

DJF rapport



Markbrug nr. 82 ♦ November 2002



Jordbearbejdning i økologisk jordbrug – pløjedybde og ikke-vendende jordløsning

Soil tillage in organic farming

– ploughing depth and non-inversion deep tillage

Per Schjønning, Karl J. Rasmussen, Lars J. Munkholm & Peter S. Nielsen

Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri
Danmarks JordbrugsForskning

Jordbearbejdning i økologisk jordbrug

– pløjedybde og ikke-vendende jordløsning

Soil tillage in organic farming

– ploughing depth and non-inversion deep tillage

Per Schjønning & Lars J. Munkholm
Afdeling for Plantevækst og Jord
Forskningscenter Foulum
Postboks 50
DK-8830 Tjele

Karl J. Rasmussen & Peter S. Nielsen
Afdeling for Jordbrugsteknik
Forskningscenter Bygholm
Postboks 536
DK-8700 Horsens

DJF rapporter indeholder hovedsageligt forskningsresultater og forsøgsopgørelser rettet mod danske forhold. Endvidere kan rapporterne beskrive større samlede forskningsprojekter eller fungere som bilag til temamøder. DJF rapporter udkommer i serierne: Markbrug, Husdyrbrug og Havebrug.

Rapporterne koster i løssalg 50-100 kr. pr. stk., afhængig af sidetal. Abonnenter opnår 25% rabat og abonnement kan tegnes ved henvendelse til:
Danmarks JordbrugsForskning
Postboks 50, 8830 Tjele
Tlf. 8999 1615

Alle DJF's publikationer kan bestilles på nettet:
www.agrsci.dk

Tryk: DigiSource

ISSN 1397-9884

Forord

Denne rapport beskriver resultaterne af et markforsøg på Den økologiske Forsøgsstation Rugballegaard i perioden 1997-2000. Projektet blev finansieret af Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri samt det Strategiske Miljøforskningsprogram og var koordineret af Forskningscenter for Økologisk Jordbrug (FØJO).

Det anvendte forsøgsareal blev omlagt til økologisk drift i forbindelse med opstart af projektet. Også sædskiftet blev kørt ind i forbindelse med projektet. Da der er tale om et fem-marks skifte nåede skiftet ikke helt 'rundt'. Denne ulempe modvirkes dog af, at forsøget lå i fem marker og at alle afgrøder således dyrkedes hvert år. Alligevel må forsøgsresultaterne betragtes som foreløbige, idet et dyrkningssystem som det undersøgte påvirker jordparametre, hvis betydning for plantevæksten kan vise sig år efter overgangen til den nye driftsform.

Dele af resultaterne er publiceret internationalt ved konferencer (Munkholm et al., 1998; 2000; Nielsen et al., 2000) samt i tidsskriftet Soil & Tillage Research (Munkholm et al., 2001). Hovedforsøget, der beskrives i denne rapport, var i perioden 1998-2000 desuden 'vært' for et andet FØJO-projekt, der omhandlede bearbejdningens betydning for jordens biologi. I rapporten er medtaget resultater fra de jordfysiske undersøgelser gennemført i dette projekt. Der henvises til projektleder Jørgen A. Axelsen, Danmarks Miljøundersøgelser, Silkeborg for nærmere information om resultaterne af de biologiske undersøgelser.

Vi takker driftsleder Frank W. Oudshoorn, Rugballegaard for den fleksibilitet og velvilje, der blev udvist for at vi kunne få forsøgsarbejdet gennemført i de fem marker. Ligeledes en tak til markpersonalet på Afdeling for Jordbrugsteknik, DJF-Bygholm. Gunnar H. Mikkelsen, DJF-Foulum, medvirkede ved forsøgets opstart med meget relevante og værdifulde betragtninger over mulige bearbejdningssystemer. Bodil C. Christensen, Palle Jørgensen, Michael Koppelgaard, Jørgen M. Nielsen og Stig T. Rasmussen, DJF-Foulum gennemførte de jordfysiske målinger. Anne Sehested har udarbejdet figurer og tabeller samt klargjort manuskriptet til trykning.

