

Agtech 2030

Yara N-Sensor: En lyckad innovation

Per Frankelius • Knud Nissen





22 mars 2021

N-Sensorn: En lyckad innovation

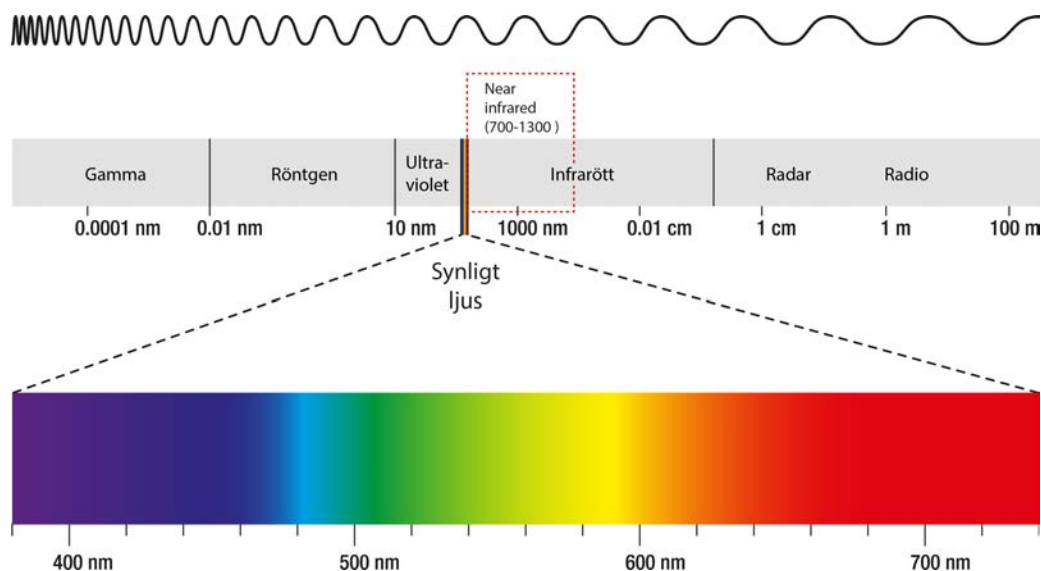
Per Frankelius (Linköpings universitet) och Knud Nissen (Yara)

Grundprincipen i en N-Sensor är att läsa av vissa våglängder i det reflekterade ljuset (strålningen) från växande gröda som speglar klorofyllet. På så sätt uppskatta mängd gröda (täthet) och vitaliteten i grödan (färgen) för att sedan via datorberäkning variera mängden gödning i realtid under spridningen. Istället för att ge samma mängd kväve på hela fältet är tanken att anpassa kvävegivan efter behov. N-Sensorn är sålunda ett verktyg i det som kallas precisionsodling alternativt behovsanpassad odling.

Walburg, Bauer och Daughtry (1982) utgör ett tidigt exempel på forskning om precisionsodling. De studerade effekterna av kvävegivor på tillväxt, avkastning och reflektansegenskaper i majs och rapporterade att spektralreflektion skilde sig signifikant för olika kvävegivor. Att undersöka och forska är en sak men att utveckla fungerande produkter som får spridning bland användare är en annan, vilket kommer att vara en röd tråd i beskrivningen som här följer.

Visionen att använda ljus och ljusspektra går tillbaka till Isaac Newton och hans arbete med "opticks" 1704. Newton visade att ljusets olika färger innebär strålning med olika våglängder. Man brukar mäta längden på en våg i enheten nanometer (nm). En nanometer är en miljarddel av en meter, eller 0.00000001 meter. En del av det elektromagnetiska spektrumet är synligt för ögat och kallas synligt ljus. Se figuren.

De första försöken att använda "fotonik" inom jordbruket var till stor del satellitteknik. Från och med Landsat 1-satelliten 1972 blev det möjligt att få bilder från multispektrala skannersystem, först i grönt, rött och endast två infraröda band. Detta stimulerade sensorutvecklingen som ledde fram till dagens hyperspektrala sensorer. Man talar om olika spektrala band hos ljuset. Exakt uppgift om antal nm för t.ex. rött, blått och grönt varierar i litteraturen och bland produkter på marknaden, helt enkelt för att man kan välja själv var i det kontinuerliga bandet enligt figuren ovan man vill definiera en viss färg. Rött, exempelvis, har enligt vissa källor våglängden omkring 645 eller 560 eller 670 nm. Bandet "Near infrared" eller NIR brukar sägas ligga från 700 och ända upp till 1300 nm.



Elektromagnetiskt spektrum.

Mycket klorofyll antas ofta indikera att växten har god tillgång till växtnäring och inte är stressad på annat sätt. Klorofyll i sin tur kan indikeras av strålning i gränslandet rött/infrarött. Detta är den grundläggande idén bakom s.k. kvävesensorer. Infrarött ljus eller NIR absorberas inte av klorofyllet i växterna utan reflekteras i stor grad tillbaka. Låg reflektans av NIR indikerar därmed lite klorofyll och därmed (ett antagande om) stressad gröda medan hög reflektans av NIR indikerar mycket klorofyll och därmed frisk och frodig gröda.

När man vill analysera grödan med ljusdetektorer används i regel olika index. Ett tidigt sådant som dokumenterades 1968 är ”Simple ratio” som innebär att man tar värdet för NIR och dividerar med R (Birth och McVey, 1968). Ett annat, som kom att bli klassiskt, är Normalized Difference Vegetation Index (Rouse, Haas, Schell och Deering, 1973), som brukar användas för att analysera grönmassa. Se figuren:

$$\text{Normalized Difference Vegetation Index} = \frac{\text{Near Infra Red (ca 650 nm)} - \text{Red (ca 715 nm)}}{\text{Near Infra Red (ca 650 nm)} + \text{Red (ca 715 nm)}}$$

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).

Medan det tidigt fanns satellitburna sensorer, flygburna sensorer och handburna sensorer (Frankelius & Taminiua 2019) så fanns inte sensorer anpassade för att bäras av lantbrukets maskiner. Men det kom att ändras.

Så uppstod Yara N-Sensor

År 1993 utvecklade två professorer – Hermann Heege och Hans-Peter Blume – vid universitetet i Kiel (Tyskland) den idé och de grundläggande principer som kom att leda fram till N-Sensorn. De ordnade också finansiering för en doktorandstudie vid The Institute of Applied Physics, som kom igång 1994 med doktoranden Stefan Reusch. Det är muntlig kommunikation med Reusch som detta avsnitt främst bygger. Reusch berättade om det allra första han gjorde i projektet: ”The first thing I actually did was to develop a handheld spectrometer and to do measurement with this device in small plot trials, which had received different nitrogen supplies.”

Reusch ordnade alltså under 1995 en handhållen spektrometer fastsatt på en lång pinne och testade den på olika försöksrutor av gröda där de olika grödorna hade fått olika kvävegivor.



Stefan Reusch och hans handhållna N-Sensor 1995. Foto vänligt tillhandahållet av Stefan Reusch.

År 1996 presenterade företaget Hydro Agri, under DLG Feldtage i Leipzig, Tyskland, en liknande lösning som resultat av ett parallellt projekt. Kontakt skapades mellan Reusch och Hydro Agro som ledde till att han började arbeta där 1997 samtidigt som han avslutade sin doktorsavhandling.

Men innan han började på Hydro Agri hann Stefan Reusch och hans medarbetare vid universitetet i Kiel, våren 1996, testa det första traktormonterade systemet med en MB

Trac som bärare hade tre master, en uppåt och två åt sidorna. Den mittersta masten hade en spektrometersom mätte inkommande solljus medan de två sidomasterna hade sensorer (spektrometrar) som pekade neråt och mätte reflektionen från grödan. De gjorde tester med detta ekipage på olika fält i norra Tyskland. Under dessa studier skapades den första kartan, närmare bestämt av 15 hektar höstvetete på gården Quarnbek 29 april 1996. Vid denna tidpunkt hade de ingen GPS så de fick göra kartan manuellt genom att mäta avstånd mellan körspåren. Kontentan av dessa försök blev ett bevis för att principerna fungerade i verkligheten (proof of principle).



Första N-Sensorn monterad på traktor, 1996. Första fältkartorna skapade med N-Sensorn. Photo: Stefan Reusch.

När Stefan Reusch sedan började arbeta på Hydro Agri 1997 byggde de två kopior av det ekipage som de hade använt på universitetet. Men traktorerna som användes var nu Massey Ferguson. De testade utrustningen på ett trettiofält i Tyskland. I dessa test gjordes också för första gången jämförande studier av fält som fått samma kvävegiva och fält som fick variabel giva. Datorn som användes var stor och klumpig men bärbar och fick ligga på en trähylla i traktorhytten.

