



---

September 1999

# DJF rapport

---

Nr. 15 • Markbrug



Frode Guul-Simonsen, Henning Tangen Søgaard  
og Martin Heide Jørgensen

## Positionering og navigering i jordbrug via satellitter

*Positioning and navigation in agriculture  
by means of satellites*

**Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri**  
**Danmarks JordbruksForskning**



# **Positionering og navigering i jordbrug via satellitter**

Frode Guul-Simonsen, Henning Tagen Søgaard  
og Martin Heide Jørgensen  
Afdeling for Jordbrugsteknik  
Forskningscenter Bygholm  
DK-8700 Horsens

## **DJF rapport Markbrug nr. 15 • september 1999**

Udgivelse: Danmarks JordbruksForskning Tlf. 89 99 19 00

Forskningscenter Foulum Fax 89 99 19 19  
Postboks 50  
8830 Tjele

Løssalg: t.o.m. 50 sider 50,- kr.  
(incl. moms) t.o.m. 100 sider 75,- kr.  
over 100 sider 100,- kr.

Abonnement: Afhænger af antallet af tilsendte rapporter,  
men svarer til 75% af løssalgsprisen.



## **Indholdsfortegnelse**

<b>Indholdsfortegnelse .....</b>	<b>3</b>
Contents .....	4
<b>Sammendrag .....</b>	<b>5</b>
Summary .....	5
<b>Indledning .....</b>	<b>6</b>
<b>Resultater .....</b>	<b>7</b>
Præcisionsjordbrug .....	7
Funktionspålidelighed .....	7
Positionsbestemmelse .....	8
Satellitgeometri .....	8
Multipath .....	9
Kalmanfilter .....	10
Landmåling .....	10
Geodætisk datum .....	10
NAVSTAR .....	10
GLONASS .....	12
NAVSTAR + GLONASS .....	13
DGPS .....	14
Referencestation .....	15
SPOT-FM .....	15
NAV-DK .....	15
Beacon .....	16
DGPS + INS .....	16
Modtager .....	17
<b>Konklusion .....</b>	<b>19</b>
<b>Referencer .....</b>	<b>20</b>

## **Contents**

<b>Contents (Danish) .....</b>	<b>3</b>
Contents .....	4
<b>Summary (Danish) .....</b>	<b>5</b>
Summary .....	5
<b>Introduction .....</b>	<b>6</b>
<b>Results .....</b>	<b>7</b>
Precision farming .....	7
Functional reliability .....	7
Position determination .....	8
Satellite geometry .....	8
Multipath .....	9
Kalman filter .....	10
Surveying .....	10
Geodetical datum .....	10
NAVSTAR .....	10
GLONASS .....	12
NAVSTAR + GLONASS .....	13
DGPS .....	14
Reference station .....	15
SPOT-FM .....	15
NAV-DK .....	15
Beacon .....	16
DGPS + INS .....	16
Receiver .....	17
<b>Conclusion .....</b>	<b>19</b>
<b>References .....</b>	<b>20</b>

## **Sammendrag**

Rapporten beskriver kortfattet resultatet af et litteraturstudie, der omhandler GPS's anvendelse i jordbruget. Studiet har omfattet gennemlæsning af relevant faglitteratur, fortrinsvis proceedings (faglige indlæg) fra internationale kongresser, idet emnet endnu er relativt nyt med kun få videnskabelige artikler i internationale reviewede tidsskrifter. Det konkluderes, at der savnes undersøgelser til belysning af GPS's nøjagtighed og pålidelighed under praktiske forhold i jordbruget, samt at de potentielle muligheder for anvendelse af GPS i præcisionsjordbrug synes store. Endvidere nævnes, at der er behov for en standardiseret prøvemetode til vurdering af de forskellige GPS-systemer og -fabrikater i jordbruget.

Rapporten henvender sig til rådgivere, undervisere og virksomheder, der arbejder med jordbrugsteknik, og som ønsker at få et hurtigt overblik over problematikken vedr. GPS.

**Nøgleord:** GPS, DGPS, præcisionsjordbrug.

## **Summary**

This report gives a brief summary of a study of literature concerning the use of GPS (Global Positioning System) within agriculture. The study has included perusal of relevant scientific literature – mainly proceedings from international congresses, due to the fact that GPS is a relatively new and unexplored subject, and consequently, only a few scientific articles in international reviewed magazines have been made available to the public. The report concludes that there is an obvious need for investigations into the accuracy and the dependability of existing GPS systems when used in connection with practical farming, and that the potentials for the application of GPS systems within precision farming seem to be good. The report furthermore points out the need for a standardised method for testing of the different types and brands of GPS systems to be used within agriculture.

The report addresses itself to agricultural consultants, teachers and enterprises who want to get a prompt idea of the complex of problems involved with the use of GPS.

**Keywords:** GPS, DGPS, Precision Farming.

## Indledning

Fremskaffelse af et funktionspålideligt positionerings- og navigationssystem, der giver en opgaverelevant nøjagtighed i marken for traktor + redskab eller selvkørende maskine, er første forudsætning for udvikling af et bæredygtigt præcisionsjordbrug.

Denne rapport giver en kort orientering om GPS (Global Positioning System), der omfatter det amerikanske satellitsystem NAVSTAR (Navigation Satellite with Timing and Ranging) og det russiske satellitsystem GLONASS (Global Navigation Satellite System). Begge systemer står gratis til rådighed for civile brugere over hele verden, herunder jordbrugere, og begge systemer undergår til stadig opgraderinger.

Det er muligt på sigt at udnytte signaler fra både NAVSTAR og GLONASS og derved opnå en forbedret nøjagtighed. Yderligere nøjagtighed af systemerne fås ved brug af DGPS (Differential Global Positioning System). Størst nøjagtighed fås ved at sammenkoble DGPS + INS (Global Positioning System + Inertial Navigation System), hvormed der fås et system, i hvilket der indgår brug af forskellige inertisensorer, såsom gyroskop (kurs) og accelerometre (hastighed og vejlængde).



**Figur 1. DGPS + INS har potentielle muligheder til mange opgaver inden for præcisionsjordbrug. Implementeringen er dog først i sin indledende fase. DGPS + INS offer potential prospects for the accomplishment of many tasks within precision farming. However, the implementation of the systems is in its initial phase**

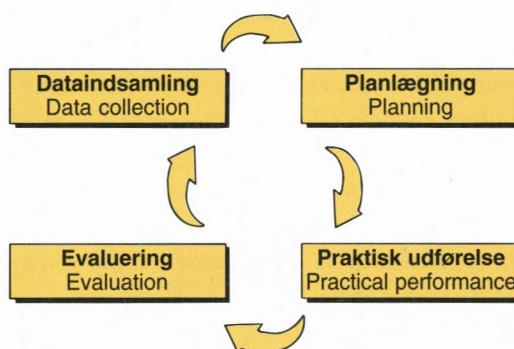
## Resultater

### Præcisionsjordbrug

Begrebet præcisionsjordbrug betegner en dyrkningspraksis, hvor dataindsamling, arbejdsplanlægning og udførelse samt dets evaluering for en given mark er afhængige af de lokale forhold i det område af marken, hvor man befinner sig. Princippet fremgår af figur 2.

