



Horti Indigo for denim

Haalbaarheidsstudie en marktontwikkeling Indigofera teelt

Carin van der Lans
Filip van Noort
Nieves Garcia-Victoria

Rapport GTB-1317

Referaat

De (sub)tropische plant *Indigofera* wordt geteeld om de kleurstof indigo. In deze haalbaarheidsstudie is gekeken naar de technische en economische mogelijkheden van duurzame kasteelt van *Indigofera*. De kleurstofopbrengst bij buitenteelt (Azië) ligt tussen 30,87-76.72 kg/ha. Opbrengstverhogende factoren zijn ras, plantstadium bij bladoogst, lichtkleur tijdens teelt, daglengte, plantdichtheid, CO₂ gift, bemesting (N en P) en hydroponic teelt. De marktprijs voor plantaardig indigo ligt rond 35 euro/kg (6-10 keer hoger dan synthetisch indigo); hogere marktprijzen lijken mogelijk. De wereldwijde groeiende interesse voor natuurlijke, duurzame textielvezels en verfstoffen voorspelt groeimogelijkheden qua marktomvang. Daarnaast is de textielindustrie zich bewust dat de huidige teeltwijze in Azië milieubelastend is. Twee kasteelt varianten zijn doorgerekend: een 'high-tech' kasteelt (gestookte, intensieve hogedraadteelt) en een 'mid-tech' kasteelt (kuipplanten, vorstvrije/niet-gestookte teelt). Geschatte kosten van 'high-tech' kasteelt indigo liggen rond 63 €/m² per jaar; 'mid-tech' kasteelt teelt kost circa 43 €/m². Bij de actuele marktprijzen en de huidige inhoudsgehalten is een bladproductie van 10.217 kg/m²/jaar (hightech teelt) resp. 7.016 kg/m²/jaar (mid-tech teelt) noodzakelijk. Perspectieven voor horti indigo ontstaan pas wanneer met specifieke teeltmaatregelen het indigo inhoudsgehalten kunnen worden verhoogd, dan wel wanneer significant hogere prijzen dan de gevonden marktprijzen kunnen worden gerealiseerd. Cruciaal daarbij is commitment van afnemers voor hoge marktprijzen en afname. Er lijken bij de gehanteerde uitgangspunten onvoldoende aanknopingspunten om een haalbare businesscase horti indigo met *Indigofera* te ontwikkelen. Echter, op grond van buiten dit project behaalde teeltresultaten, kunnen we aanbevelen deze exercitie te herhalen met *Polygonum tinctorium* (Japanse indigo).

Abstract

The (sub) tropical plant *Indigofera* is grown for use as indigo dye. This feasibility study focused at the technical and economic potential of sustainable greenhouse cultivation of *Indigofera*. Outdoor cultivation (Asia) produces 30.87-76.72 kg dye/ha. Yield enhancing factors are cultivar, plant stage at harvest, light color during cultivation, day length, plant density, fertilization (N, P), CO₂ gift, and hydroponic cultivation. Market price for natural indigo is around 35 euro/kg (6-10 times higher than synthetic indigo). Higher market prices seem possible. The worldwide growing interest for natural, sustainable textile fibres and dyes shows market opportunities. The textile industry is aware that current indigo cultivation in Asia is not very sustainable. Two greenhouse cultivation variants were calculated: 'high-tech' greenhouse cultivation (heated, intense cultivation) and 'mid-tech' greenhouse cultivation (container plants, non-heated cultivation). Estimated costs of 'high-tech' greenhouse cultivation indigo are 63 €/m² per year and for 'mid-tech' greenhouse cultivation 43 €/m². With current market prices and content levels a leaf production of 10.217 kg/m²/year (high-tech cultivation) or 7.016 kg/m²/year (mid-tech cultivation) is necessary. When indigo content can be increased through specific cultivation measures, or significant higher prices than the reported market prices can be realized, a business case 'horti indigo' with *Indigofera* will become feasible. However, based on some recent greenhouse experience outside the scope of this report, we recommend to repeat this exercise with *Polygonum tinctorium*, (Japanese indigo). Crucial is commitment from buyers for high market prices and buying amounts

Rapportgegevens

Rapport GTB-1317

Projectnummer: 3242170400

Disclaimer

© 2014 Wageningen UR Glastuinbouw (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek), Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk, Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk, T 0317 48 56 06, F 010 522 51 93, E glastuinbouw@wur.nl, www.wageningenUR.nl/glastuinbouw. Wageningen UR Glastuinbouw.

Wageningen UR Glastuinbouw aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Adresgegevens

Wageningen UR Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

T +31 (0)317 48 56 06

F +31 (0)10 522 51 93

Inhoud

	Samenvatting	5
1	Inleiding	7
	1.1	Historie van indigo als kleurstof voor denim 7
	1.2	Aanleiding voor dit onderzoek 7
	1.3	Doelstelling 8
	1.4	Aanpak 9
2	De keten van grondstof tot denim industrie	11
	2.1	Beschrijving van de keten 11
	2.2	Consortium vorming 11
	2.2.1	Wageningen UR Glastuinbouw 11
	2.2.2	LKP Plant 12
	2.2.3	Prisna BV 12
	2.2.4	Jeanologia (Edificio Grupo Eurotrend) 12
	2.2.5	Toekomstige uitbreiding van het project consortium 13
3	Plantaardige productie van indigo: teelt van Indigofera	15
	3.1	Indigo, een plantaardige kleurstof 15
	3.2	Botanische informatie en teeltregio's 15
	3.3	Teelt 16
	3.3.1	Ervaringen uit kasteelexperiment Wageningen UR Glastuinbouw 17
	3.3.2	Vermeerderingsmethoden 17
	3.4	Enkele andere indigo houdende planten en hun eigenschappen 18
	3.5	Overzicht van opbrengst verhogende factoren uit eerder wetenschappelijk onderzoek 18
4	Extractie van indigo uit Indigofera	21
	4.1	Beschrijving van indigo extractie uit plantmateriaal 21
	4.2	Beschrijving van chemische omzettingen 21
	4.3	Aanwijzingen uit de literatuur voor verbetering van het extractieproces 22
5	Economische haalbaarheid van horti indigo in Nederland	23
	5.1	Marktverkenning 23
	5.1.1	Verwachtingen marktomvang horti indigo 23
	5.1.2	Marktprijzen 24
	5.1.3	Overige eisen 25
	5.2	Economische haalbaarheidsberekeningen Horti indigo 26
	5.2.1	Andere haalbaarheidsstudies 26
	5.2.2	Kostprijsberekening Horti indigo 26
6	Conclusie en discussie	29
	6.1	Conclusie 29
	6.2	Perspectieven voor horti indigo: aanbeveling voor vervolgonderzoek 30
	6.3	Uitdagingen voor toekomstige teeltexperimenten 30
7	Literatuur	33

Samenvatting

Indigofera teelt en perspectieven voor verhoging van indigo opbrengst

Voor de productie van indigo kleurstof is *Indigofera tinctoria* de meest geschikt plant om een zo hoog mogelijke opbrengst van kleurstof per m² te kunnen telen. *Indigofera* heeft bovendien de meest sterke kleurintensiteit. Van oorsprong komt de plant uit tropische en subtropische gebieden. De belangrijkste teeltgebieden zijn noordoost en zuidelijk India. Door haar vorstgevoeligheid kan het plantje in Nederland alleen in kassen worden geteeld. Op basis van teeltveraring met buitenteelt elders in de wereld is de verwachting dat bij een kasteelt van *Indigofera* nauwelijks tot geen plagen zullen optreden.

Gangbare opbrengsten bladmateriaal van *Indigofera* loopt uiteen van 3.548 tot 12.346 kg/ha. Literatuur noemt als opbrengst beïnvloedende factoren:

- Ras;
- Plantstadium: bladeren geoogst bij plantstadium met kleine peulen aan de plant hebben 20% hogere biomassa en 46% hoger gehalte aan indigo kleurstof;
- Licht kleur: het gehalte precursor isatan B (precursor van indigo) bij *Isatis* wordt maximaal bij groei onder rood licht en minimaal bij groei onder verrood licht;
- Daglengte effect: een lange dag (18 uur) geeft een 5 maal hogere bladopbrengst dan korte dag (8 uur);
- Plantdichtheid ideaal bij afstand van 1.0 x 1.5 meter: wijdeste plantoppervlak, meer takken, en hoogste opbrengst in kg/ha;
- Toevoeging van CO₂;
- Verhoging van de N gift geeft lagere verfopbrengst (betreft N range tussen 0 en 20 kg/ha);
- Verhoging van de P gift geeft hogere verfopbrengst, bij een gift hoger dan 60 kg/ha neemt de verfopbrengst af;
- Grondloze teelt (hydroponics) geeft een 3 keer hogere bladopbrengst en verfopbrengst dan grondteelt. Onderzocht is hier een mix van gravel en vulkanische bestanddelen als substraat;
- Droogteresistente plantensoort.

De gemiddelde indigo opbrengst in onderzoek publicaties varieert van 0,485 tot 1,97% van het bladversgewicht. De verfopbrengst ligt tussen 30,87-76,72 kg/ha.

Economische perspectieven voor horti indigo uit Nederlandse Indigofera kasteelt

Marktperspectieven

Schattingen voor de wereldwijde marktomvang van de indigo kleurstof lopen uiteen van 17.000, via 22.000 ton, tot 80.000 ton. Het gaat hier merendeel om synthetisch indigo. Het marktaandeel plantaardig indigo bedraagt minder dan 1% en ligt daarmee tussen 170-800 ton. Er is potentie voor groei van dit marktaandeel vanwege de wereldwijd groeiende interesse in natuurlijke en duurzame textielvezels en verfstoffen. Diverse kledingontwerpers zijn geïnteresseerd in indigo denim voor de hun haute couture en merk jeans.

Andere mogelijke afzetmarkten voor natuurlijk indigo zijn als ingrediënt voor haarverf, als kleurstof voor kunstenaars en ambachtslieden, en als kleurstof voor de voedingsmiddelenindustrie.

Er is duidelijke interesse voor het project bij tenminste een viertal denim ontwerpers.

Marktprijzen

Reële marktprijzen zijn op basis van het onderzoek niet goed in te schatten. De gevonden marktprijzen lopen zeer sterk uiteen:

- Europees onderzoek 2009: € 240-250 per kg indigo kleurstof;
- Actuele marktprijs gedroogd/gemalen blad, herkomst India \$ 4-7,5 per kg;
- Indigo cake tussen \$ 30-55 per kilo;
- \$ 25-28 per kgo voor poeder (herkomst India); \$ 20-50 per kg voor poeder (herkomst Shanghai);
- Kleurstof voor toepassing als verf tussen \$ 46-60 per kg.

Algemeen wordt gesteld dat de prijs van plantaardig indigo circa 10 keer hoger is dan de prijs van synthetisch indigo. In het onderzoek noemde een ververij als marktprijs voor natuurlijk indigo \$ 42 per kg, daarmee 6x duurder dan synthetisch indigo (\$ 7 per kg).

De textielindustrie (ververij) is zich ervan bewust dat de teelt van indigo in Azië weinig duurzaam is. Daartoe wordt in de praktijk soms bewust biologisch geteeld indigo ingekocht. Een hogere kostprijs voor duurzaam geteeld horti indigo zien ververijen vooralsnog als een drempel; dit is alleen mogelijk als de (eind)afnemer kan worden overtuigd van de meerkosten van duurzaam geteeld horti indigo.

Economische haalbaarheidsberekening

In studies gericht op de buitenteelt van *Indigofera* zijn de economische resultaten zeer gunstig. Voor *Indigofera* teelt in Nederlandse kassen is een haalbaarheidsberekening uitgevoerd, met een aantal aannames:

- A) 'High-tech' kasteelt variant: hogedraadteelt, stookteelt, CO₂ dosering, additioneel belicht, teelt(kosten) gebaseerd op hoge draadteelt tomaten, arbeidskosten € 17,50 per m²/ jaar.
- B) 'Mid-tech' kasteelt variant: planten in kuipen op de grond, vorstvrije onverwarmde kas, opbrengstniveau 30 kg versgewicht/m², teelt(kosten) gebaseerd op slateelt, arbeidskosten € 10,50 per m²/ jaar;
- 7 planten per m²;
- marktprijs plantaardig indigo (cake): 31 €/kg versus 150 €/kg;
- variatie in inhoudsgehalte in indigo van 0,02% versus 0,2% versus 2%.