1998 gjordes systemets hårdvara om helt i samarbete med det tyska elektronikföretaget Tec5 AG och faktum är att det företaget fortfarande tillverkar det som idag är Yara N Sensor. Systemet som nu var bombaserat fick mer sofistikerad optik och fiberoptik, men det fungerade inte perfekt. Så år 1999 utvecklades en ny design där sensorerna var placerade i en takbox att montera på traktorn. En grundidé nu var att mäta grödan med olika vinklar från samma punkt. Detta var ett genomslag i utvecklingen. Vidare lyckades de kalibrera bort reflektans från jorden så att systemets analys bara baserades på grödan. Just det faktum att man riktade sensorn snett ut mot grödan gjorde att man fick mindre reflektans från jorden. Över 20 sådana "takboxar" tillverkades och blev föremål för test på olika gårdar runt om i Europa. Under testerna gjordes fler jämförelser mellan homogen och selektiv kvävegiva och i de allra flesta fall visade studierna att skördarna ökade med den selektiva kvävegivan baserad på N-Sensorn. Senare kunde också visa andra positiva effekter såsom homogenare skörd, mindre liggsäd och smidigare tröskning.

Marknads lanseringen

År 2000 bestämdes att konceptet skulle lanseras på marknaden. Inför marknads lansering utvecklades hårdvaran så att den blev mer kompakt och fick rundare former. Materialet byttes från plåt till plast. Färgen valdes till blå. Sensorerna såldes genom speciella återförsäljare runt om i Europa. Mjukvaran var inbyggd i en terminal som var specifikt skapad för N-Sensorn. Produkten blev oförändrad under ca 5 år.

Fortsatt utveckling

Men utveckling av nästa version startade parallellt med att den första sensorn såldes på marknaden. Siktet var nu inställt på en aktiv sensor i bemärkelsen att den har med sig eget ljus och därmed inte blir lika beroende av det naturliga ljuset. Resultatet blev Yara N-Sensor ALS (Active Light Source) som lanserades på marknaden våren 2006.

Men också den passiva versionen av sensorn utvecklades 2006. Den största skillnaden kom att bli att den nu kunde läsas av med vilken sorts dator som helst, inte minst det som då kallades Personal Digital Assistants (PDA), föregångarna till dagens smartpads and smartphones. Den kunde också köras med Windows-datorer.

2006 över gick man från att använda ett relativt reflektions index till det mer användarvänligt index som kallas SN-värdet (sensor kväve värde) som är kalibrerad till att spegla den aktuella grödans verkliga kväveupptag i grönmassan. Det gör N-Sensorns mätvärden mer lättbegripligt för användaren. Och det går att använd när man skall bestämma kommande kvävebehov.

2011 kom en ny version av den aktiva N-Sensorn. De kallade nya versionen för ALS USB, Sensor övergick från att ha en seriell RS232 kommunikation till att kommunicera via USB. Ett annat kännetecken var också att den kom till kunden färdigkalibrerad så nu behövdes inte längre göras någon kalibrering av den.

2009 förbättrades användarvänligheten med nytt Windows program och 2014 gjordes en upphottning av designen av den passiva sensorn. Färgen ändrades nu till grå. 2015 kom ännu en ny version med modernare design och 2019 kom N-Sensor ALS-2. Den stora nyheten var LED-ljus.

Vad gäller styrning av gödnings-spridare kunde redan de första versionen år 2000 styra de flesta olika spridare eller sprutor på marknaden. Redan då fanns också GPS-baserad dataloggning liksom kartöverlägg, vilket innebar att man kunde väva in information om t.ex. jordanalyser. Senare utvecklades bättre kartor, kalibrering vs. kväveupptag (SN values) samt möjlighet att hantera standardiserade shape-filer. Över tiden utvecklades också en rad nya kalibreringar för olika grödor och marknader. Idag, 2021, finns kalibrering för dessa grödor:

- Höstsådda spannmålsgrödor

- Vårsådda spannmålsgrödor
- Majs
- Vall
- Bomull
- Oljevaxter
- Sockerrör

N-Sensorn på Krageholm

En av pionjärerna med N-sensorn var Christer Pålsson, inspektor på Krageholm. Den platsen har också varit bra för test av prototyper eftersom gården ligger avskilt och därmed i skydd från insyn.



Krageholm: Foto: Christer Pålsson

Varför blev då Christer Pålsson intresserad av N-Sensorn? Han svarade: "Det var ett besök vi gjorde på Elmia 1998 och tekniken var då redan omskriven i någon av lantbrukstidningarna." Bakgrunden var också att man på Krageholm hade börjat med skördekartering redan 1997. Han kommenterade: "En av förutsättningarna för N-sensorn är ju att skördekartera så att man får ett kvitto på det hela." De kom igång ordentligt med N-Sensorn 1999. Vad gäller gps hade de på den tiden sjöfartssignalerna som korrektionsignal. Själva gödningspRIDAREN var en Bogballe. Försök visade att skörden ökade.



Christer Pålsson framför gödningspridaren 1999. Foto: Knud Nissen.

År 2000 och några år framåt använde de "Plåtlådan", men år 2003 fick Krageholm den kommersiella versionen. De fick också snart prova den nya ALS-sensorn i prototypform. Lite strul var det med kartorna men annars fungerade prototyperna bra. Idag så brukar de lägga på förstagivan homogent men har ändå på sensorn på taket för att registrera data om fältet. Sensorn är då inte kopplad så att den styr givan.

Christer Pålsson gav också denna reflektion: "Det svåra problemet med N-Sensorn är nederbörden. Får man inte nederbörd så svarar inte grödan. Men kommer det ett regn fungerar allting väldigt bra." År 2020 installerades en väderstation från Swedish Agro, men dock den ingen jordfuktssensor. Han pekade på att malkorn är ännu känsligare för vatten än höstvetete. Pålsson kommenterade:

"Kanske inte känsligare men i vete är målet att maximera proteinet men i malkorn skall man gaffla in proteinet i ett specifikt intervall. Oftast mellan 9,5 - 11,5%. Har man egen Sensor, odlar foderkorn till egna djur bör sensorn även användas till maximera proteinet där. Tyvärr premieras inte hög proteinhalt vid försäljning."

Han berättade också att de fram till nu inte använt sig av på förhand skapade tilldelningskartor utan de har kört med N-Sensorn i realtid. Här finns en koppling till kombisådd. Paulsson igen: "Vi har kombisådd med Väderstad Spirit sedan 2015, dessförinnan myllade vi oftast gödsel vid harvning av fältet (med Väderstad Concord). Vi bad Per Engardsson om en kommentar. Han svarade:

"Ja kombisådden minskar behovet av vatten som genomfuktat såbädden uppifrån, näringen ligger ju redan i jordfukten i såbottnen. Men: kombisådd av N är primärt intressant för vårgöröror, kombisådd av P kan vara intressant för höstgöröror och vårgöröror men då snarare sammyllad med utsädet, inte nödvändigt med egen gödselbil. Malkorn är fuktkänsligt, ja korn är kanske mer torkkänsligt, det tror jag. Men jag har för mig att korn är också känsligare för alltför mycket vatten än havre."

Skördekarteringen är som sagt väldigt viktig. På Krageholm har de dessutom, sedan 2019, monterat en proteinmätare på tröskan i samarbete med RISE. Proteinmätaren

som används i testet är en NIR-sensor (Near Infrared) som heter ”Zeltex AccuHarvest” från företaget Zeltex (Hagerstown, Maryland) i kombination med AGCO Harvest Tracker (detta trots alltså att tröskan på Krageholm var en Claas). Han kommenterade: ”Det är lite nygamal teknik som man har hållit på med på JTI förr. Det är lite trögt att få in det i trösktillverkarnas tankesätt.” Och han tillade:

”Just proteinmätningen var 2019 och upplagd av RISE, Per-Anders Algebro var vår kontakt där. Just nu står vi tyvärr utan proteinmätning på var nya Lexion 8700 tröska. Men vi stöter ständigt på CLAAS representanter för få den att inse möjligheterna med tekniken.”

N-Sensorn på Bjertorp samt marknadsföringen

Knud Nissen berättade att han kom till Lantmännen (Odal som det hette då) i Lidköping som precisionsodlingstekniker 1996. 1998 fick han en Hydro N-Sensor till Bjertorp som var och alltså är Lantmännens försöksgård.



Prototypen som testades på Bjertorp 1998 inkluderade en boom framför traktorn. Foto: Knud Nissen.