Per Schjønning
Marts 2002

Indholdsfortegnelse

Forord	3
Sammendrag	5
Summary	7
1. Indledning	8
2. Metoder	10
Forsøgsareal	10
Vejrforhold i forsøgsperioden	11
Sædskifte og gødskning	11
Opbygning af jordbearbejdningsudstyr	12
Forsøgsbehandlinger	14
Systemernes integration i sædskiftet	14
Forsøgsplan og teknisk udførelse	15
Jordfysiske undersøgelser	15
Spadeprøve	17
Specialforsøg med rodvækst	17
Sådybde og plantebestand	17
Ukrudt	17
Udbytter og afgrødekvalitet	18
Statistik	18
3. Resultater og diskussion	18
Praktisk gennemførlighed	18
Penetreringsmodstand	19
Jordens porøsitet	24
Smuldreevne	26
Vådstabilitet af aggregater	27
Spadeprøve	28
Rodvækst	30
Sådybde og plantebestand	31
Ukrudt	32
Udbytter	35
Afgrødekvalitet	38
Overordnet vurdering af de undersøgte bearbejdningsmetoder	39
4. Konklusioner og perspektiver	41
5. Litteraturliste	42

Sammendrag

I perioden 1996 til 2000 gennemførtes et markforsøg med forskellige jordbearbejdnings-systemer på Den økologiske Forsøgsstation Rugballegaard. Forsøgsarealet blev omlagt til økologisk drift i forbindelse med projektets start i 1996. Undersøgelserne gennemførtes i et fem-marks skifte, der ligeledes blev kørt ind i forbindelse med projektet. Det drejer sig om et såkaldt blandet sædskifte med byg/ært m. udlæg, 1. års kløvergræs, 2. års kløvergræs, havre og vinterhvede. Forsøget blev anlagt i fem marker (B1-B5), hvilket indebærer, at alle skiftets afgrøder blev dyrket hvert år.

Fire forskellige jordbearbejdningsystemer blev undersøgt i et randomiseret blokforsøg med 4 blokke. De fire behandlinger omfattede to systemer med pløjning, nemlig led A med 20 cm pløjedybde og led B med 10-12 cm pløjedybde; hertil kom to systemer (C og D) med ikke-vendende løsning af jorden til 35-40 cm dybde. Til dette formål blev opbygget et specielt udstyr i forbindelse med projektet. Der blev dog anvendt kommercielt tilgængelige gåsefodstænder fra det tyske firma Dutzi. Disse blev monteret på en svær bulle, der også gav mulighed for ophængning af en Howard tandfræser. På denne var der monteret løftehitch, hvori en konventionel Nordsten slæbeskær-såmaskine kunne monteres. Forsøgsled C ('fuld' Dutzi) omfattede en bearbejdning med hele denne 'ekvipage' i én arbejdsgang, mens der i led D ('delt' Dutzi) blev gennemført en separat bearbejdning med Dutzi-tænderne efterfulgt af såning med tandfræser og såmaskine. Omlægning af græsmarken skete for alle systemer med traditionel pløjning til 20 cm dybde.

Anvendelsen af Dutzi-udstyret krævede meget stor trækraft og der var ikke nævneværdig mindskelse af dette ved at anvende løsnetænderne separat. Jordløsningen var i både C og D meget effektiv og gav anledning til en markant mindskelse af den mekaniske modstand i jordlaget fra ca. 20 til ca. 35 cm dybde, hvor der på arealet generelt fandtes en kompakt pløjesål. Effekten på den mekaniske modstand i jorden viste sig at vedvare i minimum 2 år. Den ændrede jordfysiske tilstand gav forbedrede betingelser for bl.a. rodvækst og knoldbakterier (Rhizobium).

De undersøgte bearbejdningsmetoder gav ikke entydige ændringer i ukrudtstrykket. Generelt (for alle bearbejdningsmetoder) var der problemer med at styre ukrudtet i vinterhveden. En tendens til forøget ukrudtstryk i udlægsmarken efter Dutzi-behandling i forhold til pløjning gav ikke øgede problemer, idet forskellen udligenede sig ved høst af dæksæden som helsæd. Der var heller ikke entydige tendenser i bearbejdningsmetodernes indflydelse på udbyttet af afgrøderne. Der var en tendens til, at Dutzi-løsning gav et lidt højere råprotein-indhold i helsæds- og kløvergræsudbyttet end pløjning.

Både Dutzi-bearbejdningen og den overfladiske pløjning må betragtes som realistiske muligheder i et økologisk sædskifte som det undersøgte. En sikker konklusion om systemernes suc-

ces vil kræve undersøgelser gennem mere end en rotation. Desuden kan resultaterne tænkes at være anderledes i andre sædskifter.