De kosten op jaarbasis van een 'high-tech' kasteelt indigo zijn berekend op circa 63 €/m² en bedragen bij een 'mid-tech' kasteelt teelt circa 43 €/m² (excl. extractiekosten). Er zijn vervolgens een aantal scenario's doorgerekend. De belangrijkste uitkomsten zijn:

De teeltkosten bij een 'mid-tech' kasteelt (43,50 €/m²) kunnen worden terugverdiend bij een verpobbrengst van 0,29 kg/m²/jaar (=1.450 kg blad per m²) (bij een marktprijs voor plantaardig indigo van 150 euro) tot 1,40 kg per m²/jaar (=7.016 kg blad per m²) (bij een marktprijs van 31 euro per kg).

Bij verhoging van het inhoudsgehalte via specifieke teeltmaatregelen met een factor 10 is een bladproductie noodzakelijk van tenminste 145 kg/m² respectievelijk 716 kg/m². De vereiste bladopbrengsten per m² zijn met de huidige teeltkennis niet haalbaar.

De teeltkosten van een 'high-tech' hogedraadteelt (63,35 €/m²) kunnen slechts worden terugverdiend bij een verpobbrengst van 0,48 kg/m²/jaar (= 2.112 kg blad per m²) (bij een marktprijs voor plantaardig indigo van 150 euro) tot 2,33 kg/m²/jaar (=10.217 kg blad per m²) (bij een marktprijs van 31 euro per kg). Bij verhoging van het inhoudsgehalte via specifieke teeltmaatregelen met een factor 10 is een bladproductie noodzakelijk van tenminste 211 kg/m² respectievelijk 1.022 kg/m². Deze bladopbrengsten per m² zijn met de huidige teeltkennis niet haalbaar.

Pas bij een eventuele verhoging van het inhoudsgehalte indigo van 0,02% naar 2%, te realiseren via specifieke teeltmaatregelen en/of veredeling ontstaan perspectieven voor horti indigo in Nederlandse kasteelt. Echter een dergelijke verhoging van het gehalte tot 2% zijn vanuit theoretisch oogpunt waarschijnlijk weinig realistisch.

De uitgevoerde economische berekeningen maken verder duidelijk dat een commitment van marktpartijen voor een marktprijs richting 150 euro en voor af te nemen hoeveelheden cruciaal zijn voor een haalbare business case. Zonder dit commitment is vervolg onderzoek weinig perspectiefvol. Tijdens het onderzoek is dit commitment niet verkregen .

Tenslotte toonden de berekeningen dat bij de huidige marktomvang voor plantaardig indigo het Nederlandse areaal voor horti indigo beperkt zal zijn tot maximaal circa 60 hectare. Al bij deze omvang is de hele bestaande markt voor plantaardig indigo overgenomen.

Op basis van het onderzoek en de huidige mogelijkheden in *Indigofera* teelt wordt geconcludeerd dat er vooralsnog onvoldoende (economisch) perspectief is voor kasteelt van *Indigofera* in Nederlandse kassen.

1 Inleiding

1.1 Historie van indigo als kleurstof voor denim

Al eeuwenlang wordt in vele landen en culturen de kleur blauw gebruikt om textiel of aardewerk te verven. Het belangrijkste plantaardige blauwe pigment is indigo. Indigo werd in Europa lange tijd gebruikt voor het verven van militaire uniformen, maar is wereldwijd bij de meeste mensen vooral bekend vanwege haar toepassing voor denim ofwel jeans of spijkerstof.

Indigo werd oorspronkelijk verkregen uit verschillende (sub)tropische indigostruiken (*Indigofera* soorten: *Indigofera tinctoria* en *Indigofera suffruticosa*). Deze plantensoort heeft haar herkomst in Afrika, Azië, en Amerika. In de 16^e eeuw startte men in het noorden van India met de teelt van *Indigofera*. Met de Britse kolonialisering werden in 1777 de eerste plantages opgestart voor de teelt van Indigo. In de jaren daarna concentreerde de indigo productie zich rond Bangladesh. Er was in die tijd (de Industriële revolutie) een grote behoefte vanuit de textielindustrie aan deze grondstof, met name om de Europese militaire uniformen te kunnen verven. Amerikaanse leveranties waren namelijk in die periode verstoord geraakt door de Amerikaanse revolutie (Balfour-Paul, 2011).

Plantaardig indigo komt behalve uit *Indigofera* ook uit een aantal andere plantensoorten. Voor de grootschalige import van indigo uit India, gebruikten de Europese ververs wede (*Isatis tinctoria* L.), een indigo plant die zijn herkomst heeft in Zuidoost Rusland. Dit gewas werd in die periode in grote delen van Europa geteeld (Vuorema, 2008; Epstein *et al.* 1967 in: Campeol, *et al.* 2006; Keijzer, 2013). Een andere indigo plant is *Polygonum tinctorium* Ait. *P. tinctorium* werd vooral geteeld in Oost-Azië, en was een erg populair indigo gewas in Japan, China en Rusland (Campeol *et al.* 2006).

Rond 1750 werden grote hoeveelheden Indiase indigo door de East India Company geïmporteerd. De lokale wede-telers zagen dit als een enorme bedreiging. Na hun protesten werd de Indiase grondstof in die periode door Engeland en andere Europese landen in de ban gedaan. Desondanks namen het aantal Europese wede plantages en fabrieken snel af in deze landen. Een belangrijke rol hierin speelde de ontdekking van de chemische synthese van indigo.

In 1870 ontdekte de scheikundige Johann Friedrich Wilhelm Adolf von Baeyer de synthese van indigo. In 1878 ontdekte de wetenschapper ook hoe indigo op synthetische wijze kon worden geproduceerd. De jaren daarna is dit proces verder verbeterd en in 1897 verkocht aan BASF. Ook de firma Hoechst richtte zich in die periode actief op verdere ontwikkeling en vereenvoudiging van grootschalige industriële synthese van indigo. De beide bedrijven geraakten in een hevige concurrentiestrijd, waarna de markt in 1904 in tweeën werd opgedeeld (Keijzer, 2013). In 1913 verkocht BASF jaarlijks 4900 ton synthetisch indigo, Hoechst verkocht 4500 ton. Rond de eeuwwisseling en de jaren daarna lag de mondiale productie rond 17.000 ton (NN, 1997). Synthetisch indigo staat bekend als aniline.

Deze ontwikkeling naar grootschalige productie van synthetisch indigo was rampzalig voor de Indiase indigo sector. Het veruit belangrijkste voordeel van synthetisch indigo is namelijk dat deze stof veel goedkoper is dan het plantaardige indigo. In 1914 kwam nog maar 4% van de totale wereldproductie van indigo van plantages. In het midden van de jaren zestig van de 20ste eeuw werd synthetische indigo bijna niet meer gebruikt. BASF overwoog zelfs de productie te staken, toen plotseling de vraag weer steeg door het ontstaan van Blue Jeans-mode (Keijzer, 2013).

1.2 Aanleiding voor dit onderzoek

Zoals hiervoor beschrijven heeft synthetisch indigo in rap tempo de kleurstof van plantaardige herkomst vervangen. Was de teelt en verwerking van Indigo in de koloniale tijd het werk van slaven, de huidige synthetische productiewijze is zeer schadelijk voor mens en milieu. Voor de synthetische productie van indigo zijn milieu-schadelijke stoffen als aniline, formaldehyde en cyanide nodig. En, omdat indigo pigment per definitie niet in water oplosbaar is, moeten ook weer chemische producten worden gebruikt om het pigment te kunnen oplossen in water (<http://www.duurzamelifestyle.com/tag/eco-jeans/>; <http://www.scholieren.com/werkstuk/12141>; <http://nieuw.stylink.nl/blogs/11-inspiratie?start=40>). Inmiddels is 70% van de wateren in China (waardoor de synthetische productie van China plaatsvindt) hierdoor in meer of mindere mate vervuild.

Ontwikkelingen in de denim markt

De afgelopen jaren is er een trend ontstaan voor gebruik van natuurlijke materialen en grondstoffen. Zo ook in de denim industrie. Er is een groeiende vraag naar natuurlijke indigo vanuit de duurdere modemerken die zich willen onderscheiden met duurzame grondstoffen. Geluiden uit de markt duiden erop dat deze duurdere modemerken enorme bedragen over hebben voor natuurlijk geverfde indigo. In de winkels, o.a. in Amsterdam, hangen prijskaartjes aan denim broeken met het label "real indigo" van meer dan € 500.

De denim markt is groot: de mondiale denim productie bedraagt op dit moment circa 3 miljoen m² per jaar, met een berekende groei van ongeveer 5% per jaar (persoonlijk commentaar Begoña Garcia, Jeanologia). Om al deze meters te kunnen verven, is zo'n 100.000 ton indigo nodig. Het gebruik van natuurlijk indigo is vooralsnog gefocust op de Japanse markt; Japan is het mekka van denim en jeans. Uit eerste gesprekken met vertegenwoordigers uit de denim/textiel sector komt naar voren dat het gebruik van natuurlijk indigo waarschijnlijk beperkt zal zijn tot het bovenste topsegment, met een schatting van ca. 1% van de totale indigo productie. Dit komt desondanks neer op een plantaardige indigo behoefte van 1 miljoen kg per jaar, hetgeen nog steeds een grote hoeveelheid is.

Amsterdam, World Capital of denim

Onze hoofdstad Amsterdam heeft de afgelopen jaren ook een groei doorgemaakt op het gebied van denim. De belangrijkste merken hebben hun hoofdkantoor (G-Star, Hilfiger Denim) of tenminste hun ontwerpafdeling (Denham, Pepe Jeans, Levi's Vintage) naar Amsterdam verhuisd. De stad is uitgeroepen tot 'World Capital of denim'. Het stadsbestuur van Amsterdam faciliteert dit proces op haar beurt door evenementen te organiseren, zoals de House of Denim, etc. Het ROC Amsterdam heeft in september 2012 de eerste "Denim School" geopend. Een belangrijke focus bij deze House of Denim School is onderwijs in duurzaamheid bij het maken en wassen van jeans. Een hippe toepassing voor een tuinbouw product is daarom haast niet te bedenken!

Kansen voor duurzaam geteeld indigo

De teelt van *Indigofera* in landen als India voor toepassing in denim producten vindt momenteel plaats op landbouwschaal. Dus met een hoog en inefficiënt waterverbruik en met lage producties. Binnen de keten van denim/textiel worden daarom mogelijkheden gesignaleerd voor indigo kleurstof dat geteeld is op een meer duurzame wijze.

Er is daarom met een aantal ketenpartijen een projectvoorstel ingediend bij het Kenniscentrum voor Plantenstoffen, gericht op het produceren van de kleurstof Indigo uit natuurlijke grondstoffen via kasteelt voor toepassing in de denim industrie. Bovendien zal met de betrokken ketenpartijen worden ingezet op het verder ontwikkelen van een business case van Horti indigo for Denim.

1.3 Doelstelling

Het einddoel van het onderzoek Horti Indigo for Denim is "het ontwikkelen van een duurzame teeltwijze van *Indigofera* gericht op het verhogen van het gehalte inhoudsstof Indigo via kasteelt". Dit ontwikkeltraject is opgesplitst in een aantal fasen.

Fase 1 van het onderzoek betreft een economische en technische haalbaarheidsstudie en aanzet tot marktontwikkeling:

Stap 1: Economische haalbaarheidsstudie en Marktverkenning.

Deze stap moet inzicht geven op denkbare volumes, (meer) prijzen, globale kostprijs van horti indigo, en (kwaliteits)eisen vanuit de markt.

Go/no-go

Stap 2: Uitwerken van de business case.

In deze stap wordt gewerkt aan het optimaliseren van de business case via aanvullende teeltexperimenten, extracties, testen met de kleurstof, uitvoeren van gedetailleerde kostprijsberekeningen, en regelmatig consortium overleg over resultaten.

Go/no-go

Fase 2 Wanneer in fase 1 is bewezen dat productie van indigo uit kasteelt een haalbare business case is, zal in Fase 2 worden gericht op de vorming van een groter consortium/keten dat zich richt op een gezamenlijke en succesvolle vermarkting van het in glastuinbouw geteeld indigo. Hiertoe zullen additionele denim fabrikanten en modeontwerpers worden betrokken in het bestaande consortium.

Onderliggend rapport doet verslag van de **eerste stap** van **Fase 1**.

