

AGRI VOLTAICS

Gewassen én
energie oogsten
op eenzelfde veld



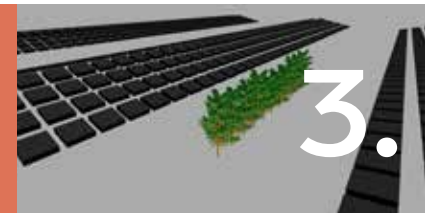
INHOUDSTAFEL

Wat is agrivoltaics?
p.4



Hoe meten we de
efficiëntie van een
agrivoltaics installatie?
p.14

Ontwerp-proces
p.22



Test sites
p.30

Enkele conclusies
p.42



1. WAT IS AGRIVOLTAICS?

GROTE ZONNEPARKEN
Zouden kunnen
bijdragen aan
het verder
verduurzamen
van de Vlaamse
energieproductie,
maar zijn gezien de
beperkte beschikbare
open ruimte
allerm minst evident.

Met alle geïnstalleerde fofovoltaïsche zonnepanelen dekte Vlaanderen in 2020 **slechts 1,2%** (3958 GWh) van haar totaal finaal energiegebruik. Grote zonneparken zouden kunnen bijdragen aan het verder verduurzamen van de Vlaamse energieproductie, maar zijn gezien de **beperkte beschikbare open ruimte** allerm inst evident.

In het buitenland is reeds volop gestart met het aanboren van een nieuw potentieel areaal onder de noemer **agrivoltaics**. Hierbij wordt energie- en voedselproductie slim gecombineerd op eenzelfde site. De eerste gepubliceerde resultaten tonen alvast dat er naast de duurzame energie-opbrengst ook voordelen voor de landbouwactiviteit mogelijk zijn: de zonnepanelen kunnen bescherming bieden

tegen hagel, vorst, zonnebrand, droogte of hoge temperaturen,... De steeds frequentere extreme weeromstandigheden, de beperkte open ruimte en de nood aan meer zonne-energieproductie in Vlaanderen maken het de moeite waard om deze technologie ook hier te onderzoeken. Deze brochure verzamelt de inzichten van het eerste Vlaamse onderzoek rond agrivoltaics waarbij drie verschillende testsites werden uitgerold. Dit VLAIO-TETRA project liep van oktober 2019 tot december 2021 en werd uitgevoerd door 2

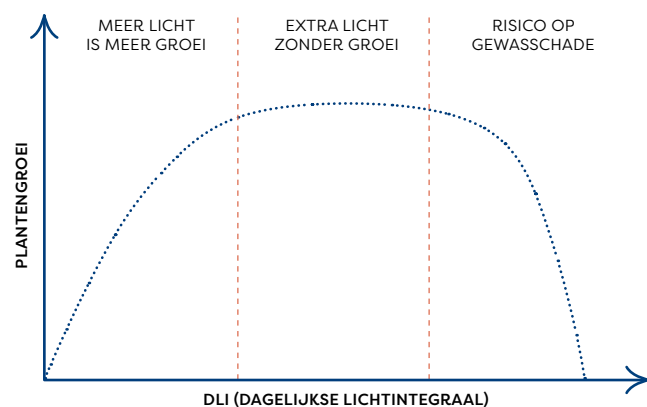
onderzoeksgroepen van de KU Leuven (ELECTA Gent en het Molecular Plant Hormone Physiology Lab) en Boerenbond. Het project werd mee mogelijk gemaakt door de steun van de partners vermeld op pagina 44 & 45 van deze brochure.

1.1 Welke gewassen komen in aanmerking?

Zonnepanelen kunnen op verschillende manieren worden geplaatst in de landbouw. Denk maar aan de combinatie van grote zonneparken met grazende schapen die het veld onderhouden, of panelen boven op serres en stallen. De definitie van agrivoltaics - zoals in deze brochure gehanteerd - slaat op de combinatie van zonnepanelen met landbouwgewassen op eenzelfde landbouwperceel. De primaire activiteit blijft de **landbouwproductie**, waarbij we de **energie-opbrengst als toegevoegde waarde** beschouwen.

Om te weten welke gewassen in aanmerking komen, moeten we eerst kijken naar schaduwtolerante soorten. De groei van de gewassen is immers sterk gerelateerd aan de dagelijkse hoeveelheid zonlicht.

DE PRIMAIRE ACTIVITEIT BLIJFT DE LANDBOUWPRODUCTIE, DE ENERGIE-OPBRENGST IS DE TOEGEVOEGDE WAARDE.



Zoals op de figuur op p.6 te zien is neemt de plantengroei toe indien er meer zonlicht invalt, maar bij hoge dagelijkse instralingshoeveelheden verzadigt deze groei. Indien het zonlicht nog verder toeneemt kan dit zelfs aanleiding geven tot gewasschade. Voor elk gewas en diens groeistadium ligt dit optimum anders. Bovendien kan dit saturatiepunt verschuiven onder invloed van andere omgevingsparameters zoals CO₂-gehalte en gewastemperatuur. In onze contreien zitten we voor de meeste gewassen in het linker gebied, waardoor reductie van licht meestal aanleiding zal geven tot een verlaging van de opbrengst. Maar plantengroei onder gereduceerde instraling levert soms ook voordelen op. Onderzoek toont bijvoorbeeld aan dat sommige bladgroentes onder die omstandigheden op zoek gaan naar meer licht en juist grotere bladeren krijgen.

We moeten dus goed nadenken boven welke gewassen we de zonnepanelen best plaatsen en hoeveel licht ze daarbij mogen wegnemen. Maar ook vele andere factoren bepalen of agrivoltaics succesvol kan worden toegepast. Landbouwgewassen met teeltrotatie of planten die bewerkt worden met erg grote machines vergen een andere aanpak dan bijvoorbeeld fruitbomen.

Op basis hiervan worden typisch drie soorten gewassen onderscheiden bij agrivoltaics systemen:



1.2 Hoe zien de agrivoltaics constructies er uit?

De zonnepanelen worden bij agrivoltaics opstellingen vast of kantelbaar op een draagstructuur geplaatst. In dat laatste geval kan de stand van de panelen aangepast worden aan de stand van de zon (= tracking) of zo geregeld worden dat de beschaduwing van de ene rij op de andere beperkt wordt (= backtracking) of net de lichtinval voor de planten vergroot wordt (= anti-tracking).