1999 kom plåtboxen till Bjertorp. De körde runt traktorn med den N-Sensorn på lastbil för att demonstrera på olika håll i Sverige. Det var ineffektivt så år 2000 skaffade de en fyrhjulsdriven bil med monterad sensor på. Knud kommenterade: ”Vi kunde sätta 8 lantbrukare på flaket och köra ute i fält för att visa hur det fungerade.” Den sensorbilen ”gick på fältvandringar från Ystad i söder till Dala Järna i norr”. Han turades om att köra bilen med Janne Nystedt, som sedermera bildade bolaget Biototal. Knud berättade också att de anlidade 15 entreprenörer som körde N-Sensorn åt kunder.



Sensorbilden. Foto: Knud Nissen.

2006 fick Bjertorp det första exemplaret av N-Sensorn ALS. År 2007 införde de gps med RTK på såtraktorn, berättade Kjell Carlsson, driftledare på Bjertorp. 2012, började de använda rampspridare från Överum för gödnings-spridningen. Sedan skörden 2020 har de precis som Krageholm en NIR-kamera monterad på tröskan. Genom den fick de fram proteinkartor men har ännu inte gjort analysen klar av dessa kartor.



Skördekartering på protein, Bjertorp. Tack till Johan Wågstam och Kjell Carlsson, Bjertorp.

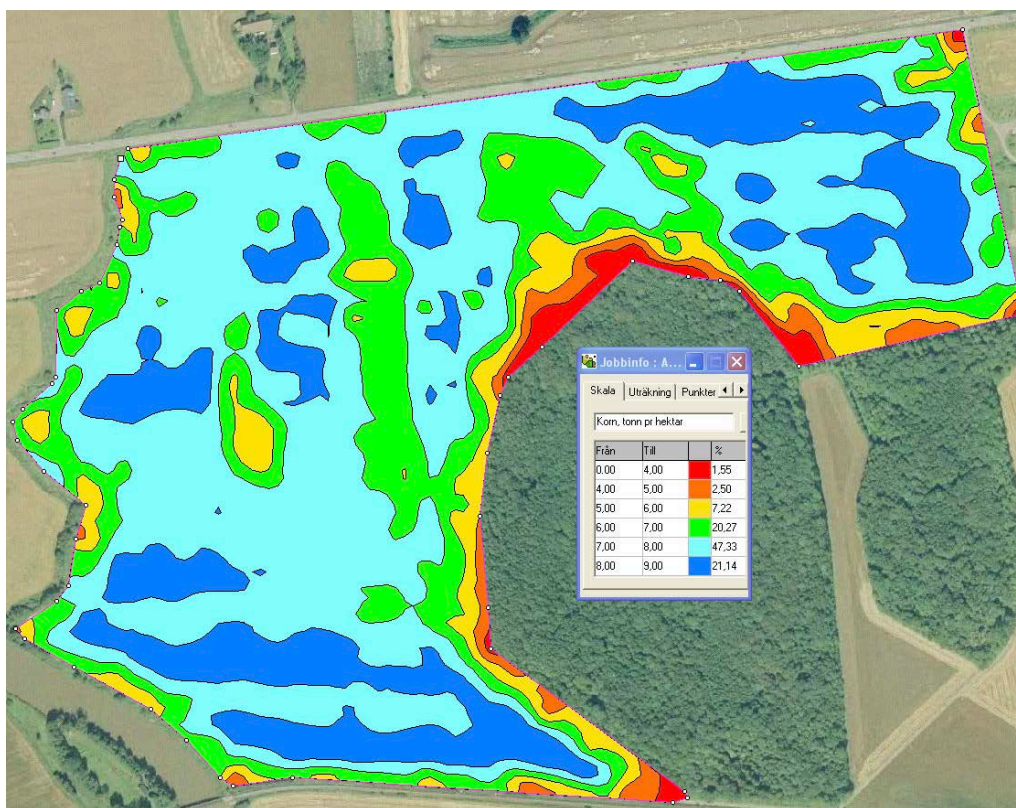
Jarlsberg Hovedgård

Ett intressant exempel på hur N-Sensorn har använts på ett stort och mycket professionellt drivet lantbruk är Jarlsberg Hovedgård när Tønsberg söder om Oslo.



Jarlsberg Hovedgård. Foto: Egil Samnøy.

Egil Samnøy har arbetet med N-sensorn sedan 1999. Idag använder han sensorn inte bara för gödnings-spridning utan också för spridning av kemiska medel, exempelvis Cerone 27 som används för stråförkortning i odlingar av höstvet, höstråg, höstrågvete, vårkorn och höstkorn. Han har på gården en del fält som varierar mycket när det gäller jordart m.m. Variationen kan också förklaras av att det finns ett gammalt nedlagt flygfält tvärs över ett av gårderna. Se figuren.



Bildkälla: Egil Samnøy, Jarlsberg Hovedgård.

Utifrån sin långa erfarenhet sammanfattade också Egil Samnøy sin syn på framgångsfaktorer i modern växtodling. Han ställde upp en procentuellt fördelning av dessa framgångsfaktorer enligt följande:

| Framgångsfaktor | Förklarar procent av framgången... | Innebörd |
|----------------------------|------------------------------------|--|
| Precisionsodling | 5% | |
| Timing | 20% | Jordbearbetning, sådd, gödnings-spridning, växtskydd "precis i tid" |
| Att välja rätt gröda | 25% | Växter med hög ekonomisk potential; höstsådda grödor |
| Grundläggande god agronomi | 50% | Bra dränering Välkalkad (korrekt pH) Balanserad gödsling Ingen skadlig jordpackning |

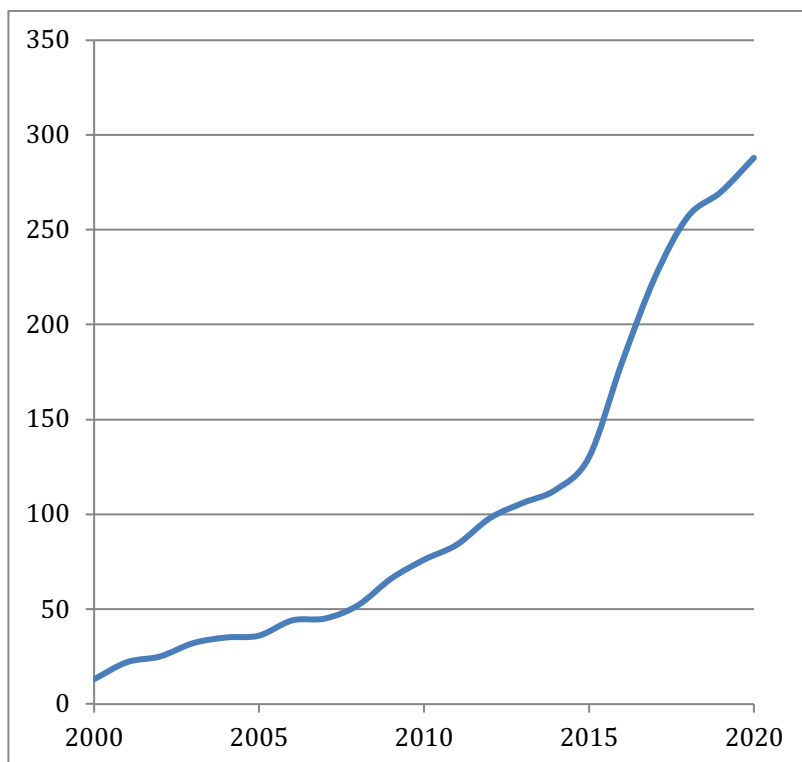
Särskilt intressant att notera är att han inte skrev minimerad jordpackning utan ”ingen jordpackning”. Det är sålunda en väldigt viktig faktor.

Han gjorde också en ekonomisk lönsamhetsanalys av N-sensorn. Den årlig försäljningen av växtprodukter (förutom områdesstöd) är 10 000 000 kr på denna gård. Den årliga kostnaden för N-sensorn är 40 000 kr. Den står alltså för 0,4% av omsättningen. Nyttan av den beskrivs som jämnare fält, minskad liggsäd, effektivare tröskning, växtökning, minskade gödselkostnader samt ökad översikt och management. Han uppskattade nyttan till att stå för 1, 2 eller möjligen 5% av omsättningen, och konstaterade sedan: "N-sensorn er nyttig og lønnsom for oss!"

Innovationens spridning

Affärsmodellen för N-Sensorn var lite olika i olika länder. I Sverige valde Yara att inte sälja produkten fysiskt, vilket Anders Anderson, Yara, berättade. I stället såldes tjänsten under de första åren via maskinstationer. Men efter en tid började de sälja sensorn fysiskt. Efter tre år (till år 2004) såldes sensorerna till entreprenörerna och Yara slutade hyra ut dem. Alla såldes därefter.