Ploven vil fortsat være nødvendig i mange økologiske jordbrug p.g.a. behovet for at nedmulde flerårige afgrøder og halm-rig staldgødning mm. I stedet for fuld overgang til ikke-vendende jordløsning, forekommer det realistisk at reducere pløjedybden til det mindst mulige og foretage en evt. påkrævet mekanisk løsning af dybere jordlag med maskinel, der bryder jorden op til den ønskede dybde uden at vende den. Her er Dutzi-tænderne (separat eller i forbindelse med et kombisæt) én af flere muligheder.

Der bør gennemføres forsøgsserier på forskellige jordtyper, hvor forskellige systemer testes med henblik på optimering af jordstruktur og biodiversitet i jorden, udbyttets størrelse og kvalitet, ukrudtsbekæmpelse samt med henblik på minimering af arbejdstid og forbrug af fossilt brændstof. Sådanne undersøgelser bør dække de vigtigste kombinationer af jordtype, sædskifte og gødskningsstrategi mm. og gennemføres i så langt et tidsrum, at det er muligt at vurdere de nævnte succeskriterier efter en nødvendig overgangsfase.

Summary

A field trial with different tillage strategies was conducted from 1996 to 2000 at Rugballegaard Experimental station, Horsens, Denmark. The trial was carried out in each of five fields grown with the organic crop rotation: barley/pea with grass/clover undersown, 1st year grass/clover mixture, 2nd year grass/clover mixture, oats, and winter wheat. I.e., all crops were grown each year.

Four different soil tillage strategies were examined in each field in a randomised complete block design with four blocks. Two mouldboard ploughing treatments with ploughing depths of 20 cm (treatment A) and 10-12 cm (treatment B) were compared with a system of non-inversion loosening of the top 35-40 cm soil. The latter system used two different methods. Treatment C included a concurrent operation of a rotary cultivator and sowing with a traditional drill, i.e. a combination of the primary and secondary tillage operations with the drilling. In treatment D, the loosening to 35-40 cm was carried out separately followed by seedbed preparation and drilling with a combined implement like the one attached to the subsoiler in treatment C. The tines used for subsoiling are 60 cm wide and are commercially available (RDZ Dutzi GmbH, Germany). Four tines were procured and attached to a double toolbar allowing a concurrent treatment of approximately 3 meter of land. The tines could be adjusted in height and even removed if no loosening was needed (leaving the combined rotary cultivator and drill to be used as a more traditional means of performing reduced tillage).

The operation of the subsoiler had a high tractive force requirement and this was nearly irrespective of whether a concurrent seeding operation took place (treatment C/D). The tines were very effective in breaking up the plough pan without bringing soil from deeper layers to the surface. The loosening effect was found to persist for at least two years and gave an obvious improvement in the root growth conditions.

The tillage treatments had no significant influence on crop yields. Generally (irrespective of tillage system), it was difficult to control weed problems in the winter wheat crop due to the organic farming system regulations (no use of pesticides). It was concluded that the shallow ploughing depth as well as the use of the non-inversion tillage system are realistic alternatives to traditional mouldboard ploughing to 20 cm depth. The systems should be followed for more than one rotation for a more comprehensive evaluation of their applicability.

1. Indledning

Landmænd, der konverterer til økologisk jordbrug, har oftest igennem en kortere eller længere årrække drevet konventionelt landbrug. De traktorer og maskiner samt de færdsels- og jordbearbejdningsmetoder, landmanden har anvendt i det konventionelle landbrug, vil i langt de fleste tilfælde blive overført til det økologiske dyrkningssystem. Imidlertid kan der være grund til at vurdere jordbearbejdningen ud fra de krav, der specielt er fremherskende ved økologisk dyrkning. Jordbearbejdning er således den mest direkte måde, hvormed landmanden påvirker det dyrkningsmedium – jorden – som er altafgørende for et tilfredsstillende udbytte af en høj kvalitet. Ved økologisk dyrkning skal jordens frugtbarhed fremmes mest muligt ved jordbearbejdningen. Pionerer indenfor den økologiske bevægelse hævder, at et system med minimal og helst ikke-vendende jordbearbejdning (altså uden pløjning) er at foretrække (Lampkin, 1990). Ideen er, at jordens levende organismer, herunder både mikroorganismer og fauna i alle størrelsesklasser, skånes ved minimal bearbejdning. Videre ligger der i forslaget om ikke at vende jorden, at det allerøverste jordlag får et stort indhold af organisk stof. Det har betydning for mange forhold, herunder jordstrukturens stabilitet i våd tilstand og smuldrevne ved bearbejdning. Videre kan dette have betydning for f.eks. risikoen for vind- og vanderosion.

