

KVANTIFICERING AF **AFGRØDERS** **UDBYTTEPOTENTIAL**

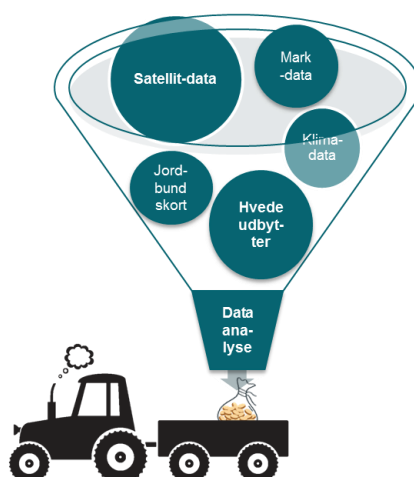


Kvantificering af afgrøders udbyttepotentiale

Af Kathrine Hauge Madsen, SEGES

Sammendrag

Den videnskabelige og anden litteratur er gennemgået med henblik på at udpege metoder til kortlægning af det potentielle udbyttepotentiale hen over en mark. Der er flere metoder til at beregne udbyttepotentiale, hvor nogle af disse benytter satellitfoto eller sensorer og simuleringsmodeller, mens andre benytter data om markens egenskaber. Litteraturen viser, at det er muligt at lave mere præcise modeller for gradueret tildeling, ved at benytte sensormåling tidligt i sæsonen til også at fastsætte det potentielle udbytte, men også at der er betydelig usikkerhed på sammenhængen mellem sensormåling ved tildeling af f.eks. kvælstofgødning og det reelle høstudbytte. I USA har man udviklet INSEY-modellen, som benytter afgrødesensorer og de såkaldte maksruder i marken, hvor afgrøden er optimalt gødsket. Udbyttekort kan bruges til at definere management zoner, men det anbefales, at man bygger disse på mindst tre års udbyttekort. Management zoner kan beregnes ud fra flere datatyper. Litteraturgennemgangen tyder på en betydelig usikkerhed forbundet med at forudsige høstudbyttet hen over marken med de anvendte metoder.



Projektet Big Data i planteavl skal bl.a. sikre, at gevinster ved at optimere dyrkning på basis af store datamængder realiseres og havner på landmandens bundlinje.

Forord:

Der er i regi af projektet "Big Data i planteavlen" gennemført en litteraturgennemgang om beregningsmetoder til at bestemme afgrøders udbyttepotentiale, da udbyttepotentialet kan bruges til optimering af inputfaktorer og udbytteprædiktion. I forbindelse med præcisionsjordsbrug, hvor man ofte graduerer tildeling via algoritmer, er disse algoritmer ofte baseret på landmandens vurdering af afgrøden/markens samlede udbyttepotentiale. Med de nye muligheder, som dels ligger i en præcis opgørelse af høstudbytte hen over marken, detaljerede klimadata og sensormålte biomasse i løbet af vækstsæsonen, varsling af skadedyr og sygdomme samt ikke mindst landmandens registreringer, åbnes nye muligheder for at en mere præcis og detaljeret kortlægning af både markens udbyttepotentiale og det forventede høstudbytte.

Indhold

Sammendrag	1
Forord:	2
Materialer og metode.....	3
Udbyttegabet - Potentielt opnåeligt udbytte versus det reelle udbytte	3
Hvilken betydning har klimavariationer?	4
Udbytteprædiktion i vækstsæsonen	5
Udbytteprognose ud fra lineære sammenhænge mellem Yara-N-sensor (SN-værdi) og udbyttmåling.....	6
Fra sensormåling til optimal N-tildeling via udbytteprædiktion – INSEY-metoden	6
Udbyttmålere og brug af udbyttedata	9
Management-zoner.....	11
Algoritmer og værktøjer til at definere management-zoner	13
Litteraturliste	13

Materialer og metode

Litteraturen er søgt via Web-of-Science i kombination med almindelig 'Google-søgning'. Web-of-Science søgningen gav følgende antal relevante artikler på søgeord:

- "crop and yield and potential"	16.981
- Ovenstående og "assess* or determin* or estima* or calcula*" og "wheat* or barley or rape* or beet* or grass*" I årene 2015-17, og begrænset til landbrugs og planteområdet	509, som blev screenet for relevans
- "maximum yield potential" and "wheat or maize" and "management zones"	36 hits, som blev screenet for relevans

I det følgende er litteraturen screenet for informationer om metoder til at opgøre udbyttepotentiale og det reelle høstudbytte, usikkerhed i udbytteprædiktion, samt identifikation af management zoner ud fra viden om udbyttepotentiale i marken.

Udbyttegabet - Potentielt opnåeligt udbytte versus det reelle udbytte

Et stort antal videnskabelige artikler fokuserer på behovet for en øget afgrødeproduktion. For at kvantificere, hvor langt det nuværende afgrødeudbytniveau ligger i forhold til det potentielle, er der bl.a. sat 'the Global Yield Gap Atlas' (GYGA) initiativ i gang, se <http://www.yieldgap.org>. Typisk kvantificeres disse udbyttegab ud fra forskellen mellem simuleret opnåeligt afgrødeudbytte og de reelle udbytter, men der er en række andre tilgange.

Der er defineret flere typer potentielle udbytter: Y_p eller PY er eksempelvis typiske forkortelser for det maksimalt opnåelige udbytte, Y_w eller PY_w angiver det maksimalt opnåelige udbytte uden vanding, F_Y, Y_{HFY} eller Y_a angiver det maksimalt målte udbytte hos kommercielle landmænd i området, mens Y_f eller F_Y angiver det aktuelle gennemsnitsudbytte hos kommercielle landmænd, se tabel 1 for en oversigt over udbyttedefinitioner (Fischer et al., 2009; Wart et al, 2013; van Ittersum, 2013).

Der er flere tilgange til at beregne udbyttepotentiale: En af metoderne er markforsøg med en højtydende sort dyrket under de bedste management betingelser og uden udbyttebegrænsende faktorer eller skadevoldere og konkurrence fra ukrudt. Under vandbegrænsede forhold, som f.eks. Australien, har man benyttet en modificeret vandbalance tilgang. Den nok den mest anvendte metode er dog at anvende afgrødesimuleringsmodeller. I nogle tilfælde har man også kombineret simuleringsmodeller med data fra satellitfoto, dog i mindre grad på markniveau (Anderson et al., 2016). Endeligt nævnes også afgrødespecifikke udbyttekonkurrencer mellem marker, som en mulig metode til at fastslå udbytte potentiale (f.eks. Murrel & Childs, 2000).