Præcisionsjordbrug omfatter bl.a. stedsspecifik måling af høstudbytte, udtagning af jordprøver i relevante positioner, udarbejdelse af udbytte- og jordbundskort, planlægning af næste vækstsæson, gradueret godtning (handelsgødning og fast/flydende husdyrgødning), gradueret pesticidsprøjtning, bestemt ud fra afgrødernes aktuelle behov (infrarød overvågning), og mekanisk ukrudtsrensning i rækkeafgrøder (evt. ændret rækkeafstand).

Kravet til nøjagtighed afhænger af de opgaver, der skal udføres. For stedsspecifik udbyttet måling med mejetærsker og gradueret godtning med centrifugalspreder vurderes en nøjagtighed omkring 1-2 m for tilfredsstillende. Ved radrensning må nøjagtigheden sættes ned til cm-niveau.



**Figur 2. Arbejdscyklus i præcisionsjordbrug. Work cycle within precision farming**

### Funktionspålidelighed

Ved vurdering af satellitsystemers pålidelighed skelnes der mellem antal aktive satellitter og deres indbyrdes geometri samt døgn tidspunktet og årstiden.

Ved vurdering af et systems nøjagtighed er det vigtigt at forholde sig til de betingelser, hvorunder der arbejdes. Derfor skelnes der mellem

- Den øjeblikkelige nøjagtighed (kinematisk/dynamisk måling) fra et givet punkt, f.eks. positionen ved traktorkørsel.
- Den gennemsnitlige nøjagtighed (statisk måling) fra et givet punkt, dvs. gennemsnittet af et større antal målinger.

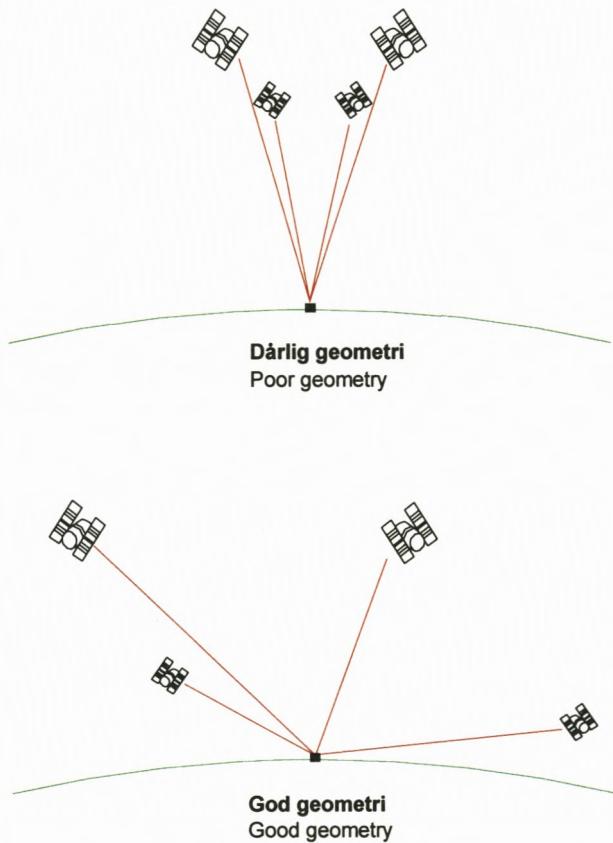
## **Positionsbestemmelse**

Positionen bestemmes ved at beregne den sandsynlige afstand (pseudoafstand) mellem et antal satellitter og modtageren. Dette sker ved at måle den tid, det tager for radiosignalet at bevæge sig fra satellitten til modtagerens antenne. Beregningen baserer sig på, at signalets hastighed er den samme som lysets, og at satellitternes afgivne oplysninger om egenposition, hastighed og tid er korrekte.

Endvidere kan signalmodtagelsen være påvirket af urfejl i satellit, fejl i satellittens kredsløb, inosfæriske forsinkelser og troposfæriske forsinkelser. Der regnes med en gennemsnitlig positionsfejl på 15 m. Det betyder, at fejlen på enkeltmålinger kan være større. Dertil kommer fejl fra reflektioner i landskabet og fejl i selve modtageren. Derudover har det amerikanske system NAVSTAR lagt ”støj” på civile signaler, hvorved fejlen øges yderligere med 20-50 m. ”Støj” er ikke konstant, men ændres bevidst fra tid til anden, og der udsendes ikke meddelelse herom.

## **Satellitgeometri**

En positionsbestemmelse i marken kræver signaler fra mindst 4 og helst flere synlige satellitter. Antallet af synlige satellitter, deres indbyrdes geometri samt døgntidspunkt og årstid er af betydning for positionens nøjagtighed. God geometri opnås, når de synlige satellitter danner en bred vifte på himlen, se figur 3. Dette svarer til, at når et geometrisk punkt skal bestemmes, sker dette med størst nøjagtighed, når de skærende linier danner en stor vinkel med hinanden. Det vil sige, at ved GPS drejer det sig om forbindelseslinierne mellem modtager og de synlige satellitter. Effekten for en horizontal position af satellitgeometri og almanakforhold beregnes ved faktoren: HDOP (Horizontal Dilution Of Precision). Ved vurderingen af HDOP gælder det, at jo lavere talværdi, der fremkommer ved beregningen, desto mere nøjagtig er positionen bestemt under de givne omstændigheder. HDOP-værdier mindre end 1 er ensbetydende med stor nøjagtighed. Værdier over 5 bør udelukkes.



**Figur 3.** Dårlig (øverst) og god (nederst) satellitgeometri. Poor (above) and good (below) satellite geometry

### Multipath

Multipath (signalmodtagelse ad flere veje) kan forekomme, når der i nærheden af modtagerens antenne findes reflekterende objekter, såsom bygninger, køretøjer, master og træer. Positionsbestemmelse på skovareal er usikkert, medmindre der ønskes en stationær bestemmelse af positionen. Reflekterede signaler er signaler, der ikke følger den direkte vej fra satellit til modtager, hvilket betyder, at deres udbredelsestid dermed bliver længere end for signaler, der sendes direkte i linie fra satellitterne, og en længere udbredelsestid betyder målefejl. Indflydelsen af Multipath er afhængig af det reflekterede signals styrke, antennens evne til at frasortere Multipath samt afstanden til det reflekterende objekt. Multipath kan give fejl i positionen på 2 til 3 m.