En række undersøgelser har vist, at de seneste årtiers brug af stedse større traktorer og vogne i landbruget har forårsaget en pakning af jorden under pløjedybde. Problemet er konstateret i en lang række lande med mekaniseret landbrug (Håkansson, 1994) og således også i Danmark (Schjønning & Rasmussen, 1989; Schjønning, 1992; Rasmussen et al. 1995; Djurhuus & Olesen, 2000; Schjønning et al., 2000, 2002; Munkholm et al., 2001). Den registrerede pakning er dels forårsaget af kørsel på selve overfladejorden med tunge traktorer og vogne ved udbringning af gylle mm samt ved høst; og dels er pakningen forårsaget af hjulet i furen ved pløjning (en pløjesål). En pakket underjord har vist sig skadelig på flere måder, herunder også på det endelige udbytte (f.eks. Schjønning & Rasmussen, 1994). Det er vigtigt at bemærke i denne sammenhæng, at pakningsskader under pløjedybden har vist sig at være permanente eller i hvert fald meget langvarige (Håkansson, 1994; Sharratt et al., 1998). En række undersøgelser har vist, at mekanisk løsning af et pakket jordlag kan have en positiv effekt på plantevæksten (Braum et al., 1984; Hipps & Hodgson, 1988; Schjønning & Rasmussen, 1994). Samtidig er det dog også vigtigt at understrege, at grubning af en jord, der ikke er pakket, kan give decidede udbyttetab (Schjønning & Rasmussen, 1994). Der er således grund til at undersøge sin jord før man foretager mekanisk jordløsning. Her kan man gøre brug af bl.a. spadeprøven (Munkholm, 2000).

Igennem århundreder har ploven været det vigtigste redskab til den primære jordbearbejdning til næsten alle landbrugsafgrøder. Formålet med pløjningen er at rydde op efter den foregående afgrøde samt at forberede jorden til den næste afgrøde. Ploven løsner jorden i pløjelaget samtidig med, at den vender den og dermed nedbringer halm, stubrester, husdyrgødning, ukrudt osv. Pløjning udføres under de fleste forhold til en dybde på 20-25 cm, under visse

forhold til mindre dybde og under andre forhold til 25-30 cm dybde. Markforsøg i konventionelt jordbrug har vist, at pløjningen under mange forhold kan reduceres til 10-15 cm dybde uden væsentlig risiko for udbyttetab (Rasmussen, 1981; Rasmussen et al., 1996, 1998). Ønsker man at bevare ploven som redskab til sin primære jordbearbejdning, er det derfor nærliggende at undersøge muligheden for at overgå til en mere øverlig pløjedybde end de traditionelle 20 cm. Man vil formodentlig opnå noget af den ønskede effekt med at skåne jordens organismer samt at koncentrere det organiske stof i overjorden. Den reducerede pløjedybde øger dog risikoen for fremspiring af spildkorn og opformering af ukrudt, ligesom det ser ud til, at pløjesålen kan 'følge med' pløjedybden op til lige under den nye pløjedybde (Rasmussen et al., 1996, 1998).