Här nedan följer fakta och analys dels av antalet N-Sensorer sålda i Sverige under de första 20 åren, dels en bedömning av antal hektar brukade med N-Sensorn under samma tid. Knud Nissen, som sammanställt dessa data åt mig, underströk att antalet N-Sensorer är fakta. Arealen, däremot, är en bedömning han har gjort utifrån enkäter till N-Sensorägarna som han gjort varje år. I första figuren nedan framgår antalet N-Sensorer i Sverige



Totalt antal Yara N-Sensor i Sverige under de första 20 åren. Källa: Knud Nissen, Yara.

Vid analys av antal sensorer framgår av kurvan att den har några intressanta förändringar, eller ”knän”. Knud underströk att det är viktigt att beakta flera aspekter för att förklara dessa knän. Det knä som kan skådas omkring 2007 kommenterade Knud så här:

”Första knät var ca 2007. Där har jag inget rakt svar som kan förklara det. Men vi jobbade mycket vid den tiden med att etablera en trovärdighet för tekniken hos rådgivare och myndigheter bl.a. genom att se till att det fanns N-Sensor data på många försök fritt tillgängligt i försöks databasen. Vi övertygade också jordbruksverket/länsstyrelsen/Greppa näringen att N-min från jordprover som N-prognos var mycket mer osäker metod jämfört med att mäta med handburen Yara N-Sensor. De gjorde egna försök ett antal år och 2009 fattade de beslutet att helt sluta med N-min prover och helt inrikta sig på N-Sensor.”

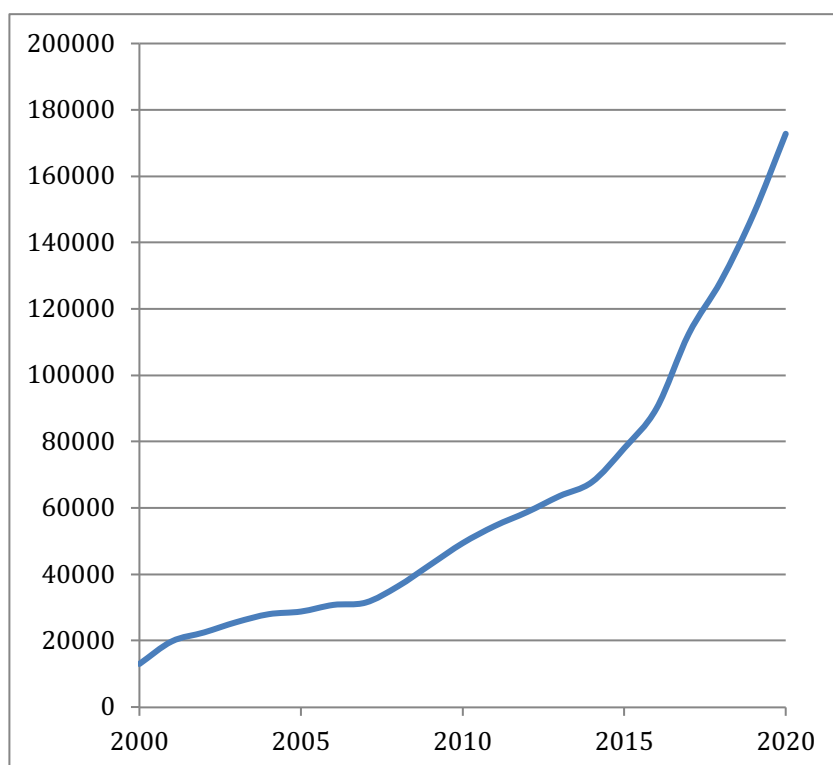
N-min prover är fortfarande standard i många länder och t.ex. danska gödselkvot systemet bygger helt på N-min prover på våren. Knud berättade vidare att de år 2012 startade Yara N-Prognos där de mätte och publicerade mätresultatet varje vecka i 10-15 försök genom gödselsäsongen. Detta skapade ett stort engagemang från rådgivarna som hade något att diskutera med sina kundgrupper. År 2015 ser vi åter igen ett knä på linjen och det var första året där de har en rejäl skördeuppgång tack vare ett extremt gynnsamt väder för grödan. Knud kommenterade:

”Vi kunde då visa på att många med Yara N-Sensor lyckades mycket bättre med kvävegödslingen det året och fick rätt proteinnivå vilket gav en rejäl skjuts på försäljningen.”

2018 framgår återigen ett knä på kurvan. Knud kommenterade: ”Det var det extrema torråret som stoppade upp eftersom många höll hårdare i pengarna.” Därefter har lutningen på kurvan inte varit så brant. Knud reflekterade:

”Det skyller jag bland annat på att konkurrensen har blivit hårdare, kunden vet inte vad han skall välja. Och då ser jag inte andra fysiska sensortillverkare som största konkurrenten utan det är de olika satellitbildstjänsterna som är den ny konkurrenten eftersom de är lätt tillgängliga och mycket billigare till gratis. Men folk börja nu inse att SMHI’s statistik att mer än 65% av marken täcks av moln och då får vi inga bilder från satelliterna och siffran är förmodligen högre före midsommar när vi vill gödsla än vad den är efter när vi kan ta semester. Så skall man ha ett driftsäkert och flexibelt system så skall den sitta på traktorn och fungera när man vill köra.”

I figuren nedan framgår en bedömning av antalet hektar som brukats med hjälp av Yara N-Sensor de första 20 åren.



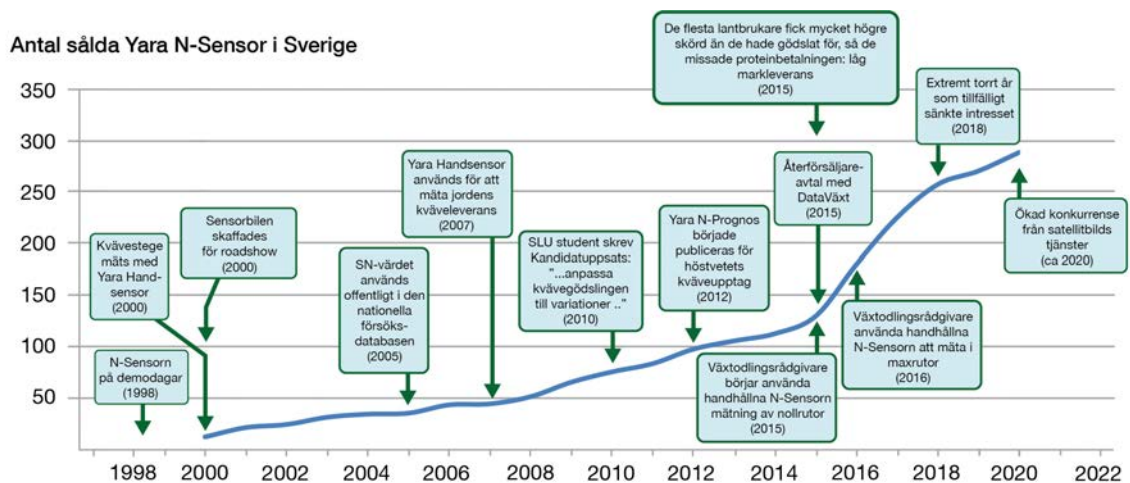
Total areal brukad med N-Sensor. Uppskattning gjord av Knud Nissen.

Knud Nissen har i de enkätdata som ligger till grund för figuren sett att trenden länge var att fler och fler privata lantbrukare köpte sensorn och bara körde hemma. Arealen per sensor minskade alltså med åren genom att en mindre del körs på entreprenad. Under de sista åren så har arealen dock börjat stiga igen. Många gårdar har köpt till mark och blivit större och vidare är det nog så att större gårdar köper sensorn.

