

Notat om Sorteringsteknologi til Samdyrkede Afgrøder

STØTTET AF **Promille**afgiftsfonden for landbrug



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

Notat om Sorteringsteknologi til Sam- dyrkede Afgrøder



Udarbejdet for:

Innovationscenter for Økologisk Landbrug
Agro Food Park 26, 8200 Aarhus

Udarbejdet af

Teknologisk Institut
Gregersensvej 1
2630 Taastrup
Landbrug og Digitalisering

December 2023



1. Introduktion

Dette notat tager sigte på at undersøge og opsummere den nuværende teknologi og metoder indenfor enkeltkernesortering af samdyrkede afgrøder, med et specifikt fokus på linser og havre. Enkeltkernesortering er en central proces i landbrugsteknologi, der indebærer adskillelse og sortering af kornkerner på basis af forskellige egenskaber som størrelse, form, og farve. Effektiv enkeltkernesortering er afgørende for at sikre et tilstrækkeligt afkast fra samdyrkning – især når afgrøderne dyrkes til humant konsum, som ofte er tilfældet med f.eks. linser og havre. Derudover er enkeltkernesortering også vigtig for at sikre en høj kvalitet af landbrugsprodukter, da urenheder og defekter sorteres fra, og en effektiv sorteringsproces kan resultere i forbedret ressourceeffektivitet og øget økonomisk udbytte for landmanden.

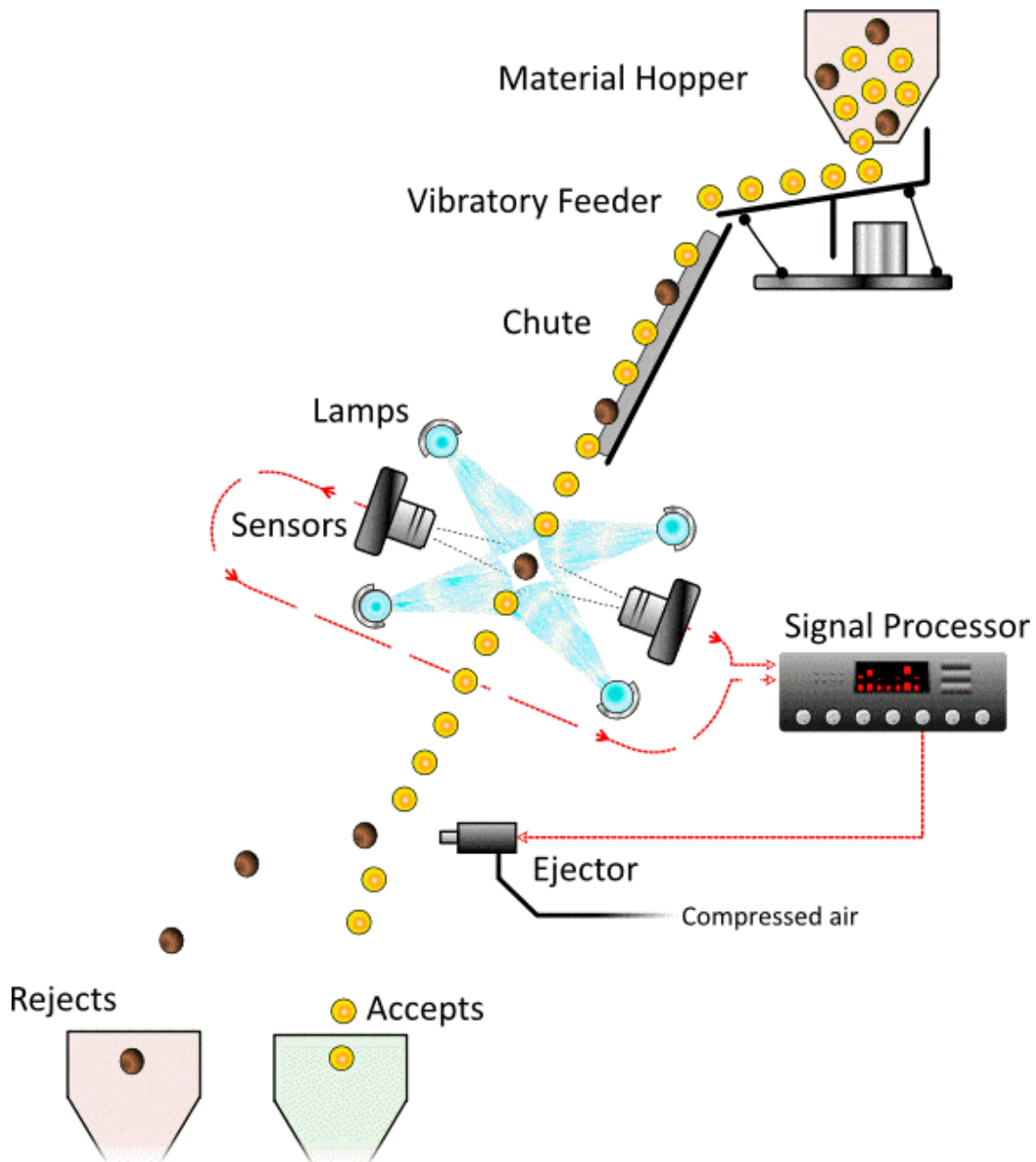
I dagens teknologisk avancerede landbrugsindustri benyttes en bred vifte af avancerede metoder og maskiner - inklusive Nær Infrarød Transmittans (NIT), Nær Infrarød Reflektans (NIR) teknologi, hyperspektrale kamera og farvesortering - til at effektivisere sorteringen og sikre, at kun korn af bedste kvalitet når forbrugeren.