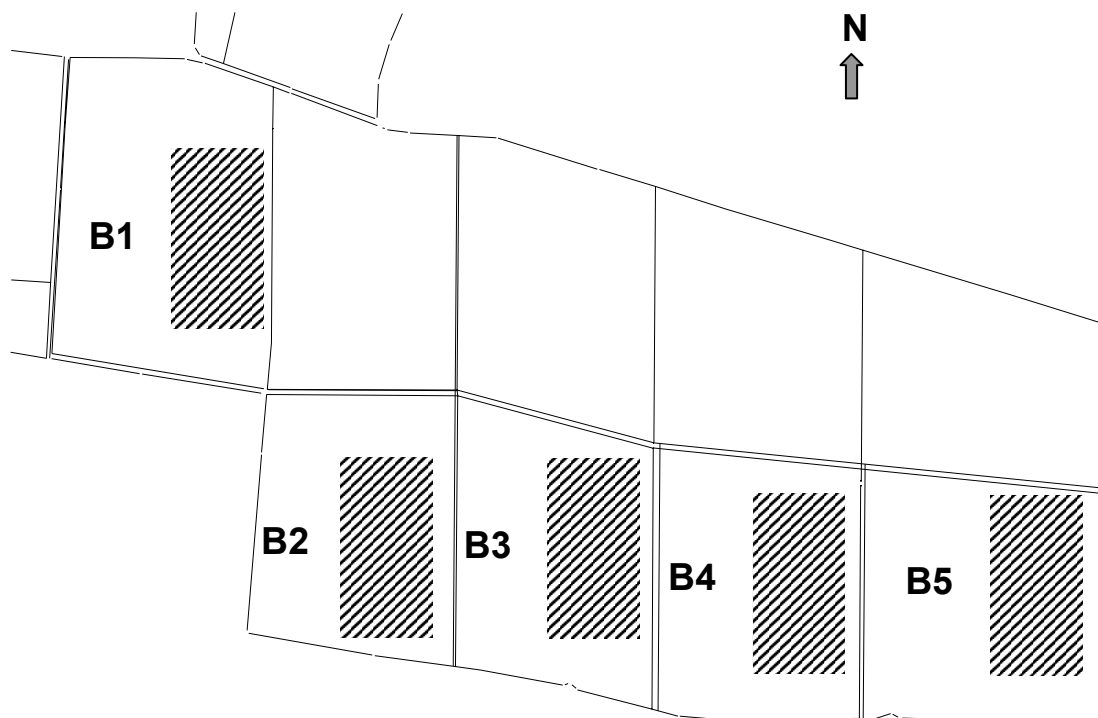
Mange steder i verden foretages jordbearbejdning uden anvendelse af plov. I engelsksprogede lande tales om 'conservation tillage', d.v.s. 'bevarende jordbearbejdning' (Carter, 1994). Der er flere grunde til, at pløjefri bearbejdning i mindre grad er slået an i Danmark end i en række andre lande. En vigtig årsag er, at morænejorde (istidsaflejringer) indeholder ler og sand i et blandingsforhold, der giver stor tendens til pakning (Ehlers & Claupein, 1994). Sådanne jorde har behov for mekanisk løsning, som ploven gennemfører fint for det øverste jordlag. I Tyskland er udviklet et jordbearbejdningssystem, der kombinerer ikke-vendende, dyb jordløsning med overfladisk såbedstilberedning i én arbejdsgang (El Titi & Landes, 1990; Ehlers & Claupein, 1994). Med dette system er det altså muligt at kombinere et eventuelt behov for løsning af jorden med ønsket om at undgå at vende jorden. Der rapporteres om positive effekter på en række jordfunktioner i et 'integreret' landbrugssystem i Tyskland. Også Sommer & Zach (1992) fandt ikke-vendende jordbearbejdning lovende og fuldt ud på højde med traditionel pløjning. Hampl (1995) argumenterer bl.a. på dette grundlag for indførelse af sådanne, ikke-vendende bearbejdningssystemer i økologisk jordbrug. Det tyske koncept indebærer, at jorden kan løsnes til valgfri dybde fra ca. 10 til næsten 40 cm. Derved kan en eventuelt konstateret pløjesål løsnes som led i den egentlige bearbejdning til næste afgrøde. Omvendt kan udstyret også anvendes med løsning til ringere dybde og endda helt uden løsning. Dette er et udtryk for 'behovsbestemt' jordbearbejdning, der dog også kan praktiseres på andre måder. Generelt bør den økologiske landmand altid overveje formålet med denne eller hin bearbejdning. Det skyldes dels, at jordens levende organismer – alt andet lige – er bedst tjent med ikke at blive forstyrret og dels, at der kræves kostbar tid og fossilt brændstof ved jordbearbejdning.

Formålet med denne undersøgelse var at vurdere muligheden for enten at mindske pløjedybden eller at overgå til et system med ikke-vendende løsning af jorden til behovsbestemt dybde. Undersøgelserne blev lagt ind i et økologisk sædskifte med både kornafgrøder og en toårig kløvergræs. Rapporten omfatter de første fire forsøgsår, 1997-2000. Specialundersøgelser i det samme forsøg er beskrevet i international sammenhæng (Munkholm et al., 1998, 2000, 2001; Nielsen et al., 2000).