På GYGA-hjemmesiden (<http://www.yieldgap.org/denmark>) har bl.a. Jørgen E. Olesen, Aarhus Universitet sammenholdt gennemsnitsudbyttet i hvede og byg med det potentielt opnåelige uden supplerende vanding. Disse beregninger viser et gennemsnitligt udbyttegab på hhv. 0,9 og 2,6 t pr ha svarende 12 og 33 % i dansk produktion af hvede og byg i forhold til det maksimalt opnåelige under uvandede forhold.

Boogaard et al. (2013) finder et udbyttegab for dansk vinterhvede på 3-4 t tørstof hvedeudbytte pr. ha i forhold til maksimalt potentielt udbytte for vandet hvede, og 0-1 t udbyttetab i forhold til uvandet maksimalt opnåeligt udbytte, hvilket stemmer overens med resultatet fra GYGA ovenfor.

Tabel 1. Eksempel på definitioner af udbytte (fra Fischer et al., 2009).

Udbytte	Symbol	Definition	Typisk Kvantificering
Gennemsnitligt afgrødeudbytte på mark	FY eller Yf	Gennemsnitsudbytte opnået af landmænd i en bestemt region over flere sæsoner	Regionale eller nationale statistikker
Vandbegrænset potentielt udbytte	Yw eller PYw	Maksimalt udbytte under normal uvandede forhold, dvs. vand er den eneste begrænsning	Meget kontrollerede markforsøg eller modeller eller udbyttekonkurrencer
Potentielt udbytte	Yp eller PY	Maksimalt udbytte med seneste sorter, optimalt input inkl. vand, og under normale lys, temperatur og daglængde.	Meget kontrollerede markforsøg med nyeste sorter eller modeller eller udbyttekonkurrencer
Økonomisk opnåeligt udbytte	AYa	Det økonomisk optimale udbytte ved givne priser på markedet	On-farm forsøg eller afgrøde modeller

Et Hollandsk studie konkluderer, at udbyttegabet i hollandsk planteavl ligger på ca. 30 % af det maksimale opnåelige. I dette studie er der en statistisk sikker årseffekt i hovedparten af afgrøderne, og de konkluderer, at udbyttevariation i højere grad er forbundet med, hvordan man håndterer udbyttereducerende faktorer som sygdomme, skadedyr og ukrudt, end med vækstbegrænsende faktorer, som næringsstoffer (Silva et al., 2017).

I et tilsvarende studie for hvededyrking i Tyskland lå udbyttegabet på 20%, mens uvandet majs i USA lå på 23 % af det maksimale opnåelige udbytte med ubegrænset vand (Wart et al, 2013). For de højtydende afgrødesystemer angav van Wart et al. (2013) et udbyttegab på 15-25 %, hvilket blev forklaret med aftagende merværdi ved at tilføre mere input, når udbyttet nærmer sig udbytteløftet, samt de socio-økonomiske begrænsninger, som landmænd er underlagt.

I andre dele af verden viser beregningerne, at udbyttegabet er væsentligt højere, f.eks. 47 % i udvandet australsk hvededyrking (Gorbbett et al., 2016) og 41% for hvede og majs dyrket i Argentina (Merlos et al., 2015). Fisher et al. 2009 lavede en oversigt over hvedeudbytter, som viste, at udbyttegabet lå på 35-50 % i Indien, Vestaustralien, midt-staterne i Nordamerika og det østlige Kina, mens Storbritannien lå på et udbyttegab på 25 % af det maksimale udbytte.

Et studie med 10 års regionale data fra Alberta, Canada viste et udbyttegab på mellem 32-59 % i hvede, 18-60 % i byg og 20-54 % i Canola (raps og rybs). I dette studium opdelte man udbyttegabet i to dele: management gabet, som var på 24, 25 og 30 %, og det genetiske gab, som lå på 12,4, 13, 4 og 7,9 %, i hhv. hvede, byg og Canola (Chapagain & Good, 2015).

Konklusion: I Danmark viser litteraturen, at vi i forhold til andre verdensdele er forholdsvist tæt på det opnåelige udbytte i vinterhvede uden vanding, men der er fortsat mulighed for at øge udbyttet.

Hvilken betydning har klimavariationer?

I et review om effekten af klimavariationer på afgrøder angiver Porter og Semenov (2005 efter Monteith 1981), at 12 % af udbyttevariationen i vintersæd på lerede jorde kunne forklares ud fra variationer i temperatur, nedbør og indstråling, hvor temperatur og nedbør havde 3-4 gange så stor indflydelse på variationen som lysindstrålingen. Porter og Semenovs review, af hvordan temperatur påvirker vækst, viser at temperaturkravene for hvede ligger nogenlunde på samme niveau i de forskellige studier. Selv kortvarige ekstreme temperaturer kan derfor betyde store udbyttetab.

I en undersøgelse af klimaets effekt på udbyttevariationer i maj i Frankrig varierede betydningen af temperatur, nedbør og indstråling alt afhængig af hvilket område af Frankrig, der var tale om (Ceglar et al., 2016).

Der findes et gratis værktøj 'the crop yield predictor', se tabel 4, som kan estimere udbyttet ud fra vandbalance, den er dog kun kalibreret til forholdene i Kansas, USA (Klocke et al. 2010).

Udbytteprædiktions i vækstsæsonen

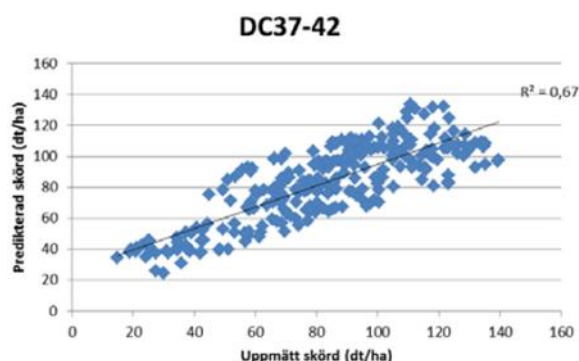
Et svensk review af Engström og Pikki (2016) gennemgår i litteraturreviewen tre strategier for at lave udbytteprognose ud fra sensormålinger. Den første metode er på et bestemt udviklingsstadium af afgrøden, at finde sammenhængen mellem sensormålte reflektans og udbyttet ved høst (se det svenske studium nedenfor). Den anden metode er at benytte reflektans og graddage, som prediktorer for udbytte (f.eks. INSEY). Endeligt nævner forfatterne en kombination af sensormålinger og afgrødemodeller. Der er selvfølgelig også andre måder at bestemme udbyttepotentiale på end ved hjælp af sensormålinger af afgrødens biomasse, f.eks. ved at benytte målinger og kort af markens egenskaber f.eks. jordbund, topografi, EM38 osv. (Franzen og Kitchen). Et eksempel på en mere utraditionel og næppe særligt præcis måde til at forudsige afgrødens udbytte finder man i Miller og Bean (1999), som anvendte optælling af skud per m² samt antagelse om antal frø pr. aks og kernestørrelse til tidligt i sæsonen til at forudsige udbyttet. I de følgende afsnit lægges der vægt på de sensorbaserede metoder til at prædiktere høstudbytte.