1.4 Aanpak

Fase 1, stap 1: de economische haalbaarheidsstudie en marktverkenning is als volgt aangepakt:

1. Globale economische haalbaarheidsstudie: (keten)kostprijs versus marktprijs.
Dit betreft het maken van een zo goed mogelijke inschatting van de (keten)kostprijs cq rendabiliteitsberekening van een *indigofera* kasteelt voor productie van natuurlijk indigo kleurstof:
 - a. Uitvoeren van een beknopte literatuurstudie naar de teelt van Indigo en opbrengst verhogende factoren voor indigo kleurstof.
Enkele kleinschalige teeltexperimenten in kasfaciliteiten van Wageningen UR ter oriëntatie op de teelt van *Indigofera*;
 - b. Inschatting van extractiekosten en fermentatiekosten. Info uit gesprekken Wageningen UR Glastuinbouw met Prisna;
 - c. Inschatting van transportkosten en opslagkosten tussen extractiebedrijf en ververij. Andere relevante ketenkosten;
 - d. Uitvoeren van een zo reëel mogelijke berekeningen met verzamelde gegevens, KWIN en inschattingen van marktprijzen (verzameld bij Marktverkenning).
2. Marktverkenning:
 - a. Vaststellen van kwaliteits- en duurzaamheidseisen vanuit textielabrikanten/ververs ten aanzien van indigo kleurstof middels enquêtes/interviews;
 - b. In kaart brengen van de marktvraag en verder benodigde partijen voor de business case zijn globaal onderzocht door gesprekken met potentiële afnemers van de kleurstof indigo in de denim industrie en reacties naar aanleiding van publicaties/posters over dit project (Denham, Mud Jeans, Tommie Hilfiger, Blue Print Amsterdam);
 - c. Inschatting actuele marktprijzen indigo middels gesprekken met potentiële afnemers: marktprijs van chemisch indigo, mogelijkheden van een meerprijs die inkopers cq denim ontwerpers bereid zijn te betalen voor duurzaam geteeld horti indigo.

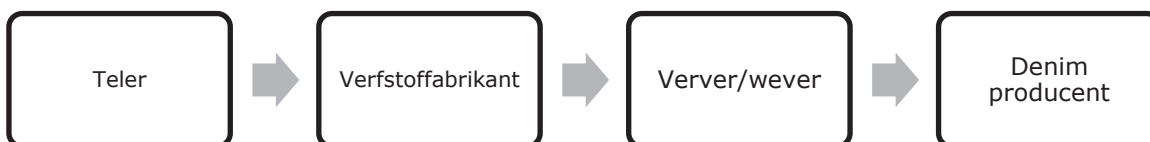
Voor een goede implementatie van het te ontwikkelen horti indigo in de denimketen krijgen Prisna en Jeanologia een grote rol. Deze twee bedrijven hebben nauwe contacten met bedrijven die interesse in de door hen ontwikkelde technologieën danwel in natuurlijk indigo hebben.

In fase 2 zal door het consortium worden gewerkt aan het daadwerkelijk betrekken van deze potentiële gebruikers voor een rol in de ontwikkelde product-marktcombinatie.

2 De keten van grondstof tot denim industrie

2.1 Beschrijving van de keten

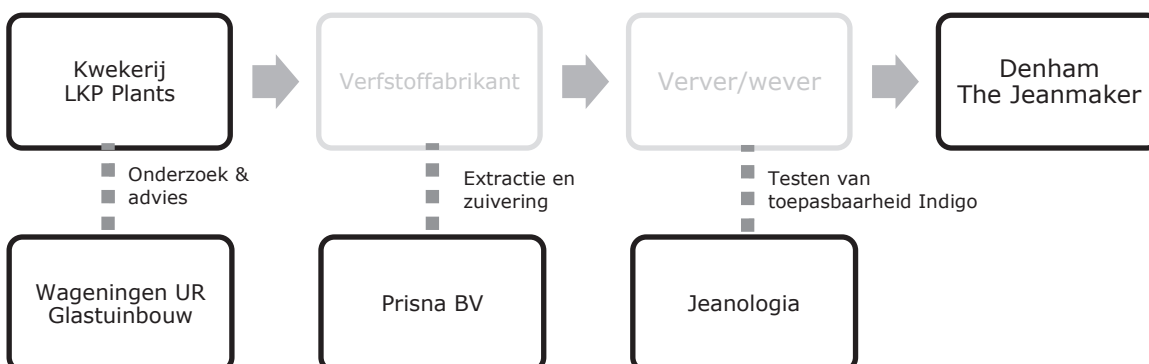
De keten van teelt van planten voor kleurstoffen tot aan eindgebruik van de kleurstof bij denimfabrikant is globaal als volgt schematisch weer te geven:



Kenmerkend voor denim is dat de handelingen verven van draad en weven van stoffen gebeuren over het algemeen binnen een en hetzelfde bedrijf. Denim stof bestaat uit afwisselend een geverfde katoendraad en een niet geverfde draad.

In dit project zijn de 2 schakels van deze keten vertegenwoordigd door bedrijven die maatwerk

Het schematisch overzicht van alle in het project betrokken partijen ziet er als volgt uit:



2.2 Consortium vorming

2.2.1 Wageningen UR Glastuinbouw

Wageningen UR Glastuinbouw heeft ruime ervaring in het ontwikkelen van kennis gericht op het verbeteren van kwaliteit en opbrengst van gewassen via teeltsturing en nieuwe teeltsystemen. Vanuit deze kennis richt het onderzoek van Wageningen UR Glastuinbouw zich ook op het verhogen van de opbrengst van inhoudsstoffen in planten via teeltomstandigheden die het (secondair) metabolisme beïnvloeden. Recent onderzoek heeft aangetoond dat door toepassing van specifieke lichtomstandigheden (namelijk belichten van tomatentrossen met rode en blauwe LED) het vitamine C gehalte in tomaat kan worden verdubbeld.

Wageningen UR Glastuinbouw streeft er in haar onderzoek naar om samen met het bedrijfsleven meer zicht te krijgen op de vraag hoe inhoudsstoffen te sturen zijn.

Wageningen UR ziet een aantal sporen voor het verhogen van inhoudsstoffen in de teelt:

- *Verhogen inhoudsstof gehalte door specifieke maatregelen.*

Bij eerder genoemd tomaten onderzoek door Wageningen UR Glastuinbouw bleek het vitamine C gehalte in de vrucht van tomaat verdubbeld te kunnen worden. Uit de literatuur zijn zelfs verhogingen tot 100 x van bepaalde inhoudsstoffen bekend door specifieke teeltmaatregelen.

- *Van buitenteelt naar kasteelt: jaarrond teelt en optimalisering van groeiomstandigheden.*

Kasteelt geeft ten opzichte van buitenteelt een hogere productie van het gewas. Dit komt doordat het mogelijk wordt om jaarrond te telen, maar ook wordt het mogelijk om de teelt- en klimaatomstandigheden voor het gewas te optimaliseren. Ter illustratie van de mogelijkheden: de opbrengst van tomaat in een buitenteelt bedraagt ca. 5 kg/m², bij moderne kasteelt zijn inmiddels producties van 76 kg/m² haalbaar.

Wageningen UR Glastuinbouw ziet mogelijkheden om met kasteelt meer blad per Indigofera plant te kunnen telen en oogsten. Bijvoorbeeld door het beïnvloeden van de plantopbouw zodat hogedraadteelt mogelijk wordt. Hierdoor is meer continuïteit in de oogst mogelijk, maar is ook een kleinere ruimtebehoefte per plant nodig.

Deze verbetermogelijkheden dragen naar verwachting bij aan het kunnen verlagen van de kostprijs van indigo.

Binnen het project zal niet alleen gewerkt worden aan het verlagen van de kostprijs, maar ook aan verbetering van de duurzaamheid van textielverfstoffen. Verbetering van de duurzaamheid van textielverfstoffen is een steeds belangrijker onderwerp aan het worden; de hedendaagse textiel- en mode-industrie heeft een grote omvang en veroorzaakt grote hoeveelheden vervuiling en afval (zie hoofdstuk 1). De synthetische verven spelen hierin een grote rol in. Met kasteelt kan in vergelijking met buitenteelt op een meer duurzame wijze worden geteeld: optimalisatie van de watergift en voeding, en recirculatie. Optimalisatie van de watergift betekent lager waterverbruik en minder uitspoeling van nutriënten. In het onderzoek wordt daarom ook focus gelegd op de watergift- en voedingsstrategieën.

2.2.2 LKP Plant

LKP Plants is een van de grootste Bromelia kwekerijen van Nederland. Het bedrijf wil voorlopen op aspecten als kwaliteit, toegevoegde waarde, klantgerichtheid en innovatie. Het bedrijf heeft 85.000 m² kasoppervlakte, verdeeld over vier vestigingen, heeft geavanceerde mogelijkheden op het gebied van automatisering en mechanisering.

In het project stelt LKP Plants een gedeelte van haar kassen en teeltkennis beschikbaar bij het ontwikkelen van een duurzame teeltwijze van *Indigofera*.

2.2.3 Prisma BV

Het bedrijf PRISNA (Product Isolation from Nature) is een consortium van verschillende onafhankelijke Nederlandse bedrijven en de afdeling Pharmacognosy van de Universiteit van Leiden. PRISNA houdt zich bezig met het verwerven van bio processing activiteiten voor haar leden met name op het vlak van farmacy, gezonde voeding, levensmiddelen, cosmetica, agrochemie. Activiteiten van de bedrijven bestaan uit extractie, scheiding, zuivering, chemische analyse, en fractionering van extracten.

In het project zal Prisma zorgdragen voor de extractie en zuivering van indigo uit het door LKP Plants geteelde plantmateriaal.

2.2.4 Jeanologia

Om de toepasbaarheid van horti indigo voor denim en wellicht ook andere textiel toepassingen te kunnen beoordelen, is Jeanologia een van de projectpartners. Jeanologia zal zorgdragen voor het verven van stof of kledingstukken met het geëxtraheerde horti indigo en voor de benodigde testen op factoren als toepasbaarheid, kleurvastheid, etc. Jeanologia is gevestigd in Valencia, Spanje, en heeft een uitgebreid internationaal netwerk denim merken en hun leveranciers (ververs/wevers, finishers). Het is een bedrijf met kennis en R&D op het gebied van finishing¹. Een andere voorbeeld is hun software om de milieu-belasting van denim finishing processen in kaart te brengen.

Jeanologia heeft veel innovatie en duurzaamheidsprijzen gewonnen, waaronder het recent (2013) WGSN Global Fashion Award op de "best sustainable design team of the world".

In Bijlage 1 wordt in grote lijnen uitgelegd hoe het productieproces van denim grofweg is opgebouwd.

2.2.5 Toekomstige uitbreiding van het project consortium

Gedurende de doorlooptijd van het project zullen door de consortium partners additionele marktpartijen betrokken worden in inventariserende gesprekken ter bepaling van de marktvraag en waar van toepassing als partner fase 2. Dit betreft een partij voor de functie verver/wever, en een denim ontwerper. Denim ontwerper Denham-The-Jeanmaker verkoopt al denim geverfd met natuurlijk indigo uit open velden teelt, en heeft reeds aangegeven serieus geïnteresseerd te zijn in de uitkomsten van het project en in fase 2 het met natuurlijk indigo uit kasteelt geverfde denim in de markt te willen testen.

¹Finishing omvat alle handelingen na weven of breien, verven en confectie die ervoor zorgen dat de stof verbetert qua uiterlijk en/of gebruiksmogelijkheden. Hieronder vallen activiteiten als wassen, schuren, bleken, printen, waterafstotend maken, maar ook de stof glanzender, sterker, zachter of stijver, waterbestendig, vlekbestendig of krimpbestendig maken. "gebruikte" look te geven.

3 Plantaardige productie van indigo: teelt van Indigofera

3.1 Indigo, een plantaardige kleurstof

De kleurstof indigo ontstaat uit de precursor 'indican' die voorkomt in onder meer de plant *Indigofera*. Indican komt voor in een aantal verschillende plantgeslachten zoals *Polygonum* en *Indigofera*. *Indigofera tinctoria* komt met name voor in Azië en Midden- en Zuid-Amerika, *Polygonum tinctorium* in China en Japan, *Isatis tinctoria* (ook bekend als wede) bevat een andere indigo precursor, 'isatan B' en komt in Europa voor. Ongeacht de plantaardige herkomst is de productie van de uiteindelijke indigo verfstof voor al deze herkomsten gelijk. Dit geldt niet voor de kleurintensiteit; deze is wel verschillend voor de verschillende herkomsten. Van *Indigofera* is bekend dat deze de sterke kleurintensiteit geeft. Het gehalte indigo uit het voor Europa inheemse wede is lager dan dat in *Indigofera*.