2. Metoder

Forsøgsareal

Forsøget blev anlagt på Den Økologiske Forsøgsstation Rugballegaard. Forud for forsøgets anlæggelse blev der gennemført en omfattende startkarakterisering (Rasmussen et al., 1995) med målinger af en række jordparametre i et 80m x 80m grid over markerne. I hvert netpunkt er der i fire dybder ned til en meter foretaget analyser af jordens tekstur, humusindhold, Rt, Pt og Kt. I enkelte profiler er der ned til 1,5 m dybde bestemt volumenvægt og vandindhold ved markkapacitet (tilstanden om foråret) og ved visnegrænsen. Endvidere er der udført penetre-ringsmålinger til 60 cm dybde. Denne karakterisering er senere udvidet til målinger i et 40x40 meter grid for selve forsøgsarealerne. Data fra sidstnævnte karakterisering er ikke publiceret. De fem anvendte marker på Forsøgsstationen benævnes B.1.2, B.2.2, B.3.2, B.4.2, B.5.2, men vil i denne rapport af praktiske grunde blive omtalt som mark B1 til B5.



Figur 1. Kort over forsøgsmarkerne med forsøgets placering vist for hver mark. Map of the experimental fields with the location of the trial indicated for each field.

Jorden på Rugballegaard er generelt ret varierende med hensyn til teksturen og de deraf afledede egenskaber. Det skyldes jordens geologiske oprindelse. Forskellige del-områder af forsøgsmarkerne er således udviklet fra så forskellige aflejringer som moræneler, diluvial grus og diluvial sand (Rasmussen et al., 1995). Som det fremgår af tabel 1 svinger lerindholdet med 12-18% omkring gennemsnitsværdierne på 8.5-12.9 procent-enheder for hvert forsøgsareal. Informationerne om markernes variabilitet blev dels anvendt ved placering af forsøgets parceller og dels ved udvælgelse af delflader til nærmere jordanalyser i de enkelte parceller.

Det meget høje og meget varierende kalium-indhold i mark B1 skyldes formodentlig, at marken tidligere er blevet anvendt til frilandsgrise.

Tabel 1. Tekstur og næringsstofstatus i 0-25 cm dybde for forsøgsarealet i hver af de 5 marker. Tallene i parentes angiver variationskoefficient i %. Basic characteristics of the 0-25 cm soil layer for the trial area at each field. Data in brackets indicate coefficient of variance, %.

Mark:	B1	B2	B3	B4	B5
Humus (%)	3,5 (15)	3,5 (13)	3,5 (33)	3,1 (15)	3,9 (18)
Ler (%)	12,7 (16)	11,7 (16)	12,9 (12)	11,5 (16)	8,5 (18)
Silt (%)	13,1 (14)	14,8 (14)	14,9 (16)	12,7 (15)	10,6 (21)
Finsand (%)	37,3 (14)	40,7 (11)	40,9 (8)	42,9 (2)	37,1 (12)
Grovsand (%)	33,5 (20)	29,3 (14)	27,8 (14)	29,8 (10)	39,9 (19)
Reaktionstal	6,5 (7)	6,5 (4)	6,9 (3)	6,6 (3)	6,5 (3)
Fosfortal	3,8 (19)	2,9 (21)	2,9 (14)	3,1 (12)	3,7 (17)
Kalital	23,1 (35)	13,1 (16)	19,9 (26)	16,4 (20)	13,1 (20)

Vejrforhold i forsøgsperioden

De fire vækstår 1997-2000, hvori forsøget gennemførtes, var alle forholdsvis nedbørsrige. I alle år blev registreret større nedbør i maj-juni end gennemsnittet for 1961-90 på 101 mm; således henholdsvis 127, 105, 165 og 104 mm for årene 1997, 1998, 1999 og 2000. Det meget høje tal for 1999 dækker over normalnedbør i maj og en ekstraordinær stor nedbørsmængde i juni måned. For april-august var den samlede nedbør i de fire år henholdsvis 270, 335, 348 og 236 mm, hvilket skal sammenlignes med et 30-års gennemsnit på 276 mm. Temperaturmåsigt var årene forholdsvis tæt på det normale; 30-års gennemsnittet for april-august er således 12,4°C, som skal sammenlignes med henholdsvis 13,5, 12,3, 13,1 og 12,9°C for 1997, 1998, 1999 og 2000. Det forholdsvis høje tal for 1997 skyldes hovedsageligt en meget varm august måned, mens de lidt forhøjede tal i forhold til 30-års gennemsnit for 1999 og 2000 primært kan tilskrives en forholdsvis varm april måned. Alle data er fra Danmarks Meteorologiske Institut, gennemsnit for hele Danmark.