Tabel 2. Gennemsnitstemperatur og standardafvigelse for hvede på forskellige udviklingsstadier, n er antal litteraturkilder som indgår i beregning af gennemsnit og standardafvigelsen (TL~dødelig temperatur, T_{min}/T_{max}~hhv. minimum og maksimum basistemperatur) (fra Porter & Semenov 2005).

	Variabel	Gennemsnitstemperatur ± s.e. (°C)	n
Processer			
Dødelige temperaturgrænser	TL _{min}	-17,2 (1,2)	17
	TL _{max}	47,5 (0,5)	2
Bladsætning	T _{min}	-1,0 (1,1)	12
	T _{opt}	22,0 (0,4)	9
	T _{max}	24,0 (1,0)	5
Skudvækst	T _{min}	3,0 (0,4)	5
	T _{opt}	20,3 (0,3)	6
	T _{max}	>20,9 (0,2)	6
Rodvækst	T _{min}	2,0	1
	T _{opt}	<16,3 (3,7)	3
	T _{max}	25,0 (5,0)	3
Faser			
Såning til fremspiring	T _{min}	3,5 (1,1)	8
	T _{opt}	22,0 (1,6)	11
	T _{max}	32,7 (0,9)	10
Vernalisering	T _{min}	-1,3 (1,5)	6
	T _{opt}	4,9 (1,1)	11
	T _{max}	15,7 (2,6)	7
Skudsætning	T _{min}	1,5 (1,5)	2
	T _{opt}	10,6 (1,3)	5
	T _{max}	>20,0	1
Blomstring	T _{min}	9,5 (0,1)	3
	T _{opt}	21,0 (1,7)	2
	T _{max}	31,0	1
Kerneyldning	T _{min}	9,2 (1,5)	6
	T _{opt}	20,7 (1,4)	7
	T _{max}	35,4 (2,0)	5

Udbytteprognose ud fra lineære sammenhænge mellem Yara-N-sensor (SN-værdi) og udbyttmåling

Engstrøm & Pikki (2016) har undersøgt Yara N-sensorens evne til at forudsige kerneudbyttet i vinterhvede. På basis af målinger i 39 vinterhvedeforsøg over 3 år kunne de forudsige udbyttet ved stadie 37-42 med en prædiktionsfejl på 1,8 hkg/ha, se fig. 1. De vurderer samtidig, at 3 års data er for lidt til at lave en stabil udbytteprognosemodel. Samtidig anbefaler de, at man benytter hele N-sensorens spektre af bølgelængder i multivariate modeller for at forbedre prognosemodellen, hvilket i et norsk studie (Øvergaard et al., 2013) kunne forklare betydeligt mere af variationen i marken. De konkluderer endvidere, at der skal mere forskning til, hvis udbyttepotentialet skal baseres på en kombination af udbytteprognosemodeller eller / og sensormålinger og konkluderer, at den simpleste strategi vil være at lave et relativt udbyttekort baseret på forrige års udbyttekort og derefter manuelt sætte udbytteniveauet ud fra erfaring med marken.



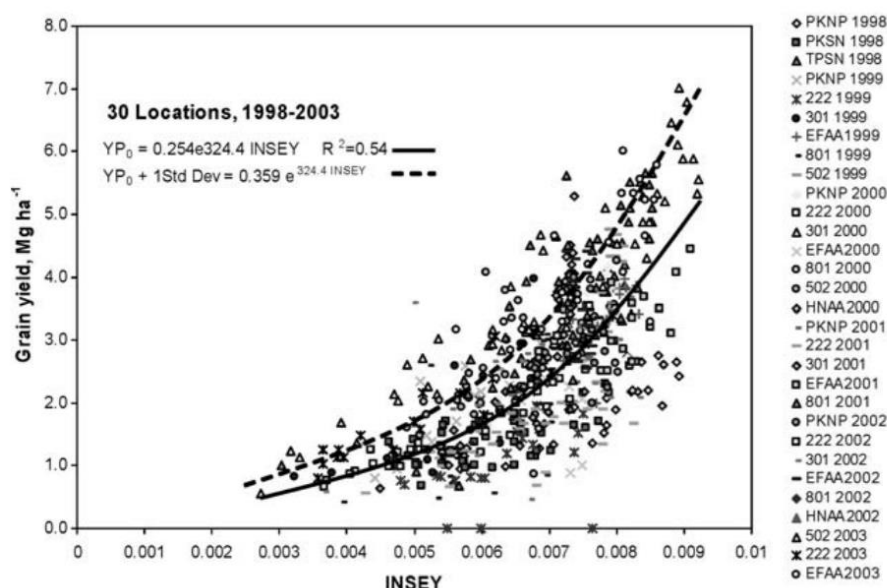
Figur 1. Valideret model for sammenhæng mellem udbytte og SN-værdi (Yara N-sensor) ved DC37-42 (fra Engstrøm & Pikki 2016)

Brug af de såkaldte 'Maksruder' i svenske forsøg

I det svenske studie er også anvendt de såkaldte maksruder (som også indgår til at kalibrere i Frantzens modeller nedenfor), som er felter i marken uden kvælstofbegrænsning. I det svenske studie kunne disse forbedre fastsættelsen af det potentielle udbytte ved stadie 37-42, idet der var god sammenhæng mellem differencen i SN-værdi og differencen i udbytte. I Sverige arbejder man derfor videre med både maksruder og 0-ruder til at kunne bedømme kvælstofbehovet ud fra forventede udbyttedifferencer, men der er ingen officielle beregningsmetoder for, hvordan man skal bruge disse målinger.

Fra sensormåling til optimal N-tildeling via udbytteprædiktion – INSEY-metoden

Franzen et al. (2014) angiver en metode for North Dakota, som er baseret på resultater fra markforsøg med majs i dette område. Som forfatterne skriver, så antager algoritmen, at kvælstof er den eneste årsag til forskelle i udbytte – hvilket ikke altid er tilfældet i praksis. Der er udarbejdet forskellige algoritmer, som