Om deze reden is voor dit haalbaarheidsstudie gekozen voor *indigofera tinctoria* als model gewas.

3.2 Botanische informatie en teeltregio's

De genus *Indigofera* bestaat uit 800 species. Deze kunnen groeien tussen zee hoogte en 1650 meter. Er komen zo'n 600 soorten *Indigofera* voor in Afrika, 200 in Azië, 80 in Amerika en 50-60 in Australië. Slechts enkele van de soorten bevatten een hoge concentratie Indican. De meest geteelde soort is *Indigofera tinctoria* L. Deze soort wordt geteeld in met name tropische en subtropische gebieden. Onder gunstige omstandigheden kan de plant wel twee meter hoog worden. De plant is een heester of halfheester (dwz dat ze kort teruggesnoeid kunnen worden en op hun nieuwe (zomerse) twijgen weer gaan bloeien). De plant kan daarom als kuitplant worden geteeld door haar zeer kort terug te snoeien.

De plant is een vlinderbloemige, waardoor deze in staat is om stikstof in de bodem vast te leggen. *I. tinctoria* onderscheidt zich van de andere soorten door haar relatief grote bladeren die paarsgewijs aan de plant zitten en de lange, relatief dunne (rechte of boogvormige) peulen. Ook de soorten *Indigo arrecta*, *Indigo articulata* en *Indigo coerulea* worden gebruikt voor verf. Deze soorten zijn meer bladrijk, maar de bladeren zijn smaller.

Momenteel wordt indigo nog maar op weinig plaatsen in de wereld geteeld. De teelt is vooral nog te vinden in noordoost en zuidelijk India en in enkele delen van West Afrika (Balfour-Paul, 2011). Takawira-Nyenya en Cardon (2005) noemen als meest belangrijke centrum van dit moment voor de productie van indigo uit *Indigofera* het noordelijk deel van de staat Karnataka in India. Ook komt teelt in Indonesië voor, met name in enkele dorpen aan de noordkust van Java en in het westen van Indonesië (Westphal en Jansen, 1989).



Figuur 1 Botanische tekeningen van *Indigofera*: 1) bloeiende tak; 2) deel van een vruchtdragende tak; 3) vrucht (Bron: Takawira-Nyenya, R. & Cardon, D., 2005). In figuur 1 zijn botanische tekeningen van verschillende onderdelen van *Indigofera* gegeven. Figuur 2 betreft enkele foto's van het gewas.



Figuur 2 Foto's van *Indigofera tinctoria*: a. Bloeiende planten en b. bloeiende tak (Takawira-Nyenyema en Cardon, 2005).

Met name in Afrika wordt het gewas gebruikt als groenbemester voor de bodem, naast de toepassing als verfstof.

3.3 Teelt

Indigofera tinctoria verlangt een zonnige en beschutte plaats en in de winter enige bedekking vanwege haar vorstgevoeligheid. Omdat *Indigofera* in staat is om stikstof uit de lucht vast te leggen, zijn stikstofarme gronden geen beperking. Een ander feit voor wat betreft de bemesting is dat *Indigofera* beter groeit wanneer extra fosfaat wordt toegevoegd (Jenny Balfour-Paul, 2011).

De uiteindelijke teeltduur van *indigofera* voor de kleurstof indigo wordt bepaald door de verfkwaliteit. Deze kwaliteit neemt na het derde jaar af, waardoor het gewas dan moet worden vervangen.

De uiteindelijke hoogte van de plant en het aantal zijtakken hangt vooral af van de zaaidichtheid. Onder hoge plantdichtheid blijft het aantal takken beperkt tot 3-4, die niet volledig zijn ontwikkeld, terwijl de hoofdtak hoger groeit. Bij lage plantdichtheid worden de heesters niet hoog en neemt het aantal zijtakken toe.

De geadviseerde plantdichtheid is 20-25 struiken per strekkende meter bij een afstand tussen de plantbedden van 90 cm (Abdullaev and Ibragimov, 2009), hetgeen overeenkomt met een plantdichtheid van 220.000-250.000 planten per ha.

Ziekten en plagen

Ervaringen met teelt van indigo in Oezbekistan leren dat de jonge aanplant in de buitenteelt kan worden aangetast door luis. Waarschijnlijk komen deze luizen vanuit de planten die voorkomen in de omliggende natuurlijke omgeving. Andere insecten vormen geen gevaar voor de zaailingen. Aan het eind van het groeiseizoen (augustus) bleek opnieuw aantasting met Acacia luis voor te komen (Abdullaev and Ibragimov, 2009). In een eerste, klein experiment met enkele indigo planten in kassen van Wageningen UR Glastuinbouw zijn met uitzondering van enkele trips geen insecten waargenomen².

² Indien dit nieuwe gewas in Nederlandse kassen zal worden geteeld, zal moeten worden uitgezocht of voor dit "nieuwe" gewas een toegelaten gewasbeschermingsmiddelen beschikbaar is. Dit valt buiten onderliggend onderzoek.

3.3.1 Ervaringen uit kasteel­experiment Wageningen UR Glastuinbouw

In kassen van Wageningen UR Glastuinbouw is in 2013 en 2014 enige teelt­ervaring met indigo (*Indigofera*) opgedaan. Hiertoe zijn op 28 maart 2013 *Indigofera tinctoria* zaadjes (Vreeken Zaaden) gezaaid en in de 'daglichtkas' een kas gezet. Voor een verwachte betere kieming is vooraf van de helft van deze zaadjes de zaadhuid beschadigd met schuurpapier, de andere helft is onbehandeld gezaaid. Er zijn 3 van de 21 zaden gekiemd, maar er is geen effect met 'vooraf schuren van zaad' gezien. Uit de naderhand uitgevoerde literatuurstudie bleek de kieming beter wanneer de zaden vooraf worden gekiemd in water. . Tijdens de opkweek hebben de *Indigofera* planten gestaan bij temperaturen in de daglichtkas van minimaal 28 oC (betreft een phalaenopsis experiment) . Onder die omstandigheden groeiden ze hard en gingen ze niet in bloei. Voor de overwintering zijn de planten gesnoeid om ze beheersbaar te houden. Vanaf week 43 is de daglichtkas koud geweest, dat wil zeggen een kastemperatuur van 10 oC. Deze lage temperatuur zorgde ervoor dat het relatief lang duurde voordat de *Indigofera* planten weer gingen groeien. Wel bleek dat de plant bestand is tegen lage temperaturen en dus mogelijk ook in het Nederlandse buitenklimaat zou kunnen worden geteeld met een lage warmtevraag. Voor een goede groei van de plant zijn hogere temperaturen wel een vereiste. In het 2e jaar zijn de gekweekte planten verpot naar een grotere pot.

Er zijn in het kader van onderhavig onderzoek verder geen metingen gedaan aan de geteelde planten.

In april en mei 2014 zijn wederom nieuwe *Indigofera tinctoria* zaden gezaaid. De zaden werden in een kas (bij 20 C) gezaaid, nadat ze op verschillende manieren waren voorbereid, of in petrischalen bij verschillende temperaturen en lichtomstandigheden waren voorbereid. Het kiemingspercentage was ook in dit 2e oriënterend jaar heel laag. Geconcludeerd kan worden dat voorwateren inderdaad een voorwaarde is voor de kieming, maar dat het kiemkracht van de betrokken zaden sterk te wensen overliet.

Uit de gekiemde zaden zijn wel vijf planten gegroeid die succesvol worden geteeld op het moment dat dit rapport ter perse gaat.

Inmiddels heeft Wageningen UR Glastuinbouw tevens ervaring opgedaan met het vermeerderen van *Indigofera* door midden van stek, wat een eenvoudige en succesvoller methode blijkt voor de start van een teelt dan uit zaad.

3.3.2 Vermeerderingsmethoden

Indigofera kan in de praktijk op verschillende manieren worden vermeerderd:

- **Zaaien:**

Bij een buitenteelt wordt aangeraden om dit pas later in het voorjaar te doen vanwege de vorstgevoeligheid van indigo. De zaden kiemen wat lastig. Aanbevolen wordt daarom om de zaden eerst een dag in water van lauw water voor te weken. Dit versnelt de kiemduur naar minder dan 2 weken. Na 4-6 weken kunnen de zaailingen worden overgeplant. Zaaien van *Indigofera* in de kas geeft een beduidend snellere kieming en opgroei, bleek uit de eerste experimenten in een kas van Wageningen UR Glastuinbouw.

- **Stekken:**

Uit de zoektocht op internet blijkt dat ook stekken mogelijk is. Zomerstek zou kunnen in juli/augustus. De stek wordt gemaakt door goed ontwikkelde takken te verdelen in stukken van ca. 30 cm lang, die vervolgens 2-3 dagen koud worden bewaard. Vervolgens kunnen 2-3 stekken per plantgat worden geplant.

Een andere aanbevolen manier is via wortelstek. De stevigere wortels moeten worden verdeeld in stukken van 10cm en dienen horizontaal in stekgrond te worden neergelegd. Daarna moeten ze worden afgedekt met 2cm stekgrond en worden bevochtigd. Bij een temperatuur van warmte, 18 graden, zullen de knoppen al direct beginnen te groeien. Na het uitlopen kunnen de plantjes worden verspeend.

- *Scheuren*

- *Afleggen:*

Bij deze methode worden de onderste twijgen naar beneden geduwd. Belangrijk is dat de top rechtop komt en wordt vastgezet. De grond dient voldoende vochtig te blijven. Na 1 groeiseizoen kan de plant worden afgesneden van de ouderplant en worden opgepot.

De vermeerderingsmethoden van wortelstek, scheuren en afleggen zijn voor een snelle opstart van een kasteelt niet erg praktisch.

3.4 Enkele andere indigo houdende planten en hun eigenschappen

Indigogewassen anders dan *Indigofera* zouden als belangrijk nadeel hebben dat ze uitsluitend als natte pasta of bladcompost vervoerbaar zouden zijn, waardoor de transport kosten hoger zijn. Dit geldt bijvoorbeeld voor de belangrijke concurrent *Isatis tinctoria* (wede). Een ander nadeel voor wede is dat het alleen toepasbaar is voor wollen vezels, terwijl indigo ook hecht aan katoen en vlas.

De wede en indigo planten anders dan de *Indigofera* voor kleurstofproductie geven een hogere opbrengst van kleurstof wanneer de planten groeien op grondsoorten die zijn verrijkt met stikstof. Daarentegen is *Indigofera* in staat om stikstof uit de lucht vast te leggen, waardoor stikstofarme gronden geen beperking zijn (Balfour-Paul, 2011). In de beoogde, kasteelten, is dit echter geen beperking van betekenis.

Japanees indigo, gewonnen uit *Polygonum tinctorium* wordt ook hoog gewaardeerd in de denim industrie.

Vanwege de ervaringen met de moeizame start van de *Indigofera tinctoria* teelt, is op 27 mei 2014 een teelt gestart bij Wageningen UR Glastuinbouw met japaanse indigo.

3.4.1 Ervaringen uit kasteeltexperiment Wageningen UR Glastuinbouw

In kassen van Wageningen UR Glastuinbouw groeit vanaf juni een *Polygonum tinctorium* gewas uit zaad.

Zaadkieming bleek probleemloos. De jonge planten, opgepot 10 juni 2014, hebben tot 13,5 kg blad per m² geproduceerd in 3 maanden tijd. De teelt is tot nu toe vrij van ziekten en plagen verlopen, en het gewas is zeer groeikrachtig.

In het licht van deze bescheiden teeltvaringen, lijkt *Polygonum* een geschikter gewas om in Nederland te telen onder glas.

3.5 Overzicht van opbrengst verhogende factoren uit eerder wetenschappelijk onderzoek

Uit de literatuurstudie komen zeer uiteenlopende verschillen in opbrengst voor: Aien *et al.* (2011) noemt een bladopbrengst van 3548 kg/ha, Islam *et al.* (2007) bereikten in hun onderzoek een gemiddelde bladopbrengst van 8649 kg/ha (3500 kg per acre), en Dhanasekaran en Sekar (2008) een opbrengst bij verschillende onderzochte rassen die uiteenliep tussen 9185 en 14021 kg/ha. Tashkent-Urgench, 2009 noemen in hun studie naar aanleiding van veldexperimenten in Italië zelfs een behaalde opbrengst van 40000 kg blad/ha. Teanglum (2012) noemt een opbrengst tussen ca 9900-12346 kg/ha (4000-5000 kg blad/acre).