Het is belangrijk dat de constructie van de agrivoltaics opstelling de landbouwactiviteiten, de oogst en de bodemkwaliteit niet hypothekeert. De agrivoltaics constructie moet:

- voldoende licht en water doorlaten en deze zo homogeen mogelijk verdelen over het teeltoppervlak
- de bewerkbaarheid garanderen: zo moet de afstand tussen de verticale dragers van de constructie in lijn worden ontworpen met de dimensies van de landbouwvoertuigen
- een reversibele verankering of fundering hebben zodat de impact op de bodem na verwijdering minimaal is
- eventueel voorzien worden van aangepaste wateropvang om bodemerosie door aflopend water te vermijden
- zo weinig mogelijk verlies veroorzaken in de bruikbare teeltoppervlakte door de constructie
- de elektrische (AREI, synergrid) en mechanische veiligheid (NBN EN 1991-1-4) waarborgen.

Ook de financiële haalbaarheid van de constructie moet bewaakt worden. Hoe hoger de installatie boven de grond wordt geplaatst, hoe groter de materiaalkost en hoe duurder de verankering zal zijn. Bovendien moeten we rekening houden met de (esthetische) inpasbaarheid van de constructie in het landschap en het beperken van de bodemverdichting tijdens de bouw. Dat laatste kan bijvoorbeeld door het gebruik van rijplaten.

Agrivoltaics constructies kunnen we indelen in 2 categorieën. Bij installaties van categorie I worden de zonnepanelen op een hoge draagconstructie geplaatst zodat de landbouwvoertuigen er onderdoor kunnen om het land te bewerken. De zonnepanelen kunnen geheel of gedeeltelijk de bruikbare teeltoppervlakte afdekken. De inplanting van de constructie met behulp van verticale profielen zorgt ervoor dat het effectief beschikbare teeltoppervlak slechts minimaal vermindert.



Agrivoltaics-installaties van categorie II zijn laaggeplaatste installaties, met de teelt tussen de zonnepanelen. Hierdoor is het in veel gevallen niet mogelijk om de hele bruikbare teeltoppervlakte af te dekken. Hetgeen niet meer voor de teelt kan worden benut kan eventueel wel worden ingevuld met bloemenstroken in een bufferzone.

AGRIVOLTAICS
INSTALLATIE
CATEGORIE II



1.3 Potentieel voor agrivoltaics in Vlaanderen

Op basis van bovenaan vermelde inzichten rond de geschikte gewassen en mogelijke constructies kunnen we verschillende agrivoltaics systemen identificeren. Een aantal combinaties worden hieronder weergegeven.

A



**Categorie I constructie
met één- of tweejarig
gewas**



B



**Categorie I constructie
met langjarig gewas**



C



**Categorie II constructie
met grasland**



In het onderzoeksproject hebben we de meest courante gewassen in Vlaanderen gescreend op hun geschiktheid voor gebruik in agrivoltaïcs installaties. Onderstaande tabel geeft deze prioritaire gewassen per categorie weer. Als belangrijkste criterium nemen we hiervoor de lichtbehoefte van het gewas. Sommige gewassen, zoals bijvoorbeeld maïs, zijn immers veel minder tolerant voor beschaduwing. Ook houden we rekening met de bewerkbaarheid in agrivoltaïcs context en maken we de afweging van de andere gewassen in een (mogelijke) teeltrotatie. Samen vertegenwoordigen deze prioritaire teelten ongeveer 85% van de teelten. Als we kijken naar het beschikbaar areaal van elk van deze

A	B	C
Eén-en tweejarige gewassen	Langjarige gewassen	Gras- of hooiland
		
Sla	Rode en zwarte bes	Grasland
Aardappel	Bramen en frambozen	Luzerne
Bonen	Blauwe bes	
Suikerbiet	Peer	

gewassen en de daarmee corresponderende mogelijke structuren, kan een inschatting gemaakt worden van het potentieel van agrivoltaïcs voor Vlaanderen

Niet elke site met deze gewassen komt echter in aanmerking. Als basis voor de perceel specifieke areaal selectie nemen we de gegevens uit de verzamelaanvraag. Vervolgens kijken we welke percelen ongeschikt zijn door hun ligging, bijvoorbeeld in erosie- of overstromingsgevoelige gebieden of gebieden die in beschermde landschappen liggen. Na een verdere selectie op basis van verscheidene andere parameters worden uiteindelijk ook de allerkleinste percelen of bufferstroken uitgesloten. Hierdoor komen we uit op een ruwe inschatting van het theoretische potentieel voor agrivoltaïcs van 28% van de landbouwoppervlakte, ofwel bijna 200 000 ha.

AGRIVOLTAÏCS ZOU IN VLAANDEREN OP JAARBASIS EEN ENERGIEOPBRENGST VAN ONGEVEER 127.5 TWH MET ZICH MEEBRENGEN. DAT IS ONGEVEER 1.5 KEER HET HUIDIGE ELEKTRISCHE VERBRUIK VAN BELGIË.

daken is 72 GWp of 62 TWh, waar vandaag slechts 6% gebruik van gemaakt wordt

Als we uitgaan van een gemiddeld vermogen van 570 kWp/ha bij de nieuwste generatie zonnecellen en de andere opgegeven voorwaarden voor agrivoltaïcs, zou het theoretisch mogelijk zijn om een totaal van 114 GWp aan agrivoltaïsche opstellingen te installeren. Deze opstellingen zouden op jaarbasis een energieopbrengst van ongeveer 127.5 TWh met zich meebrengen. Dat is ongeveer 1,5 keer het huidige elektrische verbruik van België. In vergelijking, het theoretische technisch potentieel van onze



2. HOE METEN WE DE EFFICIËNTIE VAN AGRIVOLTAICS INSTALLATIES?

Om verschillende agrivoltaics installaties te vergelijken is er nood aan een basis om “de opbrengst” van een agrivoltaics installatie te meten. We kunnen deze opbrengst op vele wijzen interpreteren: de totale financiële opbrengst, de hoeveelheid opgewekte energie, de opbrengst van de gewassen, de gewaskwaliteit, ...