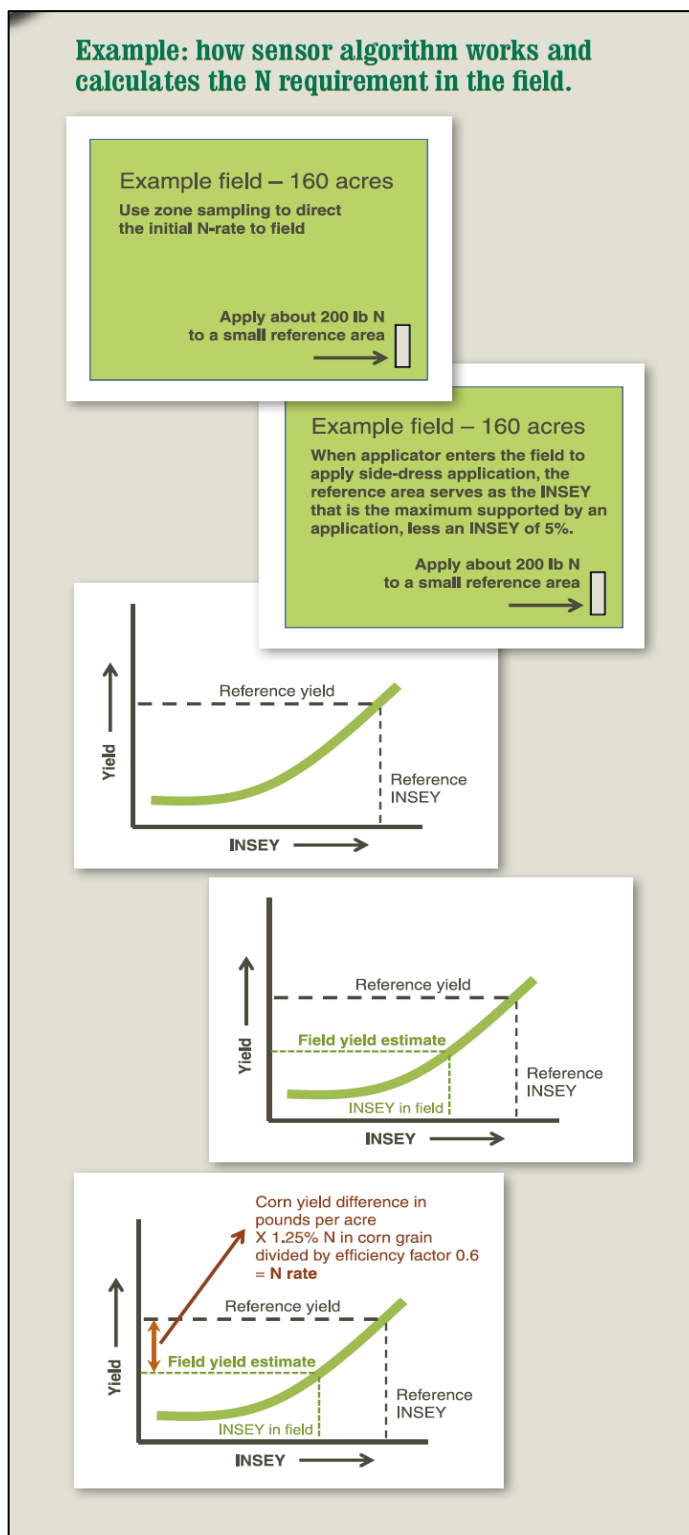
Figur 2. Sammenhæng mellem høstudbytte i hvede og INSEY-modellen (NDVI målt i BBCH 20-31, divideret med antal dage fra såning til måling enten målt som dage, hvor vækst er mulig eller graddage > 0, fra Raun et al. 2005).

passer til enten CropCircle eller GreenSeeker til majs på forskellige jordtyper i North Dakota.

I praksis etableres et afgrænset felt i marken, som tildeles kvælstof, så man er sikker på, at kvælstof ikke er den begrænsende faktor. Der skal være tilstrækkelig med kvælstof før såning til at sikre en generelt sund afgrøde. Når der skal tilføres kvælstof i den voksende afgrøde, indtaster man grad-dage fra såning i computeren for at kunne benytte INSEY-modellen (IN-Season Estimate of Yield), se fig. 2 (Raun et al. 2002). Når man kører ind i marken med gødnings-spreaderen, køres først over feltet med ubegrænset kvælstof og gennemsnitsbiomasse-værdien i dette felt indtastes. Hvis resten af marken ligger mere end 5 % lavere i biomasse-indeks, så forudsiger programmet et mindre udbytte, hvis der ikke tilføres kvælstof. Forskellen mellem prædikerede udbytte i det kvælstofubegrænsede felt og markens øvrige områder bruges til at beregne kvælstoftilførslen, se figur 3. fra Franzen 2014.

Lukina et al., 2014 fandt, at NDVI delt med antal af dage fra såning frem for graddage var bedre korreleret med de målte udbytter, og faktisk var NDVI alene, i dette studie, en ligeså god prædikator for udbytte, som NDVI delt med graddage.

Franzen et al. (2016) har gennemgået flere fremgangsmåder for at bestemme udbytte-potentiale. I den såkaldte Holland Scheper algoritme for N-tildeling laves en virtuel reference i marken ved at køre igennem den del af marken, hvor variationen er stor, den øverste 5 % værdi bruges som referenceudbytte. Generelt om disse metoder, advarer forfatteren dog om, at svovlmangler kan give et helt forkert billede, samtidig kan jordparametre være signifikant forskellige indenfor en afstand af 1 m. De kommer dog frem til, at prædiktion af udbyttepotentiale i sæsonen er mulig ved at benytte NDVI, sådato, måledato og graddagssum. Samtidig gør de dog opmærksom på, at analyser af de



Figur 3. Variabel N-gødningstildeling efter den såkaldte IN-SEY-metode 'In-Season Estimate of Yield' (fra Franzen et al. 2014).

øvrige makro- og mikronæringsstoffer er vigtige for at kunne træffe korrekt beslutning om, hvilket kvælstofbehov afgrøden har.

Kritik af on-the-go-metoderne

Mulla (2016) kritiserer i et review on-the-go sensormetoderne med GreenSeeker, Yara-N og Crop Circle sensorerne, og brug af referencestriber eller -felter med tilstrækkeligt gødningstilførsel, idet de skal placeres strategisk i marken for at kunne være repræsentative for variationen i jordtype og landskab indenfor marken. Dertil kommer, at der er andre effekter af kraftig gødning f.eks. lejesæd i hvede eller overdreven top-vækst i kartofler, som vil være en konsekvens af ubegrænset N-tilførsel i et felt. Forfatteren foreslår endvidere, at der arbejdes med alternative vegetationsindeks (ikke kun NDVI) og gentagne målinger. Se eksempler på vegetationsindeks i tabel 3 nedenfor.