Wanneer we naar de afzonderlijke onderzoeksresultaten kijken, blijken de volgende effecten bij verschillende teeltomstandigheden op de uiteindelijke bladopbrengst:

- Een Indiaas rassenonderzoek leverde op dat er **rasverschillen** zijn in groei, opbrengst (biomassa bladmateriaal) en verfstof opbrengst (Dhanasekaran en Sekar, 2008)).
- Bij Indiase veldexperimenten bleek dat bladeren die werden geoogst bij het **plantstadium** waarin kleine peulen aan de plant zaten een 20% hogere biomassa te geven en een 46% hoger gehalte aan indigo kleurstof in de biomassa. Er zijn drie plantstadia vergeleken: vegetatieve fase, bloeifase, kleine peulen fase (Pratibha en Korwar, 2005).

- Indigo (*Indigofera tinctoria* L.) is een droogte resistente plant. Aien et al. (2011) hebben de effecten van droogtestress op de opbrengst en op enkele fysiologische kenmerken van Indigo in de regio Jiroft onderzocht. Pas bij ernstige droogtestress bleek een negatief effect op o.a. het drooggewicht van de plant voor te komen.
- Uit een onderzoek door Pagluanan (2010) naar het effect van de plantafstand op de groei van *Indigo tinctoria* bleek dat planten op een afstand van 1,0 x 1,5 meter het grootste plantoppervlak gaven, meer takken produceerden, en de hoogste opbrengst in kg/ha behaalden³. De onderzoeker concludeerde ook dat toevoeging van CO₂ rijk plantmateriaal een positief effect had op de opbrengsten en aantallen takken. Er was een significante interactie tussen plantafstand en CO₂ toepassing.

Er is een N effect gevonden door Partibha en Korwar (2005) op de verfpobbrengst; toediening van N leidde tot lagere verfpobbrengst. De onderzoekers vergeleken een N niveau in de teelt van 0 en 20 kg/ha. Het is belangrijk om de N-gift nauwlettend te bewaken/beperken.

- Bij een toename van P toediening in de teelt neemt de verfpobbrengst toe, bij een P niveau hoger dan 60 kg/ha neemt deze echter weer af (Partibha en Korwar, 2005).
- Bij grondloze teelt (hydroponics) vonden Mairapetyan *et al.* (1988) een 3 keer hogere bladopbrengst en verfpobbrengst dan in grondteelt. De beste substraat bleek een mix van gravel en vulkanische bestanddelen (3:1). De optimale NPK toediening van de voedingsoplossing lag op 18.9:3.1:11.9 mmol/liter.
- Er is een **daglengte effect** op de groei en opbrengst van *Indigofera tinctoria*. Bij een lange dag (18 uur) werd een 5 maal hogere bladopbrengst behaald dan bij korte dag (8 uur). (Khazhakyan *et al.* 1986).

De volgende aanwijzingen zijn gevonden voor wat betreft (mogelijkheden tot verbetering van) het indigo gehalte:

- De gemiddelde indigo opbrengst in onderzoek van Islam *et al.* (2007) bedroeg 0,485 kg indigo per 100 kg plantmateriaal, ofwel 1 kg indigo per 206 kg plantmateriaal. De onderzoekers vonden een gemiddelde indigo opbrengst van 17 kg/acre.
- Met spectrofotometrie metingen werd een indican concentratie in indigobladeren gevonden tussen 5-15 mg/g vers blad, afhankelijk van de onderzoeksomstandigheden (Khazhakyan en Egibyan, 1988).
- Bij een onderzoek naar verschillende alternatieven van organische meststoffen en bleek het maximale 1,97% (Sekar en Dhanasekaran, 2008).

De volgende informatie is verkregen over de verfpobbrengst bij indigoteelt:

- De maximale verfpobbrengst in een Indiaas rassen onderzoek bedroeg 76,72 kg/ha, de minimale opbrengst was 30,87 kg/ha. Met verschillen in verfgehalte tussen 0,024 en 0,724% (Dhanasekaran en Sekar, 2008)).
- Er is een **effect van licht soort/kleur** gevonden op het gehalte precursor isatan B (dat ook indigo oplevert). Tozzi *et al.* (2005) concludeerden in onderzoek naar de effecten van verschillende lichtsoorten (donker, wit licht, rood, verrood, blauw en geel licht) dat bij *Isatis tinctoria* dat het gehalte precursor isatan B maximaal werd bij groei onder rood licht (dubbele precursor opbrengst) en minimaal bij groei onder verrood licht. (Bij andere indigo gewassen zoals *Isatis* waren er andere lichtsoort effecten.)
- In een ander onderzoek door deze onderzoekers werd een maximale verfpobbrengst gevonden van 35,84 kg/ha (Sekar en Dhanasekaran, 2008).
- Teanglum (2012) vond een gehalte van 0,015-0,022% van het versgewicht.

³ Er worden geen concrete opbrengstcijfers genoemd in het abstract van Pagluanan (2010).

4 Extractie van indigo uit Indigofera

4.1 Beschrijving van indigo extractie uit plantmateriaal

De kleurstof indigo wordt al eeuwenlang op vrij eenvoudige wijze uit *Indigofera tinctoria* gewonnen door twee processen: fermentatie of waterextractie gevolgd door oxidatie en reductie.

Bij *beide processen* worden de bladeren geweekt in water van relatief hoge temperatuur (ca. 40 graden). Hiermee komt de precursor vrij uit het blad. Bij de traditionele manier van fermenteren wordt dit fermentatie proces uitgevoerd door toegevoegde bacteriën (Arsenault, 2008). Al na een paar uur weken komt een gelige / kleurloze vloeistof vrij die moet worden afgetapt en eventueel moet worden gezuiverd. In deze vloeistof is nog geen blauwe kleur te zien. Deze kleurloze vorm van indigo heet indoxyl en is ook bekend als indigowit.

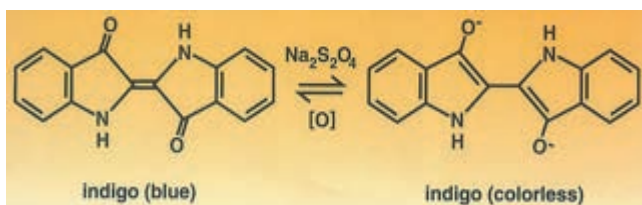
Door de indoxyl vloeistof vervolgens te laten *oxideren*, verandert deze in blauw. Bij deze processtap kan de vloeistof in een open vat blijven staan, onder af en toe roeren. In landen als bijvoorbeeld India wordt de oxidatie bevorderd door mensen in de vaten te laten rond bewegen. De blauwe indigo slib zakt vervolgens naar de bodem van het vat, en het water wordt gedraineerd en gefilterd (om het oxidatieproces te stoppen). Het indigo slib wordt gezuiverd, gedroogd, gevormd tot indigo cake, en vervolgens gesneden tot blokken. In deze vorm, of na het vermalen van de blokjes indigo tot poeder, wordt het verhandeld.

4.2 Beschrijving van chemische omzettingen

Bij het weken van het plantmateriaal en het gisten, wordt de precursor indican omgezet in indoxyl (indigowit) en glucose.

In de oxidatie stap vormen twee indoxyl moleculen tezamen met zuurstof de stof Indigo (ook bekend als indigotin of indigo). Indigo is niet oplosbaar in water.

Om textiel te kunnen verven met indigo, moet indigo worden gereduceerd tot de oplosbare vorm indigowit (in de verfindustrie ook bekend als 'Leuco'). Dit gebeurt via een fermentatie proces onder alkaline omstandigheden of door een chemisch reductiemiddel zoals natrium dithionite (of soda, thiox, zink, natrium hydrosulfiet, urine of bacterien). In deze vorm hecht indigo makkelijk aan cellulose vezels. Zodra de geverfde vezels weer in contact komen met de lucht (bij het uit het verfbad halen), oxideert het verfmolecuul naar de onoplosbare vorm (indigotine). De onoplosbare verfdeeltjes komen bij het drogen 'opgesloten' te zitten in de vezels, waardoor deze vezels blijvend blauw kleuren. In tegenstelling tot veel andere verven komt deze verkleuring door indigo verf tot stand via een mechanische verbinding in plaats van een chemische verbinding met de stof (<http://botanicalcolors.com/shop/natural-dye-extracts/organic-indigo/>).



Figuur 3 De scheikundige formules bij omzetten van indigoblauw (niet oplosbaar in water) naar indigo wit (oplosbaar in water).

4.3 Aanwijzingen uit de literatuur voor verbetering van het extractieproces

Tijdens de deskstudie zijn een aantal mogelijk interessante artikelen en publicaties gevonden met aanwijzingen voor het verhogen van de extractie opbrengst uit *Indigofera tinctoria*:

- Wu, E., Komolpis, K and Wang, H.Y., 1999. Chemical extraction of indigo from *Indigofera tinctoria* while attaining biological integrity. *Biotechnology Techniques*; 1999. 13: 8, 567-569. 4 ref.

I. tinctoria plants (excluding roots) were permeabilized with 20% methanol (v/v) at 25 degrees C for 4 h; they released 8 ± 2 micro g indigo/g dry plant material, equivalent to 42 ± 11% of the total indican within the cells. After permeabilization, the plants were removed and soaked in water for 6 h, changing the water every 2 h. The plants began to recover after 2 weeks; they could potentially be used for further permeabilization.

- Islam, M. P.; Hussain, M. D.; Ray, A. (2007). Present status of the natural indigo dye production in Modhupur forest area of Bangladesh. *Proceedings of the International Agricultural Engineering Conference, Bangkok, Thailand, 3-6 December 2007. Cutting edge technologies and innovations on sustainable resources for world food sufficiency.*

Er is een effect gevonden van pH en EC waarden tijdens de extractie op de inhoudsstof gehalten indigo in *Indigofera*. Ook concludeerden de onderzoekers dat de watertemperatuur in de week-tank van invloed is op de uiteindelijke indigo opbrengst uit extractie. Een temperatuursverhoging van 30 graden Celsius naar 60 graden Celsius bleek de opbrengst aan kleurstof te verhogen.

5 Economische haalbaarheid van horti indigo uit *Indigofera* in Nederland

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de economische haalbaarheid van indigofera teelt in een Nederlandse kas. Hiertoe is marktinformatie verzameld bij onder andere aanbieders van indigokleurstof en gebruikers van indigokleurstof in de textielindustrie. Daarnaast zijn gesprekken gevoerd met potentieel geïnteresseerde gebruikers van duurzame geteeld horti indigo. Naast een globale markverkenning is een inschatting gemaakt van de teeltkosten. Hierbij is onder andere gebruik gemaakt van kostprijsberekeningen zoals opgenomen in KWIN voor de glastuinbouw (Vermeulen, 2013).

5.1 Marktverkenning

5.1.1 Verwachtingen marktomvang horti indigo

De potentiële marktomvang van horti indigo is van een aantal factoren en indicatoren afhankelijk. Belangrijke relevante informatie is de totale marktomvang van indigo kleurstof, de marktomvang van indigo verfstof uit plantaardige bron, en de verwachtingen die er bestaan ten aanzien van de mate waarin synthetisch indigo in de toekomst zal worden vervangen door plantaardig indigo.

Totale marktomvang van indigo kleurstof

In de deskstudie is geprobeerd om bij de grootste producent van indigo, BASF, actuele gegevens op te vragen van de hoeveelheid synthetisch indigo dat dit bedrijf produceert. BASF heeft geen reactie gegeven. Ook DyStar Textilfarben GmbH & Co., het bedrijf dat sinds oktober 2000 de BASF indigo vermarkt heeft geen data beschikbaar gesteld.

Op de website wikipedia wordt gemeld dat in 2002 de wereldwijde productie van synthetisch indigo 17.000 ton bedroeg. Circa 40% hiervan komt uit de fabriek van BASF. Andere bronnen noemen weer andere hoeveelheden voor de marktomvang van indigo. Zo schat Agarwal (2011) de wereldwijde markt op ongeveer 60.000 ton. Volgens Long (2008) had het bedrijf Dystar in 2001 een jaarlijkse productie van 22.000 ton van synthetische indigo. Er wordt op internet zelfs een jaarlijks gebruik van 80.000 ton synthetisch indigo genoemd (Anonymus, 2010). Onduidelijk is waarom deze cijfers zo uiteen lopen.