Milstolpar i marknadsutvecklingen

Knud Nissen fick frågan om vilka faktorer och milstolpar han menar varit viktiga för utvecklingen av N-sensorn. Flera har redan nämnts. Men här följer en sammanfattning av hans översikt:

- Yara N-Sensor har kontinuerligt varit med på fältdagar och mässor i Sverige sedan 1998.
- Officiella försök med kvävestegar har mätts med Yara Handsensor sedan 2000.
- SN-värdet (mätvärdet i sensorn) har varit offentligt i den nationella försöksdatabasen på alla försök där vi mätt med Yara Handsensor sedan mitten av 2000-talet.
- Yara och Lantmännen i samarbete med Jordbruksverket utvärderade möjligheten att använda den Yara Handsensor för att mäta markens kväveleverans under 2007-2008. Utvärderingen blev lyckad till fördel för Yara sensorteknik
- Jordbruksverket slutar med att ta jordprover för N-analys av jord och klippa grödprover för N-analys och använder enbart handburen N-Sensor för att bestämma jordens kväveleverans i noll N-gödslade rutor – 2007-2008.
- Yara och Lantmännen anlitar en SLU student 2010 för att skriva en Kandidatuppsats med titeln ”Möjligheter att minska kväveutlakningen genom att anpassa kvävegödslingen till variationer inom stråsädesfält”. Studenten visar att den total utlakningsvinst är mellan 0,5 och 3,8 kg N per ha. Sofia Delin på SLU har 2013 justerat beräkningen till mellan 0,5 och 6 kg N per ha.
- Yara N-Prognos har sedan 2012 publicerat kväveupptag i höstvetete från kvävestegar i 14-16 försök varje vecka under vår säsongen. 2016 utökades det med rapport från 6 vårkornsförsök.
- 2015 skrev Yara ett återförsäljare avtal med DataVäxt. DataVäxt sköter försäljning, montering, reservdelar och teknisk support för Yara N-Sensor.
- Från kvävegödslingsförsöken kan vi konstatera att mätning med Yara Handsensor eller med Yara N-Sensor i ”Noll-ruta” (ej kvävegödslad ruta) ger ett betydligt bättre mått på markens kväveleverande förmåga än att ta jordprov på våren och mäta mineralkväveinnehåll (N-min).
- 2015 började växtodlingsrådgivare i Sverige använda Yara Handsensor för att mäta i Nollrutor hos enskilda lantbrukare för att bättre kunna bestämma aktuellt kvävebehov på det enskilda fältet.
- 2016 utvecklades Nollrute-konceptet med Maxrutor (rutor med + 50 kg N/ha). Detta blev ett sätt för rådgivarna att ”ta hem” Yara N-Prognos till deras kunders gårdar. 2016 blev det huggsexa om de Yara Handsensorer som finns att låna för rådgivarna.



Några milstolpar och händelser som inverkat på försäljningen. Faktakälla: Magnus Jeppson och Knud Nissen.

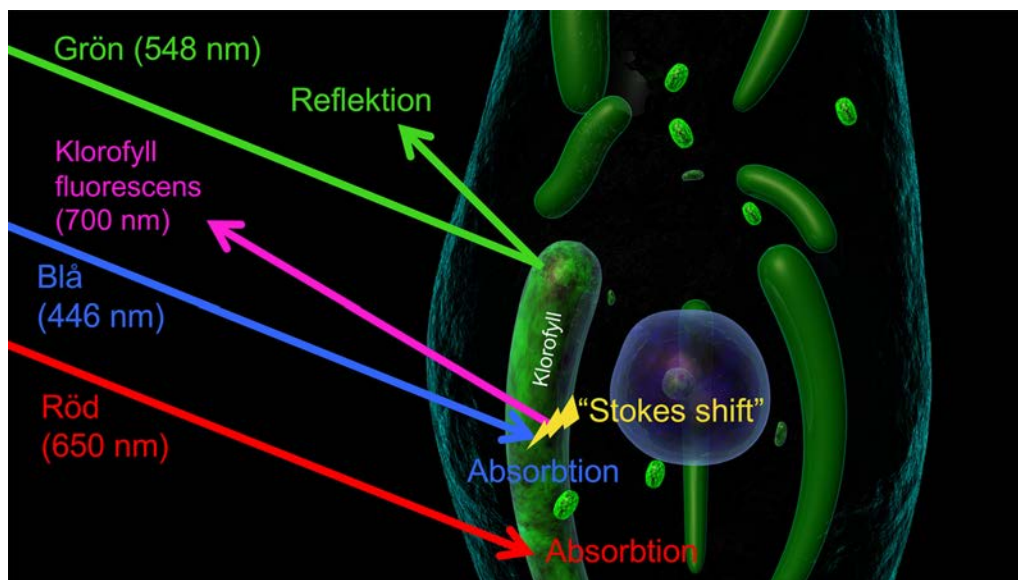
En not om framtiden för Yara N-Sensor

Fortsatt utveckling av Yara N-sensor

Framtiden handlar, enligt Stefan Rausch, om att fasa ut den passiva varianten och bara satsa på den aktiva (med ljus). Andra former av monteringar kommer också. Programvaran kommer att integreras med ISOBUS. Vidare kommer automatiskt datautbyte att ske. Omfattande utveckling sker också kring beslutsregler med bakgrundsinformation (t.ex. avkastning).

Alternativ teknik: Fluorescens

Finns det då annan teknik än klassiska spektrometrar som skulle kunna användas för analys av grödor? Under senare år har fluorescensbaserade aktiva sensorer blivit kommersiellt tillgängliga. Om ett ämne träffas av strålning (ljus) ökar atomernas energinivå medan ämnet absorberar fotonerna. När sedan energin närmar sig jämvikt igen kan ämnet utsända strålning med längre våglängd än den strålning som tillfördes från början. Fenomenet instrålning/utstrålning med olika våglängder kallas "Stokes shift" efter den irländske fysikern George Gabriel Stokes (f. 1819). Fenomenet kallas också fluorescens av mineralet fluor (kalciumfluorid) som man tidigt noterade uppvisade detta fenomen. Fluorescens kan uppstå av det naturliga solljuset men det kan också triggas av tillförd strålning (jfr röntgenfluorescens). Gröna växter avger fluorescens i de blågröna (440–520 nm) och i de röda till långgröda (690–740 nm) regionerna i ljusspektrumet när de exciteras med en potent ljuskälla (Mulla och Khosla, 2015). Olika kombinationer av röda och långgröda fluorescensförhållanden erhållna med olika exciteringsvåglängder kan användas för att beräkna en mängd index för växtstatus.



Flouescens som jag beskrev det i ett föredrag under UAS Forum 23 oktober 2018.

Exempel på produkter baserade på detta koncept är MiniVeg-laserinducerad klorofyll-fluorescenssensor från Fritzmeier, Tyskland och Multiplex Fluorescence-sensorn från Force-A i Frankrike. Fluorescenssensorer använder antingen ultraviolett ljus eller laserljuskällor, eller båda, för att stimulera en växts klorofyll att avge fluorescerande ljus.

Teorier om innovationer spridning

Yara N-Sensor är ett intressant exempel på innovativt koncept som blev till innovation år 2000 (när den slog rot på marknaden) för att sedan illustrera innovationers spridning dess första 20 år. Det är intressant att notera att teorier kring innovationers spridning ("diffusion of innovation") i hög grad har sin bakgrund i ljust studier av lantbruket. Här följer en sammanfattning av några teoretiska milstolpar.

Gabriel Tarde

Sociologen Gabriel Tarde hade under slutet av 1800-talet i Frankrike arbetat med att analysera trender och förändringar i samhället. 1890 publicerade han boken *Les lois de l'imitation*, som 1903 utkom på engelska med titeln *The Laws of Imitation*. Tarde menade att innovationer och imitationer var det mest fundamentala sociala fenomenet. Socialt sett, menade han, är allt antingen en uppfinning eller imitation. Han hade noterat att endast vissa nyheter fick spridning i samhället. Med imitation avsåg Tarde anammandet av en nyhet, dvs. det som idag motsvaras av det engelska begreppet "adoption".

Tarde var kanske den förste att forskningsmässigt analysera spridningsprocesser relaterade till innovationer även om han inte använde det ordet. En av hans modeller var S-kurvan. Den visar att spridningen av en innovation går långsamt den första tiden för att sedan gå snabbt och därefter plana ut. Han hade också en förklaring till varför

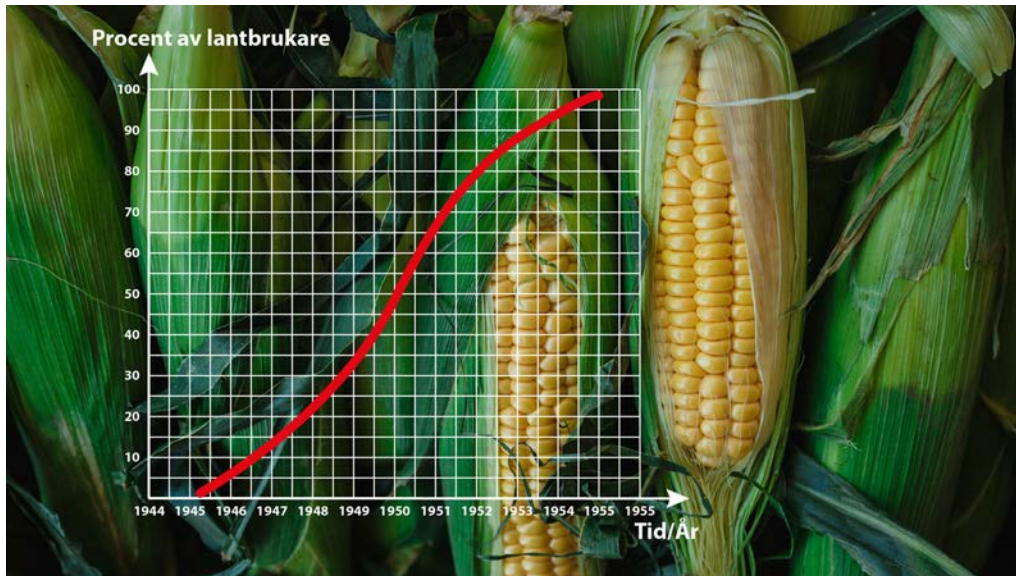
kurvan efter en tid ”satte fart”. Det var att så fort opinionsledarna i ett socialt system började anamma den nya innovationen, följde många efter. Ett viktigt skäl till att de första personerna anammade idén var att de mer eller mindre medvetet tog till sig information om nya idéer via olika källor. Det var alltså omvärldsanalysen och omvärldsintresset som var själva injektionen bakom spridningsprocessen.

