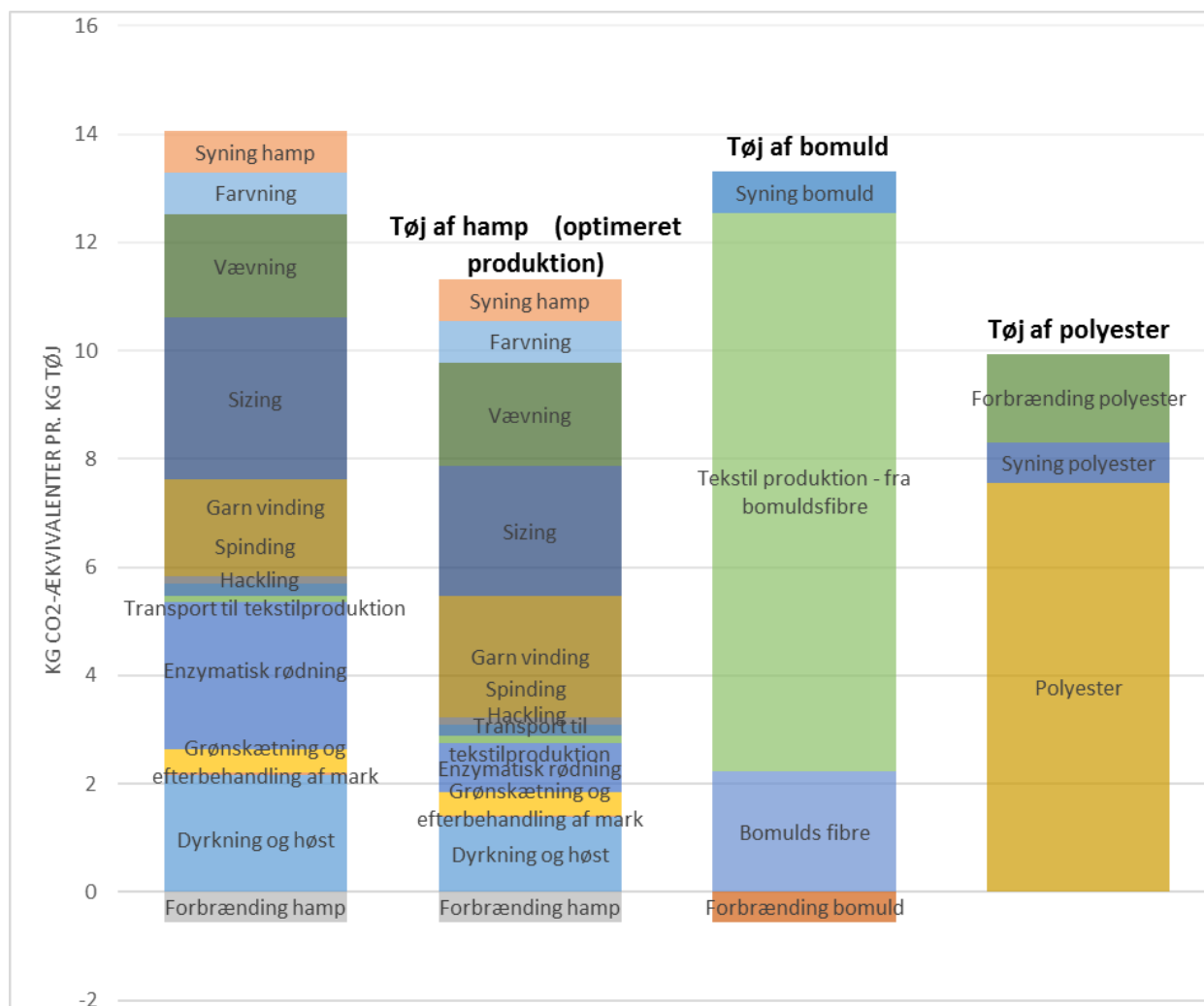
Livscyklussen for hampetekstil fra råvare dyrkning, til færdigt stykke tøj, til bortskaffelse, består af følgende processer (Turunen et al. 2006, Van Eynde 2015), skitseret i figur 7.1.

Dyrkning og høst	<ul style="list-style-type: none"> • Input: Gødning, Diesel • Output: Tørre grønne hampe stængler
Transport fra mark	<ul style="list-style-type: none"> • Input: Tørre grønne hampestængler, Diesel olie • Output: Tørre grønne hampestængler
Grønskætning og efterbehandling af mark	<ul style="list-style-type: none"> • Input: Tørrede grønne hamp stængler (diesel, elektricitet) • Output: Grønne skættede lange fibre (Grønskættet blå (korte fibre), skæver, støv, grove planterester)
Enzymatisk rødning	<ul style="list-style-type: none"> • Input: Grønne skættede lange fibre (og 1000MJ termisk energi og 20kg enzym og 82000 liter vand) • Output: 1000 kg lange fibre (82000 liter vand til rensning)
Transport til tekstilproduktion	<ul style="list-style-type: none"> • Input: Lange fibre, Diesel olie • Output: Lange fibre
Kartning	<ul style="list-style-type: none"> • Input: Skættede hampefibre, (elektricitet) • Output: Kartede hampe sliver, (kartede tow fibre, fiber affald)
Forberedelse (Drawing)	<ul style="list-style-type: none"> • Input: Hampe Sliver, (Elektricitet) • Output: Forgarn
Spinding og garn vinding	<ul style="list-style-type: none"> • Input: Forgarn, (Elektricitet, damp) • Output: Vådt-spundet garn, (Fibre affald)
Sletning	<ul style="list-style-type: none"> • Input: Garn, (kartofel stivelse, damp, Elektricitet) • Output: Afslettet kædegarn, (COD)
Vævning	<ul style="list-style-type: none"> • Input: Garn, (Elektricitet) • Output: Tekstil
Farvning	<ul style="list-style-type: none"> • Input: Tekstil, vand, damp, Sodium Sulphate, Sodium hydroxide, sæbemiddel, reaktiv farvestof, elektricitet, eddikesyre. • Output: Tekstil
Syning hamp	<ul style="list-style-type: none"> • Input: Tekstil, (Elektricitet) • Output: Tøj
Forbrænding hamp	<ul style="list-style-type: none"> • Input: Tøj af hamp • Output: Energi (el og varme)

Figur 7.1. Overblik over processer i livscyklussen for hampetekstil

De overordnede afgrænsninger og antagelser for modelleringen af hampetekstilet forskellige livscyklusfaser er beskrevet i miljøanalysens fulde længde, som ses i bilag 1.

7.4 RESULTATER AF MILJØANALYSEN AF HAMP TIL TEKSTIL



Figur 7.2. Påvirkning af global opvarmning målt i kg CO₂-ækvivalenter pr. kg tøj²².

Som det ses, er resultatet for den optimerede hampeproduktion noget bedre og har en påvirkning af global opvarmning der næsten er så lav som ved polyester. Dette skyldes både de mere effektive bearbejdningsprocesser, men det skyldes især den lavere belastning ved dyrkning og høst, da der antages et større udbytte (flere biprodukter at allokere miljøbelastning til) samt en enzymatisk rødningssproces, hvor det antages at vandet kan genbruges og energi til opvarmning af vand derfor reduceres væsentligt.

Det kan ses af resultaterne på figur 7.2. at for hamp og bomuld er der en negativ miljøbelastning (positiv effekt) ved afbrænding af tekstilerne, da det er fornybare ressourcer, der afbrændes med energiudnyttelse. For polyester er der en miljøbelastning målt i global opvarmning ved afbrænding, fordi frigivelsen af CO₂ fra fossile kilde overgår den positive effekt fra energiudnyttelsen.

Der henvises til bilag 1, for den fulde ordlyd af miljøanalysen.