Om de vergelijking toch mogelijk te maken gebruiken we kengetallen die we in 5 categorieën onderverdelen naargelang ze iets zeggen over:

- De energie-opbrengst
- Het beschikbare licht onder de panelen
- De gewasopbrengst
- De ruimtelijke efficiëntie
- De financiële haalbaarheid

2.1 De energie-opbrengst

DE ENERGIE-OPBRENGST PER HA [MWh/ha]

Om de energie-opbrengst uit te drukken van een zonnepaneel- of PV-installatie kunnen we kijken naar de absolute hoeveelheid energie die de panelen op één jaar leveren. Maar indien we deze absolute hoeveelheid delen door de oppervlakte van het land waarop de panelen zijn geplaatst kunnen we installaties beter vergelijken. Op een klassiek zonnepark wordt typisch tot 1 MWp/ha aan zonnepanelen geïnstalleerd, wat voldoende energie opbrengt om het jaarverbruik van 25 000 gezinnen te dekken. Bij agrivoltaics installaties ligt

de densiteit van de panelen lager, en dus ook de energie-opbrengst. Ook de veelgebruikte relatieve prestatieparameter voor PV-installaties, de performance ratio - waarbij de opbrengst van de installatie wordt gewogen aan de opbrengst die een ideale installatie in hetzelfde vlak zou hebben opgebracht - kan een goede maat zijn om de energieprestatie te beoordelen.

BODEMBEDEKKINGSGRAAD

Het is duidelijk dat de densiteit van de panelen op de akkers een belangrijke invloed heeft op de energie-opbrengst. Om de dichtheid van de panelenplaatsing weer te geven, gebruiken we de bodembedekkingsgraad of ground coverage ratio. Deze bodembedekkingsgraad is de verhouding tussen de paneeloppervlakte en de beschikbare landbouwoppervlakte. Deze parameter is onafhankelijk van de gebruikte type panelen, hoek, oriëntatie, weersinvloeden,... en zegt eerder iets over het potentieel voor agrivoltaïcs dan over de opbrengst zelf. Typische waarden liggen rond de 20-30% afhankelijk van het type gewas en locatie.

2.2 Het beschikbare licht onder de panelen

De gewasopbrengst is - zoals op de figuur op p.6 weergegeven - erg afhankelijk van de beschikbaarheid van licht. Hiervoor worden 3 kengetallen ingevoerd.

DE RESTERENDE PAR

De fotosynthetisch actieve straling of photosynthetically active radiation (PAR) is dat deel van het lichtspectrum dat door planten wordt gebruikt voor de fotosynthese. (400 tot 700 nm).

De hoeveelheid PAR wordt meestal relatief uitgedrukt ten opzichte van

de referentieteeelt zonder aanwezigheid van zonnepanelen (%). Zo heeft een agrivoltaïcs installatie met 80% PAR een verlies van 20% van de fotosynthetisch actieve straling ten opzichte van een gewas in open veld. De resterende PAR (%) is een veelgebruikte goede eerste indicatie voor de prestatie van een agrivoltaïcs opstelling, maar maakt vergelijkingen tussen verschillende opstellingen (met andere referentie licht waarden) moeilijk gezien het een momentopname betreft.

DE DAGELIJKSE LICHT INTEGRAAL OF DLI

Een andere prestatie indicator, die wel rekening houdt met de absolute hoeveelheid licht is de DLI (daily light integral). Dit is de cumulatieve dagelijkse hoeveelheid PAR die de planten bereikt. Het kan ook nuttig zijn om de gemiddelde maandelijkse DLI weer te geven om zo het effect van de agrivoltaïcs installatie in de verschillende seizoenen of groeifases in kaart te brengen. De licht integraal is sterk afhankelijk van de zonneinstraling en dus variabel doorheen de jaren.

DE HOMOGENITEIT VAN HET LICHT

De aanwezigheid van zonnepanelen resulteert niet enkel in minder licht, ze zorgen ook voor een ongelijkmatige verdeling van de lichtinval over het veld. Het is dus mogelijk dat een zone van het teeltoppervlak alle licht krijgt, en een andere zone bijna geen licht. Een parameter om de homogeniteit van het de lichtverdeling te beschrijven is de **variatiecoëfficiënt**, die de standaardafwijking van de lichtdistributie ten opzichte van het gemiddeld lichtniveau uitdrukt.



LICHT- EN
TEMPERATUURMETING
ONDER HET BLADERDEK

2.3 De gewasopbrengst



Om de prestatie van een gewas in een agrivoltaïcs teeltsysteem correct in te schatten, zijn drie types kengetallen vereist: directe, indirecte en externe. Deze kengetallen geven de mogelijkheid om zowel bij oogst van de gewassen als tijdens de ontwerpfase en de groeifase de mogelijke effecten van de agrivoltaïcs opstelling op de gewassen in te schatten. Essentieel bij het beoordelen van de gewasopbrengst is het maken van een vergelijking met het “standaardgewas”, dat in een referentieveld wordt gekweekt onder gelijkaardige omstandigheden als het agrivoltaïcs veld, maar dan zonder de aanwezigheid van de zonnepanelen.

ESSENTIEEL BIJ HET BEOORDELEN VAN DE GEWASOPBRENGST IS HET MAKEN VAN EEN VERGELIJKING MET HET “STANDAARDGEWAS”.

De **directe kengetallen** helpen ons de opbrengst en kwaliteit van de oogst zelf in kaart te brengen. Denk hierbij aan de effectieve gewasopbrengst, maar ook het oogsttijdstip en kwaliteitsparameters zoals smaak, kleur, suikergehalte, zetmeel,...

De **indirecte kengetallen** zoals gewasgroei en plantgewicht geven ons reeds voor de oogst rijp is een indicatie van de agrivoltaïcs prestatie. Het opvolgen van de bloei of de bladgroei zijn hier voorbeelden van.

De **externe kengetallen** brengen de omgevingscondities in een agrivoltaïcs teeltsysteem in kaart en vertellen ons enkel indirect iets over het effect op het gewas. Voorbeelden naast de reeds genoemde hoeveelheid zonlicht zijn het (micro)klimaat onder de panelen en de bodemkenmerken.