## **Kalmarfilter**

Et Kalmanfilter er et vigtigt hjælpemiddel til forbedret navigering i marken. Filteret består i en computerberegning (algoritme) til behandling af satellitsignaler, hvor viden fra allerede opsamlede data benyttes til beregning af pålidelig kurs (linie og kurve), idet tilfældige afvigelser i data kan bortfiltreres. Derudover kan filteret behandle data, hvor der forekommer korttidsudfald af satellitsignaler, samt udnytte data fra inertisensorer såsom gyroskop og accelerometer (bestik/deadreckoning).

## **Landmåling**

Landmåling er en proces, hvor der opsamles signaler over længere tid (statisk måling) på en ønsket position. Nøjagtigheden er afhængig af antal målinger (måletid), aktuel satellitgeometri, og om der er brugt GPS eller GPS + DGPS. Der kan opnås nøjagtigheder på cm- og mm-niveau.

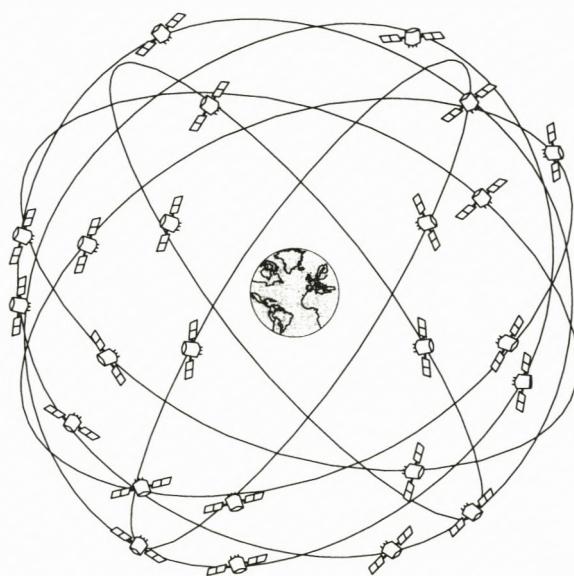
## **Geodætisk datum**

Et geodætisk datum beskriver jordens krumning i et koordinatsystem (flade) med angivelse af længde, bredde og højde. Der findes forskellige typer af topografiske kort. NAVSTAR og GLONASS benytter henholdsvis WGS-84 (World Geodetic System 1984) og SGS-85 (Soviet Geodetic System 1985). Modtagerudstyr kan konfigureres til at levere positioner i forskellige data.

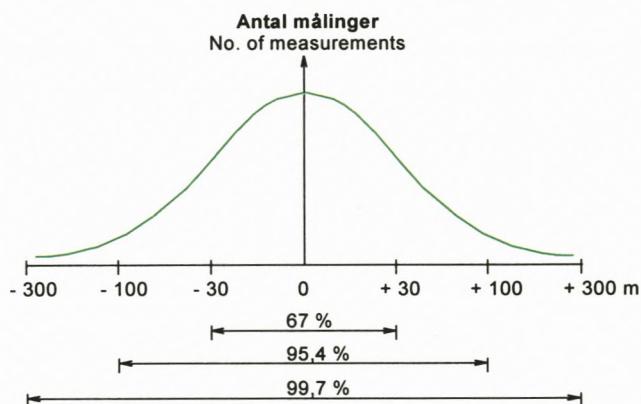
## **NAVSTAR**

NAVSTAR ejes og vedligeholdes af det amerikanske forsvar, og det er til gratis rådighed for brugere verden over, herunder jordbrugere. Systemet består af 24 satellitter (plus 4 i reserve), der i 6 orbitale baner med en hældningsvinkel på 55° i forhold til ækvator og i 26.560 km højde bevæger sig omkring jorden og konstant udsender radiosignaler (frekvens 1.227,6 MHz) vedr. position, højde, tid og hastighed, se figur 4. Satellitterne vejer 1830 kg og har en omløbstid på 11 timer og 58 minutter. Satellitternes drift kontrolleres og styres med hensyn til position, hastighed og tid fra 5 jordstationer (Cape Canaveral, Azorerne, Diego Garcia, Kwajalein og Hawaii). Systemet udbygges til stadighed.

Satellitsignalene er dels kodede militære (Precise Positioning Service) og dels ukodede civile (Standard Positioning Service) signaler, hvor sidstnævnte signaler er pålagt ”støj” (Selective Availability) for at mindske nøjagtigheden for modtagelse på jorden. NAVSTAR’s nøjagtighed i horisontalt plan til civile formål er ±30, ±100 og ±300 m for henholdsvis 67, 95,4 og 99,7% af modtagne signaler, se figur 5. Denne nøjagtighed er ikke tilfredsstillende til opgaver i jordbruget, især på arealer, hvor der kræves dynamisk måling (måling under kørsel). NAVSTAR udbygges derfor med DGPS og DGPS + INS (Differentiel Global Positioning System + Inertiell Navigation System).



**Figur 4.** NAVSTAR omfatter 24 satellitter (plus 3 i reserve) i 6 orbitale baner. NAVSTAR comprises 24 satellites (plus three spare satellites) divided over six orbits



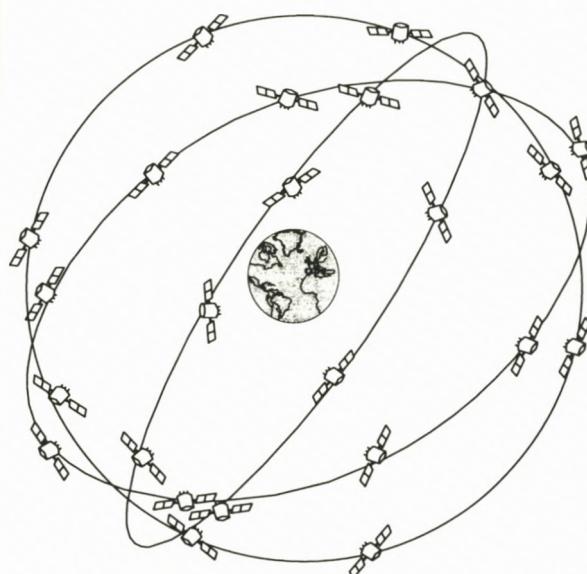
**Figur 5.** Statistisk fordeling af stort antal målinger i samme punkt (Gauss). Statistical distribution of several measurements at the same point

## GLONASS

GLONASS ejes og vedligeholdes af det russiske forsvar, og det er til gratis rådighed for brugere verden over. Systemet ligner i mange henseende NAVSTAR, idet der udsendes både kodede militære og ukodede civile signaler.