Tabel 3. Multispektrale vegetationsindeks, som kan anvendes i præcisionslandbrug. G er grøn reflektans, NIR og R er hhv. infrarød og rød reflektans (fra Mulla 2013)

Index	Definition	Reference
NG	$G/(NIR + R + G)$	Sripada et al., 2006
NR	$R/(NIR + R + G)$	Sripada et al., 2006
RVI	NIR/R	Jordan, 1969
GRVI	NIR/G	Sripada et al., 2006
DVI	$NIR - R$	Tucker, 1979
GDVI	$NIR - G$	Tucker, 1979
NDVI	$(NIR - R)/(NIR + R)$	Rouse et al., 1973
GNDVI	$(NIR - G)/(NIR + G)$	Gitelson et al., 1996
SAVI	$1.5 * [(NIR - R)/(NIR + R + 0.5)]$	Huete, 1988
GSAVI	$1.5 * [(NIR - G)/(NIR + G + 0.5)]$	Sripada et al., 2006
OSAVI	$(NIR - R)/(NIR + R + 0.16)$	Rondeaux, Steven, & Baret, 1996
GOSAVI	$(NIR - G)/(NIR + G + 0.16)$	Sripada et al., 2006
MSAVI2	$0.5 * [2 * (NIR + 1) - \sqrt{4 * (NIR + 1)^2 - 8 * (NIR - R)}]$	Qi, Chehbouni, Huete, Keer, & Sorooshian, 1994

Tabel 4. Eksempler på software udviklet til at bestemme potentielt afgrødeudbytte

Software navn	Model	Web-adresse
Potential yield tool	Yield (tonnes/ha) = WUE* (stored soil water + growing season rainfall - evaporation)	https://www.agric.wa.gov.au/climate-weather/potential-yield-tool
Crop Yield Predictor (deficit irrigated crops)	CYP uses a daily soil water balance coupled with computations of effective evapotranspiration (ETe) to predict crop yields from regional yield-ET-relationships	http://www.bae.ksu.edu/mobileirrigationlab/crop-yield-predictor
MARS Crop Yield forecasting system of the European Commission	MARS is based on weather data, crop simulation results, and remote sensing data, these are used to make crop specific end-of-season yield forecasts.	https://marswiki.jrc.ec.europa.eu/agri4cast-wiki/index.php/Welcome_to_WikiMCYFS

Konklusion: Der er i litteraturen forsøgt flere sensorbaserede metoder til tidligt i sæsonen at kunne bestemme det forventede høstudbytte ved tildeling af kvælstof. Litteraturen viser endvidere, at de sensorbaserede metoder forbedrer præcisionen ved dosering af input. En svaghed ved kvælstofalgoritmerne er dog, at det antages, at kvælstoftilgængeligheden er den eneste variabel, som bestemmer udbyttet. INSEY-tilgangen i kombination med lokalt tilpassede udbytteprædiktions-modeller (Frandsen, 2014) kunne være interessant at afprøve under danske forhold, men det vil kræve forudgående kendskab til sammenhængen mellem reflektans-måling og høstudbytte under lokale danske forhold.

Udbyttmålere og brug af udbyttedata

Franzen et al. (2018) anbefaler for det første, at landmanden vælger en udbyttmåler-terminal, som kan eksportere data i txt-format, fordi dette format let kan indlæses i regneark og GIS-programmer. Dernæst skal man være opmærksom på, at der er en del fejlkilder i datasættet, disse omfatter delvis høst i skærebordets bredde, forsinkelse mellem høstprocessen og udbyttmålerens registrering af udbytte, og tilsvarende forsinkelse før udbyttmåleren stopper registrering af udbytte, når der ikke høstes. Det sker også, at kornet klumper sig sammen, så man får store udsving i registreringen. Data skal derfor 'renses' for fejl før de kan bruges. En af de nemmeste 'rense'-metoder er at fjerne outliers. Der findes et gratis 'rense'-program, Yield Editor, som kan downloades, hvilket er beskrevet nærmere af Sudduth et al. (2012), se tabel 4.

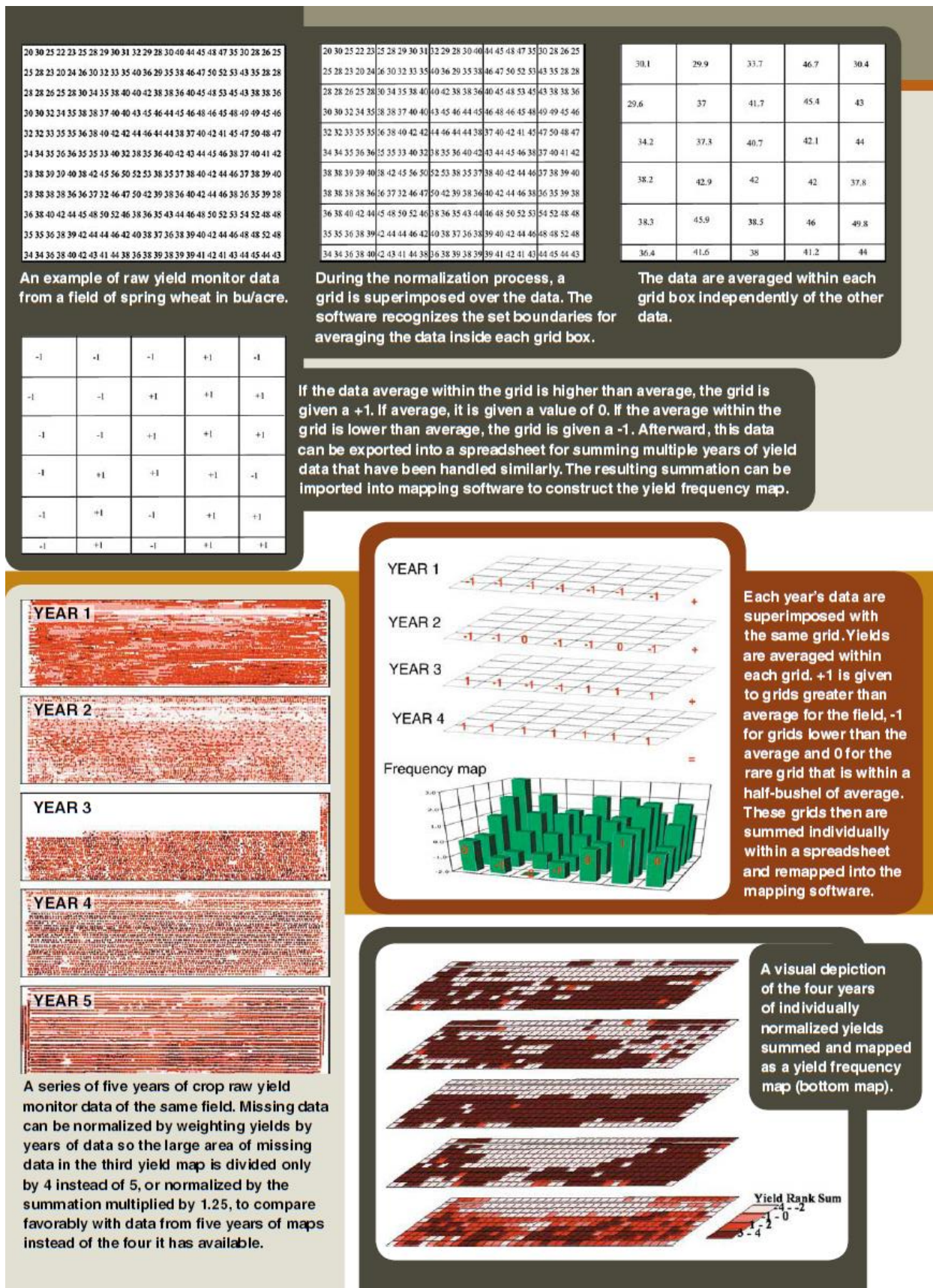
Muhammet et al. (2016) har sammenholdt forskellige udbyttedata-rensnings software og fandt, at det amerikanske udviklede program YieldEditor ikke duede til engelske forhold, hvorimod de to engelsk udviklede programmer Auto-N og ROTH-YE gav pålidelige resultater. De to britiske programmer er dog ikke frit tilgængelige (Daniel Kindred, ADAS, mundtlig kommunikation d. 3. maj. 2018).