²² Rasmus Nielsen, FORCE TECHNOLOGY 2016, boble-projektet Bæredygtige hør- og hampetekstiler, støttet af INNO_MT.

8 FORMIDLING OM BÆREDYGTIGE TEKSTILER FRA HØR OG HAMP

I løbet af projektperioden er foregået formidling på flere niveauer: i artikler, på nettet, via blogs og hjemmesider. Rachel Kollerup har været tovholder kommunikationen og promovningen af bobleprojekt i tæt samarbejde med AgroTech, Endvidere stod Rachel Kollerup for udsmykning og informationsmateriale ved Folkemødet Bornholm.

8.1 HAMP – PÅ FOLKEMØDET BORNHOLM 2016

I projektansøgningen var indlagt aktiviteter med præsentation af hampetekstiler og projektresultater ved bl.a. Roskilde festival. Projektgruppen valgte i stedet at præsentere projektet ved Folkemødet på Bornholm d. 16 – 19 juni 2016 med egen stand med overskriften: **Hamp, fremtidens bæredygtige afgrøde til tekstil-, fødevarer og byggeindustri**²³. Vi havde ved standen en udstilling om hamp og de mange anvendelsesmuligheder og gennemførte en række oplæg/events om hamp. Det lykkedes at sætte planten hamp ind i en bio-økonomisk sammenhæng, hvor der blev set på hele værdikæden. Der blev afholdt 4 events: 1. Hamp er fremtidens bæredygtige tekstilmateriale, 2. Oeko-Tex mærkning, 3. Potentialet for hamp med debat og spørgerunde samt 4. Bæredygtige byggematerialer. Afdeling for Tekstil under Byggeri og Anlæg på Teknologisk Institut deltog også i Folkemødet med indlæg om Oeko-Tex mærkning.

Flyer udarbejdet af Rachel Kollerup forud for Folkemødet og lagt på nettet.

Folkemødet på Bornholm var kulminationen på bobleprojektet hvor projektgruppen præsenterede resultater. Standen B11 – et telt – blev flittigt besøgt. Der var løbende folk, der besøgte standen alle tre dage, og ved de 4 events deltog samlet mere end 50 personer. Samlet har vi været i kontakt med rundt regnet 100 personer.

²³ <http://www.teknologisk.dk/hoer-om-hamp-paa-folkemoedet-paa-bornholm/37211>



Jørn Rasmussen, Direktør i Solutions Management hos DHI, og tidligere formand for Inno-MTs styregruppe bød velkommen på vegne af CLEAN og Innovationsnetværket for Miljøteknologi



God debat og interesse mellem de forskellige events på Folkemødet.



Bodil E. Pallesen, Teknologisk Institut og projektleder fortæller om potentialet samt de mange anvendelses muligheder for hamp, lige fra dyrkning på marken til færdige slutprodukter.



Designer Rachel Kollerup forklarer hvorfor hampetekstiler kan være mere bæredygtige end f.eks. bomuldstekstiler og resultater af miljøanalyser med hampetekstilerne.



Johnny Rodam, Teknologisk Institut, afd. For Tekstil fortæller om Oeko-Tex mærkning, som det foregår i Dk og internationalt.

Og der lyttes og debatteres.

Klip fra Folkemødet Bornholm 2016 og telt B11 om HAMP til tekstiler og bæredygtige materialer mm.

8.2 LAUNCH NORDIC – DELTAGELSE I CHALLENGE 2015

Rachel Kollerup samt projektleder Bodil Pallesen, TI, har været inviteret til at deltage i Launch Nordic²⁴, et netværk, der har til formål at fremme bæredygtige materialer, herunder ikke mindst tekstiler. Der blev udbudt Launch Nordic Challenge 2015, hvor projektet bød ind med et forslag: "Local sustainable hemp and flax textiles - a new textile concept including enzymatic methods". Projektet blev rated blandt de 20 bedste, men kom ikke videre til den afsluttende runde, hvor 10 projektforslag nåede igennem, ud af godt 100 forslag indsendt fra mange forskellige lande. Deltagelse i netværket har givet et godt netværk, som projektet har kunne gøre brug af.

8.3 ØVRIG FORMIDLING

I projektperiode er formidlet i via aviser, på blog og hjemmesider, artikler i bl.a. Magasinet effektivitet: "Fremtidens bæredygtige tekstiler er lavet af hamp"²⁵.

Projektgruppen har været repræsenteret ved en række relevante møder, bl.a. Closing Loop i LAUNCH Nordic Innovation Challenge, 1. juni 2016; møde om The Nordic Green Growth Research and Innovation Programme på Kolding Designskole; Copenhagen Fashion Summit 12. maj 2016.

²⁴ <http://www.launch.org/nordic/about>;

²⁵ R. Kollerup og B.E. Pallesen, 2016; "Fremtidens bæredygtige tekstiler er lavet af hamp", Magasinet Effektivitet nr. 1, 2016: <http://www.effektivitet.dk/magasin/nr-1-2016-baeredygtighed/fremtidens-baeredygtige-tekstiler-er-lavet-af-hamp.aspx>

9 KONKLUSION OG ANBEFALINGER

I løbet af projektperioden er der gennemført en række indledende forsøg med enzymatisk behandling af ubehandlede hampestængler og skættede hampestængler, dyrket i Danmark. Enzymerne er leveret af Novozymes. Der er arbejdet med forskellige hampekvaliteter bl.a. fra partner i projektet SEIDRA Textilwerke og tekstilet er testet med enzymatiske behandlinger (Bio-polishing – leveret af Novozymes) for at forbedre tekstilkvaliteten i forbindelse med gentagne vaske og strygninger. Der er gennemført en miljøanalyse af FORCE Technology på hamp sammenlignet med bomuld og polyester, herunder kikket på miljøbelastning på konkrete designs. Endvidere er der fremstillet eksempler på bæredygtige designs med hamp, som er præsenteret ved bl.a. Folkemødet Bornholm²⁶, i forbindelse med en stand omhandlende ”Hamp til bæredygtige materialer som tekstiler mm”.

De indledende enzymforsøg viser, at der er et potentiale ved at gå denne vej, og at de anvendte råvarer, hamp dyrket i Danmark, opnår en forbedret kvalitet, som er spindbar. Der er dog fortsat en lang vej at gå, for at kunne have konceptet på plads og dokumentere fiberkvaliteten og konsistens i behandlingsmetoderne. Indsatsen skal kombineres med fortsat at forbedre høst- og bjergningsmetoderne, herunder forarbejdning af lange fibre som er spindbare. Den enzymatiske vej vil i langt højere grad kunne effektiviseres og automatiseret, som vil være et krav for en realistisk produktion af tekstilfibre.

Fremstilling af designs på basis af vævede og også strikkede hampekvaliteter har været et konkret resultat, som der er taget udgangspunkt i ved miljøanalyser.

Efterbehandling af hampetekstilet i form af enzymbehandling har vist en forbedring af tekstilkvaliteten. Bio-polishing-processen har været ny for de testede hampe-tekstilkvaliteter, og de positive resultater bør der arbejdes videre med.

Miljøanalysen viser at man skal optimere hele konceptet med hampeværdikæden for at kunne dokumentere en væsentlig miljøforbedring i forhold til den eksisterende produktion af hamp til tekstiler. Dette er logisk nok, i det den nuværende produktion af hamp til tekstiler, som foregår primært i Kina, på nuværende tidspunkt ikke er særlig bæredygtig. I det optimerede scenarie, hvori enzymbehandling indgår viser en positiv miljøeffekt. Potentialet for at forbedre konceptet med hamp og hør til tekstiler og dermed forbedre bæredygtige er derfor et vigtigt indsatsområde, hvis der skal være reelle alternativer til bomuld og den nuværende meget miljøbelastende produktion af tekstiler – og her skal der fokuseres på hele værdikæden.