2.4 Ruimtelijke efficiëntie

Wanneer PV-modules en gewassen op hetzelfde land worden gecombineerd, neemt de totale productiviteit van het land meestal toe. Een term om deze toegenomen landproductiviteit te evalueren is de **Land Equivalent Ratio (LER)**. De term werd oorspronkelijk in het leven geroepen om gemengde teeltsystemen met monoculturen te vergelijken. Later werd de LER uitgebreid tot agroforestry (land gemengd met gewassen en bomen) en tot agrivoltaïcs systemen. De LER van een agrivoltaïcs systeem wordt gedefinieerd als de som van het percentage landbouwopbrengst ten opzichte van niet-agrivoltaïcs landbouw en het percentage energie-opbrengst ten opzichte van een klassiek zonnepark op eenzelfde perceel, verminderd met het eventuele landverlies (het percentage van de oppervlakte dat verloren is voor agrarische activiteit door inplanting van de agrivoltaïcs constructie, hierna als LL aangeduid). In de formule voor de berekening van de Land Equivalent Ratio worden de opbrengsten met Y (Yield) aangeduid.

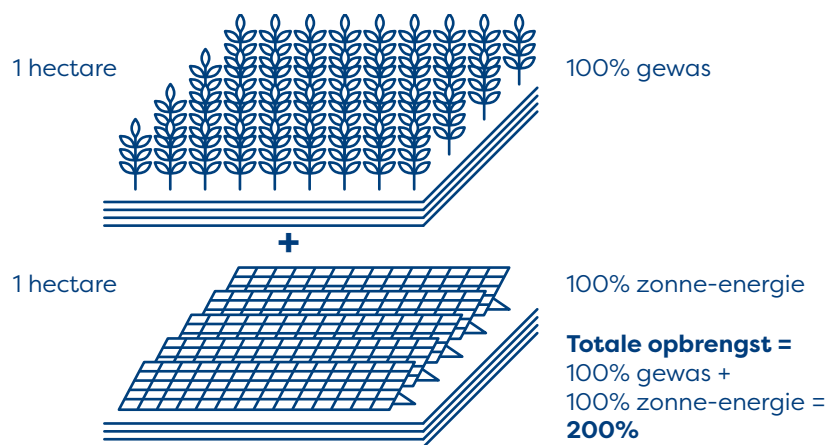
$$LER = \frac{Y_{el, AV}}{Y_{el, N}} + \frac{Y_{agri, AV}}{Y_{agri, N}} (1 - LL)$$

De indexcijfers van de opbrengst Y verwijzen naar de opbrengst van respectievelijk biomassa (kg/ha) verkregen in agrivoltaïsche (AV) en open (mono) omstandigheden en elektrische opbrengsten (kWh/ha) verkregen in respectievelijk een agrivoltaïcs (AV) scenario en een referentie-PV-installatie (grondmontage) die de elektriciteitsproductie per landoppervlak maximaliseert.

Een Land Equivalent Ratio groter dan 1 betekent dat het agrivoltaïcs systeem effectiever is dan de afzonderlijke gewassen en zonnepanelen op hetzelfde landoppervlak. Een LER van 1,4 betekent dat door toepassing van een dubbel land gebruik systeem de productie van een landbouwbedrijf van 100 ha even hoog zal zijn als de productie van een landbouwbedrijf van 140 ha met afzonderlijke producties. Dergelijke grote productiviteitsstijgingen zijn zeer aantrekkelijk voor gebieden met een beperkte open ruimte en verklaren de huidige tendens om

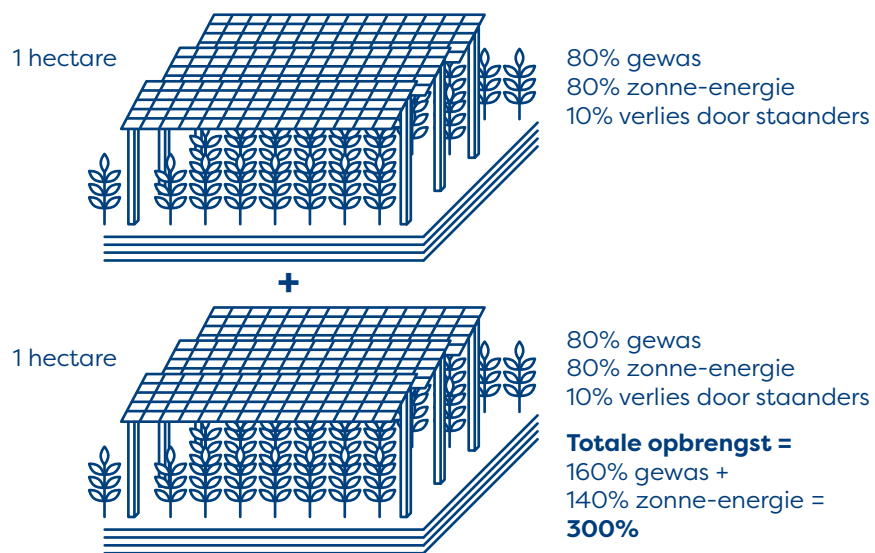
onderzoek te doen naar agrivoltaïcs. Onderstaande figuur geeft een voorbeeld van de berekening van de LER voor de combinatie van graan en zonnepanelen.

Gescheiden landgebruik op 2ha landbouwgebied



Dubbel landgebruik op 2ha landbouwgebied

De efficiëntie vergroot met 50%



2.5 De financiële haalbaarheid

Om de financiële haalbaarheid van een agrivoltaïcs installatie in kaart te brengen, moeten we zowel de kosten als de inkomsten van de energieproductie én de teelt van de gewassen gedurende de hele levensduur van de installatie bekijken.

De grootste kost is de investering in de installatie, die via eigen middelen of financiering door een derde partij kan gebeuren. Naast deze éénmalige kost, moeten we ook rekening houden met een jaarlijkse onderhoudskost aan de installatie.

De kosten van de teelt hebben betrekking op zowel de landbouwactiviteiten als de teelt zelf. Deze kosten kunnen verschillen ten opzichte van eenzelfde teelt zonder agrivoltaïcs. In sommige gevallen zal meer brandstof voor de werktuigen nodig zijn, meer manuren bij het bewerken van het veld of is er ook een mindere opbrengst van de teelt door lager gewicht /kwaliteit en kleinere teeltoppervlakte mogelijk. In andere gevallen zijn de kosten net lager, bijvoorbeeld omdat er minder moet geïrrigeerd worden, of door het wegvallen van de investering in extra beschermingsmiddelen zoals een hagelnet of een regenkap,...