Tabel 5. Eksempler på frit tilgængeligt software til at rense udbyttedata

Navn	Model	Web-adresse
Yield Editor Version 1.02	If the data average within the grid is higher than average, the grid is given a +1. If average, it is given a value of 0. If the average within the grid is lower than average, the grid is given a -1	https://www.ars.usda.gov/research/software/download/?softwareid=20
Yield Editor 2.0.7		https://www.ars.usda.gov/research/software/download/?softwareid=370

Franzen et al. (2018) anbefaler endvidere at vise udbyttet i større zoner og udbytt-niveauer for at undgå de mange udsving i måledata. Forfatterne anbefaler endvidere, at udbyttekort også kan bruges til at forudsige fremtidigt udbyttepotentiale, da der typisk er en sammenhæng mellem forrige års høstudbytte og tilgængeligheden af visse næringsstoffer i jord, som f.eks. kvælstof. De konkluderer endvidere, at "et års udbyttekort ikke er nær så godt, som flere (multi) års udbyttekort. Et multiårs udbyttekort betegner forfatterne også for et "udbytte-frekvenskort". I udbyttefrekvenskort skal udbytterne normaliseres til relative udbytter f.eks. på en skala fra 0-1, hvor de målte udbytter standardiseres i forhold til det højest målte udbytte. En anden mulighed er, at opdele punkterne/felterne i tre kategorier: højere udbytte end gennemsnit, gennemsnit og lavere udbytte end gennemsnitsudbyttet (se figur), hvilket kan give et mere pålideligt kort (Franzen et al., 2018). Et eksempel på et sådan potentielt udbyttekort kan man finde i Diker et al. 2004, hvor der er lavet udbytterespons zonekort for to marker i Colorado på baggrund af 3 års høstdata. Resultatet viste, at 42-43 % af zonerne konstant lå over gennemsnitsudbytte, 6-17 % af zonerne lå konsekvent lavere en gennemsnitsudbyttet, hvilket betyder at udbyttet fluktuerede i de resterende 40-50 % af markernes zoner.

MacKenzie (2016) har lavet en kort vejledning om management-zoner, hvor de netop om udbyttekort konkluderer, at udbytteforskelle ikke altid er forårsaget af variable jordfaktorer, men kan skyldes sygdomme, insektangreb eller våde pletter i marken, udbyttekort kan variere betydeligt fra år til år, men det hjælper at kombinere kort fra flere år.



Figur 4. Vejledning i udarbejdelse af udbytte-frekvens kort (fra Franzen et al., 2018).

Management-zoner

Management-zoner er markområder, som grundet homogene egenskaber i landskab og jordbundsegenskaber, har samme afgrøde udbyttepotentiale og udnyttelseseffektivitet af udsæd, næringsstoffer og vand mm. (Gunzenhauser & Shanahan, 2011).

En masterafhandling har gennemgået videnskabelig litteratur om management zoner. Gennemgangen viser, at der ikke er en bestemt opskrift på, hvordan man beregner management-zoner, og der er flere forskellige metoder i omløb. I en artikel gav topografi, satellit kort og udbyttekort det bedste resultat. En anden artikel benyttede luftfoto, topografi, udbytte, jordprøver og elektrisk ledningsevne. En tredje artikel anvendte top- og sub-jordens egenskaber, elektrisk ledningsevne og topografi, kunne med principal komponentanalyse forklare 67 % af variationen. Andre har brugt georefererede udbyttedata fra flere år. Forfatteren havde selv udfærdiget et management-zonekort i kartofler på baggrund af elektrisk ledningsevne og et optisk jordindeks (Hagos, 2014). Andre igen har brugt en kombination af jordbundsinformation og udbyttedata (Li et al., 2008).

I en engelsk undersøgelse fandt Muhammet et al. 2016, at der på veldyrkede marker var få management-zoner, som kunne forklares ud fra forskelle i jordens næringsstofmængde, derimod kunne vandtilgængelighed i nogle af markerne forklare zonerne.

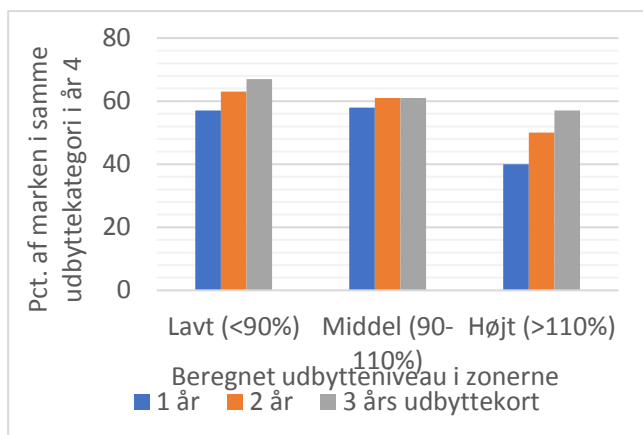
Udbyttekort kan (Gunzenhauser & Shanahan 2011) være udgangspunktet for management zoner, som forfatterne foreslår, at man normaliserer og tager et gennemsnitligt relativt udbytte på positionen samt variations-koefficienten. Herefter foreslår de, at man grupperer arealet efter udbytteklasserne lav, medium og høj. De har et eksempel, hvor man på baggrund af 3 års udbyttekort i år 4 skal prædikere om udbyttet i management zonerne falder i de samme tre kategorier. Resultatet viste, at mellem 57-67 % af udbytterne i zonerne faldt i samme udbyttegruppe i det 4. år, som management zonerne forudsagde, og jo flere års udbyttekort, som indgik til at beregne zonerne, jo mere præcist kunne udbytte niveauet forudsiges, se fig. 5. Deres anbefaling er følgende:

- Brug mindst 3 års udbyttedata til at generere et udbyttepotentiale kort
- Brug kun data, som dækker mindst 85 % af marken
- Inddel marken i 3-4 udbytteklasser

Som alternativ til udbyttekortbaserede managementzoner har de samme forfattere også med held undersøgt muligheder for at lave management zoner ud fra jordprøver-data og on-the-go jordsensorer, som kan måle elektrisk ledningsevne, pH og organisk indhold (Gunzenhauser et al. 2012).