GLONASS består af 24 satellitter, der i 3 orbitale baner med en hældningsvinkel på  $65,8^\circ$  i forhold til Ækvator og i 25.510 km højde, bevæger sig omkring jorden og konstant udsender radiosignaler (i frekvensområdet 1.602–1.616 Hz) vedr. position, højde, hastighed og tid, se figur 6. Hver satellit har egen sendefrekvens, modsat satellitterne i NAVSTAR, der har fælles sendefrekvens. Satellitterne vejer omkring 1300 kg og har en omløbstid på 11 timer og 16 minutter. Satellitterne kontrolleres og styres med hensyn til position, hastighed og tid fra 6 jordstationer på russisk område (Geolitsyno, Moskva, St. Petersborg, Yeniseisk, Komsomolsk og Kitab).

GLONASS's nøjagtighed til civile formål i horisontalt plan angives at være den samme som NAVSTAR's, dvs.  $\pm 100$  m for 95,4% af antal modtagne signaler, se figur 5. Amerikanske kontrolmålinger viser imidlertid, at nøjagtigheden er større, nemlig  $\pm 26$  m (95,4%). Det betyder, at signalerne sendes uden pålagt "støj". Der er dog ingen garanti for, at dette vil vedblive at være tilfældet. Nøjagtigheden er ikke tilstrækkelig til opgaver i jordbruget. GLONASS udbygges derfor også med DGPS og DGPS + INS.



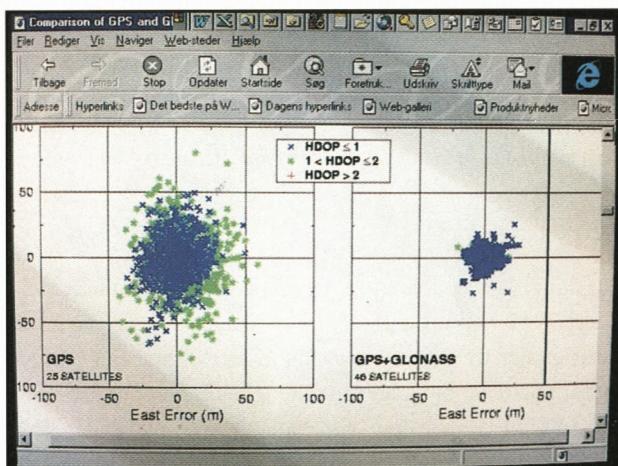
**Figur 6. GLONASS omfatter 24 satellitter i 3 orbitale baner. GLONASS comprises 24 satellites divided over six orbits**

## NAVSTAR + GLONASS

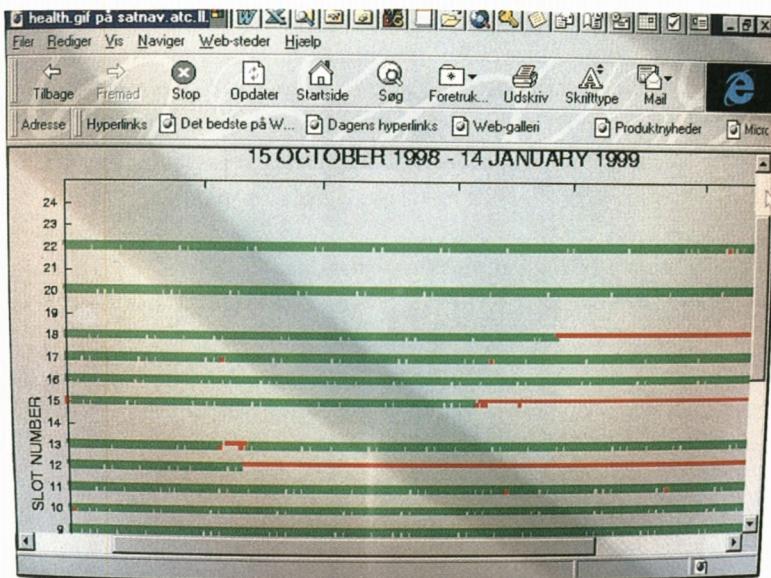
Samlet giver de to satellitsystemer bedre dækning og mulighed for at modtage signaler fra mange satellitter til civile formål. Dette vil give en bedre satellitgeometri (lave HDOP-værdier), og dermed kan der opnås en betydelig større nøjagtighed, se figur 5. Amerikanske undersøgelser viser således, at nøjagtigheden ved brug af begge systemer er  $\pm 9$ ,  $\pm 20$  og  $\pm 40$  m for henholdsvis 50, 95,4 og 99,7% af de modtagne signaler, se figur 7.

NAVSTAR er det mest pålidelige af de to systemer, idet GLONASS ikke altid har samtlige 24 satellitter i aktiv drift, se figur 8. Begge systemer undergår til stadighed opgraderinger, bl.a. udskiftes ældre satellitter med nye i forbedret konstruktion.

I år 2000 træffes der præsidentbeslutning om, hvorvidt den pålagte "støj" på NAVSTAR skal fortsætte eller ej.



**Figur 7. Nøjagtighed ved NAVSTAR og NAVSTAR + GLONASS. (Internetbillede 14.01.1999. MIT Lincoln Laboratory, USA). Accuracy of NAVSTAR and NAVSTAR + GLONASS. (Internet picture, 14.01.1999. MIT Lincoln Laboratory, USA)**

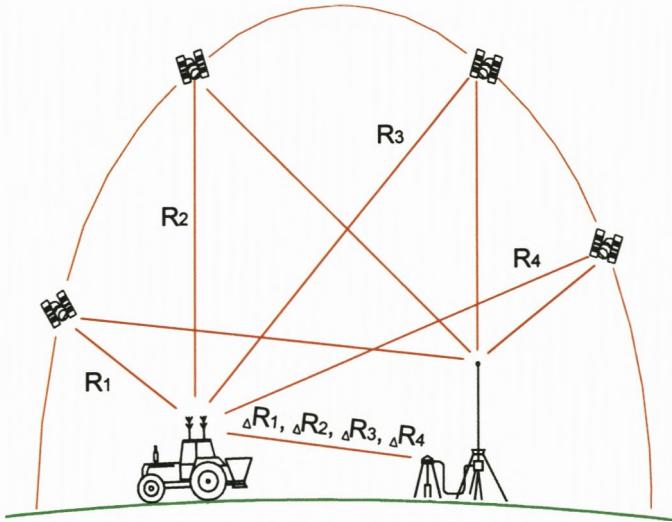


**Figur 8. Aktive satellitter i GLONASS. (Internetbillede 14.01.1999. MIT Lincoln Laboratory, USA). Active satellites in GLONASS. (Internet picture 14.01.1999. MIT Lincoln Laboratory, USA)**

## DGPS

DGPS (Differentiel Global Positioning System) betyder, at bestemmelse af GPS-modtagerens position vil blive forbedret i væsentlig grad, idet modtageren, ud over direkte satellitsignaler, får tilført korrektionssignaler fra en referencestation, der er placeret på kendt position, se figur 9. Princippet er, at stationen modtager satellitsignaler, beregner stationens position, sammenligner denne med den kendte og via radiosignaler udsender korrektioner herom. GPS-modtageren lader disse korrektioner indgå i sin endelige beregning af positionen. Korrektionernes kvalitet kan variere på grund af atmosfæriske forstyrrelser, pålagt ”støj” og satellitgeometri samt modtagerens og referencestationens konstruktion, herunder afstanden til stationen og landskabets topografi (signalalder).