Dette notat vil også se på potentialet for at udnytte billedgenkendelse gennem moderne computer vision med machine learning inden for kornsartering, samt diskutere om denne teknologi kan udgøre et værdifuldt supplement til de gængse metoder og teknologier. Til sidst fremskrives de teknologiske fremtidsudsigter for enkeltkernesortering af linser og havre, specifikt ift. computer vision og AI.

Samlet set tilstræber dette notat at give en grundig vurdering af det teknologiske landskab indenfor enkeltkernesortering af samdyrkede afgrøder som linser og havre i en europæisk kontekst samt foreslå retninger for den fremtidige udvikling af feltet.

2. State-of-The-Art Indenfor Enkeltkernesortering

Sorteringsprocessen for enkeltkerner består ofte af adskillige trin, hvor input-strømmen forfines og forskellige typer urenheder sorteres fra. En sådan proces involverer typisk følgende skridt: 1) en cyklon, hvor lettere partikler sorteres fra, 2) en cylinderseparator (cylinder separator) med forskellige sold, som kan sortere elementerne baseret på størrelse, 3) en tyngdeseparator (gravity separator) som kan sortere baseret på massefylde, og 4) en optisk sorteringsmaskine (optical sorter), som kan sortere det resterende på baggrund af visuelle karakteristikker som f.eks. farve, mønster, tekstur og form (Timaeus, 2020). Nogle optiske sorteringsmaskiner er udstyret med sensorer uden for det visuelle spektrum, som f.eks. NIR eller NIT, hvilket også giver mulighed for at sortere på baggrund af f.eks. proteinindhold. Dette afsnit vil diskutere og sammenligne nogle af de førende sorteringsmaskiner på markedet og adressere centrale overvejelser og udfordringer forbundet med disse teknologier.



Figur 1: Illustration af generisk optisk sorter. Fra: <https://www.satake-europe.com/optical-sorting/principles-of-optical-sorting>



Sortering af samdyrkede produkter involverer en række teknologier, som er specielt designet til at identificere, differentiere og adskille forskellige emner. Denne rapport vurderer og sammenligner specifikationerne for fire fremtrædende sorteringsmaskiner:

1. **Bühler Groups SORTEX A:** SORTEX A-serien er omfattende og består af fire primære teknologi-varianten - SORTEX A, SORTEX A DualVision™, SORTEX A ColorVision™, og SORTEX A MultiVision™. Disse varianter er tilpasset til at håndtere hhv. mørke defekter, lyse og mørke defekter, farvevariationer og subtile farvevariationer og kan alle suppleres med NIR og NIT teknologi. Maskinens kapacitet varierer fra 8 til 40 tons i timen, med mulighed for at tilpasse sorteringsprocessen til at opfylde individuelle produktionsefterspørgelser. Maskinen tilbyder tre proprietære analysesystemer, PROsize™, PROcolor™ og PROshape™ under paraplyen PROfile™, som differentierer hhv. på størrelse, farve og form.
2. **Satake Corporations EVOLUTION® Serie:** EVOLUTION-serien fra Satake indeholder to primære modelvarianter, EVOLUTION 4 og EVOLUTION 8 som implementerer hhv. 4 og 8 kanaler til at sortere inputtet med. Begge modeller er designet til at håndtere og sortere et bredt udvalg af materialekategorier som korn, nødder og plastik. Serien er udstyret med full color RGB-kameraer og har kontrolmekanismer til formgenkendelse og multi-bølglængde infrarød.
3. **Cimbrias SEA.IQ:** Med Full-Color RGB-kameraer integreret med Near-Infrarød (NIR) teknologi, kan SEA.IQ analysere produkter baseret på et væld af farvevariationer. Den har en høj skanningsfrekvens på 18.000 Hz, hvilket kombineret med en optisk opløsning på 0.15mm sikrer præcis detektion af defekter i 14 forskellige kategorier. SEA.IQ-modellen kan fås fra en til seks kanaler med en bredde på 320 mm.
4. **Cimbrias SEA.HY:** SEA.HY fra Cimbria bruger hyperspektrale sensorer til at differentiere materialer med den samme farve på deres kemiske sammensætning med en skanningsfrekvens på 2000 Hz. Dette suppleres med Full-Color kamera med høj opløsning, NIR infrarød detektering og en skanningsfrekvens på 25.000 Hz. Luftdyserne kan håndtere op mod 1000 elementer i sekundet.

Alle de ovennævnte maskiner er i stand til at klare komplekse sorteringsproblematikker med høj gennemløb og et nøjagtigt resultat. Cimbrias SEA.HY stikker ud ved at integrere hyperspektrale sensorer som den eneste, og derved være i stand til at differentiere på baggrund af elementernes kemiske komposition. Valget vil afhænge af særlige krav til en sorteringsopgave, hvor man tager højde for faktorer som strøm- og luftforbrug, bearbejdnings tid, sorteringskapaciteter og software-understøttelse. Nogle firmaer i Europa er allerede lykkedes med at opsætte sorteringssystemer, som er tilstrækkelige til at sortere f.eks. linser og havre til humant konsum, f.eks. tyske Lauteracher Alb-Feld-Früchte,¹ lettiske

¹ <https://lauteracher.de/>



Arei² og franske Qualisol.³ En af de primære barrierer for at samdyrke linser og havre er den relativt store omkostning forbundet med at sortere kernerne efter høst, som kan løbe op i adskillige kroner pr. kilo. Der, hvor infrastrukturen allerede er sat op, som f.eks. hos Qualisol, kan prisen presses ned omkring 402 €/t eller omkring 3 DKK/kg:

"To estimate grain sorting costs, we used those also furnished by the agricultural cooperative Qualisol: 11, 11, 45 and 67 € t⁻¹ per pass of, respectively, rotary cleaner, vibratory separator, gravity separator and optical sorter. Note that even when sole cropped, lentil needs to be thoroughly sorted (two passes of each tool for a total of 268 € t⁻¹) to remove all stones, dust, and broken and bruchid-damaged grain from marketable grain. Intercrop grain mixtures are sorted similarly to sole cropped lentil but with four passes of optical sorter (total of 402 € t⁻¹). As a comparison, the sole cropped wheat grains only need one pass of each cleaner/separator and no optical sorting (total of 67 € t⁻¹)" (Loïc et al., 2018)

Som det også fremgår af citatet ovenfor, ligger der allerede en udgift i at rense afgrøderne hvis de *ikke* er samdyrket, hvilket skal tages med i vurderingen af den samlede merudgift ift. sortering af samdyrkede afgrøder.