Figuur 4 Productie van indigo verfstof in een BASF fabriek in 1890.

*Marktomvang van indigo kleurstof uit plantaardige herkomst en/of uit *Indigofera**

In 1897 werd nog 19.000 ton plantaardig indigo geteeld, in 1914 daalde dit tot 1.000 ton en dit is sindsdien nog verder afgenomen. Op dit moment wordt genoemd dat het gebruik van natuurlijk indigo minder dan 1% van de totale indigo verf markt bedraagt. Dit komt neer op minder dan 170 ton (bron: wikipedia) tot minder dan 800 ton (Anonymus, 2010).

Takawira-Nyenya en Cardon (2005) geven aan dat de jaarlijkse productie van Indigofera verf daalde van 3000 ton afkomstig van 600.000 ha in 1890, naar 50 ton van 4.000 ha in de jaren 50, tot een jaarlijkse export tussen 2-20 ton in de jaren 90 van de vorige eeuw (Takawira-Nyenya en Cardon, 2005).

Verwachtingen over de vervangingsgroei van synthetisch indigo door plantaardig indigo

Er is wereldwijd een groeiende interesse in handgemaakte, duurzame en natuurlijke producten. Zo ook voor natuurlijke textielvezels en verfstoffen. Hieruit af te leiden is dat het gebruik van indigo kleurstof ook weer zal toenemen. Het gewas Wede wordt sinds enige tijd weer commercieel geteeld in Engeland en Frankrijk, naast andere natuurlijke verfstoffen. Een sterk voorbeeld is de textielmarkt in Japan. Hier is een groeiende voorkeur voor kleding gemaakt met natuurlijke materialen en volgens ambachtelijke methoden. Er wordt in Japan heel veel geld voor dergelijke kleding betaald.

Er is een groeiende interesse bij kledingontwerpers (Jean Paul Gaultier, Vivienne Westwood, Balenciaga, John Galliano) in indigo denim voor de haute couture en merk jeans van Calvin Klein en anderen zijn veelbelovend voor de toekomst van natuurlijk indigo. Gecombineerd met de internationale vraag naar toegevoegde waarde indigo kledingstoffen door bijvoorbeeld Jurgen Lehl, Rohit Bal en Anamika Khanna en het creatieve talent van jonge ontwerpers voorziet men een grote kans voor natuurlijk indigo in zowel de toplaag van de markt als voor de beter betaalbare, casual kleding.

Tijdens de eerste fase van dit traject is een eerste contact gelegd met Denham-The-Jeanmaker en met MudJeans. Beide bedrijven zijn serieus geïnteresseerd in de uitkomsten van het onderzoek en bereid om bij een eventueel vervolg van het onderzoek testen met denim broeken op de winkelvloer uit te voeren. Daarnaast is informatie over het project opgevraagd door Tommie-Hilfiger en het Nederlandse ontwerpbedrijf Blue Print Amsterdam.

Andere toepassingen voor indigo

De meest voorkomende toepassing van (natuurlijk) indigo is bij de productie van blauw denim voor jeans/spijkerbroeken. Deze toepassing staat centraal in onderliggende studie. Een andere potentiële afzetmarkt voor het (kostbare) natuurlijk indigo is als ingrediënt voor (henna) haarverf (Verma, 2012), als kleurstof voor shampoos, badschuimen, deodoranten, eau de toilettes en voor tandpasta (bron: specialchem4cosmetics.com). Mogelijk liggen hier ook kansen voor horti indigo.

Ook interessant kan de toepassing zijn als kleurstof door kunstenaars en ambachtslieden.

In de voedingsmiddelen industrie wordt de blauwe indigo kleur ook reeds gebruikt. In de EU is het bekend onder het nummer E 132, ofwel indigo carmine, ofwel indigotine. Het wordt toegevoegd aan ijs, snoepjes, banket, koekjes, maar ook tabletten en capsules. De kleurstof wordt ook in de diagnostiek gebruikt, bijvoorbeeld om urinewegen te kunnen markeren of een lek in de nier of nierwegen zichtbaar te kunnen maken. Indigo carmine dient verder ook als pH indicator (blauw bij pH 11.4 en geel bij pH 13.0), of als detector van superoxide (een criterium in cel fysiologie). Een laatste toepassing die op internet gevonden werd, is om bij zwangerschappen of bevallingen lekkend vruchtwater te kunnen detecteren.

De kleurstof kan potentieel een gevaarlijke stijging van de bloeddruk veroorzaken in sommige gevallen.

5.1.2 Marktprijzen

In de marktverkenning is ook gekeken naar actuele marktprijzen voor natuurlijk indigo.

Suresh Chellapan, CEO van NCC Agro Industries, een Indiaas bedrijf dat zowel indigo teelt als verfstof maakt, geeft in 2012 aan dat de prijs van natuurlijk indigo tien keer hoger is dan de synthetische variant. Hij noemt marktprijzen voor indigo extracten van superieure kwaliteit (40-45% indigo gehalte) van 55 US dollars per kilogram (Verma, 2012). Volgens Chellappan zijn de kosten in dat jaar gestegen dankzij een beperkte teeltomvang van indigo dat jaar. Daarnaast is er fluctuatie in aanbod, omdat het product niet jaarrond geoogst wordt, soms zelfs maar drie maanden per jaar.

Een marktplaats voor de internationale handel van grondstoffen is www.alibaba.com. Op deze site worden prijzen gevonden rond 30-55 dollar per kilo voor een indigo cake uit Chennai (India), 25-28 dollar/kilo voor poeder uit India, 20-50 dollar/kilo voor poeder uit Shanghai, 30-100 dollar/kilo uit China.

De marktprijzen voor gedroogd/gemalen blad uit bijvoorbeeld India ligt rond 4-7,5 dollar per kilo.

Hoge prijzen worden genoemd op een webwinkel voor toepassing als verf voor kunstenaars en ambachtslieden; merkloze, traditioneel (niet-biologisch) geteelde indigo in poedervorm wordt daar verkocht tussen 46-60 dollar (Bellos, 2011).

Ook lijken er kansen in onder andere de Europese afzetmarkt als het gaat om lokaal geteeld indigo. Een voorbeeld is een high-market kleurstof extract, dat door het Britse bedrijf Woad-Inc wordt verkocht in hoeveelheden van 20 gram voor 34 dollar. Dit komt overeen met 2,64 dollar per gram. Hiertegenover wordt in deze studie genoemd de gemiddelde prijs van merkloos indigo kleurstof voor een verkoopprijs van 0,13 dollar per gram (Bellos, 2011).

Bij bijvoorbeeld de rode kleurstof Cochineal gebeurde het in 2008 dat door schaarste in de markt de prijzen verdrievoudigde (Bellos, 2011).

Abdullaev en Ibragimov (2009) noemen (Europese) marktprijzen op het niveau van 240-250 euro per kilo. Ook voor andere herkomsten komen beduidend hoge marktprijzen voor natuurlijk indigo ten opzicht van de marktprijs van synthetisch indigo:

Land van herkomst	Bedrijfsnaam	Zuiverheid (%)	Prijs (€/kg)
Duitsland	Synthetisch	100	20
India	Satish Trading	280	60
Duitsland	Thuringer Landesanstal (TLL)	20-30	80
Italië	La Campana	20-30	150
El-Salvador	Maple S.A.	60	220
Frankrijk	Pastel	5	240

In de marktverkenning is in de vorm van enquêtes aan een aantal ververijen uit het netwerk van consortiumpartner Jeanologia gevraagd in hoeverre men een markt ziet voor duurzaam geteeld indigo. Een verver reageerde met "we zijn ons ervan bewust is dat de huidige teelt van indigo weinig duurzaam is. Om die reden zijn we inmiddels overgestapt op de inkoop van biologisch geteeld indigo". Deze verver gaf verder aan dat op dit moment de marktprijzen voor natuurlijk indigo met 42 dollar/kg al 6x hoger liggen dan die van synthetisch indigo (=7 dollar per kg indigo). Een hogere kostprijs voor duurzaam geteeld indigo ziet de verver alleen als mogelijk als men de (eind)afnemer kan overtuigen van de meerkosten van duurzaam geteeld indigo. Een andere verver gaf aan dat dat hij bereid was om een hogere prijs te betalen voor horti indigo, vanwege de toegevoegde waarde van 'natuurlijk', 'duurzaam' en 'beter voor de gezondheid' (aniline vrij).

In de marktverkenning zijn grote verschillen in marktprijzen naar gevonden. Er is geen verklaring in het onderzoek naar boven gekomen voor deze verschillen.

5.1.3 Overige eisen

Een van de textiel ververs gaf aan dat aandacht moet worden gegeven aan de sterkte van de kleurstof/verf, welke in het verleden soms problemen gaf en heeft genoodzaakt tot bijmengen met synthetisch indigo.

5.2 Economische haalbaarheidsberekeningen Horti indigo

5.2.1 Andere haalbaarheidsstudies

Economische haalbaarheidsberekeningen van indigo teelt in andere studies lijken gunstig. In het Europese project genaamd SPINDIGO is onderzocht is of het mogelijk is om indigo planten (zoals wede) te telen in de klimatologische omstandigheden in Europa. Over dit project melden Abdullaev en Ibragimov (2009) dat de kosten voor een dergelijke indigo teelt hoog zijn. Voor een in Italië uitgevoerd teeltexperiment in 2003 wordt de volgende (gunstige) resultaten berekend:

Bladopbrengst	40.000 kg/ha
Geëxtraheerde hoeveelheid pigment	100 kg/ha
Directe teeltkosten	€ 22 per kg
Totale kosten	€ 72 per kg
Behaalde verkoopprijs	€ 150 per kg
Winst	€ 78 per kg
Totale winst per ha	€ 7800

Teelt van indigo in Bangladesh is zeer winstgevend: tegenover een investering/teeltkosten van Tk 1500-2500 per acre (omgerekend 35-58 €/ha) tegenover een opbrengst van 6000-7500 TK per acre (omgerekend 138-172 €/ha) (Anonymus, 2010).

5.2.2 Kostprijsberekening Horti indigo

Voor de teelt van horti indigo is geprobeerd om een globale kostprijsberekening te maken voor een teelt van dit gewas in een Nederlandse kas. Hierbij is onder andere gebruik gemaakt van gegevens voor kasteelt zoals opgenomen in KWIN voor de glastuinbouw (Vermeulen, 2013). Daarnaast zijn ook een aantal aannames gemaakt.

Belangrijke relevante aannames

- 7 planten per m².
- **A) 'High-tech' kasteelt variant:** hogedraadteelt, stookteelt, CO₂ dosering, additioneel belicht, teelt(kosten) gebaseerd op hoge draadteelt tomaten, arbeidskosten € 17,50 per m²/ jaar.
- **B) 'Mid-tech' kasteelt variant:** planten in kuipen op de grond, vorstvrije onverwarmde kas, opbrengstniveau 30 kg versgewicht/m², teelt(kosten) gebaseerd op slateelt, arbeidskosten € 10,50 per m²/ jaar.
- marktprijs plantaardig indigo (cake): 31 €/kg versus 150 €/kg.
- variatie in inhoudsgehalte in indigo van 0,02% versus 0,2% versus 2%.

De extractiekosten zijn buiten beschouwing gelaten, omdat er geen gegevens konden worden verkregen.

Berekeningen

Jaarkosten	'Mid-tech' kasteelt (€/m ²)	'High-tech' kasteelt (€/m ²)
Totale teeltkosten (zaad, groeimedium, potten, gasverbruik, gewasbescherming, bemesting, etc).	27	27
Arbeidskosten	10,50	17,50
Kosten duurzame productiemiddelen	5	16,50
Algemene kosten	1	2,35
Totale kosten €/m ²	43,50	63,35

Om in geval van 'mid-tech' kasteelt de kosten van 43,50 €/m² terug te kunnen verdienen, uitgaande van een marktprijs van plantaardig indigo van 31 euro per kg, moet 1,40 kg verfstof per m²/jaar worden geproduceerd. Uitgaande van een marktprijs van 150 euro (SPINDIGO studie) dient dan met kasteelt indigo 0,29 kg/m² indigo kleurstof worden geproduceerd.