Bryce Ryan and Neal Gross

Många hänvisar till Tarde och säger att hans förklaring till varför kurvan efter en tid ”satte fart”, handlade om opinionsledare. Så fort dessa började anamma den nya innovationen, följde många efter. Detta kom att bli en viktig aspekt av diffusionsteorin. Emellertid har jag inte funnit den diskussionen utpräglad i Tardes bok. Snarare synes det vara sociologerna Bryce Ryan and Neal Gross vid Iowa State University som utvecklade den tanken. 1943 lanserade de begreppet ”tidiga anammare” (early adopters) och delade in dessa i olika kategorier. Det hör till saken att Ryan och Gross troligen inte kände till Tardes studie och dessutom baserade de, till skillnad från Tarde, sina teorier på empiri. Den tidiga studie som gjordes av sociologerna och publicerades 1943 handlade om spridningen av hybridiserad majs bland lantbrukare. De visade att lantbrukare fick kännedom om nya innovationer främst genom försäljarna från de företag som erbjöd det nya. Vi kan här alltså notera att försäljning och marknadsföring spelar stor roll för innovationer. När det gäller att också anamma innovationen i praktiken var dock de som verkade i den geografiska närheten den viktigaste påverkansfaktorn. Vad grannar säger oh gör spelar alltså stor roll. Det var också Ryan och Gross som först konstaterade att den som anammar en innovation genomgår olika faser (information, bedömning, beslut o.s.v.).

Men vad innebär då hybridmajs? Jag ställde frågan till agronomen Ingrid Rydberg som svarade:

”Hybrid corn kallas även i Sverige hybrid-majs eller F 1 majs. F1 betyder att något är första generation efter korsning. När det gäller dessa hybridsorter så bygger det på att man korsar ihop två olika inavlade linjer och då får man i F1 en skördehöjande effekt som heter "heterosis". Just majs är särskilt lätt att jobba med eftersom den har åtskilda han och honblommor och man kan då, rent mekaniskt, avlägsna han eller honblomman och på så sätt styra vilka föräldrarna skall vara för F1-utsädet. Detta sker när de inavlade linjerna tillåts att korsas ihop för att bli själva utsädet.. (Man har också lärt sig att framställa hansterila linjer i andra växtslag så att man får koll på korsningen, men det är mycket mer "krångel". De flesta stora växtslag är ju självpollinerare och med mycket små inneslutna blommor. Då är det krångligt att inavla och styra korsningarna, men man använder dessa hansterila linjer och sedan restorer gener som återställer fertiliteten). Förädlingsföretagen har alltså kunnat ta ett högre pris för detta F1 utsäde eftersom det avkastar mer än konventionella sorter. En annan "finess" är att odlarna inte kan ta eget utsäde av dessa sorter (vilket man kan efter en konventionell sort om det är en självpollinerande gröda). Eget utsäde fungerar inte eftersom F2 generationen (alltså det utsäde, de frön, som kommer från en F1planta) och de plantor som växer upp som F2 inte har ett konstant utseende, utan de klyver ut i olika typer. Utsädesfirman får på detta sätt, med F1 och hybrid corn, full kontroll över utsädestillgången. Jag uppfattar att det är detta som retat upp vissa grupper. När det gäller grönsaksfröer, som oftast har ett högre försäljningsvärde till kund, är F1 lite vanligare. Odlarna är här beredda att betala dyrt utsäde. Här finns vissa arter där varje korsning ger många frön t ex tomat, och då kan det rättfärdiga den krångligare förädlingsgången och även betala handpollinering. Dessutom kan just grönskaker ha ett ökat mervärde om de är mer likformiga, vilket också kan erhållas med F1.”



Den S-kurva som talas om i litteraturen om innovationers spridning.

Hirsh Zvi Griliches

I spåren av Tarde, Ryan och Gross arbetade Hirsh Zvi Griliches vidare. I tidskriften *Econometrica* fick Griliches år 1957 följande artikel publicerad: "Hybrid Corn: An Exploration in the Economics of Technological Change". Även den här studien handlade om en hybrid mellan olika majssorter. Mer specifikt handlade den om hur denna produkt spreds bland lantbrukare.

Artikeln var en milstolpe för teorin om spridningen av produkter bland kunder. Griliches visade att innovationer inom jordbrukssektorn ofta uppstod inom separata FoU-centra som inte så sällan var en del av offentlig sektor. Kunskaper, metoder och produkter av innovativ natur spred sig sedan till jordbrukssektorn.

Everett Rogers

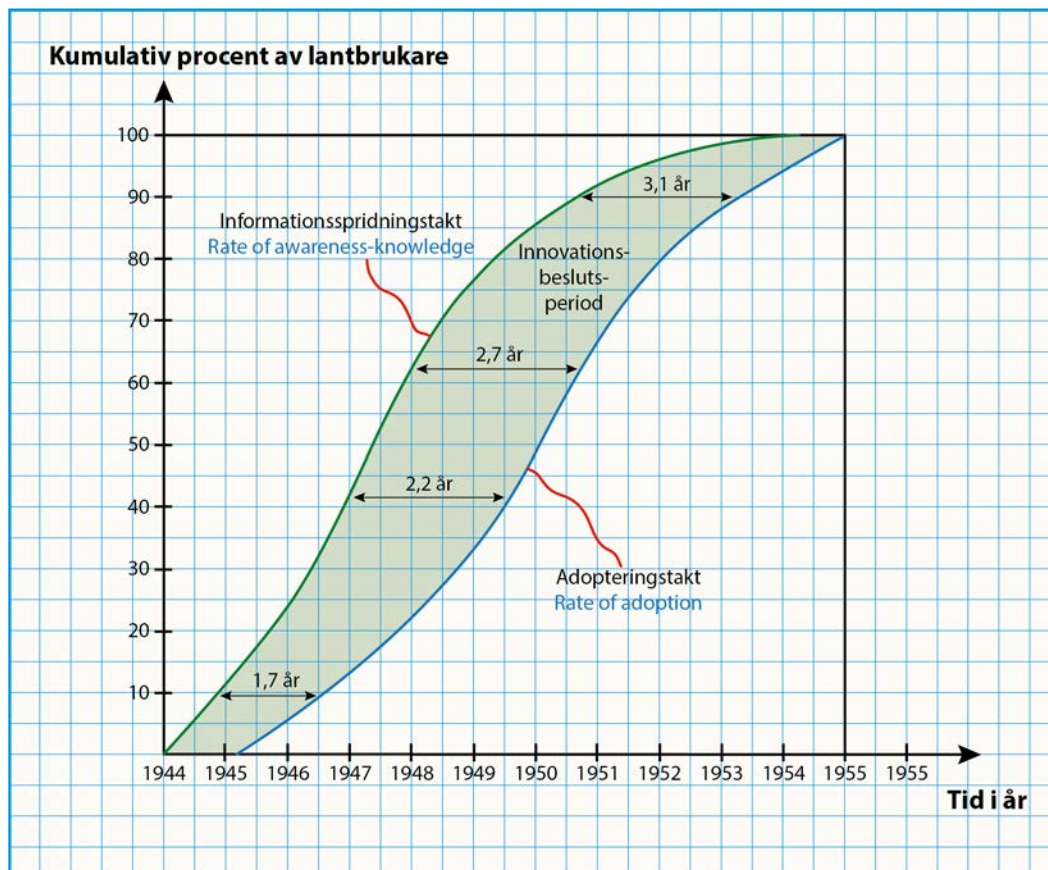
Everett Rogers tog stafettpinnen vidare med en bok *Diffusion of Innovations* 1962 om nya produkters eller teknikers spridning. Nyckelbegreppet var diffusion. Rogers bok var så välskriven och heltäckande att den blev en stor succé. Intressant nog hade han lantbrukarbakgrund. I förordet till boken från 1962 skrev Rogers följande:

"Mitt intresse för spridningen av innovationer började när jag växte upp på en lantgård i Iowa. Efter högskoleutbildning i modernt jordbruk vände jag hem och märkte att de jag mötte var föga intresserade av alla de innovativa koncept som jag berättade om." (fritt översatt).