Ortiz 2011 har samlet information om, hvilke data man normalt anvender til management-zoner (Tabel 6) og hvilke data, som egner sig til at kortlægge management zoner for forskellige markoperationer (Tabel 7):

Konklusion: Der er mange metoder og valg af data, som kan bruges til at definere management-zoner i marken, og man kan ud fra den fundne litteratur ikke finde en facitliste på hvilke metoder, der generelt er bedst.



Figur 5. Procent af år 4.'s relative udbytteværdier, som falder i samme udbyttekategori, som udbytteprædiktionen baseret på de forudgående tre års udbyttekort (fra Gunzenhauser & Shanahan 2011).

Tabel 6. Liste over de mest almindelige data-lag, som bruges til at inddele marken i management zoner (fra Ortiz 2011).

Data Layer	Description	Method of data collection
Apparent Soil Electrical Conductivity (Soil EC _a)	Soil EC _a is used as proxy for inferring soil properties such as soil texture, soil water content, soil organic matter, soil depth and cation exchange capacity (CEC).	Commercial sensors available to collect Soil EC _a are 1) VERIS 3100 (direct soil contact sensor) and 2) EM38 (indirect soil contact sensor).
Soil Organic Matter (Soil OM)	Soil OM is positively related to soil fertility.	Regularly spaced grid soil sampling allows the generation of maps depicting the spatial variability of soil OM and soil nutrients. Soil EC _a data allows an indirect assessment of within-field soil OM variability.
Bare soil imagery	Light reflected from the soil could be related to soil properties such as organic matter content or soil texture.	Aerial photography, satellite imagery, or on-the-go sensors such as GreenSeeker or Crop Circle can measure differences in bare soil spectral reflectance.
Soil survey	Order 1 soil surveys have a higher resolution than Order 2 surveys (produced by NRCS), but are not readily available. Soil surveys separate soil units on landscapes, which can become the basis for management zones.	Digital soil surveys (Order 2) are available through Natural Resources Conservation Service (NRCS). http://www.aces.edu/waterquality/gis_data/table_all_ssurgo.php3 http://websoilsurvey.nrcs.usda.gov/app/HomePage.htm
Terrain elevation	Elevation changes are related to soil variability and water movement across landscapes, which can result in crop yield differences.	Elevation data can be collected with RTK-GPS systems used for tractor guidance. Digital Elevation Models (DEMs) available through the USGS can be also used to generate elevation maps.
Terrain slope	Terrain slope, usually derived from elevation data, is related to soil water movement (runoff), soil moisture, erosion, and crop yield	Slope is derived from elevation maps, so any method that collects elevation data can be used for slope map development.
Crop imagery	Remote sensors can detect and quantify differences in plant characteristics based on the amount of reflected light. The evaluation of crop growth is possible by collecting and comparing images at different times.	Multispectral or hyper-spectral sensors mounted on airplanes, satellites or agricultural equipment (e.g., GreenSeeker, Crop Circle) can collect crop spectral reflectance.
Crop Yield	Yield data is a direct measurement of crop productivity. Yield maps are the result of many potential sources of yield variability such as soil fertility, soil physical properties, soil moisture, pest and diseases. The evaluation of multiple years of yield maps can result in the identification of yield productivity patterns, which provide baseline information for SSM. In addition, these data serve as a report card for management strategies.	Geo-referenced yield monitors allow collection of site-specific yield data during harvesting.

Tabel 7. Liste over input til planteavl, som egner sig til graderet tildeling. Samt hvilke data, der oftest er anvendt til at inddele marken i relevante zoner (fra Ortiz, 2011).

Input suitable for VRA or differential management	Data used to delineate management zones
Seeding rate	Soil EC _a , topography, soil survey, historic yield data, soil OM
Nematicides*	Soil EC _a , topography
Lime	Soil EC _a , grid or zone-sampled soil pH, buffer pH, soil survey, topography, bare soil imagery, historic yield data
Nitrogen	Soil texture, soil OM, soil color imagery, crop spectral reflectance using sensors like GreenSeeker or Crop Circle, yield data
Other nutrients	Soil EC _a , crop spectral reflectance, CEC, soil survey
Irrigation	Soil EC _a , soil color imagery, yield data, canopy imagery, soil survey, farmer's knowledge

† Because each field represents a particular combination of yield limiting factors, information provided in this table is only a guide to start management zone delineation.

* Nematicides used to control Southern Root-Knot nematode.

Algoritmer og værktøjer til at definere management-zoner

Informationslagene kan kombineres med forskellige algoritmer: Clusteranalyse (fuzzy c-means clustering) er en almindeligt brugt metode (Li et al., 2008). Fridgen et al., (2000) brugte Fuzzy K-means algoritmen til at lave management-zoner ud fra jordbundsdata og landskabets topografi, men sammenholdt med udbyttekort kunne klassifikationen i zoner kun forklare 10-35 % af udbyttevariationen.

Shaddad et al. (2016) benyttede sig af en kombination af beregningsmetoder til at bestemme management zoner bl.a. multivariat geostatistik (inkl. 'collocated cokriging'). De kunne dog kun forklare ca. 50 % af variationen ud fra jordbundsegenskaber, og forklarede resten med variation i klima, sygdomme og næringsstofmangel.

Der findes gratis værktøjer, se tabel 8., f.eks. 'Management Zone Analysis' udvikles af USDA, ARS, til de midt vestlige stater i USA, vi har dog ikke afprøvet programmet. EZZone udviklet af University of Georgia er afprøvet af SEGES med godt resultat.

Tabel 8. Eksempler på software til at bestemme management zones

Navn	Model	Web-adresse
Management Zone Analyst (MZA) Software	Quantitative, georeferenced field information to mathematically divide a field into natural clusters or zones and also helps determine the optimum number of management zones for each field.	https://www.ars.usda.gov/research/software/download/?softwareid=24
Zoner	Zoner users can assess land resources, analyze the heterogeneity of fields and field variability, and create homogeneous zones with the same yield potential, plan navigation and place points for soil sampling, and create prescription files for VR application of fertilizer, VR seeding and targeted application of crop protection chemicals.	https://zoner.bayer.com/
EZZone	Uses a univariate method of grouping based on minimizing the member deviation from the class mean while maximizing class mean deviation from other classes. It is commonly referred to as Jenks natural breaks optimization. University of Georgia, PrecisionAgTeam.	https://ezzone.pythonywhere.com/

Konklusion: Resultater fra den fundne litteratur tyder på, at management-zoner beregnet ud fra markens egenskaber eller gamle udbyttekort kun vil kunne forudsige en begrænset del af variation i høstudbytte hen over marken.