Om in geval van 'high-tech' hogedraadteelt de kosten van 63,35 €/m² terug te kunnen verdienen, uitgaande van een marktprijs van plantaardig indigo van 31 euro per kg, moet 2,33 kg verfstof per m²/jaar worden geproduceerd. Uitgaande van een marktprijs van 150 euro (SPINDIGO studie) dient met kasteelt indigo 0,42 kg/m² indigo kleurstof worden geproduceerd.

Onderstaande tabel geeft bij verschillende marktprijzen en verschillende indigo opbrengsten per kg bladmateriaal aan welke hoeveelheid blad per m² dienen te worden behaald in de mid-tech kasteelt om de business case rond te krijgen:

MID-TECH KASTEELTSYSTEEM:

marktprijs	31 €/kg			150 €/kg		
Benodigde opbrengst indigoverfstof per m ²	1,4 kg/m ²			0,29 kg/m ²		
inhoudsgehalte	0,02%	0,2%	2%	0,02%	0,2%	2%
Benodigde opbrengst bladmateriaal per m ²	7.016 kg/m ²	702 kg/m ²	70,2 kg/m ²	1.450 kg/m ²	145 kg/m ²	15 kg/m ²

Ter vergelijking: de totale teeltopbrengst per jaar voor een teelt als kas-sla ligt momenteel op circa 30 kg versgewicht per m². Het totale droge stof gehalte ligt bij kas-sla tussen de 4 en 5% (Janse en Raaphorst, 2008). Een verhoging van het inhoudsgehalte indigo (dat slechts een deel uitmaakt van het totale drooggewicht van het blad) tot 2% lijkt op basis van de huidige teeltinzichten weinig realistisch.

Onderstaande tabel geeft bij verschillende marktprijzen en verschillende indigo opbrengsten per kg bladmateriaal aan welke hoeveelheid blad per m² dienen te worden behaald in de high-tech hogedraadteelt om de business case rond te krijgen:

HIGH-TECH TEELTSYSTEEM:

Marktprijs	31 €/kg			150 €/kg		
Benodigde opbrengst indigoverfstof per m ²	2,04 kg/m ²			0,42 kg/m ²		
inhoudsgehalte	0,02%	0,2%	2%	0,02%	0,2%	2%
Benodigde opbrengst bladmateriaal per m ²	10.217 kg/m ²	1.022 kg/m ²	102 kg/m ²	2.112 kg/m ²	211 kg/m ²	21 kg/m ²

Ter vergelijk: de totale teeltopbrengst per jaar voor een hogedraadteelt als trostomaat is circa 65,5 kg vruchtgewicht per m². Hier is de bladopbrengst niet in meegenomen, maar daar staat tegenover dat ook bij indigo niet alle blad kan worden wegge oogst, omdat blad nodig is om continuïteit qua groei in de plant te houden. Kanttekening ook bij deze hig-tech variant is dat een verhoging van het inhoudsgehalte indigo tot 2% op basis van de huidige teeltinzichten onvoldoende realistisch is.

De uitgevoerde berekeningen geven enig inzicht in te stellen teeltdoelen voor kasteelt van *Indigofera*. Geconcludeerd kan worden dat pas bij een aanzienlijke (maar weinig realistische) verhoging van de inhoudsgehaltenes en een gunstige marktprijs inclusief commitment van marktpartijen er mogelijkheden voor een rendabele businesscase ontstaan. Ook zullen de extractiekosten dienen te worden meegenomen bij het berekenen van de uiteindelijke kostprijs. Wegens gebrek aan keteninformatie zijn deze in bovenstaande berekeningen buiten beschouwing gelaten.

6 Conclusie en discussie

6.1 Conclusie

Indigofera teelt en opbrengstverhogingsmogelijkheden van indigo kleurstof

Uit de literatuur blijkt dat *Indigofera tinctoria* het meest geschikt om een zo hoog mogelijke opbrengst van kleurstof indigo per m² te kunnen telen. De kleurstof kan worden geëxtraheerd uit het bladmateriaal.

De huidige opbrengsten bladmateriaal van *Indigofera* loopt uiteen van 3.548 tot 12.346 kg/ha. Opbrengst verhogende factoren zijn het ras, het plantstadium, specifieke lichtkleur tijdens de teelt (rood licht), lange dag tijdens teelt, de plantdichtheid, CO₂-gift, de N- en P-gift, en een teelt op hydroponics.

Met een gemiddeld indigo gehalte tussen 0,485 tot 1,97% van het blad versgewicht, wordt momenteel een verpobbrengst behaalt tussen 30,87-76,72 kg/ha.

Economische haalbaarheid van horti indigo uit Nederlandse indigofera kasteelt

Marktomvang

De wereldmarktomvang van indigo kleurstof wordt geschat tussen 17.000 en 80.000 ton. Het marktaandeel plantaardig indigo bedraagt minder dan 1% (170-800 ton kleurstof). In potentie kan dit marktaandeel groeien, vanwege de wereldwijd groeiende interesse in natuurlijke en duurzame textielvezels en verfstoffen. Diverse kledingontwerpers zijn geïnteresseerd in indigo denim voor de hun haute couture en merk jeans.

Andere mogelijke afzetmarkten voor natuurlijk indigo zijn als ingrediënt voor haarverf, als kleurstof voor kunstenaars en ambachtslieden, en als kleurstof voor de voedingsmiddelenindustrie en geneeskunde/diagnostiek.

Er is duidelijke interesse voor duurzaam geteelde horti indigo bij tenminste een viertal denim ontwerpers.

Marktprijzen

De marktprijzen zijn in dit onderzoek niet goed in te schatten. De in literatuur/internet gevonden marktprijzen voor kleurstof (cake) liggen tussen 30-60 kilo. Een Europees onderzoek uit 2009 noemt € 240-250 per kg indigo kleurstof.

Marktpartijen geven aan dat de prijs van plantaardig indigo met ca. \$ 40-50 per kg 6-10 keer hoger ligt dan van synthetisch indigo.

De textielindustrie (ververij) is zich bewust dat de teelt van indigo in Azië weinig duurzaam is. Soms wordt hierom overgestapt op biologisch geteeld indigo. Een hogere kostprijs voor duurzaam geteeld horti indigo is alleen mogelijk als de (eind)afnemer kan worden overtuigd van de meerkosten die voortkomen uit deze teeltwijze.

Economische haalbaarheidsberekening van indigo

Buitenteelt *Indigofera* in het bijzonder in Azië heeft zeer gunstige economische resultaten.

Naar aanleiding van globale kostprijsberekeningen voor de teelt van horti indigo in een Nederlandse kas voor een high-tech variant en een mid-tech variant, schatten we in dat de kosten respectievelijk rond 63,35 en 43,50 €/m² liggen. (excl. extractiekosten).

Bij een marktprijs van 31 euro per kg moet bij de mid-tech variant dan 1,40 kg verfstof per m²/jaar worden geproduceerd, hetgeen overeenkomt met een bladproductie van 7.016 kg/m². Met een 10-voudige verhoging is een bladproductie van 702 kg/m² nodig. Uitgaande van een marktprijs van 150 euro moet 0,29 kg verfstof per m²/jaar worden geproduceerd, het geen bij de huidige gehalten kleurstof overeenkomt met 1.450 kg/m² blad.

Bij een marktprijs van 31 euro per kg moet bij de high-tech variant 2,33 kg verfstof per m²/jaar worden geproduceerd, hetgeen overeenkomt met een bladproductie van 10.217 kg/m². Met een 10-voudige verhoging is een bladproductie van 1.022 kg/m² nodig. Uitgaande van een marktprijs van 150 euro moet 0,48 kg verfstof per m²/jaar worden geproduceerd, hetgeen bij de huidige gehalten kleurstof overeenkomt met 2.112 kg/m² blad.

Bij een verhonderdvoudiging van de gangbare inhoudsgehalten via specifieke teeltmaatregelen ontstaan perspectieven voor horti indigo. Met de huidige kennis in het teeltkundig onderzoek lijkt een dergelijke verhoging vooralsnog een te grote uitdaging.

Cruciaal voor een haalbare businesscase is serieus commitment van marktpartijen, resulterend in hoge marktprijzen voor horti indigo en garanties over de af te nemen hoeveelheden. Daarnaast is vanwege de grote variatie in uitgangspunten als biomassa productie per m² per jaar en gehalte kleurstof, validatie van de parameters in de kostprijsberekening nodig.

6.2 Perspectieven voor horti indigo: aanbeveling voor vervolgonderzoek

Qua marktverwachtingen in termen van marktomvang en trends is er een reëel perspectief voor productie van horti indigo in Nederlandse kassen voor een specifieke niche markt. Hiermee wordt ingespeeld op de groeiende trend van natuurlijke, duurzame grondstoffen.

Qua (verhoging van) marktprijzen ontbreekt het op dit moment nog aan goede gegevens. De verwachting is dat perspectieven voor een hogere marktprijs zullen moeten voortvloeien uit een solide samenwerking tussen de verschillende schakels in de denim/textiel keten, van grondstofproducent tot eindafnemer. Daarbij zal de meerwaarde van duurzaam geteeld horti indigo duidelijk moeten worden gemaakt richting de volgende schakel(s) in de keten.

Op basis van de uitgevoerde kostprijsberekeningen en de huidige teeltkundige inzichten zijn er vooralsnog onvoldoende perspectieven gebleken voor horti indigo uit *Indigofera* in Nederlandse kassen. Mogelijk kunnen teeltexperimenten - met indigo of andere tuinbouwgewassen - welke zijn gericht op het verhogen van het gehalte inhoudsstoffen hier in de toekomst verandering in brengen.

In het licht van positieve (oriënterende) teeltervaringen door Wageningen UR Glastuinbouw met de teelt van *Polygonum* (japanse indigo), is het aan te bevelen een vergelijkbaar haalbaarheidsstudie uit te voeren voor dit gewas.

Het maximale areaal glas waarop horti indigo geteeld kan worden zal vanuit markttechnisch oogpunt beperkt zijn. Bij een marktaandeel van 1% van de totale indigo markt voor plantaardig indigo - te weten 1,7 ton horti indigo verfstof per jaar - zal slechts een areaal tussen 1.000-6.000 m² kasteelt maximaal mogelijk zijn. Bij een 50% marktvervanging van natuurlijk indigo, hetgeen neerkomt op 85 ton verfstof per jaar, past een maximale kasgrootte van 283.000 m² (28 ha) glas.

6.3 Uitdagingen voor toekomstige teeltexperimenten

Indien in de toekomst teeltexperimenten voor kasteelt van *Indigofera* worden opgezet, zullen de volgende uitdagingen en vragen relevant zijn:

- Wat zijn realistische cijfers voor de biomassa productie en het kleurstof gehalte van *Indigofera* in een Nederlandse kasteelt?
- Kan de bladopbrengst van *Indigofera* per m² in kasteelt worden verhoogd?
 - Is het mogelijk om een groter aantal bladeren per plant te realiseren via het verkorten van de internodiën lengte (bladafstand) door specifieke teeltmaatregelen?
Aanwijzing: Door te telen onder optimale omstandigheden qua licht (hoeveelheid, kleur, daglengte), temperatuur, water en nutriënten wordt er meer blad geproduceerd. Dit blijkt uit het voorbeeld van kasteelt tomaat ten opzichte van buitenteelt tomaat in Spanje.
 - Is het mogelijk om meer bladeren te oogsten als gevolg van het jaarrond creëren van ideale teeltomstandigheden via kasteelt in plaats van buitenteelt?

- Is het mogelijk om meer bladeren per plant te oogsten door regelmatig te oogsten (i.p.v. de gangbare drie oogstrondes per jaar)?
Aanwijzing: Uit diverse in het verleden uitgevoerde onderzoeken met vruchtgroenten blijkt een regelmatigere oogst een gunstig effect te hebben op de droge stof productie per m².
- Is het mogelijk om meer bladeren per plant te oogsten bij een hogedraadteeltsysteem?
Aanwijzing: Hogedraadteelt heeft bij komkommer een opbrengst verhogend effect van 10-15% ten opzichte van de traditionele teelt.
- Is het mogelijk om - bij regelmatige bladpluk - de plant toch in bloei te krijgen om zo het volgens onderzoek optimale plantstadium waarbij jonge peulen aan de plant zitten te bereiken?
Aanwijzing: Bij Indiase veldexperimenten waren bladeren geoogst bij het plantstadium waarin kleine peulen aan de plant zaten 20% zwaarder en hadden ze een 46% hoger gehalte aan indigo kleurstof.
- Kan het gehalte indigo in *Indigofera* met kasteelt worden verhoogd?
 - Wat is het effect van rood licht in kasteelt op het gehalte indigo in *Indigofera*?
Aanwijzing: In eerder onderzoek is aangetoond dat bij indigo producerende gewassen er lichtkleureffecten zijn voor het gehalte Isatan B (precursor van indigo). Met rood licht trad een verdubbeling van het gewone gehalte op.
 - Wat is de optimale lichthoeveelheid en -kleur, daglengte temperatuur, water- en bemesting gift om te komen tot een hoge, optimale bladgroei en hoog indigogehalte?
 - Wat is het aanschakel mechanisme voor de precursor van indigo, ofwel waardoor wordt indigoproduktie getriggerd?
 - Wat kan met veredeling bereikt worden?