I boken sammanfattade Rogers informationsspridningslitteraturen och levererade en intressant syntes. Anslaget är reflektionen att uppenbart bra idéer många gånger har så svårt att slå igenom:

“Many technologists think that advantageous innovations will sell themselves, that the obvious benefits of a new idea will be widely realized by potential adopters, and that the innovations will therefore diffuse rapidly. Unfortunately, this is seldom the case.” (Rogers, 1962, s. 83).

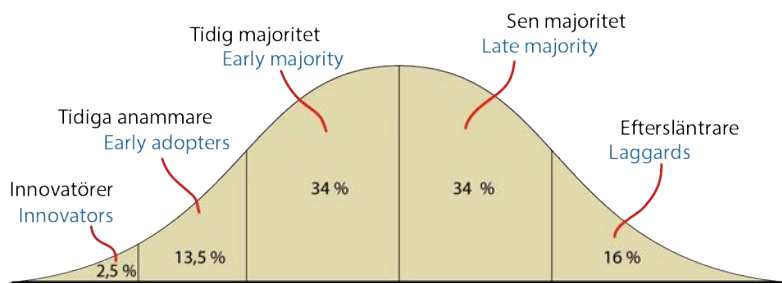
Rogers kunde i sin forskning, som handlade om jordbruksprodukter, bekräfta att spridningsmönstret liknande ett S. Han kallade också kurvan S-kurva (se figuren).



Rogers S-kurva. Baserad på E.M. Rogers, Diffusion of Innovations, tredje upplagan, New York: The Free Press, 1962.

S-kurvan i figuren visar i vilken grad lantbrukare i staten Iowa anammat bekämpningsmedel. Kurvan illustrerar en tidig långsammare fas där få lantbrukare nappar på det nya konceptet. Sedan finns en snabb mellanfas följt av långsam tredje fas. Observanta läsare kan notera att kurvan liknar mönstret för hur smittsamma sjukdomar sprids.

Den långsamma spridningen i början av processen är ofta långsamt trots, menade Rogers, att processen påskyndas av olika statliga jordbruksorgan som genom ett nätverk av konsulenter försöker stimulera det nya projektets spridning. I senare upplagor av Rogers bok visade han diagram i form av statistiska normalfördelningar som anger hur många procent som är ”innovatörer”, ”early adopters” osv, se figuren. Det är vanligt att de båda kurvorna förväxlas, men notera att de har helt olika konstruktion.



Rogers normalfördelning för innovationers spridning. Baserad på E.M. Rogers, *Diffusion of Innovations*, tredje upplagan (New York: The Free Press, 1983), s. 7.

Centralt i Rogers teori är anammandet av nyheter, som på engelska benämns adoption. Med begreppet anammandeprocess (adoption process) avses en mental process från det att någon får vetskap om en nyhet till dess att personen anammar den genom exempelvis köp.

Malcolm Gladwell

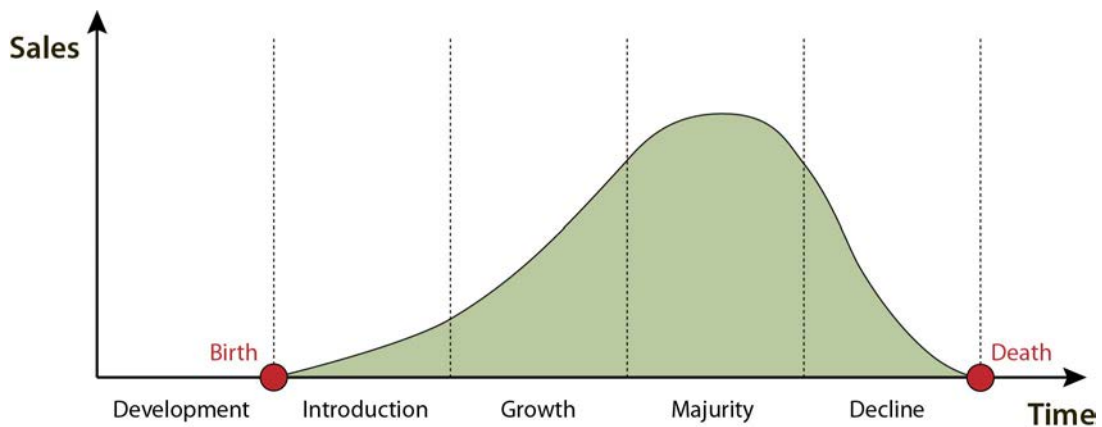
I boken *The Tipping Point* hävdade Malcolm Gladwell att den S-kurva Everett Rogers utvecklat gällande innovationers spridning har en "tippunkt". Det innebär en uppnådd punkt på spridningskurvan för ett visst nytt koncept där det sedan blir svårt att stoppa spridningen av det nya.

Gladwell exemplifierar med mobiltelefoner. När de först infördes 1983 såldes de främst till chefer vars företag var villiga att betala upp till 25 000 kronor. Under 1990-talet blev mobiltelefoner mindre och mindre, och kostnaden sjönk dessutom. År 1998 verkade det som om alla hade en mobiltelefon. Innan denna spridningspunkt nåtts var de flesta inte alls övertygade om att de skulle behöva en mobiltelefon, förutom i nödsituationer.

För ett företag gäller det alltså att snabbt få ut sin nya produkt till så många tidiga användare att man når över tippunkten. Därför handlar marknadsföring av nya produkter mycket om att anpassa produkten till tidiga användare och samtidigt bedriva en smart kommunikationsstrategi med främsta syfte att få igång "word-of-mouth".

Produktlivscykeln

En modell som kan sägas vara besläktad med innovationsspridningsmodellerna är produktlivscykelmodellen (se figuren nedan). Det är ett etablerat verktyg för att förstå hur en produkt – innovativ eller inte – beter sig under olika stadier av sin utveckling. Produktlivscykeln bygger på antagandet att produkter har en begränsad livslängd, och att marknaden och dess vinstpotential är olika i olika stadier. Allteftersom en bransch eller en produkt mognar ökar graden av produktdiversifiering, och medan det i introduktionsstadiet bara finns någon eller ett par alternativ finns i mognadsstadiet en mängd varumärken, alternativ och utföranden.



Produktlivscykeln. Baserad på J. Dean, "Pricing Policies for New Products", *Harvard Business Review*, vol. 28, november (1950), s. 45–53, samt Theodore Levitt, "Exploit the Product Life Cycle", *Harvard Business Review*, november–december (1965), s. 81–94.

I *introduktionsstadiet* finns få konkurrenter och prisnivån är vanligen hög, då försäljningspriserna ska täcka de omfattande kostnaderna för forskning och produktutveckling. Om produkten ifråga är av principiellt ny karaktär gäller det för företaget att i introduktionsstadiet attrahera s.k. early adopters. Det innebär köpare som betalar ett högre pris för att tidigt äga en ny produkt. På svenska skulle man kanske som sagt kunna översätta det till "tidiga anammare".

I *tillväxstadiet* kommer nya konkurrenter in i marknaden, och olika aktörer tillämpar olika strategier, vilket innebär att konsumenten får ett bredare utbud att välja på. Vissa aktörer väljer högre kvalitet eller andra unika egenskaper, medan andra väljer ett lägre pris. Produkten blir diversifierad i den meningen att producenter går olika vägar och väljer att inrikta sina produkter på olika sätt. Konsumenten ges fler valmöjligheter och kan till exempel välja en leverantör som ger bättre service till ett högre pris. Det brukar även växa fram budgetmärken som erbjuder begränsad service och avskalade produkter till ett lägre pris.

I *mognadsstadiet* är marknaden relativt mättad, och producenter inriktar sig på att nå nya kundsegment samt att få konsumenter att använda produkten mer frekvent och på nya användningsområden. Aktörer måste här hitta sina konkurrensfördelar, till exempel genom att förbättra kvalitet och egenskaper. I mognadsstadiet är produktionskapaciteten högre än efterfrågan, vilket ger kunden en starkare ställning än under tidigare stadier. Inte sällan förekommer en omfattande överproduktion, som sätter press på producenter, importörer och återförsäljare att sälja produkter, vilket vanligen leder till att priserna pressas till en lägre nivå.