3. Anvendelse af Computer Vision (CV) og AI i Kornsortering: Nutid og fremskrivning

Anvendelsen af moderne CV-teknikker er blevet en værdifuld ressource inden for mange industrier, herunder landbruget, i takt med at teknologien er modnet over de sidste par årtier. Med machine learning (ML) og kunstig intelligens (AI) er det nu muligt at udvikle systemer, der kan forbedre effektiviteten og nøjagtigheden af optical sorting-processer i en samdyrkningskontekst ud over det, der kan opnås med rent sensorbaserede løsninger. Ved at træne effektive CV-modeller med ML, kan man muliggøre identifikation af mere subtile og komplekse karakteristika såsom tekstur, mønster, og endda biokemisk sammensætning, når de kombineres med hyperspektral billedbehandling.

Moderne CV-systemer, især dem baseret på dybe neurale netværk som YOLO (You Only Look Once), har vist imponerende resultater i objekt-detektion (object detection), som er den CV-opgave, man skal løse i optisk sortering. Objekt-detektion indebærer at identificere og lokalisere alle tilfælde af en given type af objekt (se f.eks. Figur 2). Ultralytics' YOLOv8⁴ er et eksempel på en state-of-the-art objekt-detektionsmodel, der kan behandle billeder med en hastighed ned til 1 ms per frame med specialiseret hardware og omkring 100 ms per frame på standard CPU-hardware. Med få ms per frame er det teknologisk muligt at anvende computer vision i realtid i optisk sortering, hvor det er nødvendigt at processere et stort antal kerner hurtigt og præcist med mange billeder i sekundet. Derudover er det væsentligt at

² <https://www.arei.lv/lv>

³ <https://www.qualisol.fr/fr/>

⁴ <https://docs.ultralytics.com/models/yolov8/#overview>



holde sig for øje, at CV-modeller ikke kun behøver virke i det visuelle spektrum, men også kan køre på andre sensorinputs som f.eks. NIR, NIT og hyperspektrale sensorer.



Figur 2: Eksempel på output fra en YOLOv8 model, som er trænet af Teknologisk Institut til at genkende og tælle hvedeaks i dronebilleder taget med højopløsningskamera.

Dette åbner op for muligheden for at udskille kerner baseret på egenskaber, der ikke let kan detekteres eller frasorteres med traditionelle metoder, som f.eks. mindre synlige defekter eller kvalitetsvariationer, der kan være kritiske for forbrugerens opfattelse af produktets kvalitet. Ved at integrere sådanne ML-modeller i optisk sortering, kan man yderligere forøge nøjagtigheden af kornsorteringen af samdyrkede



afgrøder som linser og havre, og muligvis derigennem sænke antallet af gange, kornblandingen skal gennem sorteringen for at blive ren nok.

Det er dog vigtigt at bemærke, at anvendelse af ML i optisk sortering også indebærer visse udfordringer. Træning af præcise og robuste ML-modeller kræver store mængder af høj kvalitetsdata, og systemerne skal kunne tilpasse sig variationer i input-data for at forblive effektive under forskellige forhold. Derudover kan implementeringen af disse avancerede systemer kræve betydelige investeringer i hardware og software, såvel som i udvikling og vedligeholdelse af modellerne.

Til trods for disse udfordringer, tegner anvendelsen af ML og AI inden for kornsortering til at være en spændende mulighed, som har potentiale til at revolutionere branchen. I forhold til eksisterende sensorbaserede løsninger som NIT, NIR og farvesortering, kan ML-drevet computer vision tilbyde en mere omfattende løsning, som ikke kun øger effektiviteten og nøjagtigheden af sorteringen, men også forbedrer den samlede værdi af det endelige produkt. Et spændende perspektiv, som allerede bruges i nogen grad i industrien, er at træne stærke *foundation models*, som ved hjælp af store datamængder er trænet til at udføre komplekse visuelle opgaver. Sådanne modeller er som udgangspunkt lette at "finjustere" til nye opgaver, da de allerede har lært en rig repræsentation af dataen, og de kan også bruges til at "instruere" mindre og mere beregningseffektive modeller i at udføre specifikke opgaver. Dermed kan man forestille sig, at fremtidens optiske sorteringsmaskiner ved hjælp af disse *foundation models* let kan kalibreres til nye opgaver ved, at et rent parti af hver kerne i den nye sortering sendes gennem modellen først, hvorefter den lærer at adskille disse fuldkomment automatisk. Et eksempel på en sådan tilgang kan findes hos Autodistill-projektet,⁵ som dog endnu ikke er integreret i optiske sorteringsmaskiner.