Projektgruppen fortsætter arbejdet med nye højteknologiske og bæredygtige løsninger for fremtidens forarbejdning og produktion, herunder formulering af et større projekt med basis i de opnåede resultater i bobleprojektet og fortsat identifikation af teknologiske udviklingsbehov i værdikæden. Konsortiet udvides i denne proces til at dække relevante aktører i hele værdikæden, herunder end-users og netværket til tekstil- og modebranchen.

²⁶ <http://www.teknologisk.dk/hoer-om-hamp-paa-folkemoedet-paa-bornholm/37211>

10 BILAG 1. MILJØANALYSE, UDARBEJDET AF FORCE TECHNOLOGY, RASMUS NIELSEN

Bæredygtige hør- og hampetekstiler

Udvikling af tekstilkoncept med nye
enzymatiske forarbejdningsmetoder på basis
af lokalt producerede tekstilråvarer

Del. 2 – Miljøvurdering

Udarbejdet af
Rasmus Nielsen
Projektleder
Anvendt Miljøvurdering
FORCE Technology
Kontakt: rmn@force.dk

Indhold

1. Introduktion	3
2. Mål, afgrænsning og antagelser	3
Formål.....	3
Scenarier.....	3
Den funktionelle enhed.....	4
Geografisk afgrænsning.....	4
Valg af teknologi.....	4
Råvareudvinding, råvareproduktion og tekstilproduktionen.....	5
3. Data til miljøvurdering	7
Metode	7
Processer	7
Datakvalitet	9
Allokering.....	10
4. Resultater.....	12
5. Diskussion	14
6. Kilder	15

1. Introduktion

Denne delrapport er udarbejdet som afslutning på projektet *”Bæredygtige hør- og hampetekstiler - Udvikling af tekstilkoncept med nye enzymatiske forarbejdningsmetoder på basis af lokalt producerede tekstilråvarer”* og omhandler miljøvurderingen af dyrkning og oparbejdning af hamp og produktion af hampetekstiler til tøj i Danmark. Projektets titel nævner hør, men denne miljøvurdering omhandler kun hamp. I miljøvurderingen sammenlignes dansk producerede hampetekstiler med et globalt gennemsnit for miljøbelastningen fra bomulds- og polyestertekstiler.

Der dyrkes i dag meget begrænsede mængder hamp i Danmark, og der foregår ingen tekstilproduktion fra hamp i Danmark. Derfor er scenariet omkring forholdene for dansk produceret hampetekstil baseret på et overslag for, hvordan en dansk produktion højst sandsynligt vil kunne udformes.

Projektet er støttet med midler fra Innovationsnetværket for Miljøteknologi.

2. Mål, afgrænsning og antagelser

Formål

Formålet med denne miljøvurdering er at få belyst potentialet for at dyrke hamp i Danmark. Den økologiske krise og evnen til at kunne frembringe produkter ressourceeffektivt bliver en større og større driver for markeder, og det er derfor værdifuld viden, om hamp kan ses som et mere effektivt og bæredygtigt alternativt til ellers traditionelle tekstiltyper som bomuld og polyester. Viser hamp sig at være et væsentligt bedre miljømæssigt alternativ, vil en satsning på, og investering i, en dansk hampetekstilproduktion være en potentiel profitabel forretning.

Formålet er derfor, miljømæssigt at sammenligne en dansk produceret og oparbejdet hampetekstil med de mest udbredte alternativer.

Scenarier

Bomuldsproduktionen og produktionen af tekstiler har mange steder gennemgået en stor effektivisering de seneste årtier. Bomuldstekstilet fremstilles i dag derfor på store højeffektive fabrikker. Dog fremstilles der også stadig bomuldstekstiler, hvor der benyttes store dele håndkraft, hovedsageligt i Kina og Indien. Produktionen af hampetekstiler er næsten udfaset i Europa, og der er mange steder ikke sket den samme effektivisering af hampetekstilproduktionen som ved produktion af bomuldstekstiler. De teknologier, der ligger til grund for data omkring effektiviteten af produktionen af hampetekstiler, kan formodes at have et forbedringspotentiale. Det er vigtigt at understrege, at der i dette studie ikke er lavet yderligere undersøgelser eller vurderinger af, hvor meget en hampetekstilproduktion vil kunne effektiviseres i forhold til praksis i dag. Der er valgt at lave en miljøvurdering af, hvordan en dansk hampproduktion vil kunne se ud baseret på eksisterende kilder, denne vurdering kaldes *basisscenariet*. Hertil er valgt at lave et optimeret scenarie, som vil forsøge at vise, hvor meget en hampproduktion i dansk sammenhæng (vist i basisscenariet) vil skulle effektiviseres for at være et lige så godt alternativ som gængse tekstiltyper.

Scenarierne omkring forholdene for dansk produceret hampetekstil er baseret på overslag over, hvordan en dansk produktion højst sandsynligt vil kunne udformes. Disse overslag er lavet i to scenarier:

- Et basisscenarie som bygger på data fra to LCA studier (Turunen et al. 2006, Van Eynde 2015) for produktion af hampetekstil for teknologier knyttet til hampeproduktion i Kina, Østeuropa og Frankrig. Her er benyttet dansk elmix, dansk termisk energi og transportafstande passende ved dansk produktion og oparbejdning.
- Et optimeret scenarie som tager udgangspunkt i det første scenarie, men antager at en dansk produktion og oparbejdning af hamp til tekstil vil kunne gøres mere effektivt, end det er beskrevet i henviste kilder. Desuden er en større del af planten udnyttet.

Disse to scenarier for tøj af hampetekstil sammenlignes med to scenarier for global gennemsnitlig produktion af tøj af henholdsvis konventionel bomuld og polyester. Sammenligningen med et globalt gennemsnit af de to mest anvendte fibertyper til tekstil har til formål at vurdere om en dansk hampeproduktion vil have en væsentlig miljøforbedrende effekt ved vores tøjforbrug.

Den funktionelle enhed

Et kilo tøj i følgende materialer:

- Danskproduceret hamp
- Globalt produceret bomuld
- Europæisk produceret polyester

Geografisk afgrænsning

Der er ingen tekstilproduktion i Danmark, så de studier, der er benyttet som kilder til miljøvurderingen, er baseret på udenlandske data fra hovedsageligt Kina, Frankrig og Østeuropa. Studierne "*Life Cycle Analysis of Hemp Textile Yarn*" af Lea Turunen og Hayo van der Werf fra 2006 (Turunen et al. 2006) og "*Comparative Life Cycle Assessment of hemp and cotton fibres used in Chinese textile manufacturing*" af Hannes Van Eynde fra 2015 (Van Eynde 2015) indeholder ikke aggregerede data omkring de forskellige processer i råvare dyrkning og oparbejdning af fibre til tekstiler, således at det er muligt at modellere og modificere processerne. De forhold, der kan konverteres til danske i modelleringen, er blevet det. Dvs. der er benyttet dansk el og dansk termisk energi (naturgas) samt antaget danske forhold for transport og bortskaffelse.

Polyester og bomuld beregnes for en gennemsnitlig henholdsvis europæisk og global produktion.

Valg af teknologi

Der er for hampetekstilet valgt at regne på to scenarier med forskellig teknologi. Der er valgt en baseline beregning, hvor der benyttes en delvis ældre teknologi. Den teknologi, der benyttes i *studiet* Turunen et al. (2006), er baseret på kilder, der er 10-25 år gamle. Teknologien, der benyttes i *studiet* Van Eynde (2015), er baseret på kilder, der er fra 1-20 år gamle og omhandler kinesiske tekstilbearbejdning.

Baseline giver altså et delvist forældet billede af de hampetekstiler, der findes på markedet i dag og ikke nødvendigvis et billede af den bedst tilgængelige teknologi.