Ved brug af DGPS påregnes der opnået en forbedrende faktor på 7-25, hvilket betyder, at den oprindelige nøjagtighed på  $\pm 100$  m (94,4%) ved NAVSTAR forbedres til  $\pm 4-15$  m (95,4%).



**Figur 9. Princip i DGPS. Ud over direkte satellitsignaler modtages der korrektionssignaler fra en referencestation i kendt position.** Principle of DGPS. In addition to direct satellite signals, the signals from a reference station placed at a known location will be received

### Referencestation

Landsdækkende referencestationer påregnes at have en rækkevidde på 500 km, og lokale stationer en rækkevidde på 15 km, dog afhængigt af type, sendestyrke og landskabets topografi. Mobil referencestation og drift af denne kan have interesse for maskinfællesskaber, maskinstationer og gødningsleverandører. Landsdækkende stationer drives af selskaber, og der kræves abonnement for at modtage korrektionssignalene.

### SPOT-FM

SPOT-FM (Speed Position and Track–Frequency Modulation) er et samarbejde mellem Kort & Matrikelstyrelsen og Tele Danmark Erhverv vedr. salg af korrektionssignaler, f.eks. til jordbrugere. Samarbejdet omfatter drift af 3 landsdækkende referencestationer (København, Vejle og Aalborg), der modtager GPS-signaler og beregner korrektioner på disse. De beregnede værdier føres via telefonlinie til FM-radiosendere, hvorfra korrectionerne sendes ud over hele landet. Bruger skal betale abonnement til Kort & Matrikelstyrelsen og have en Spot-FM radiomodtager tilkoblet GPS-modtageren.

### NAV-DK

NAV-DK (Navigation-Danmark) er et samarbejde om salg af korrektionssignaler mellem Kort & Matrikelstyrelsen og Sonofon. Der benyttes samme referencestationer og teknik som ved SPOT-FM. Blot benyttes der en anden måde til udbredelse af korrectionerne, idet hver referencestation har et antal datamodem, som brugere kan lave opkald til via mobiltelefon.

Brugeren skal råde over mobiltelefon, datainterface og GPS-modtager, beregnet til NAV-DK. Der kræves intet abonnement, idet afregningen sker til almindelig mobiltelefontakst.

## **Beacon**

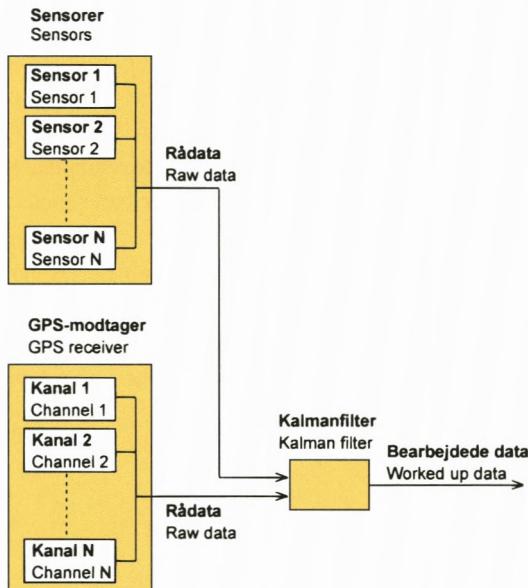
Farvandsvæsenet har opstillet 3 referencestationer, Beacon (fyr/sømærke), langs de danske kyster, der udsender korrektionssignaler til hjælp for søfarten. Signalerne udsendes via mellembølger, hvilket betyder, at de udbredes godt over havet, men dårligt over land. Systemet er til gratis afbenyttelse for alle interessererede brugere, herunder jordbruget.

## **DGPS + INS**

DGPS + INS (Differential Global positioning System + Inertiel Navigation System) omfatter kontinuerlig integration af signaler fra satellitter, referencestation og inertisensorer til via Kalmanfilter at frembringe pålidelige navigationssignaler til kørsel ad bestemt rute (linie og kurve) med udgangspunkt i kendt punkt, se figur 10.

Inertisensorer monteres på traktorer og selvkørende maskiner. Typiske sensorer er gyroskop (magnetisk, fiberoptisk, piezoelektrisk), hastighedsmåler (radar, tachymeter), afstandsmåler (induktiv tastning på traktorhjul, 5. hjul) og accelerometer (mekanisk, piezoelektrisk).

Der foreligger en del international publicering vedrørende undersøgelser i jordbruget med brug af DGPS + INS. Flertallet af undersøgelserne er udført ved, at traktoren har fulgt en bestemt rute under forskellige forhold, og der er målt afvigelser herfra, dvs. værdiforskel mellem "er" og "skal være". Resultaterne viser stor forskellighed i de enkelte undersøgelser. Nøjagtighederne svinger fra  $\pm 10$  cm til  $\pm 1,8$  m. Undersøgelserne er dog ikke sammenlignelige, da de er udført under forskellige forhold og med forskellige typer af sensorer, modtagere, referencestationer samt med/uden Kalmanfilter. En del fejl kan henføres til stokastiske fejl fra satellitgeometri og Multipath. Derudover har kørehastigheden haft stor betydning, idet størst nøjagtighed er opnået ved lave hastigheder. Samlet viser undersøgelserne, at der er gode muligheder for at udvikle DGPS + INS til praktisk brug i præcisionsjordbruget, herunder kan på sigt en kombination af signaler fra både NAVSTAR og GLONASS medvirke til en øget nøjagtighed. Derudover kan nøjagtigheden øges ved opsendelse af lokale satellitter til specifikke formål.