Som vi ser fremad, vil fortsatte fremskridt inden for computer vision og ML sandsynligvis yderligere forbedre den teknologiske kapacitet og tilgængeligheden af avancerede sorteringsløsninger. Dette vil give landmænd og producenter nye værktøjer til at imødekomme de stigende krav til kvalitet og bæredygtighed i landbrugsproduktionen, og det vil yderligere sænke barrieren for at lave samdyrkning af afgrøder til humant konsum.

4. Konklusion

Notatet har præsenteret en grundig gennemgang af den nuværende teknologi og metoder inden for enkeltkernesortering af samdyrkede afgrøder, med særligt fokus på optisk sortering af linser og havre. Effektiv og økonomisk enkeltkernesortering er afgørende både for at maksimere udbyttet og kvaliteten af afgrøderne, men også for at opnå en høj ressourceeffektivitet og en forbedret økonomisk gevinst for landmanden.

⁵ <https://github.com/autodistill/autodistill>



Blandt de vigtigste teknologier på det europæiske marked, som er blevet fremhævet, er Bühler Groups SORTEX A-serie, Satake Corporations EVOLUTION® Serie og Cimbrias SEA.IQ- og SEA.HY-maskiner. Disse teknologier tilbyder avancerede løsninger til sortering baseret på forskellige parametre som størrelse, farve, form, og endog kemisk sammensætning ved hjælp af NIR og hyperspektrale sensorer. Disse systemer er allerede succesfuldt implementeret af europæiske virksomheder og demonstrerer potentialet for at reducere omkostningerne ved sortering af samdyrkede afgrøder.

Anvendelsen af computer vision (CV) og kunstig intelligens (AI) i kornsortering har vist sig at være i hastig udvikling. Integreringen af ML-modeller i optiske sorteringsprocesser har potentialet til at øge nøjagtigheden og effektiviteten betydeligt. Med teknologier som YOLO (You Only Look Once) og andre objekt-detektionsmodeller, kan man opnå en mere dybdegående analyse af afgrøderne, som muliggør identifikation af selv minimalt synlige defekter eller kvalitetsvariationer, der er afgørende for forbrugerens opfattelse af kvalitet.

Til trods for det store potentiale, der er forbundet med anvendelse af CV og AI, er der også udfordringer som skal overvejes. Blandt disse er behovet for store mængder træningsdata og den foranderlige natur af input-data, som kræver at systemerne er adaptive. Desuden kan implementeringen af avancerede systemer kræve væsentlige investeringer.

I lyset af den fremskredne teknologi og de løbende forbedringer inden for CV og ML, er det sandsynligt, at fremtidens sorteringsløsninger vil blive endnu mere avancerede, effektive og tilgængelige. Dette vil ikke alene styrke kvaliteten og bæredygtigheden af landbrugsproduktionen men også sænke barriererne for produktion og sortering af samdyrkede afgrøder til humant konsum.

Afslutningsvis kan det konkluderes, at den nuværende state-of-the-art inden for enkeltkornsortering er robust og avanceret, men med fortsat innovation inden for AI og CV, er der et betydeligt potentiale for yderligere forbedringer. Disse teknologier kan revolutionere kornsortering og skabe nye muligheder for landmænd og producenter, hvilket vil understøtte en mere effektiv og bæredygtig landbrugssektor.

5. Literatur

Loïc, V., Laurent, B., Etienne-Pascal, J. *et al.* Yield gap analysis extended to marketable grain reveals the profitability of organic lentil-spring wheat intercrops. *Agron. Sustain. Dev.* **38**, 39 (2018). <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0515-5>

Timaeus, Johannes. "Species mixtures for lentil production in Germany (ReMIX Practice Abstract)." (2020): 1-2.



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**