Vil man starte hampedyrkning i Danmark og en bearbejdning i Danmark, må det antages, at den vil blive baseret på bedst tilgængelige teknologi eller måske endda forbedret teknologi. Det optimerede scenarie

bygger derfor på samme type teknologi som basisscenariet, men flere processer er antaget værende mere effektive. Denne forbedrede teknologi er beskrevet i Tabel 1. Hvilke processer, der er blevet forbedret, og hvor stor effektiviseringsgraden er, bygger på arbitrære valg og er fastsat ud fra, at det optimerede scenarie omtrent skulle opnå miljømæssig konkurrencedygtighed med andre gængse tekstiltyper.

Ved det optimerede scenarie er der også lavet antagelser omkring brugen af enzymer i rødningsprocessen. I dette projekt er der på Teknologisk Institut lavet forsøg med enzymatisk rødning, der muligvis peger i retning af et forbedringspotentiale i forhold til andre metoder til rødning af hampestængler. Men da det stadig er på forsøgsstadiet, er det ikke muligt at udlede præcist hvor stort et forbedringspotentiale, der vil kunne opnås ved enzymatisk rødning. Derfor er der også her lavet overslag på et nødvendigt forbedringspotentiale, for at sikre at hamp er konkurrencedygtigt med andre gængse tekstiler jf. Tabel 1

Råvareudvinding, råvareproduktion og tekstilproduktionen

Livscyklussen for hampetekstil fra råvare dyrkning, til færdigt stykke tøj, til bortskaffelse, består af følgende processer (Turunen et al. 2006, Van Eynde 2015).

Dyrkning og høst	<ul style="list-style-type: none"> • Input: Gødning, Diesel • Output: Tørre grønne hampe stængler
Transport fra mark	<ul style="list-style-type: none"> • Input: Tørre grønne hampestængler, Diesel olie • Output: Tørre grønne hampestængler
Grønskætning og efterbehandling af mark	<ul style="list-style-type: none"> • Input: Tørrede grønne hampe stængler (diesel, elektricitet) • Output: Grønne skættede lange fibre (Grønskættet blår (korte fibre), skæver, støv, grove planterester)
Enzymatisk rødning	<ul style="list-style-type: none"> • Input: Grønne skættede lange fibre (og 1000MJ termisk energi og 20kg enzym og 82000 liter vand) • Output: 1000 kg lange fibre (82000 liter vand til rensning)
Transport til tekstilproduktion	<ul style="list-style-type: none"> • Input: Lange fibre, Diesel olie • Output: Lange fibre
Kartning	<ul style="list-style-type: none"> • Input: Skættede hampefibre, (elektricitet) • Output: Kartede hampe sliver, (kartede tow fibre, fiber affald)
Forberedelse (Drawing)	<ul style="list-style-type: none"> • Input: Hampe Sliver, (Elektricitet) • Output: Forgarn
Spinding og garn vinding	<ul style="list-style-type: none"> • Input: Forgarn, (Elektricitet, damp) • Output: Vådt-spundet garn, (Fibre affald)
Sletning	<ul style="list-style-type: none"> • Input: Garn, (kartofel stivelse, damp, Elektricitet) • Output: Afslettet kædegarn, (COD)
Vævning	<ul style="list-style-type: none"> • Input: Garn, (Elektricitet) • Output: Tekstil
Farvning	<ul style="list-style-type: none"> • Input: Tekstil, vand, damp, Sodium Sulphate, Sodium hydroxide, sæbemiddel, reaktiv farvestof, elektricitet, eddikesyre. • Output: Tekstil
Syning hamp	<ul style="list-style-type: none"> • Input: Tekstil, (Elektricitet) • Output: Tøj
Forbrænding hamp	<ul style="list-style-type: none"> • Input: Tøj af hamp • Output: Energi (el og varme)

Figur 1 Overblik over processer i livscyklussen for hampetekstil

De overordnede afgrænsninger og antagelser for modelleringen af hampetekstiletts forskellige livscyklusfaser er beskrevet i følgende afsnit.

Råvare dyrkning /udvinding

Som det fremgår af Figur 1 består råvareproduktionen af en proces for dyrkning og høst. Ved dyrkning og høst er benyttet Turunen et al. 2006, hvor der er modelleret kørsel med diverse landbrugsmaskiner (diesel produktion, forbrug og direkte emissioner) og produktion af gødning (NPK 33/46/60) (Turunen et al. 2006). Udbyttet i basisscenariet er baseret på Turunen et al. 2006 og udgør, før nogen behandling, 8 tons tørre grønne stængler pr. hektar. Allokeringen til de biprodukter, der produceres, er beskrevet i afsnit 3.

Der er ikke medregnet andre emissioner fra behandling af mark, og der er ligeledes ikke taget højde for positive effekter fra hampens næringsstofftilførsel til jorden ved dyrkning som efterafgrøde.

Oparbejdning

Oparbejdningen fra stængler til færdigt stof sker ved følgende processer:

Enzymatisk rødning: Baseret på Turunen et al. (2006), dog er der benyttet enzymer fra Novozymes (Gernaey 2015, Nielsen 2006). Det er antaget at den enzymatiske rødningproces erstatter blegningen af fibre, både i kraft af de mekaniske forbedringer, som blegningen medfører og i kraft af behovet for at lysne fibrenes farve. Denne antagelse er usikker og ikke direkte underbygget af de forsøg med enzymatisk rødning, som Teknologisk Institut har foretaget i nærværende projekt.

For kartning, fiber forberedelse, spinning, garn vinding og sletning er brugt samme antagelser som i Turunen et al. 2006 og Van Eynde 2015.

Der er fundet meget stor variation i data for vævningsprocesser for hamp. Der er antaget samme energiforbrug for vævning af hamp som ved vævning af bomuld ved en våd vævningsproces.

I de benyttede datasæt for bomuld og polyester er der inkluderet farvning af tekstilerne. For at få et ordentligt sammenligningsgrundlag er der valgt også at inkludere en farvningsproces for hamp. Her er benyttet en farvningsproces for bomuld fra GaBi databasen. Farvningsprocessen bygger på en udbredt farvningsmetode og miljøbelastningen er gennemsnitlig for et bredere udvalg af processer. I den benyttede proces for farvning benyttes Italienske data for bl.a. energi, hvilket gør værdierne lidt konservative i en dansk kontekst.

Produktion

Det er antaget, at der benyttes samme mængde energi, og at der er samme mængde spild ved syning i hamp som ved syning i bomuld og polyester.

Brugsfasen

Brugsfasen er væsentlig, når man ser på tekstilers samlede miljøbelastning og kan i nogle tilfælde tillægges størstedelen af tekstilers miljøbelastning. I denne miljøvurdering er brugsfasen dog ikke inkluderet, da det vurderes, at polyester, bomuld og hamp vil blive behandlet nogenlunde ens under brugen og hermed generere samme miljøbelastning¹. Som det fremgår af en for nyligt udgivet rapport "Lokal hampproduktion

¹ Tidligere studier peger dog på, at polyester er mere miljøvenligt i brugen, da det kan vaskes og tørres ved lavere temperaturer. Men det vurderes, at dette potentiale kun indfries hos professionelle vaskerier, men ikke i praksis har nogen indflydelse ved vask af tøj i private hjem.

til tekstil anvendelse" (Haurvig et al. 2016), så er der teknisk set ikke stor forskel på tekstilerne, hvilket entydigt vil give anledning til forskellige behandlinger i brugen. Levetiden kan også variere afhængig af fibrenes styrke, men det er også for usikkert at konkludere noget entydigt omkring levetiden af tekstiltyperne, da mange forskellige faktorer spiller ind.