**Figur 10. DGPS + INS betyder integreret anvendelse af signaler fra satellitter, referencestation og inertisensorer. DGPS + INS are indications of integrated use of signals from satellites, reference station and inertia sensors**

### Modtager

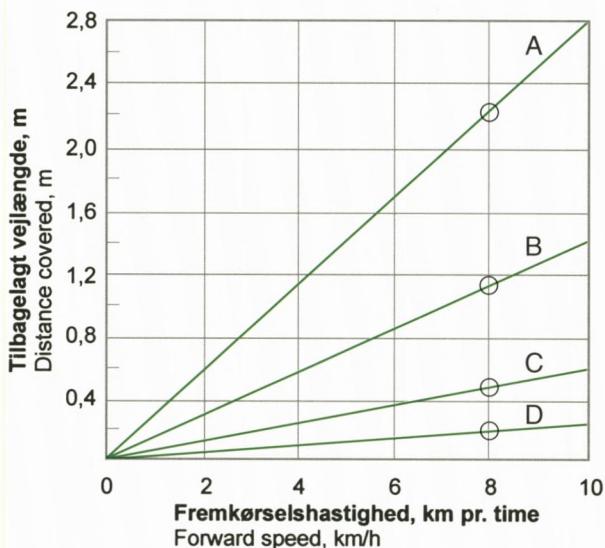
Der skelnes mellem modtagertyper med 1-kanal, multipleks og flere kanaler:

- *1-kanal* betyder, at der kun er kontakt med én synlig satellit ad gangen, og der forekommer stop ved skift fra en satellit til en anden. Modtageren er kun egnet til orienteringsformål.
- *Multipleks* har 1 eller 2 kanaler, der multiplekser (skifter) mellem et antal synlige satellitter, f.eks. 4. Der forekommer ikke periodiske stop i signalmodtagelsen ved satellitskift.
- *Flere kanaler* betyder kontinuerlig kontakt med mange synlige satellitter ad gangen. 12 kanaler betyder eksempelvis kontakt til 12 satellitter. Jo flere kanaler, desto bedre opnåelse af positionsbestemmelse. Der forekommer ikke periodiske stop i signalmodtagelsen ved satellitskift.

Modtageren fås med aktiv eller passiv antenné. Den aktive antenné forstærker signalerne fra satellitterne. Derved kan der fås kontakt til flere satellitter, men samtidig hermed er modtageren mere følsom over for forstyrrelser. Den aktive antenné benyttes i kuperet terræn og nær skove, samt hvor der er risiko for refleksioner. Den passive antenné giver ingen forstærkning af signalerne, og den er mindre følsom. Lokale forhold afgør valget af antenné.

De fleste modtagere har udlæsning af beregnet position hvert eller hvert andet sekund. Dette er for langsomt til pålidelig navigering i præcisionsjordbrug. Eksempelvis vil modtagelse af 2 signaler pr. sekund og en kørehastighed af traktoren på 8 km pr. time (2,2 m pr. sekund) betyde, at der tilbagelægges en kørestrækning på 1,2 m mellem to på hinanden følgende positionsudlæsninger, se figur 11. Dette forklarer klart nødvendigheden i brug af Kalmanfilter og inertisensorer til bestemmelse/styring i tidsrummet mellem signalerne.

En alternativ, men meget dyr løsning, er at anvende højfrekvensmodtagere, PDGPS (Precision Differential Global Positioning System). Dette system kan yderligere forbedres ved opsendelse af geostationære satellitter. Der foreligger ingen rapportering om dette systems praktiske anvendelse i jordbruget. Der er dog udført simulerede forsøg i laboratorium, hvor der er fundet nøjagtigheder på  $\pm 1$  cm.



**Figur 11. Relation mellem signalfrekvens, kørehastighed og vejlængde. A  $\cong 1$  sek., B  $\cong 0,5$  sek., C  $\cong 0,2$  sek., D  $\cong 0,1$  sek. Relation between frequency of signals, travelling speed and distance. A  $\cong 1$  sec., B  $\cong 0.5$  sec., C  $\cong 0.2$  sec., D  $\cong 0.1$  sec.**

## Konklusion

GPS har mange anvendelsesmuligheder inden for luftfart, søfart, militær og transport. Det vil på sigt betyde mere effektivt og prisbilligt udstyr til jordbruget.

Det vurderes, at DSPS og DGPS + INS har potentielle muligheder til opgaver inden for præcisionsjordbrug. Implementeringen af DGPS + INS er dog først i sin indledende fase. At denne udvikling ikke er nået længere på nuværende tidspunkt, skyldes ikke alene, at prisen er høj, når der stilles krav om stor nøjagtighed. Årsagen er i mindst lige så høj grad, at det ikke ligger klart, efter hvilke kriterier det er mest optimalt at foretage en stedsspecifik behandling i en givne mark. Det er ikke nok at vide, hvor man præcisist befinner sig i marken, hvis det er usikert, hvad man skal foretage sig. Eksempelvis vil et udbyttekort fra foregående år ikke være tilstrækkeligt som grundlag for en graduert godtning. Kortets informationer må suppleres med målinger af afgrødens aktuelle tilstand samt oplysninger om den anvendte spreders spredeegenskaber med den valgte godtning. Der er dog ingen tvivl om, at der i de kommende år vil ske en forceret udvikling mod ny teknik, herunder sensorer, der kan forbedre grundlaget for præcisionsjordbrug.

Der savnes en standardiseret prøvemetode til vurdering af GPS's pålidelighed og nøjagtighed i jordbruget.

## Referencer

1. Al-Gaadi, K.A. & Ayers, P.D., 1998. Assembling a Real-Time DGPS – Testing and Investigating Factors that Affect Its Accuracy. *Applied Engineering in Agriculture*. Vol. 14(6), 659-665.
2. Algerbo, P.A. & Thylén, L., 1997. Coast Guard Beacon System. Proc. Precision Agriculture'97, Warwick, Vol. II.
3. Auernhammer, H., 1992. Rechnergestützter Pflanzenbau am Beispiel der Umweltorientierten Düngung. VDI/MEG Kolloquium Agrartechnik, Weihenstephan, Heft 14.
4. Balsari, P. & Tomagnone, M., 1997. Directional Control of Agricultural Vehicles. Proc. Precision Agriculture'97, Warwick, Vol. II.
5. Bars de, J.M. & Boffety, D., 1997. Location Improvement by Combining a DGPS System with On-Field Vehicle Sensors. Proc. Precision Agriculture'97, Warwick, Vol. II.
6. Bernhardt, G. & Dam, W., 1992. Lösungsansätze zur Positionsbestimmung Mobiler Landmaschinen Mittels eines Trägheitsnavigationssystems. VDI/MEG Kolloquium Agrartechnik, Weihenstephan, Heft 14.
7. Barnhardt, R.W., 1997. Precision Application of Agricultural Chemicals. Proc. Precision Agriculture'97, Warwick, Vol. II.
8. Beuche, H. & Hellebrand, J., 1998. Positionsgenauigkeit und Verfügbarkeit verbessern. Landtechnik, Juni.
9. Biller, R. H., Hollstein, A. & Sommer, C., 1997. Precision Application of Herbicides by Use of Optoelectronic Sensors. Precision Agriculture'97, Warwick. Proc., Vol. II.
10. Bollhalder, H., 1998. Praktische Erfahrungen mit DGPS im Feldeinsatz. SVIAL-Tagung, Tänikon, Heft 47.
11. Borgelt, S.C., Harrison, J.D., Sudduth, K.A. & Birrell, 1996. Evaluation of GPS for Applications in Precision Agriculture. *Applied Engineering in Agriculture*, Vol. 12(6), 633-638.
12. Cederholm, J.P., 1990. NAVSTAR GPS anvendt i landmåling. Afgangsprøjekt. Landinspektørstudiet, Aalborg Universitet.
13. Chiabrandi, R. & Garner, G., 1994. The use of kinematic GPS in agro forestal surveys. The minor roads case. Proc. AgEng'94, Milano, Part 1.
14. Christensen, O.G., 1991. Mejetærskeren modtager signaler fra satellit 20.000 km ude i verdensrummet. Effektivt Landbrug, januar.