AGRIVOLTAICS LEIDT TOT EXTRA INVESTERINGEN, MAAR KAN OOK KOSTEN BESPAREN.

Tegenover deze kosten staan de inkomsten. In eerste instantie de nieuwe inkomsten door de verkoop of de zelfconsumptie van de geproduceerde stroom, al dan niet aangevuld met steunmaatregelen. Maar ook de opbrengst van de gewassen, die, zoals eerder beschreven, zowel groter als kleiner kan uitvallen dan bij de klassieke teelt zonder agrivoltaïcs

Eens alle in- en uitgaven zijn opgesteld (al dan niet geactualiseerd), kunnen we de typische investeringsparameters berekenen die ook in andere sectoren worden gebruikt zoals de terugverdientijd (TVT), de netto geactualiseerde waarde (NPV) of de interne opbrengstvoet (IRR).

3. HET ONTWERPEN VAN EEN AGRIVOLTAICS OPSTELLING

3.1 Van landbouwperceel naar agrivoltaics constructie

De eerste stap in het bouwen van een agrivoltaics opstelling is het identificeren van een **geschikte locatie en teelttype**. Dat hangt van veel factoren af. Is het beoogde gewas (of gewassen in geval van teeltrotatie) geschikt voor agrivoltaics? Is er een gepaste netaansluiting om de opgewekte elektriciteit op het net te injecteren, is er voldoende direct elektriciteitsverbruik nabij de site of een andere mogelijkheid om de elektrische energie te vermarkten? Past een agrivoltaics opstelling in de ruimtelijke ordening? Is de grondstabiliteit voldoende om een vaste structuur op te plaatsen?

GROTE ZONNEPARKEN
Zouden kunnen
bijdragen aan het
verder verduurzamen
van de Vlaamse
energieproductie,
maar zijn gezien de
beperkte beschikbare
open ruimte
allerm minst evident.

Eens de locatie en het teelttype vastliggen, dient de **agrivoltaics constructie** ontworpen te worden. We kunnen kiezen tussen een hoge (categorie 1) of lage (categorie 2) opstelling. Bij akkerbouwgewassen ligt deze keuze meestal open en kan de investeringskost en de ruimtelijke inplanting de doorslag geven. Bij permanente gewassen, zoals fruit, is omwille van bescherming tegen hagel of regen, vaak een hoge structuur aangewezen.

Na het kiezen van het constructietype, moeten we de geometrische vrijheidsgraden voor de constructie invullen. Enkele randvoorwaarden zijn rechtstreeks een gevolg van praktische overwegingen. We kiezen de **oriëntatie** van de zonnepanelen

meestal in functie van de perceelrichting. De hoogte en breedte van de landbouwmachines bepalen de minimale **hoogte** en de afstand tussen de verticale staanders of structuren.

Ontwerpers van PV-installaties kunnen met behulp van softwarepakketten helpen om de meest **geschikte hellingsgraad** voor de panelen te kiezen. Bij grotere hellingsgraden is de windlast op de installatie hoger. Daardoor zijn zwaardere (stalen) profielen met meer windverbanden en een sterkere verankering nodig. We kunnen de impact van de verankering beperken door beton te vermijden en gebruik te maken van speciale grondankers, of palen met gepast profiel te heien. Bij grotere hellingsgraden neemt bovendien ook het risico toe dat paneelrijen elkaar gaan beschaduen. Door de panelen in dakjes te leggen onder een kleine hoek (rond de 10°) blijven de windlast en de zelfschaduw beperkt. Bijkomend voordeel is dat de jaarlijkse energie-opbrengst dan zo goed als onafhankelijk wordt van de oriëntatie.

Een belangrijke eigenschap van het ontwerp is de eerder genoemde **bodembedekkingsgraad** of “ground coverage ratio” (GCR). Een hoge structuur geeft de mogelijkheid om een groot deel van het teeltoppervlak te bedekken en te beschermen tegen extreme weersinvloeden. De bodembedekkingsgraad kan bij een hoge structuur groter zijn dan bij een lage structuur waar de breedte van de landbouwmachines mee de maximale bodembedekkingsgraad bepaalt. Een hogere dekking graad zorgt enerzijds voor meer zonnepanelen per eenheid structuur en dus voor een hogere energie-opbrengst per hectare, anderzijds wordt ook meer licht voor de planten weggenomen. Met de GCR bepaal je dus de balans tussen de energie- en de gewasopbrengst. Het doorlaten van voldoende licht zodat de teeltkwaliteit en -kwantiteit grotendeels behouden wordt blijft het basisprincipe van een agrivoltaïcs teeltsysteem.

“Tip: met onze webtool kan je in functie van het gewenste schaduwniveau je optimale agrivoltaïcs systeem dimensioneren (www.agrivoltaics.one)”



Bij hoge structuren met gewasbeschermingsfunctie (en bijgevolg met hoge dekking graad) lijken klassieke, ondoorzichtige **zonnepanelen** veelal te veel licht weg te nemen om de kwaliteit van de teelt te kunnen garanderen. Een mogelijke oplossing lijkt het plaatsen van de zonnepanelen in een dambordpatroon, maar op die manier bereiken we zelden de benodigde homogeniteitsgraad voor de planten. Om dit probleem systematisch op te lossen, kunnen we gebruik maken van semi-transparante panelen. Deze panelen hebben dezelfde afmetingen als klassieke panelen, maar bevatten minder zonnecellen die op een doorzichtige drager (bv. een glasplaat) zijn gemonteerd. Op die manier laten ze, bij eenzelfde gewasbeschermingsgraad, toch meer licht door (ten nadele van de energie-opbrengst en investeringskost). Bovendien kunnen we opteren voor een speciale folie die zorgt voor een meer diffuse verspreiding van het licht naar de gewassen. Bij bepaalde opstelling loont het de moeite om met bifaciale panelen te werken, die tegen een kleine meerkost, energie kunnen opwekken langs beide zijden en zo de totale energie-opbrengst per hectare kunnen verhogen.