Bortskaffelsen

Efter brug i Danmark kan der ske fire ting med tekstilerne:

- De bliver smidt til forbrænding,
- De bliver genbrugt i Danmark (hvorefter en af disse fire punkter gentages)
- De bliver genbrugt i udlandet
- eller de bliver genanvendt til f.eks. isolering, klude mv., hvorefter de bliver deponeret eller forbrændt.

Langt den overvejende del af tekstilerne ender med at blive forbrændt i udlandet. Der er ikke fundet belæg for, at de forskellige tekstiltyper polyester, bomuld og hamp skulle differentiere sig væsentligt i forhold til hinanden mht. graden af genbrug eller genanvendelse. Derfor er det valgt, at alle tekstiltyperne forbrændes i et gennemsnitligt europæisk forbrændingsanlæg med energiudnyttelse.

3. Data til miljøvurdering

Metode

Miljøvurderingen er baseret på en livscyklusvurdering (LCA). LCA'en overholder ikke standarderne i ISO 14040 serien, men forsøger metodemæssigt at ligge sig op af standarderne. Der er benyttet GaBi software og database til modellering af LCA'en. Der er benyttet Product Environmental Footprint (PEF) og ILCD anbefalede karakteriseringsfaktorer og normaliseringsfaktorer fra Benini *et al.* (2014)

Processer

Tabel 1 på følgende side giver overblik over de data, der er benyttet i miljøvurderingen. Tabellen indeholder oplysninger om, hvordan hele tekstilets livscyklus er modelleret. Processerne i livscyklussen er angivet i første kolonne. Ud fra hver proces er angivet de væsentligste input og output af materialer samt hvilke antagelser, der er gjort angående denne proces. Ligeledes står der i tabel 1 angivet, hvilke værdier der er brugt, kilden hvor informationer omkring processen kommer fra, og hvilke(t) GaBi datasæt der er brugt til at modellere processen. Herudover indeholder tabel 1 også oplysninger omkring, hvorledes det optimerede scenarie er anderledes end baseline scenariet.

Proces	Materiale Input/Output	Antagelser	Værdier	Kilde	LCA GaBi proces(ser)	Optimeret scenarie
Dyrkning og høst	Input: (Gødning, Diesel, frø) Output: Tørre grønne hampestængler (14%vandindhold) pr. hektar	Produktion af maskiner og bygninger ikke inkluderet. Ingen vanding medregnet Der medregnes ikke emissioner fra en eventuel dugrødning, da det antages, at der ikke dannes metan pga. en aerob proces, og den CO ₂ der dannes herved er biogen. Direkte eller indirekte landtransformation er ikke medregnet.	I Turunen, 2006 LCA'en er der regnet med et udbytte på 8,0ton dry hemp stems/ha (14%vandindhold). • Nitrogen: 100 kg N/ha*a • Phosphorus: 75 kg P ₂ O ₅ /ha*a • Potassium: kg K ₂ O/ha*a 100 20 • Lime 5–6 years with a rate of 200 kg/ha depending on the pH of the soil	Kilde til udbytte fra mark: Turunen, 2006	RER: ammonium nitrate, as N, RER: triple superphosphate, as P ₂ O ₅ RER: potassium chloride as K ₂ O DE: Lime (CaO; finelime) GLO: Excavator (Tilnærmelse for forskellige landbrugsmaskiner). EU-27: Diesel mix at refinery	12 tons output (Baseret på udbytte fra to danske avlere samt vurdering af Bodil Pallesen, Teknologisk Institut).
Transport fra mark	Input: Tørre grønne hampestængler, Diesel olie Output: Tørre grønne hampestængler	Antaget 100 km transport	100 km med udnyttelsesgrad på 0,85	Overslag	GLO: Truck-trailer EU-27: Diesel mix at refinery	Uændret
Skille frø og blade fra stammer	Input: Output:					Det antages at blade og frø skilles fra stammer under selve høstprocessen, hvorved der ikke bruges betydeligt mere energi.
Grønskætning og efterbehandling af mark	Input: Tørre grønne hampestængler (diesel, elektricitet) Output: Grønne skættede lange fibre (Grønskættet blå (korte fibre), skæver, støv, grove planterester)		3240MJ elektricitet/ 1000 kg output af lange fibre 595MJ Diesel /1000 kg output af lange fibre	Turunen, 2006	DK: Electricity grid mix GLO: Excavator EU-27: Diesel mix at refinery	Større dele af planten nyttiggøres. Der udvindes CBD fra frø og blade og støvfraktionen sælges. Se Tabel 4 over allokering.
Enzymatisk rødning	Input: Grønne skættede lange fibre (5000MJ el og 1000MJ termisk energi og 20kg enzym og 82000 liter vand) Output: 1000 kg lange fibre (82000 liter vand til rensning)		Biorødning er antaget kræver 5MJ el og 1MJ termisk energi og 0,02kg enzym og 82 liter vand for 1 kg lange fibre. 82 liter vand sendes til spildevandsrensning	Proces taget fra biorødnings-scenariet i Turunen, 2006. Enzymproduktion: Gernaey 2015, Nielsen 2006	DK: Electricity grid mix EU-27: Tap water DE: Thermal energy from biomass Enzym (FORCE proces på baggrund af Carbon Footprint fra Novozymes)	Det antages at vandet til enzymbehandlingen kan genbruges og derfor halveres. Yderligere antages et 20% mindre energiforbrug på processen end basisscenariet.
Transport til tekstilproduktion	Input: Lange fibre, Dieselolie Output: Lange fibre	Antaget 100 km transport	100 km med Utilisation factor på 0,85	Overslag	GLO: Truck-trailer EU-27: Diesel mix at refinery	Uændret
Blegning	Input: Output:	Der er ikke inkluderet en blegningsproces. Det antages, at den enzymatiske rødning vil blege fibre tilstrækkeligt og få fjernet pectiner og hemicellulose				Uændret
Kartning (Hackling)	Input: Skættede hampefibre, (elektricitet) Output: Kartede hampe sliver, (kartede tow fibre, fiber affald)	Det antages, at Carding og Drawing som er beskrevet i Hannes Van Eynde (s. 53+55) dækker over det samme som Turunen, 2006 beskriver som Hackling og Preparation system (s. 29). Allokeringen til restprodukter baseres dog gennemgående på Turunen, 2006.	Carding: 4,5MJ elektricitet pr. kg Drawing: 2,16MJ elektricitet pr. kg	Comparative Life Cycle Assessment of hemp and cotton fibres used in Chinese textile manufacturing Hannes Van Eynde 2015	DK: Electricity grid mix	20% mindre energiforbrug i produktion
(Drawing) Forberedelse	Input: Hampe Sliver, (Elektricitet) Output: Roving					
Spinding og garn vinding	Input: Roving, (Electricity, Steam) Output: Wet spun yarn, (Fibre waste)		Wet ring spinning and winding: 14,4MJ electricity /kg output and 3,1 kg steam energy.		DK: Electricity grid mix RER: Steam (mp) (PlasticsEurope)	20% mindre energiforbrug i produktion
Sletning	Input: Yarn, (kartoffel stivelse, Damp, Elektricitet) Output: Sized warp yarn, (COD)	Sizing er ikke medregnet i Turunen, 2006. Data fra Hannes Van Eynde, 2015, er benyttet da det er vurderet at Sizing er en nødvendig proces.	90 g kartoffel stivelse /ton 7,8 kg damp /ton 3,6 MJ elektricitet /ton			20% mindre energiforbrug i produktion
Vævning	Input: Yarn, (Elektricitet) Output: Tekstil	Det antages, at hamp ved brug af BAT kan væves med samme effektivitet og herved miljøbelastning som bomuld.	5,38kWh/kg	Baseret på bomulds gennemsnit fra LCA benchmarking studie (van der Velden, 2013)	DK: Electricity grid mix	Uændret (der er i base-scenariet allerede antaget en forbedring af vævningsprocessen, således at hamp væves med sammen effektivitet som bomuld).
Farvning	Input: Tekstil, Water, Steam, Sodium Sulphate, Sodium hydroxide, Soaping agent, Reactive dye, electricity, Acetic acid. Output: Tekstil	Denne farvningsproces er udvalgt fra GaBi databasen. Farvningsprocessen er almindelig brugt og miljøbelastningen gennemsnitlig for et bredere udvalg af processer. I den benyttede proces for farvning benyttes Italienske data for bl.a. energi, hvilket gør værdierne lidt konservative i en dansk kontekst.	*(se nedenfor)	GaBi dataset	Proces for farvning består af ca. 30 andre processer for diverse kemikalier og processer bl.a.: IT: Thermal energy from natural gas, IT: Electricity grid mix IT: Softened water	Uændret
Syning hamp		Det antages, at der benyttes samme mængde stof til at sy et stykke beklædning om man bruger hamp, bomuld eller polyester.	15% spild under syning 2,43kWh pr. kg (Cutting and Makeup)	Beton, Adrien et al., 2014 Collins M. and Aumônier S. 2002)	Egen proces	Uændret
Forbrænding hamp	Input: Hampe tekstil Output: Energi (el og varme)	Det antages, at hampetekstiler i sidste ende forbrændes.	44% effektivitet i forbrænding (fordelt ved 27%el, 73% thermal energy), Hamp er antaget at have samme LHV som bomuld (20,2MJ/kg).	Kvalificeret vurdering	EU-27: Cotton in municipal waste incinerator	Uændret