15. Christensen, S., Heisel, T., Secher, B.J.M., Jensen, A. & Haahr, V., 1997. Spatial Variation of Pestecide Doses Adjusted to Varying Canopy Density in Cereals. Proc. Precision Agriculture'97, Warwick, Vol. I.
16. Clark, R.L. & Lee, R., 1998. Development of Topographic Maps for Precision Farming with Kinematic GPS. Transactions of the ASEA, Vol. 41(4), 909-916.
17. Demmel, M., Muhr, T., Rottmeier, J., Perger, P. & Auernhammer, A., 1992. Ortung und Ertragsermittlung beim Mähdrusch in den Ertejahren 1990 und 1991. VDI/MEG Kolloquium Agrartechnik, Weihenstephan, Heft 14.
18. Dirjksterhuis, H.L., Willigenburg van, L.G. & Zuydam van, R.P., 1998. Centimetre-precisin guidance of moving implements in the open field: a simulation based on GPS measurements. Computers and electronics in agriculture, 185-197.
19. Fekete, A. & Lammers, P.S., 1997. Analysis of Location Error. Proc. Precision Agriculture'97, Warwick, Vol. II.
20. Ferguson, M.H., 1997. GPS Land Navigation. A Complite Guidebook for the Backcountry Users of the NAVSTAR Satellite System. Glassford Publisher, 8, 255 pp.
21. Gaudin, J., Rabatel, G., Bonicelli, B. & Sevilla, F., 1998. Including reduced satellite information in DGPS location system: Application to partially obstructed environments. Proc. AgEng'98, Oslo, Part 2.
22. Guul-Simonsen, F., 1993. Markpositionering med GPS – Global Positioning System. Landbonyt, juli.
23. Hall, T., Burke, B., Pratt, M. & Misra, 1997. Comparison of GPS and GPS + GLONASS - Positioning Performance. Lincoln Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, MA 02173.
24. Hellebrand, H.J. & Beuche, H., 1997. Multicomponent Position for Site-Specific Farming. Proc. Precision Agriculture'97, Warwick, Vol. II.
25. Hellebrand, H.J. & Beuche, H., 1996. Positioning by Low Rate DGPS. Proc. AgEng'96, Madrid, Part 2.
26. Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. & Collins, J., 1997. Global Positioning System: Theory and Practice. Springer, Berlin, 389 pp.
27. Ichitsubo, S., Kawasaki, R., Hattori, T., Suwa, K. & Oyoshi, T., 1998. Microcell Automatic Propation System and Sercice-Area Evalution. Wireless Personal Communications, 7, 41–52.
28. Jahns, G. & Kögl, H., 1992. Nutzung der Ortung und Navigation Landwirtschaftlicher Fahrzeuge zur Reduzierung des Betriebsmitteleinsatzes – Wirtschaftliche Grundsätze und Praktische Anwendung. VDI/MEG Kolloquim Agrartechnik, Weihenstephan, Heft 14.

29. Jensen, A.B. & Jensen, N.H.V., 1994. Anvendelse af GPS til typiske landmålingsopgaver. Afgangsprojekt. Landinspektøruddannelsen, Aalborg Universitet.
30. Jürschik, P. & Beuche, H., 1992. Anschlussfahren von Feldmaschinen mit Differential GPS. VDI/MEG Kolloquium Agrartechnik, Weihenstephan, Heft 14.
31. Kaplan, E.D., 1996. Understanding GPS. Principles and Applications. Artech House, Boston, 559 pp.
32. Kjeldsen, C. & Knudsen, L., 1999. Status på positionsbestemt dyrkning. Agrologisk, marts.
33. Kohnen, G., 1996. GPS Ortungs- und Navigationsgenauigkeit mit differentielle Korrektur über RDS. Landtechnik, August.
34. Koldkjær Jacobsen, D., 1997. GPS i skov. Afgangsprojekt. Landinspektøruddannelsen, Aalborg Universitet.
35. Korte, H. & Yule, I.J., 1996. A Comparison of Differential Global Positioning Systems in Precision Farming. Proc. AgEng'96, Madrid, Part 2.
36. Mack, G., 1997. Precise Positioning for Agriculture. Proc. Precision Agriculture'97, Warwick, Vol. II.
37. Misra, P.N., 1993. Integrated use of GPS and GLONASS in Civil Aviation. Lincoln Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, MA 02173.
38. Muhr, T. & Auernhammer, H., 1992. Technische Möglichkeiten zur Ortsnung Landwirtschaftlicher Fahrzeuge im Feld. VDI/MEG Kolloquium Agrartechnik, Weihenstephan, Heft 14.
39. Nagasaka, Y., Otani, R. Shigeta, K. & Taniwaki, K., 1998. Autonomous rice transplanting system with GPS and FOG. Proc. AgEng'98, Oslo, Part 2.
40. Nielsen, H.M., & Nielsen, H., 1998. Optical sensing on field machinery of crop growth status. Proc. AgEng'98, Oslo, Part 2.
41. Pedersen, H., 1998. Mange spredere til positionsbestemt gødskning. Landsbladet Mark, maj.
42. Pedersen, H., 1997. GPS er blevet billigere. Landsbladet Mark, november.
43. Peirs, A. Lammertyn, J., de Baerdemaeker, B. & Nicolai, B., 1998. Non-destructive quality measurements of tomatoes by means of NIR-spectroscopy. Proc. AgEng'98, Oslo, Part 1.
44. Roland, H. & Skjellerup, P., 1997. GPS og DGPS. Særtryk fra Kort & Matrikelstyrelsen.
45. Satellite Navigation Group, 1999. GLONASS deployment history. Lincoln Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, MA 02173.