PIERRE ALBERS
ONDER ZIJN ZONNE-
PANELEN, DE INSTALLATIE
BESCHERMT DE
FRAMBOZENSTRIJKEN
EN LEVERT STROOM
OP VOOR ZO'N 100
HUISHOUDENS.
© Koen Verheijden

3.2 Schaalgrootte en elektrische netstudie

Nadat we de geometrische eigenschappen van het design hebben bepaald, moeten we de **schaalgrootte van de installatie** kiezen. Hiervoor kijken we in eerste instantie naar de energiebehoefte van het landbouwbedrijf of de mogelijkheden om zonne-energie op rendabele wijze te delen met andere netgebruikers. Indien de mogelijkheden voor rendabel zonnedelen beperkt blijven (zoals begin 2022 nog steeds het geval is), is de zelfconsumptie doorslaggevend bij het dimensioneren van de zonnepaneelinstallatie.

**INDIEN DE
MOGELIJKHEDEN VOOR
RENDABEL ZONNEDELEN
BEPERKT BLIJVEN, IS
DE ZELFCONSUMPTIE
DOORSLAGGEVEND BIJ HET
DIMENSIONEREN VAN DE
ZONNEPANEELINSTALLATIE**

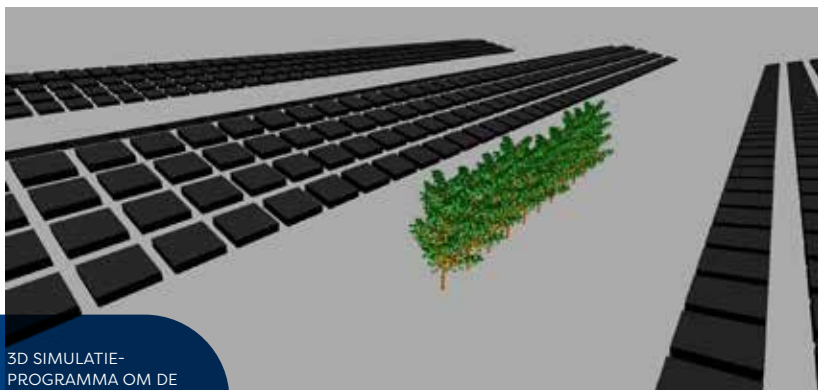
Ogenblikkelijke overschotten van de opgewekte zonne-energie worden namelijk in het elektriciteitsdistributienet geïnjecteerd: de prijs die de landbouwer daarvoor krijgt is vandaag veel lager dan wat wordt bespaard door het zelf consumeren van deze stroom. Door dit grote prijsverschil is een investering in een installatie met hoge netinjectie meestal niet winstgevend.

Sowieso moeten we bij de netbeheerder **een netstudie** aanvragen vooraleer de agrivoltaïcs installatie op het net kan worden aangesloten. Tegen een eenmalige kost (voor distributienetten tussen de €380 en €760) zal de netbeheerder berekenen welke bijkomende maatregelen moeten worden getroffen vooraleer de zonnepaneelinstallatie op haar net kan worden aangesloten. Mogelijk is er nood aan een netverzwaring en/of het plaatsen van een middenspanningscabine. Deze bijkomende maatregelen betekenen meestal een hoge bijkomende investeringskost die doorslaggevend kan zijn bij het bepalen van de schaalgrootte en de rendabiliteit van het systeem.

3.3 Omgevingsvergunning

Tenslotte moeten we een aanvraag voor een omgevingsvergunning indienen. Een eerste gesprek met de omgevingsambtenaar kan al nuttige informatie opleveren om de uiteindelijke omgevingsvergunning aan te vragen. De omgevingsambtenaar zal adviezen inwinnen bij verschillende instanties, en op basis daarvan een advies geven.

De omgevingsvergunning zelf bevat twee luiken: een stedenbouwkundige vergunning en een milieuvergunning (meer info op de site www.omgevingsloketvlaanderen.be). De aanvraag voor een stedenbouwkundige vergunning bestaat onder meer uit een inplantingsplan, een constructietekening en een beschrijvende nota met de belangrijkste kenmerken van de agrivoltaïcsinstallatie (de reversibele verankering, een screenshot van de webtool die toont dat de lichtreductie beperkt is, de minimale impact op landbouwactiviteiten door structuur aan te passen aan machines,...). De milieuvergunning omvat onder meer de info over de (openlucht) transformatoren. Hiervoor kunnen we gebruik maken van rubriek 12.2 van de VLAREM indelingslijst.



3D SIMULATIE-
PROGRAMMA OM DE
OPTIMALE AGRIVOLTAICS
CONFIGURATIE TE
VINDEN

3.4 Het bouwen en opstarten van een agrivoltaïcs installatie

Ten minste acht dagen voor de aanvang van de bouw moeten we de werkzaamheden aanmelden via het omgevingsloket. Denk bij de **eigenlijke bouw** zeker na om het teeltoppervlak zo weinig mogelijk te verstoren. Zo kan het verdichten van de bodem beperkt worden door gebruik te maken van rijplaten. Bij het plaatsen van de ondergrondse gelijkstroomkabels van de zonnepanelen moeten we rekening houden met de ploegdiepte en moeten we kabels (en/of wachtbuizen) zo recht mogelijk in de grond steken. De kabels die verbindingen via de lucht voorzien in de lucht moeten we voldoende beveiligen opdat de kans op beschadiging bij landbouwactiviteiten (bv. bij het snoeien) minimaal is. Ook het einde van de werken moeten we aangeven in het omgevingsloket.

Pas na de finale **elektrische keuring** mag de agrivoltaïcsinstallatie opgestart worden.



4. DE TEST- SITES VAN HET AGRIVOLTAICS TETRAPROJECT

Tijdens het TETRA-project “Agrivoltaics” ontwierpen en bouwden de projectpartners KU LEUVEN en Boerenbond in samenspraak met de bedrijfspartners drie pilotsites in Vlaanderen: een opstelling met semitransparante panelen in Bierbeek, een opstelling met bifaciale panelen in Grembergen en een hoge staalconstructie in Lovenjoel.

Via deze sites onderzoeken we het potentieel van de belangrijkste constructietypes in combinatie met de meest geschikte gewassen. In dit deel bespreken we het ontwerp, de bouw, de exploitatie en de eerste resultaten.