Tabel 1 Oversigt over data og antagelser for hampetekstil

Proces	Materiale Input/Output	Antagelser	Værdier	Kilde	LCA GaBi proces(ser)
Dyrkning og behandling af fibre	Output: Bomuldsfibre	Baseret på globalt gennemsnit af konventionelt bomuldsdyrkning	-	GaBi dataset er baseret på (Cotton Incorporated, 2012)	GLO: Cotton fiber (bales after ginning)
Fremstilling af vævet bomuldsstof	Input: Bomuldsfibre Output: Vævet stof	Baseret på globalt gennemsnit af fremstilling af bomuldsstof		GaBi dataset er baseret på (Cotton Incorporated, 2012)	GLO: Woven cotton fabric manufacturing
Syning Bomuld	Input: Woven Fabric Output: Tekstiler	Det antages, at der benyttes samme mængde stof til at sy et stykke beklædning om man bruger hamp, bomuld eller polyester.	15% spild under syning 2,43kWh pr. kg (Cutting and Makeup)	Beton, Adrien et al., 2014 Collins M. and Aumônier S. (2002)	Egen proces
Forbrænding	Input: Tekstiler Output: Energi (el og varme)	Det antages, at bomuldstekstiler i sidste ende forbrændes.	44% effektivitet i forbrænding (27%el, 73% termisk energi)	GaBi dataset	EU-27: Cotton in municipal waste incinerator

Tabel 2 Oversigt over data og antagelser for bomuldstekstil

Proces	Materiale Input/Output	Antagelser	Værdier	Kilde	LCA GaBi proces(ser)
Udvinding, fremstilling og vævning af polyester	Input: Output: Polyester stof	Datasættet er baseret på globalt gennemsnit		GaBi Thinkstep	EU-27: Polyester (PET) fabric ts
Syning Polyester	Input: Polyester stof Output: Polyester tøj	Det antages, at der benyttes samme mængde stof til at sy et stykke beklædning om man bruger hamp, bomuld eller polyester.	15% spild under syning 2,43kWh pr. kg (Cutting and Makeup)	Beton, Adrien et al., 2014 Collins M. and Aumônier S. (2002)	Egen proces
Forbrænding	Input: Polyester tøj Output: Energi (el og varme)	Det antages, at polyestertekstiler i sidste ende forbrændes.	44% effektivitet i forbrænding (27%el, 73% thermal energy)	GaBi Thinkstep	EU-27: Polyethylene terephthalate (PET) in waste incineration plant

Tabel 3 Oversigt over data og antagelser for polyestertekstil

Datakvalitet

Med hensyn til datakvalitet for processerne, hampedyrkingen og bearbejdningen af hamp er det generelt data af dårlig kvalitet. Kvaliteten afhænger både af, at data måske er gamle eller teknologien er forældet, men kvaliteten afhænger også af, at der er usikkerhed omkring, hvorvidt man kan opnå den ønskede tekstilkvalitet med de benyttede processer. For at kunne lave en rimelig sammenligning, må kvaliteten af hampetekstilet svare til kvaliteten af bomuld og polyester. Hvis hampefibrene skal bearbejdes mere for at opnå samme kvalitet som bomuld, vil det dels kræve mere energi ved forskelle bearbejdningsprocesser, og der vil være et større produktionsspild.

Det vurderes, at de data, der ligger til grund for processerne ved bearbejdningen af hamp har størst kvalitet på energisiden (og dermed også global opvarmning), hvorimod kvaliteten på vandforbrug og toxicitetssiden er af lavere datakvalitet og indeholder flere elementer, der bidrager til usikkerhed. Dog er der usikkerhed omkring de metanemissioner der potentielt kan opstå ved anaerob nedbrydning i rødningsprocessen, og som kan bidrage væsentligt global opvarmning².

Allokering

Som de fremgår af Tabel 1 forekommer der biprodukter ved høst og bearbejdning af hampen. Der er foretaget økonomisk allokering i de to scenarier med hamp. I Tabel 4 nedenfor er angivet hvor meget af miljøbelastningen, der er allokeret til tekstilproduktionen gennem de forskellige processer. De økonomiske forhold og allokeringen er baseret på Turunen et al. (2006).

Med parentes er angivet den ændring, der er i allokeringen i det optimerede hampescenarie. Ved det optimerede scenarie ses, hvordan der sker yderligere allokering, fordi det antages at man ved en hampedyrkning i Danmark ville fokusere i højere grad på CBD³-udbyttet fra blade og frø. Efter vurdering fra Bodil Pallesen (Pallesen 2016), Seniorspecialist fra Teknologisk Institut, på baggrund af erfaringer omkring udbyttet fra de to danske hampedyrkere, er allokeringen for det optimerede scenarie fremkommet. Allokeringen er et overslag, da der ikke pt. er viden om priser og korrekt udbytte for en dyrkning af hamp med formål at udnytte både frø, blade og lange fibre. Allokeringen er baseret på en økonomisk værdisætning af de forskellige fraktioner, og i forhold til baseline scenariet indeholder det optimerede scenarie en allokering til frø og blade (olie udstrakt) samt en mindre allokering til støvfraktionen (bruges til brændselspiller).

² Der er i nærværende miljøvurdering, ligesom i Turunen et al. (2006) og Hannes Van Eynde (2015), ikke medregnet metanemissioner ved rødningsprocessen. Andre kilder påpeger at dette forekommer.

³ CBD er cannabis olie, hvor indholdet domineres af cannabinoiden. I modsætning til THC olien, har CBD olien ingen euforiserende effekt. Forskellige videnskabelige studier og erfaringer peger på, at CBD olie har en medicinsk effekt på patienter indenfor mange forskellige sygdomme.