46. Schneider, H. & Reitz, P., 1996. GPS zur Geschwindigkeitsmessung. Landtechnik, Oktober.
47. Schwenke, T. & Auernhammer, A., 1999. Koppelsysteme für die Stützung von DGPS. Landtechnik, April.
48. Schwenke, T. & Auernhammer, A., 1999. A Microwave Sensor System for Improved Positioning of Agricultural Vehicles with GPS. Proc. Precision Agriculture'99, Odense, Part 2.
49. Seeber, G. & Schmitz, M., 1996. Methode der GPS- und DGPS-Messung. Institut für Erdmessung, Hannover.
50. Seierø, M., 1999. Stort uudnyttet potentiale ved sprøjtning med GPS. Agrologisk, maj.
51. Skjellerup, P., 1997. Positionsbestemmelse med satellitter og FM-radio. Effektivt Landbrug Special.
52. Stafford, J.V. & Bolam, H.C., 1996. Improving Reliability of Position Resolution Using GPS for Precision Agriculture. Proc. AgEng'96, Madrid, Part 2.
53. Steven, M.D. & Millar, C., 1997. Satellite Monitoring for Precision Farm Decision Support. Proc. Precision Agriculture'97, Warwick, Vol. II.
54. Toft, H., 1987. GPS satellit navigation: Nye perspektiver for nøjagtig navigation. Shipmate, Støvring.
55. Taylor, J.C., Thomas, G. & Wood, G.A., 1997. Diagnosing Sources of Within-Field Variation with Remote Sensing. Proc. Precision Agriculture'97, Warwick, Vol. II.
56. Taylor, J.C., Wood, G.A. & Thomas, G., 1997. Mapping Yield Potential with Remote Sensing. Proc. Precision Agriculture'97, Warwick, Vol. II.
57. Thomsen, E. B., 1991. Til premiere på satellithøst, 10-15 pct. sparet på gødningkontoen plus besparelser på såsæd og sprøjtemidler. Landsbladet Mark, september.
58. Tisseyre, B., Sacca, A., Total, J. & Sevilla, F., 1998. DGPS correction based on a map matching algorithm for accurate machine location in the vineyard. Proc. AgEng'98, Oslo, Part 2.
59. Torii, T., Takamizawa, A., Okamoto, T. & Imou, K., 1998. Vision-guided tractor. Proc. AgEng'98, Oslo, Part 2.
60. Vieri, P. & Spugnoli, P., 1997. A High pressure Injection System for Precision Application of Pesticide. Proc. Precision Agriculture'97, Warwick, Vol. II.
61. Vrindts, E. & de Baerdemaeker, J., 1997. Optical Discrimination of Crop, Weed and Soil for On-line Weed Detection. Proc. Precision Agriculture 1997, Warwick, Vol. II.

62. Wild, K., Rödel, M. & Schurig, M., 1997. GPS based Soil Sampling with an Auger and Field Analysis of Nitrate. Proc. Precision Agriculture'97, Warwick, Vol. II.
63. Wild, K. & Auernhammer, H., 1998. GPS based analysis and visualization of machinery used and working time for harvesting operations. Proc. AgEng'98, Oslo, Part 2.
64. Wild, U., 1998. Einsatz von GPS und Differential GPS (DGPS) für Navigation und GIS-Datenerfassung. SVIAL-Tagung, Tänikon, Heft 47.
65. Wolfgang, P., 1998. Sensors for soil attributes, plants transpiration and water stress. Proc. AgEng'98, Oslo, Part 2.
66. Zuydam van, R.P. & Werkhoven, C., 1997. High-Accuracy Remote Position Fix and Guidance of Moving Implements in the Open Field: Test on Sensor Accuracy. Proc. Precision Agriculture'97, Warwick, Vol. II.



POSTB. BLAD 7401 HRC 50954  
689  
Danmarks Jordbruksforskning  
afd. for Plantebeskyttelse  
Flakkebjergs

4200 Slagelse

DJF Foulum

Postboks 50, 8830 Tjele  
Tlf. 89 99 19 00. Fax 89 99 19 19

Direktion  
Direktionssekretariat, Økonomisekretariat

Afdeling for Animalske Fødevarer  
Afdeling for Husdyravl og Genetik  
Afdeling for Husdyrnærering og Fysiologi  
Afdeling for Husdysundhed og Velfærd  
Afdeling for Jordbrugssystemer  
Afdeling for Plantevækst og Jord

Afdeling for Markdrift  
Afdeling for Stalddrift  
Centrallaboratoriet  
Informationsenhed  
IT-funktion  
Biblioteksfunktion  
International Enhed

DJF Årslev

Kirstinebjergvej 10, 5792 Årslev  
Tlf. 63 90 43 43. Fax 63 90 43 90

Afdeling for Prydplanter  
Afdeling for Vegetabiliske Fødevarer  
Afdeling for Infrastruktur

DJF Flakkebjerg

Flakkebjerg, 4200 Slagelse  
Tlf. 58 11 33 00. Fax 58 11 33 01

Afdeling for Plantebiologi  
Afdeling for Plantebeskyttelse  
Afdeling for Infrastruktur

DJF Bygholm

Postboks 536, 8700 Horsens  
Tlf. 75 60 22 11. Fax 75 62 48 80

Afdeling for Jordbrugsteknik  
Driftsfunktion

Enheder på andre lokaliteter

Afdeling for Sortsafprøvning  
Teglværksvej 10, Tystofte  
4239 Skælskør  
Tlf. 58 16 06 00. Fax 58 16 06 06

Askov Forsøgsstation  
Vejnvej 55, 6600 Vejen  
Tlf. 75 36 02 77. Fax 75 36 62 77

Bioteknologigruppen  
(Afd. f. Plantebiologi)  
Thorvaldsensvej 40, 1.  
1871 Frederiksberg C  
Tlf. 35 28 25 88. Fax 35 28 25 89

Borris Forsøgsstation  
Vestergade 46, 6900 Skjern  
Tlf. 97 36 62 33. Fax 97 36 65 43

Den Økologiske Forsøgsstation  
Rugballegård  
Postboks 536, 8700 Horsens  
Tlf. 75 60 22 11. Fax 75 62 48 80

Foulumgård, Postboks 50  
8830 Tjele  
Tlf. 89 99 19 00. Fax 89 99 19 19

Jyndevad Forsøgsstation  
Flensborgvej 22, 6360 Tinglev  
Tlf. 74 64 83 16. Fax 74 64 84 89

Rønhave Forsøgsstation  
Hestehave 20, 6400 Sønderborg  
Tlf. 74 42 38 97. Fax 74 42 38 94

Silstrup Forsøgsstation  
Højmarken 12, 7700 Thisted  
Tlf. 97 92 15 88. Fax 97 91 16 96

Tylstrup Forsøgsstation  
Forsøgsvej 30, 9382 Tylstrup  
Tlf. 98 26 13 99. Fax 98 26 02 11