Litteraturliste

- Anderson W, Johansen C & Siddique KHM (2016) Addressing the yield gap in rainfed crops: a review. Agron. Sustain. Dev. 36:18.
- Boogaard H, Wolf J, Supit I, Niemeyer S, Ittersum M van (2013) A regional implementation of WOFOST for calculating yield gaps of autumn-sown wheat across the European Union. Field Crop Research 143, 130-142.
- Ceglar, A, Toreti, A, Lecerf R, Velde M V der, Dentener F (2016) Impact of meteorological drivers on regional inter-annual crop yield variability in France. Agricultural and Forest Meteorology 216, 58-67.
- Chapagain T & Good A (2015) Yield and production gaps in rainfed wheat, barley and canola in Alberta. Frontiers in Plant Science 6, article 990.
- Diker K, Heermann DF & Brodahl MK (2004) Frequency analysis of yield for delineating yield response zones. Precision Agriculture 5, 435-444.

- Engstrøm L & Piikki K (2016) Skørdeprognos med hjælp av YARA N-sensor. Precisionsodling Sverige. Teknisk rapport nr. 39.
- Fischer RA, Byerlee D & Edmeades GO (2009) FAO Expert Meeting on how to feed the world in 2050 24-26 June 2009. 46 pp.
- Franzen DW & Kitchen NR (?) Developing management zones to target nitrogen applications. Site-Specific Management Guidelines SSMG-5. Kan tilgås på [http://www.ipni.net/publication/ssmg.nsf/0/A5CD47480DAF17D1852579E500765D7B/\\$FILE/SSMG-05.pdf](http://www.ipni.net/publication/ssmg.nsf/0/A5CD47480DAF17D1852579E500765D7B/$FILE/SSMG-05.pdf)
- Franzen D, Sharma LK & Bu H (2014) Active optical sensor algorithms for corn yield prediction and a corn side-dress nitrogen rate aid. Site-specific-farming 5 (SF1176-5), NDSU Extension Service.
- Franzen D, Kitchen N, Holland K, Schepers J & Raun W (2016) Algorithms for in-season nutrient management in cereals. *Agronomy Journal* 108 (5), 1775-81.
- Franzen D, Casey F & Derby N (2018) Yield mapping and use of yield map data. Site-specific-farming 3 (SF1176-3), NDSU Extension Service.
- Fridgen JJ, Fraisse CW, Kitchen NR & Sudduth KA (2000) Delineation and analysis of site-specific management zones. Second International conference on geospatial information in agriculture and forestry, Lake Buena Vista, Florida.
- Gobbett DL, Hochman Z, Horan H, Garcia JN, Grassini P & Cassman KG (2016) Yield gap analysis of rainfed wheat demonstrates local to global relevance. *Journal of Agricultural Science*, 1-18.
- Gunzenhauser B & Shanahan J (2011) Using multiyear yield analysis to create management zones for variable-rate seeding. www.pioneer.com, accessed 3rd Feb. 2018.
- Gunzenhauser B, Shanahan J and Lund E (2012) Utilizing on-the-go soil sensing devices to improve field management zones definition. *Crop Insights* 19, 15, 4 p.
- Hagos TW (2014) Key soil property identification and delineation of management zones in precision agriculture. Centre for Geoinformation, Thesis report GIRS 2014-13, 57 p.
- Ittersum MK van, Cassman KG, Grassini P, Wolf, J, Tittnell P & Hochman Z (2013) Yield gap analysis with local to global relevance – A review. *Field Crop Research* 43, 4-17.
- Klocke NL, Stone LR, Briggeman S & Bolton DA (2010) Scheduling for deficit irrigation – Crop Yield Predictor. *Applied Engineering in Agriculture* 26 (3), 413-18.
- Li Y, Shi Z, Wu, C, Li H & Li F (2008) Determination of potential management zones from soil electrical conductivity, yield and crop data. *Journal of Sheijang University, Science B*, 68-76.
- Lukina EV, Freeman Kw, Wynn KJ, Thomason WE, Mullen RW, Stone, ML, Solie JB, Klatt AR, Hohnson GV, Elliot RL & Raun WR (2001) Nitrogen fertilization optimization algorithm based on on-season estimates of yield and plant nitrogen uptake. *Journal of Plant Nutrition* 24 (6), 885-898.
- McKenzie RH (2016) Fertilizer management zones. www.topcropmanager.com, accessed 3rd Feb. 2018.
- Merlos FA, Monzon JP, Mercau JL, Taboada M, Andrade FH, Hall AJ, Jobbagy E, Cassman KG & Grassini P (2015) Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. *Field Crop Research* 184, 145-154.
- Miller TD & Bean B (1999) Estimating wheat yield potential. *Soil and crop sciences, Texas Agricultural Extension Service*. SCS-1999-21.
- Muhammed S, Milne A, Marchant B, Griffin S & Whitmore A (2016) Exploiting yield maps and soil management zones. Project report no. 565, AHDB Cereals and Oilseeds, 93 p.
- Mulla DJ (2016) Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems Engineering* 114, 358-71.
- Murrel TS & Childs FR (2000) Redefining Corn Yield Potential. *Better Crops/Vol. 84* (2000, No. 1), 33-37.
- Ortiz BV (2011) Management zones II – Basic steps for delineation. *Precision Agriculture Series* March 2011.
- Porter JR & Semenov MA (2005) Crop responses to climatic variation. *Phil. Trans. R. Soc. B* 360, 2021-2035.
- Shaddad SM, Madrau S, Castrignano A & Mouazen AM (2016) Data fusion techniques for delineation of site-specific management zones in a field in UK. *Precision Agriculture* 17, 200-217.
- Silva JV, Reidsma P, van Ittersum MK (2017). Yield gaps in Dutch arable farming systems: Analysis at crop and crop rotation level. *Agricultural Systems* 158, 78 - 92.
- Sudduth KA, Drummond ST & Myers DB (2012) Yield Editor 2.0: Software for automated removal of yield maps errors. An ASABE meeting presentation Paper Number: 121338243.
- Wart J van, Kersebaum KC, Peng S, Milner M & Cassman KG (2013) Estimating crop yield potential at regional to national scales. *Field Crop Research* 143, 34-43.

Udgiver

SEGES PlantInnovation
Landbrug & Fødevarer F.m.b.A.
Agro Food Park 15, Skejby
DK 8200 Aarhus N

Forfatter

Kathrine Hauge Madsen, SEGES

Denne publikation er finansieret af

STØTTET AF

promilleafgiftsfonden
for landbrug

September 2018

Denne publikation må kopieres efter aftale med SEGES.