Sædskifte og gødskning

Forsøget lå i et fem-marks sædskifte, hvor alle afgrøder var med i forsøget hvert år. Det vil sige, at forsøget lå samtidigt i de fem marker B1-B5. Landbrugsdriften blev for alle marker konverteret til økologisk drift fra 1996. Sædskiftet ændredes lidt de første år under indkøringen, men var derefter (Tabel 2):

1. Vårbyg / ært med udlæg af kløvergræs
2. 1. års kløvergræs
3. 2. års kløvergræs
4. Havre
5. Vinterhvede

Tabel 2. Oversigt over afgrødefølgen fra 1995-2000 for de 5 marker, hvor forsøget blev anlagt. Crop rotation of the experimental fields in 1995-2000.

Mark	B1	B2	B3	B4	B5
1995	Græs	Byg	byg	byg	vinterhvede
1996	byg/udlæg	Byg/ært m. udlæg	roer	havre	havre
1997	1. års kløvergræs	1. års kløvergræs	byg/ært m. udlæg fsg-beh	roer fsg-beh	vinterhvede
1998	Havre	2. års kløvergræs	1. års kløvergræs	byg/ært m. udlæg fsg-beh	vinterhvede ² fsg-beh ¹
1999	Vinterhvede fsg-beh ¹	Havre	2. års kløvergræs	1. års kløvergræs	byg/ært m. udlæg fsg-beh
2000	byg/ært m. udlæg fsg-beh	Vinterhvede Fsg-beh ¹	havre	2. års kløvergræs	1. års kløvergræs

fsg-beh: afgrøder etableredes med de beskrevne forsøgsbehandlinger (fsg-beh)

¹ i vinterhvede skete forsøgsanlæggelsen i september forud for høståret

² vinterhveden i mark B5 blev opharvet foråret 1999 på grund af ekstremt meget ukrudt; i stedet såedes foderræddike

Forsøgsbehandlingerne blev hvert år gennemført i to af markerne i sædskiftet, nemlig hvor der skulle etableres byg/ært og vinterhvede (tabel 2). På grund af den store frekvens af kløvergræs i sædskiftet, blev husdyrgødning kun tilført en enkelt gang gennem sædskiftet, nemlig om foråret i vinterhveden (og indtil roerne udgik også forud for disse). Der tildeltes 30-35 t/ha kvæggylle, afstemt efter 50 kg/ha NH₄-N. De første års resultater viste problemer med slæbning ved såning, hvis der anvendtes fast staldgødning (se også 'Resultater'), hvorfor der efterfølgende blev tilført gylle.

Opbygning af jordbearbejdningsudstyr

I begyndelsen af projektperioden blev der opbygget et udstyr til ikke-vendende jordbearbejdning efter de principper, der er beskrevet af El Titi & Landes (1990). Formålet var at skabe et system, hvor den ikke-vendende jordbearbejdning og såning bliver udført i én arbejdsgang. Vi ønskede en tre meter bred redskabskombination bestående af en grubber, en tandfræser og en såmaskine. På en svær bulle blev der monteret fire vingeformede 60 cm brede grubberskær fra det tyske firma Dutzi (navnet vil efterfølgende i rapporten blive anvendt for denne behandling). Skærene, der har en lille arbejdsvinkel i det horisontale plan, løfter og bryder jorden

uden at vende den og uden at trække 'rå' jord op til jordoverfladen. Arbejdsdybden kan varieres. Største arbejdsdybde er ca. 40 cm. På grubberen er monteret beslag, så der kan monteres et redskab, f. eks. en tandfræser, kompaktarve e.l. Vi valgte en Howard tandfræser til såbedstilberedning af den grubbede jord. Tandfræsere kan dybdeindstilles. Der valgte en dybde svarende til sådybden, ca. 5 cm. Ved at variere fremkørselshastighed eller rotorhastigheden kan såbedets findelingsgrad reguleres. På tandfræsere er monteret løftehitch, hvori en konventionel Nordsten slæbeskær-såmaskine blev monteret. Hele ekvipagen hænger i traktorens lift. Figur 2a-d viser det konstruerede bearbejdningsudstyr i arbejde. I transportsituationen (Figur 2a) ses en af de brede og kraftige Dutzi-tænder.