	Basis scenariet - Allokering ift. Turunen et al. (2006).				Optimeret scenarie - Allokering baseret på Pallesen (2016).			
	Allokering ved proces (procentvis allokering til tekstilproduktion i den enkelte proces)	Allokering til tekstil	Samprodukt der også allokeres til	Procent allokering til samprodukt	Allokering ved proces (procentvis allokering til tekstilproduktion i den enkelte proces)	Allokering til tekstil	Samprodukt der også allokeres til	Procent allokering til samprodukt
Dyrkning og høst	100	25	Korte fibre, skæver og hackling tow	75	100	16	Korte fibre, frø og blade, støv og skæver	84
Transport fra mark	100	25	Korte fibre, skæver og hackling tow	75	100	16	Korte fibre, frø og blade, støv og skæver	84
Skille frø og blade fra stammer	100	25	Korte fibre, skæver og hackling tow	75	61	16	Korte fibre, frø og blade, støv og skæver	84
Grønskætning og efterbehandling af mark	45	25	Korte fibre, skæver og hackling tow	75	40	26	Korte fibre, støv og skæver	74
Enzymatisk rødnings	99	56	Korte fibre, skæver og hackling tow	44	100	67	Korte fibre, støv og skæver	33
Transport til tekstilproduktion	100	57	Hackling tow	43	100	67	Korte fibre	33
Hackling	57	57	Hackling tow	43	67	67	Korte fibre	33
Forberedelse	100	100		0	100	100		0
Spinding	100	100		0	100	100		0
Garn vinding	100	100		0	100	100		0
Sletning	100	100		0	100	100		0
Vævning	100	100		0	100	100		0
Farvning	100	100		0	100	100		0
Syning hamp	100	100		0	100	100		0
Forbrænding hamp	100	100		0	100	100		0

Tabel 4 Allokering af miljøbelastning til biprodukter ved produktion af hampetekstil (Turunen et al. 2006, Pallesen 2016)

Ligeledes er der foretaget økonomisk allokering for bomuld (Cotton Incorporated, 2012). Der er ikke oplysninger om, hvordan der er allokeret for polyester.

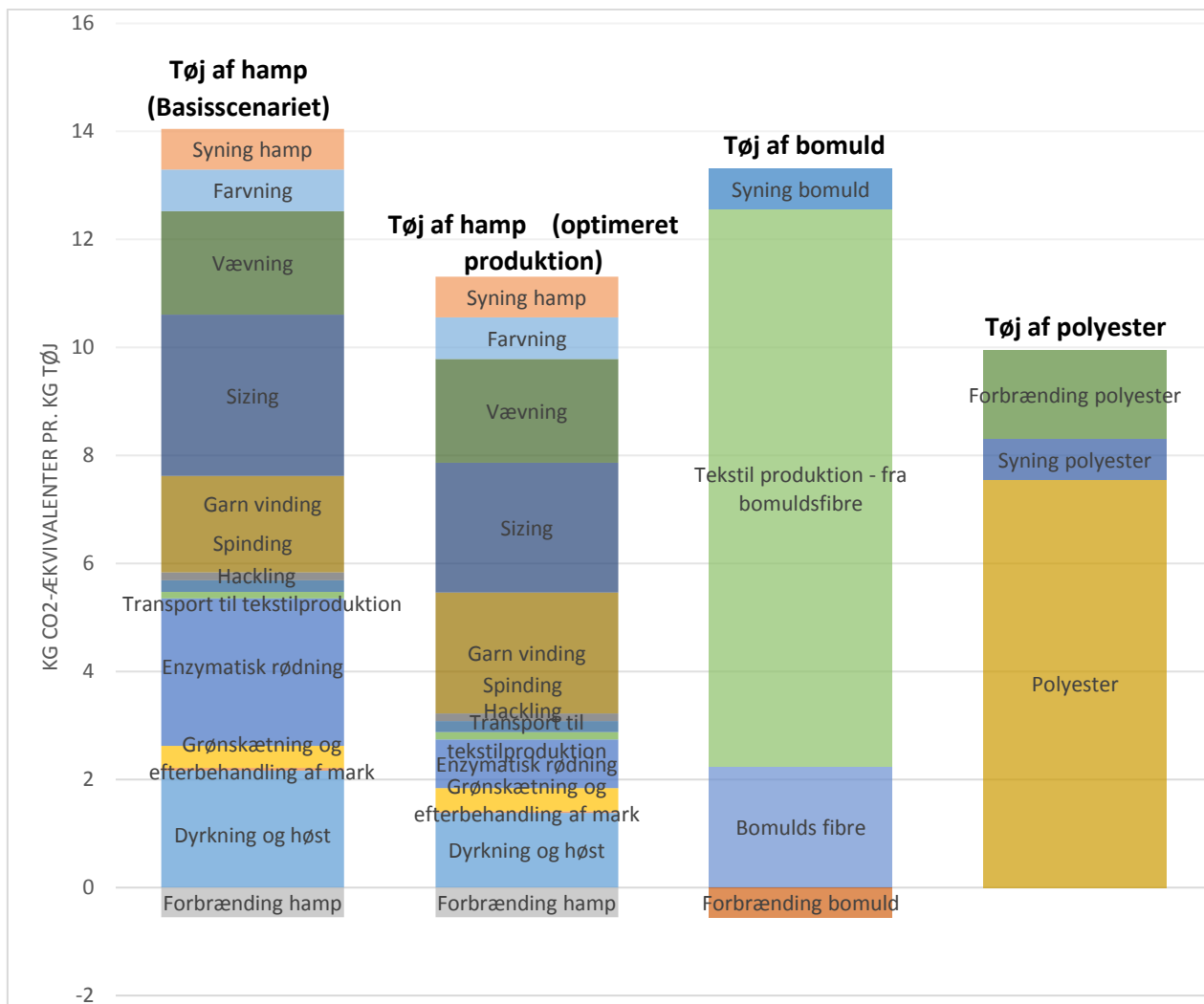
4. Resultater

	Acidification midpoint (v1.06) [Mole of H+ eq.]	Climate change midpoint, excl biogenic carbon (v1.06) [kg CO2-Equiv.]	Climate change midpoint, incl biogenic carbon (v1.06) [kg CO2-Equiv.]	Ecotoxicity freshwater midpoint (v1.06) [CTUe]	Eutrophication freshwater midpoint (v1.06) [kg P eq]	Eutrophication marine midpoint (v1.06) [kg N-Equiv.]	Eutrophication terrestrial midpoint (v1.06) [Mole of N eq.]	Human toxicity midpoint, cancer effects (v1.06) [CTUh]	Human toxicity midpoint, non-cancer effects (v1.06) [CTUh]	Ionizing radiation midpoint, human health (v1.06) [kBq U235 eq]	Ozone depletion midpoint (v1.06) [kg CFC-11 eq]	Particulate matter/Respiratory inorganics midpoint (v1.06) [kg PM2,5-Equiv.]	Photochemical ozone formation midpoint, human health (v1.06) [kg NMVOC]	Resource depletion water, midpoint (v1.06) [m³ eq.]	Resource depletion, mineral, fossils and renewables, midpoint (v1.06) [kg Sb-Equiv.]
Hamp	1,2	1,5	2,3	1,3	1,5	0,8	0,8	4,6	3,2	0,9	0,0	0,7	1,0	3,6	0,2
Hamp optimeret	1,2	1,2	2,2	1,2	1,6	0,9	0,7	4,7	2,9	0,8	0,0	0,6	0,9	0,6	0,1
Bomuld	2,9	1,4	1,3	4,7	0,4	0,1	2,0	0,8	3,7	1,6	0,0	3,7	1,7	5,7	3,4
Polyester	0,3	1,1	1,1	0,1	0,0	0,0	0,2	1,6	6,6	0,6	0,0	0,1	0,4	0,5	0,1

Tabel 5 Normaliserede resultater målt i milli-personækvivalenter pr. kg. tøj. De højeste værdier markeret med rød, de laveste med grøn

Tabel 5 viser de normaliserede resultater af miljøvurderingen. Normaliseringens formål er, at omforme kategoriindikatorernes resultater til en fælles reference, så det bliver muligt at sammenligne forskellige miljøpåvirkninger. Normaliseringsreferencerne er udregnet som baggrundspåvirkningen pr. person over en periode på et år, i det område som påvirkningen er udregnet for. Der er ikke foretaget vægtning af de normaliserede resultater.