Förr eller senare kommer många produkter in i en *nedgångsfas*. Här minskar efterfrågan och marknaden har alltså en negativ tillväxt. Detta är inte helt lätt att hantera för ett företag. Ofta finns emotionella kopplingar till produkten, och dessutom finns individer i företaget som arbetar med denna produkt och kommer att motsätta sig att den läggs ner. Å andra sidan kan man också under en period lyckas i nedgångsfasen genom att konkurrenter lämnar marknaden och därmed ger mer försäljning för det egna

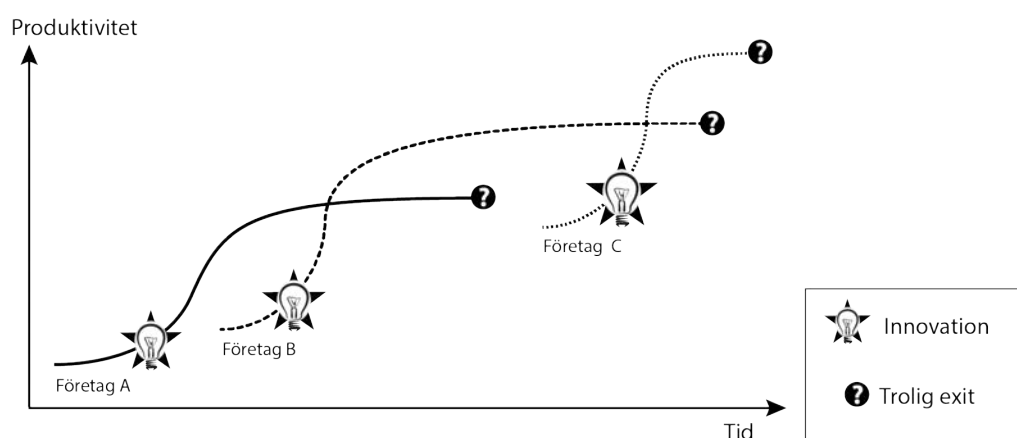
företaget. Samtidigt som priserna är låga är också kostnader för produktutveckling och marknadsföring små.

Texten ovan bygger i hög grad på boken ”Marknadsföring: Vetenskap och praktik” (2015).

Wilfred Salters teori

Wilfred E. G. Salter lade grunden till sina teorier genom noggranna studier av data över industriell produktion, medan han arbetade på University of Western Australia. Han lade fram sin doktorsavhandling 1956 vid Clare College, Cambridge. Kärnan i hans analys var kopplingen mellan arbetsproduktivitet och innovation. Metodmässigt var han en empiriker. Han baserade sina teorier på mängder av data, snarare än att härleda slutsatser från tidigare teori. Hans avhandling blev mycket uppmärksam och 1960 publicerades den som bok av Cambridge University Press, då med titeln *Productivity and Technical Change*.

Salter menade att produktivitet var nyckeln till långsiktig framgång för företag och branscher. Han hävdade också att det var en rad olika faktorer som låg bakom produktivitetsförändringar. Han skrev “behind productivity lie all the dynamic forces of economic life”. En av hans grundpelare i analysen var den process med vilken ny mer produktiv utrustning för produktion ersatte gammal och mindre produktiv. För att förstå denna process, menade Salter, behövde man studera saken både på företagsnivå och på branschnivå. Salter insåg också att produktivitetsökning inte som många trodde alltid medförde högre reallöner för arbetarna. Men han visade att produktivitetsvinster förmedlades vidare till kunderna som kunde njuta av billigare produkter.



En principiell bild av innovationsdriven omvandling i näringslivet enligt Wilfred Salter.

Medan Salter hade fokus på företags- och branschnivån är hans analys minst lika intressant för att analysera innovationer eller produkter på marknader.

Salter fick en raketkarriär och kom att bli rådgivare åt såväl regeringar som regioner. Ett av de mysterier han grubblade över var hur gammal och ny teknologi kunde samexistera. I Pakistan, ett land där han var rådgivare åt premiärministern, samexisterade moderna lastbilar med traditionella åsnor för transport av varor. Tyvärr hann han inte reda ut problemet. Han dog en tidig död 1963 p.g.a. hjärtproblem som troligen var en konsekvens av stressigt arbete. Han lämnade efter sig två barn och sin fru som hela tiden hade stött honom i sin karriär.

Källor

Personliga källor

- Knud Nissen, Yara International ASA, personlig kommunikation 20 januari 2021.
Stefan Reusch, Yara, personlig kommunikation 8 februari 2021.
Christer Pålsson, Krageholm, personlig kommunikation 8 februari 2021.
Kjell Carlsson, Bjertorp, personlig kommunikation 8 februari 2021.
Anders Anderson, Yara, personlig kommunikation 8 februari 2021.
Egil Samnøy, Jarlsbergshovdgård, Norge, personlig kommunikation 8 februari 2021.
Ingemar Gruvaeus, Yara, personlig kommunikation 8 februari 2021.
Magnus Jeppsson, Yara, personlig kommunikation 23 december.
Per Emgardsson, personlig kommunikation, 8 mars 2021.

Skriftliga källor

- Birth, G., and G. McVey (1968). Measuring the Color of Growing turf with a reflectance spectrophotometer, *Agronomy Journal* 60 (): 640-643.
- Frankelius, Per & Taminiau, Guus (2019). Photonics in Agriculture and Food management – An echo from the EPRISE-roadshow in Amsterdam, *Photonics Magazine*, June, pp. 19–23.
- Frankelius, Per; Norrman, C. and Parment, A. (2015). *Marknadsföring: Vetenskap och praktik*, Lund: Studentlitteratur.
- Griliches, Z. (1957). Hybrid Corn: An Exploration in the Economics of Technological Change *Econometrica*. vol. 25, nr 4, Oktober, 1957, s. 501–522.
- Katz, Elihu (1957). The Two Step Flow of Information: An Up-to-Date Report of an Hypothesis. *Public Opinion Quarterly*, vol. 21, s. 61–78.
- Mulla, David och Khosla, Raj (2015). Historical Evolution and Recent Advances in Precision Farming, in. Rattan Lal och B.A. Stewart (Ed.) *Soil-Specific Farming (Precision Agriculture)*, London: CRC Press, s. 1–25.
- Rogers, E.M. (1962). *Diffusion of Innovations*. New York: The Free Press.
- Rouse, J., R. Haas, J. Schell, and D. Deering (1973). Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS Symposium, NASA (1973), s. 309-317.
- Ingrid Rydberg, personlig kommunikation 11 november 2019.
- Ryan, Bryce och Gross, Neal (1943). The diffusion of hybrid seed corn in two Iowa communities. *Rural Sociology*, vol. 8, s. 15–24.
- Salter, W.E.G. (1960). *Productivity and Technical Change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Walburg, G., M. Bauer, and C. S. T. Daughtry. 1982. Effects of nitrogen nutrition on the growth, yield and reflectance characteristics of corn canopies. *Agron. J.* 74:677–683.

Appendix: N-sensorn de 20 första åren

Tabell 1. Tekniska utvecklingssteg samt spridningen av N-Sensorn i antal respektive hektar i Sverige respektive totalt i världen.

| År | Kommentar inkl. teknikens mognadsgrad | Antal sålda N-Sensorer i Sverige | Antal hektar i Sverige med N-Sensorn | Medelareal per sensor |
|------|---|----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| 1993 | Hermann Heege och Hans-Peter Blumes idé | 0 | 0 | 0 |
| 1994 | Stefan Reusch doktorandprojekt | 0 | 0 | 0 |
| 1995 | Handhållen spektrometer | 0 | 0 | 0 |
| 1996 | Hydro Agri vid DLG Feldtage | 0 | 0 | 0 |
| 1997 | Reusch började på Hygro Agri | 0 | 0 | 0 |
| 1998 | Prototyp på Bjertorp + info på Elmia | 0 | 0 | 0 |
| 1999 | Konceptet takbox + Krageholm | 0 | 0 | 0 |
| 2000 | Marknadslansering | 13 | 13000 | 1000 |
| 2001 | | 22 | 19800 | 900 |
| 2002 | | 25 | 22500 | 900 |
| 2003 | | 32 | 25600 | 800 |
| 2004 | Yara avknoppades från Norsk Hydro. | 35 | 28000 | 800 |
| 2005 | | 36 | 28800 | 800 |
| 2006 | Windowsterminal + ALS | 44 | 30800 | 700 |
| 2007 | | 45 | 31500 | 700 |
| 2008 | | 52 | 36400 | 700 |
| 2009 | | 66 | 42900 | 650 |
| 2010 | | 76 | 49400 | 650 |
| 2011 | | 84 | 54600 | 650 |
| 2012 | | 98 | 58800 | 600 |
| 2013 | | 106 | 63600 | 600 |
| 2014 | | 113 | 67800 | 600 |
| 2015 | | 130 | 78000 | 600 |