De resultaten per gewas zijn opgemeten op 1 seizoen en op 1 plaats. Omdat de opbrengst van een gewas afhankelijk is van veel parameters (weer, bodem, cultivar, beheer,...), kunnen deze resultaten (nog) niet gebruikt worden om algemene uitspraken te doen over de impact van agrivoltaics. Daarvoor zijn er per gewassoort meer veldproeven nodig op verschillende locaties en over meerdere seizoenen.



1. Bierbeek

In Bierbeek onderzoeken we de mogelijkheden van agrivoltaïcs bij een bestaande peren (conference) boomgaard (Categorie I constructie met meerjarig gewas). In de boomgaard was al een houten hagelbeschermingsconstructie (met kristalnetten) op hoogte (4,2 m) aanwezig om grote oogstverliezen door stormschade te voorkomen. De boomgaard bevindt zich dicht tegen de koelloods met een grote elektrische energievraag en in de buurt van een bestaand elektrisch middenspanningsbord.

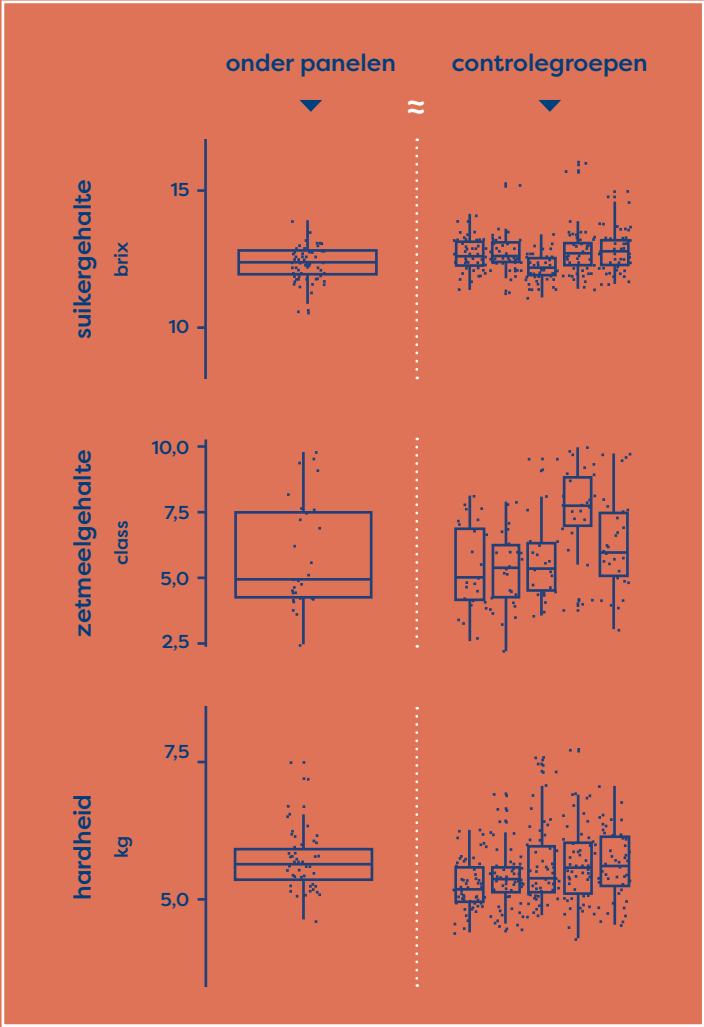
Door de panelen te bevestigen aan de bestaande hagelbeschermingsconstructie (Categorie I constructie) was de impact van de inplanting op de ruimtelijke ordening miniem. Bovendien werd zo ook meteen rekening gehouden met de minimale hoogte voor het sproeitoestel. Er werden panelen gelegd recht boven elke rij perenbomen om de bescherming tegen storm en hagel te behouden. Dit resulteerde in een bodembedekkingsgraad van 60%. Om de windlasten te beperken kozen we voor een dakjesvorm van 12°, maar extra houten staanders en grondankers met staaldraad waren nodig om een stabiele constructie te bekomen.

Het gebruik van klassieke panelen zou het geïnstalleerde vermogen per landoppervlakte wel gemaximaliseerd hebben, maar nam te veel licht weg voor een goede perengroei. Door gebruik te maken van een eigen ontworpen lichtberekeningspakket met de eis voor een minimaal PAR niveau van 75%, kwamen we uit bij panelen met een transparantiegraad van 40%. De lichtberekeningen toonden bovendien aan dat de beste homogeniteit werd bekomen door een cel-layout in de langsrichting.

In totaal plaatsten we 3 rijen van 20 m lang, goed voor een totaal vermogen van 13,32 kWp (ongeveer 660 kWp/ha). De panelen werden aangesloten op een 10 kVA omvormer. De stroom (met een gesimuleerde opbrengst van 11 320 kWh) kan ogenblikkelijk gebruikt worden door de koelinstallatie, wat de rendabiliteit van de installatie ten goede komt. Sinds de bouw in 2020 onderzoeken we of de zonnepanelen effect hebben op de perenopbrengst (zowel kwantitatief als kwalitatief). In welke mate houden de panelen warmte vast in de lente, kunnen de panelen zonnnebrand beperken in hete zomers of de oogst afschermen voor hagelbuien? We vergelijken de agrivoltaïcs peren hiervoor met een referentieveld in de boomgaard waar kristalnetten boven zijn geplaatst. De resultaten van het eerste teeltseizoen worden weergegeven in het volgend kader.

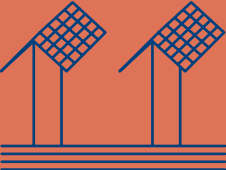
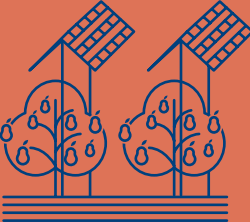
Resultaten Bierbeek

KWALITEIT:



OPBRENGST EN LER:

LL = Landloss
LER = Land Equivalent Ratio

			LL	LER
	0%	100%	0%	1
	100%	0%	—	1
	60%	84%	0%	1,44



2. Grembergen

De tweede pilootsite ligt in Grembergen, bij een landbouwbedrijf dat akkerbouwgewassen in een rotatiesysteem teelt. Omdat de site nabij een woonwijk ligt kozen we hier voor een lage structuur (categorie II constructie).