Som det ses af Tabel 5 er der stor forskel på forskellige miljøbelastninger fra de forskellige påvirkningskategorier for hver af tekstilerne. Groft sagt kan man udlede af de normaliserede resultater, at bomuld har den største miljøbelastning og polyester den mindste.



Figur 2 Påvirkning af global opvarmning målt i kg CO₂-ækvivalenter pr. kg tøj.

På Figur 2 ses resultatet for påvirkning af global opvarmning pr. kg tøj. Søjlerne er opdelt, så man kan se, hvilke processer der bidrager mest til den samlede belastning. For bomuld og polyester er der brugt aggregerede datasæt fra GaBi, hvilket ikke giver mulighed for på samme niveau at se, hvor meget hver enkelt proces bidrager.

Som det ses, er der mange processer, der bidrager signifikant til hampens samlede belastning. Dyrkningen og rødningen samt spinding, sletning og vævning er alle processer, der bidrager væsentligt og tilsammen står disse fem processer for 86% af hampens samlede påvirkning af global opvarmning.

Som det ses, er resultatet for den optimerede hampeproduktion noget bedre og har en påvirkning af global opvarmning der næsten er så lav som ved polyester. Dette skyldes både de mere effektive bearbejdningsprocesser, men det skyldes især den lavere belastning ved dyrkning og høst, da der antages et større udbytte (flere biprodukter at allokere miljøbelastning til) samt en enzymatisk rødningproces, hvor det antages at vandet kan genbruges og energi til opvarmning af vand derfor reduceres væsentligt.

Det kan ses af resultaterne på figur 2, at for hamp og bomuld er der en negativ miljøbelastning (positiv effekt) ved afbrænding af tekstilerne, da det er fornybare ressourcer, der afbrændes med energiudnyttelse. For polyester er der en miljøbelastning målt i global opvarmning ved afbrænding, fordi frigivelsen af CO₂ fra fossile kilde overgår den positive effekt fra energiudnyttelsen.

5. Diskussion

Man får et mindre udbytte af lange fibre til tekstilproduktionen pr. hektar fra hampedyrkning end fra bomuldsdyrkning, men til gengæld får man mange andre (bi-)produkter fra hamplanten, f.eks. korte fibre, olie og strøelse. Hvis rødningsprocessen kunne optimeres, så det enzymholdige vand blev genbrugt, og der ikke skulle bruges tryk eller høje temperaturer, samt at man sikrede sig at der ingen metanemissioner var, så er der potentiale for at hampefibre kan produceres mere miljøvenligt end alternativer.

Selve viderebearbejdningen af hampefibre til tekstiler er noget mere krævende end bomuldsfibre pga. hampefibrenes fysiske egenskaber. Men der er potentiale i optimeringen af disse bearbejdningsprocesser.

Hvis alle de beskrevne optimeringspotentialer kan realiseres, vil hamp være en lige så god – eller bedre – råvare i tekstilproduktion end konventionelt dyrket bomuld. Men det er her vigtigt at bemærke, at det er et globalt *gennemsnit* for bomuld, som der sammenlignes med, dvs. man vil ligesom det er antaget ved det optimerede hampescenarie også kunne etablere mere effektive bomuldsproduktioner end den gennemsnitlige produktion. Ud fra sammenligningen mellem det optimerede hampescenarie og bomuld, kan det derfor ikke konkluderes at hampetekstiler vil kunne produceres mere miljøvenligt end bomuld. Der kan ”kun” konkluderes, at en optimeret produktion af hamp i Danmark højst sandsynligt vil kunne gøres mere miljøvenligt end *gennemsnitlig* bomuld gøres i dag.

Denne miljøvurdering viser, at det optimerede scenarie for en dansk hampedyrkning og produktion af hampetøj generelt ikke vil kunne få en bedre miljøprofil end tøj af polyester.

Der er i denne miljøvurdering lavet et overslag over størrelsen af forbedringspotentialet for produktion af hampetekstiler. De antagede optimeringer svarer til 22% lavere primært energiforbrug (fornybare og ikke fornybare ressourcer) i det optimerede scenarie sammenlignet med basisscenariet for hamp baseret på Turenen et. Al (2006) og Van Eynde (2015). Der er dog ikke noget fagligt belæg for størrelsen af forbedringen, og det kan vise sig slet ikke at være muligt at opnå så stor en forbedring.

Flere andre faktorer indvirker på om hamp er en bedre tekstil end bomuld og polyester. Hampeplanten kræver mindre vanding, mindre brug af pesticider, og hampen kan dyrkes på vores breddegrader og bruges som efterafgrøde. Der opnås også en større mængde brugbar biomasse ved dyrkning af hamp sammenlignet med bomuld, og herved kan det argumenteres for, at der samlet benyttes mindre areal ved fremstillingen af tekstiler fra hamp end bomuld.

Samlet kan det konkluderes, at hampetekstiler på nuværende tidspunkt ikke er miljømæssigt bedre end bomuld og polyester, men med de rette optimeringer i bearbejdningsprocesserne, vil hamp kunne skabe en mere bæredygtig tekstilproduktion.

6. Kilder

- Benini L., Mancini L., Sala S. et al. (2014). Normalisation data and method for Product Environmental Footprints. JRC Technical Reports. Report EUR 26842 EN.
- Beton, Adrien et al., 2014, JRC: Environmental Improvement Potential of textiles (IMPRO Textiles), European Commission
- Collins M. and Aumônier S., 2002 Streamlined Life Cycle Assessment of Two Marks & Spencer plc, Apparel Products. Marks and Spencer Plc. Reference: 7815.
- Cotton Incorporated, 2012, Life Cycle Assessment of Cotton Fiber & Fabric. Report. The research was conducted by Cotton Incorporated and PE International. II Report
- Eynde, Hannes Van, 2009, Comparative Life Cycle Assessment of hemp and cotton fibres used in Chinese textile manufacturing, KU Leuven, Departement Aard- en Omgevingswetenschappen, Afdeling Bos, Natuur en Landschap, juni 2015
- Gernaey, Britta, 2015, Greenhouse gas emissions from a selection of Novozymes' enzyme products in a cradle to gate perspective, Corporate Sustainability, Novozymes
- Haurvig, Rikke Haurvig., Arnø Kryger, Johan., Jørgensen, Poul-Erik., Rodam, Johnny., Christoffersen, Suzi. ,2016, LOKAL HAMPPRODUKTION TIL TEKSTIL ANVENDELSE - En undersøgelse af mulighederne for at anvende bæredygtig hamp som tekstilmateriale, VIA Design, Teknologisk Institut og Danish Fashion Institute (DAFI).
- Nielsen PH, Oxenbøll KM, Wenzel H, 2006, Cradle-to-Gate Environmental Assessment of Enzyme Products Produced Industrially in Denmark by Novozymes A/S. Int J LCA, OnlineFirst (DOI: <http://dx.doi.org/10.1065/lca2006.08.265.1>)
- Pallesen, E. Bodil, 2016, ekspertvurdering omkring økonomiske forhold vedrørende biprodukter ved hamp.
- TextileExchange, 2016, Material Snapshot Hemp, VF Corporation, Brown and Wilmanns Environmental, LCC.
- Turunen, Lea., Werf, Hayo van der, 2006, Life Cycle Analysis of Hemp Textile Yarn - Comparison of three hemp fibre processing scenarios and a flax scenario, INRA – French National Institute for Agronomy Research, Version of 31 May 2006
- Velden. van der, Natascha M., Patel, Martin K., Vogtländer, Joost G., 2013, "LCA benchmarking study on textiles made of cotton, polyester, nylon, acryl, or elastane", The International Journal of Life Cycle Assessment