Op basis van het in deze studie uitgevoerde literatuuronderzoek naar de effecten van verschillende lichtkleuren bij teelt van *Isatis tinctoria* zou een verdubbeling van de 'normale' gehalten mogelijk kunnen zijn. Door daglengte is in eerder onderzoek aangetoond dat zelfs een verhoging van 5 maal mogelijk is. Ervanuit gaande dat er verder geen interactie effect tussen beide factoren is, dan is door toepassing van lichtkleur behandeling en daglengteverlenging een verhoging van het inhoudsstofgehalte van 10 maal mogelijk.

Door teelt van *Indigofera* volgens een hogedraadteeltsysteem kan naar verwachting een extra opbrengst verhogend effect van 10-15% worden bereikt. Door de plant in bloei te krijgen – bij regelmatige bladpluk – kan naar verwachting tot 20% meer bladmassa worden geoogst en zelfs een ongeveer 46% hoger gehalte aan indigo kleurstof kan worden verkregen.

Niet rekening houdend met mogelijk interactie effecten komen we op basis van de voorgestelde aanpassingen in de teelt uit op een mogelijk opbrengstverbetering van maximaal circa 20%.

Naast benutting van bovengenoemde opbrengst verhogende factoren in kasteelt van indigo, zal de belangrijkste uitdaging vooral zijn om via experimenteel onderzoek het aanschakelmechanisme voor de precursus van indigo in *Indigofera tinctoria* te achterhalen. Hiermee zouden mogelijk daadwerkelijk grote stappen kunnen worden gehaald.

7 Literatuur

- Abdullaev and N. Ibragimov, 2009. Cultivation of Indigo plant, biotechnology of natural dyes and improving the soil's ecology Teaching-practical manual for farmers. Tashkent-Urgench, 2009. Reviewers: A.A. Abdullaev and N. Ibragimov. Available at http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Tashkent/pdf/indigo_en.pdf
- Agarwal, S., 2011. History , Chemistry And Application Of Indigo Dyes. Report at website Denims and Jeans. June 10th, 2011. Available at <http://www.denimsandjeans.com/denim/manufacturing-process/history-chemistry-and-application-of-indigo-dye/>
- Aien, A., S. Esfandeyari, *et al.* 2011. "Study the effect of drought stress on yield and some physiological characteristics of indigo (*Indigofera tinctoria*)."
- Anonymus, 2010. Natural Indigo (*Indigofera tinctoria*) and the unfinished Fight for Freedom. October 3, 2010. Available at <http://www.sos-arsenic.net/english/homegarden/indigo.html>
- Arsenault, N. T. Lozano, C. Rose, A. Azulay and R. Meyer, 2008. Explorers, Traders & Immigrants: Tracking the Cultural and Social Impacts of the Global Commodity Trade. Hemispheres, International Outreach Consortium University of Texas, Austin. October 2008. (www.utexas.edu/cola/orgs/hemispheres/files/pdf/eti/Indigo.pdf)
- Balfour-Paul, J., 2011. Indigo: Egyptian mummies to blue jeans. Publisher: The British museums/ British Museum Press, 5 sep 2011. 272 p.
- Bellos, S., 2011. Sustainable Cultivation of Plant-derived Indigo for Diversification and On-farm Value-added Dye Pigment Production. Final Report, 2011 Project Number FS10-241. Available at: <http://mysare.sare.org/mySARE/ProjectReport.aspx?do=viewRept&pn=FS10-241&y=2011&t=1>
- Campeol, E., Angelini, L.G., Tozzi, S. & M. Bertolacci, 2005. Seasonal variation of indigo precursors in *Isatis tinctoria* L. and *Polygonum tinctorium* Ait. as affected by water deficit. *Environmental and Experimental Botany* 58 (2006) 223–233.
- Dhanasekaran, D. and K. Sekar, 2008. Evaluation of Indian Indigo (*Indigofera tinctoria* L.) germplasm for dye content and dye yield. *Crop Research (Hisar)*; 2008. 36(1/3):157-160.
- Islam, M. P., M.D. Hussain and A. Ray, A., 2007. Present status of the natural indigo dye production in Modhupur forest area of Bangladesh. Proceedings of the International Agricultural Engineering Conference, Bangkok, Thailand, 3-6 December 2007. Cutting edge technologies and innovations on sustainable resources for world food sufficiency.
- Janse, J. en M. Raaphorst, 2008. Beperkt ventileren bij energiearme groentegewassen. Rapport 206, Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk, september 2008. 20 p.
- Keijzer, de, M., 2013. Een keur aan verleidelijke kleuren: hoogtepunten van de vroeg synthetische organische kleurstofgeschiedenis. In: M. Vasques Diaz, Eds., *Kleur bekennen, Handelingen 9e Nederlandse Symposium Hout- en Meubelrestauratie*, Amsterdam, 2013, pp. 30-45.
- Khazhakyanyan, Kh K., K.V. Egibyan and A.G. Devedzhyan, 1986. Effect of day length on the growth, development and productivity of indigo in soilless culture. *Doklady Akademii Nauk Armyanskoi SSR*; 1986.
- Khazhakyanyan, Kh. K. and K.V. Egibyan, 1988. Quantitative determination of indican in leaves of *Indigofera tinctoria* L. and *I. articulata* Gouan. grown hydroponically. [Russian] *Rastitel'nye Resursy*; 1988. 24(1):111-113.
- Long, K., 2008. The Chemical Era. June, 2008. Available at: <https://sites.google.com/site/kateannelong/thechemicalera>
- Mairapetyan, S. K., M.K. Vartanyan and E.D. Sarkisyan, 1988. Soilless cultivation of henna and indigo in Armenia. *International Society for Soilless Culture*. Wageningen, 1988. P 303-309.
- NN, 1997. BASF celebrates 100 years of synthetic indigo. BASF, Trade Publication, November 1997, Vol. 44 Issue 11, p. 51.
- Pagluanan, E.R., 2010. Biomass production of malatayum (*Indigofera tinctoria*) as affected by planting distance. *Journal of ISSAAS [International Society for Southeast Asian Agricultural Sciences]* (Dec 2010).
- Pratibha, G. and G.R. Korwar, 2005. Response of Indigo to stages of harvest, nitrogen and phosphorus levels under rainfed semi arid tropical conditions. *Indian Journal of Dryland Agricultural Research and Development*; 2005. 20(2):141-144.
- Sekar, K. and D.Dhanasekaran, 2008. Eco-friendly Technology for Sustainable Production of Bio Colours. UGC Major Research project, from 01-04-2008 to 31-03-2011. India, Annamalai Universit. http://annamalaiuniversity.ac.in/download/exe_sum/01779.pdf.

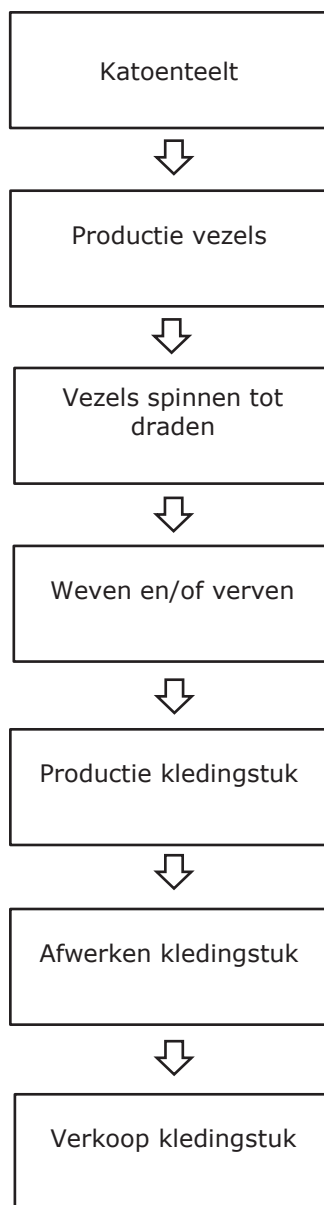
- Takawira-Nyanya, R. and D. Cardon, 2005. *Indigofera tinctoria* L. In: Jansen, P.C.M. & Cardon, D. (Editors). PROTA 3: Dyes and tannins/Colorants et tanins. [CD-Rom]. PROTA, Wageningen, Netherlands. http://database.prota.org/PROTAhtml/Indigofera%20tinctoria_En.htm
- Teanglum, A., S. Teanglum and A. Saithong, 2012. Selection of Indigo Plant Varieties and Other Plants that Yield Indigo Dye. Elsevier Direct, www.sciencedirect.com
- Tozzi, S., B. Lercari, L.G. Angelini , 2005. Light Quality Influences Indigo Precursors Production and Seed Germination in *Isatis tinctoria* L. and *Isatis indigotica* Fort. *Photochemistry and Photobiology*, 81(4):914-919. 2005. <http://www.bioone.org/doi/abs/10.1562/2004-08-03-RA-258R1.1>
- Verma, R., 2012. Indian denim makers shrug off indigo price ris (bron: http://www.just-style.com/analysis/indian-denim-makers-shrug-off-indigo-price-rise_id115454.aspx. 10 September 2012.
- Vermeulen, P.C.M. (2013). Kwantitatieve Informatie voor de Glastuinbouw 2012 – 2013. Geactualiseerd: nieuwe kengetallen voor Groenten Snijbloemen Potplanten teelten. Wageningen : Wageningen UR Glastuinbouw, Rapport GTB-5032. Editie 22.
- Vuorema, A. 2008. Reduction and analysis Methods. Department of Chemistry, University of Turku, Finland Turku, Finland 2008
- Westphal, E. and P. C. M. Jansen (eds), 1989. Plant resources of South-East Asia: a selection. ISBN 90-220-0985-8. Pudoc/Prosea, Wageningen, the Netherlands, 1989.

Overige internetbronnen:

- www.alibaba.com
www.chriscooksey.demon.co.uk
<http://www.ukfoodguide.net/e132.htm>
www.wikipedia.nl

Bijlage 1 Productie proces van textiel

Globale beschrijving van de verschillende stappen van productie van katoen tot gereedkomen kledingstuk



Katoen wordt veelal op grote plantages in landen op het westelijk halfrond geteeld. Met het plantmateriaal worden vezels gemaakt. Deze vezels worden gespind/gedraaid tot katoenen draden, waarna deze draden worden geweven tot stof. Hiermee worden vervolgens kledingstukken gemaakt en desgewenst afgewerkt met finishing technieken (o.a. lasertechnologie).

Het verven van textiel kan op drie manier plaatsvinden:

- Methode 1: Het kledingstuk wordt geweven met witte draden. De geweven stoffen worden in de fabriek tot een kledingstuk genaaid. Pas in dit stadium wordt het product in de gewenste kleur geverfd in grote verfbaden.
- Methode 2: De draden worden geverfd en daarna geweven. Voor denim bijvoorbeeld worden twee kleuren draad gebruikt. Het weven gebeurt met een combinatie van wit en blauw draad.
- Methode 3: op de kledingstukken worden afbeeldingen aangebracht of worden bijvoorbeeld gebruiksstrepen gemaakt met specifieke finishing technieken (bv. fysieke methoden als schuren, of moderne methoden als lasertechnologie)

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen UR Glastuinbouw
Postbus 20
2665 ZG Bleiswijk
Violierenweg 1
2665 MV Bleiswijk
T +31 (0)317 48 56 06
F +31 (0) 10 522 51 93
www.wageningenUR.nl/glastuinbouw

Glastuinbouw Rapport GTB-1317

Wageningen UR Glastuinbouw initieert en stimuleert de ontwikkeling van innovaties gericht op een duurzame glastuinbouw en de kwaliteit van leven. Dat doen wij door toepassingsgericht onderzoek, samen met partners uit de glastuinbouw, toeleverende industrie, veredeling, wetenschap en de overheid.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.