De oriëntatie van de opstelling kozen we in functie van de lengterichting van het veld. De afstand tussen twee structuren werd bepaald op 9m (breedte van de machine + 0,5m speling langs elke zijde). Hierdoor

heeft de installatie in Grembergen een lage bodembedekkingsgraad (19%) en een eerder bescheiden vermogendichtheid (400 kWp/ha). Dit teeltsysteem zorgt wel voor een hogere gemiddelde PAR hoeveelheid (80%), maar kan niet voor alle gewassen in het veld rechtstreekse bescherming bieden.

Op die site vergelijken we twee alternatieven:

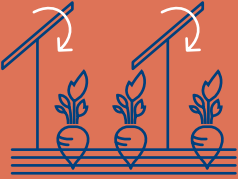
- **Een vaste opstelling van 3 rijen met verticale bifaciale panelen:** De panelen staan opgesteld in een verticale, landscape positie ongeveer 1m boven het maaiveld zodat de gewassen de panelen niet beschaduwen. De steunpalen werden ongeveer 2m diep geheid om de laterale windlasten op te vangen. De oost/west georiënteerde bifaciale panelen zetten gereflecteerd, diffuus en direct licht langs beide zijden om in elektriciteit. Door de oost-west oriëntatie levert de installatie productiepieken 's morgens en 's avonds. Dit productieprofiel is gunstig voor het verbruik van het woonhuis bij het landbouwbedrijf.



- Op hetzelfde veld hebben we ook **3 rijen met een dynamisch 1-assig bifaciaal systeem** gebouwd, waarbij de panelen de zon ofwel maximaal kunnen opvangen ofwel net doorlaten voor de planten. De afstand tussen twee structuren en de dekingsgraad is hier gelijk aan de verticale constructie (19%). Tijdens het groeiseizoen wordt (tijdens de belangrijkste momenten in de ontwikkeling van de plant) het systeem zo gestuurd om zoveel mogelijk licht door te laten, ten koste van de energieopbrengst. Buiten het teeltseizoen, of in situaties dat de plant schaduw nodig heeft, volgt het systeem de zon en wordt de energieopbrengst gemaximaliseerd.

Door de vergelijking te maken van een statisch en een dynamisch systeem kunnen we de gevolgen onderzoeken op energetisch, plantkundig en economisch vlak.



Resultaten Grembergen		LL = Landloss LER = Land Equivalent Ratio		
			LL	LER
	0%	100%	0%	1
	100%	0%	—	1
	35%	74%	10%	1
	42%	78%	10%	1,1



3. Lovenjoel

Tenslotte bestuderen we een akkerbouw systeem in Lovenjoel op een terrein van de KU Leuven (Transfarm). In tegenstelling tot de site in Grembergen hebben we hier een hoge (5m) constructie gebouwd. De machines rijden onder deze constructie door waardoor we voor de afstand tussen de staanders 13m en 9m hebben gekozen. Dit zijn veelvouden van de machinebreedte (4m) met een speling van 0,5m langs elke zijde.

Om de omvang van de staalconstructie te beperken is ook hier de keuze gemaakt om de panelen in dakjesvorm van 12° te plaatsen. Toch is de nodige hoeveelheid staal en bijhorende kost nog aanzienlijk groter dan een lage constructie waar machines tussen rijden. Deze opstelling biedt wel een grotere flexibiliteit en een groter vermogen per ha. Het is mogelijk om de panelen dichter of verder tegen elkaar te plaatsen (450-1500 kWp/ha), onafhankelijk van de machines. Zo kunnen we per seizoen de bodembedekkingsgraad en dus het lichtniveau (25%-80%PAR) voor de plant tegenover de energieopbrengst per ha afwegen. Met name in een teeltrotatie waar niet elk jaar hetzelfde gewas wordt aangebouwd is een jaarlijkse aanpassing van de bodembedekkingsgraad wenselijk. Op dit proefveld vergelijken we verscheidene gewassen met de standaard kweekcondities in normale landbouwomstandigheden om zo te bepalen welke synergieën bekomen worden. Het veld wordt voor het eerst in dienst genomen in de lente van 2022.

5. ENKELE CONCLUSIES

**OM EEN DUURZAAM
AGRIVOLTAICS
SYSTEEM TE BOUWEN
IS HET BELANGRIJK
OM DE PRIORITEIT OP
VOEDSELPRODUCTIE EN
LANDBOUWACTIVITEITEN
TE BEWAREN.**

Agrivoltaics (de combinatie van zonnepanelen en gewassen) biedt een groot potentieel om de hernieuwbare energie productie op te krikken in ons land. Deze brochure toont de verschillende constructies, de toepasbare gewastypen, indicatoren, ontwerpstrategieën en enkele pilootprojecten in Vlaanderen. Om een duurzaam agrivoltaics systeem te bouwen is het belangrijk om de prioriteit op voedselproductie en landbouwactiviteiten te bewaren. Het is belangrijk op zoek te gaan naar mogelijke meerwaarde voor de gewassen. In ons klimaat kunnen we er immers van uit gaan dat tijdens de gematigde jaren extra schaduw zal zorgen voor gewasverlies. Een goed ontworpen agrivoltaics systeem dient verder te kijken, dan een pure economische optimalisatie. Er moet slim worden omgesprongen met gewas/variëteit, teeltsysteem, constructie en zonnepaneel technologie (bifaciaal, semi-transparant).

De proefprojecten leren dat om alle positieve en negatieve (rand)effecten te evalueren er meerdere jaren nodig zijn (zowel extremen - hittegolven, droogte, hagel,... - als gematigde), voor een definitieve conclusie gemaakt kan worden. Deze extra jaren zullen helpen om het nut (toepasbaarheid) van agrivoltaics beter te evalueren en om duidelijke ontwerpen en richtlijnen op te stellen. Intussen is er nog werk genoeg om, naast de zoektocht naar een complementair PV areaal (zoals agrivoltaics) onze Vlaamse daken zoveel mogelijk vol te leggen.

Onze begeleidingsgroep & partners:



Agrivoltaics-team:

Brecht Willockx
brecht.willockx@kuleuven.be

Thomas Reher
thomas.reher@kuleuven.be

Marleen Gysen
marleen.gysen@boerenbond.be

Bram Van de Poel
bram.vandepoel@kuleuven.be

Jan Cappelle
jan.cappelle@kuleuven.be

KU LEUVEN

Vormgeving:
Marieke Van Raes

Versie mei 2022