Figur 2. Dutzi-udstyret i arbejde. a) transportsituation for det fulde Dutzi-system (brugt i forsøgsled C), b) og c) det fulde Dutzi-system i arbejde, d) løsning med Dutzi-tænderne separat (forsøgsled D) (foto: Peter S. Nielsen). The tillage implements used in treatments C and D. a) the complete system in transport position, b) and c) the full Dutzi implement in the field, d) separate soil loosening with Dutzi tines (treatment D).



Forsøgsbehandlinger

Ved planlægningen af forsøget blev der lagt vægt på at undersøge følgende aspekter af jordbearbejdning i det økologiske sædskifte. For det første ønskedes en øverlig pløjedybde sammenlignet med traditionel pløjning til ca. 20 cm. For det andet ønskede vi at undersøge muligheder og problemer med den ikke-vendende jordbearbejdning. Det tyske koncept indebærer, at jordløsningen og såbedstilberedning/såning gennemføres i én arbejdsgang. Det har den fordel, at der ikke er nogen form for trafik på jorden mellem bearbejdning og såning. Som beskrevet herover lykkedes det at opbygge et udstyr, der muliggør denne bearbejdning. Imidlertid kræves stor trækraft for at anvende det kombinerede sæt af redskaber. Dette gælder især ved den første anvendelse på jord, hvor behovet tilsiger, at løsnetænderne skal ned og 'fange' en pløjesål til 35-40 cm dybde. Derfor valgte vi at indlægge en forsøgsbehandling, hvor den mekaniske løsning med Dutzi-tænderne blev gennemført i en separat behandling efterfulgt af såbedstilberedning og såning med et kombisæt. Ideen hermed var således at undersøge, om en adskillelse af løsneprocessen fra såbedstilberedning og såning kunne gennemføres med mindre traktorer. Og videre, om der ville ske en skadelig genpakning af jorden efter løsning, når der skulle køres en gang til for at såbedstilberede og så.

På dette grundlag blev forsøget i perioden 1997 til 2000 gennemført efter planen:

- A) Pløjning til 20 cm dybde med en 16" Kverneland vendeplov med påmonteret furepakker. Såbedstilberedning og såning i én arbejdsgang med Doublet Record kompaktharve og Nordsten slæbeskær såmaskine.
- B) Pløjning til 10-12 cm dybde med en 12" Bovlund Favorit plov med eftermonteret Dalbo knasttromle. Såbedstilberedning og såning som anført under A.
- C) Løsning med Dutzi-grubber til 35-40 cm dybde med samtidig såbedstilberedning med Howard tandfræser samt såning med en Nordsten såmaskine med slæbeskær.
- D) Løsning med Dutzi-grubber til 35-40 cm dybde efterfulgt af særskilt såbedstilberedning og såning med en Doublet Rekord kompaktharve* og en Nordsten såmaskine med slæbeskær.

*Fra 1998 anvendtes Howard tandfræser

Der blev ikke foretaget stubbearbejdning i parcellerne. Strigling blev foretaget efter behov.

Systemernes integration i sædskiftet

Gennem sædskiftet foretages de skitserede forskellige bearbejdnings kun 2 gange, nemlig om efteråret i havrestubben forud for hvede og om foråret i udlægsmarken. Der er således ca. 1½ år mellem disse to bearbejdnings og videre ca. 3½ år til den næste behandling efter perioden med græs og havre. Dette skyldes, at det i et økologisk system vil være umuligt at omlægge græsmarken uden en pløjning. Jorden i de tre 'alternative' systemer: B (øverlig pløjning), C ('fuld' Dutzi) samt D ('delt' Dutzi) udsættes således een gang i rotationen for en traditionel

pløjning til 20 cm dybde, nemlig om foråret forud for havren. Det vil sige, at den overlige bearbejdning, der foretages i disse tre forsøgsled, bliver udlignet ved den traditionelle pløjning i 20 cm dybde. Det ville være ønskeligt, om man kunne bevare virkningen af denne overlige bearbejdning. Det har dog hidtil ikke været muligt at finde en overligt arbejdende plov, der har været i stand til at vende grønsværen i 2. års græsmarken på en tilfredsstillende måde. En sådan plov skal sikre, at grønsværen bliver tilstrækkeligt vendt og dækket og der skal efterfølgende være mulighed for at tilberede et såbed, uden at rive grønsværen op igen.

De to år med kløvergræs i sædskiftet betød, at forsøgsbehandlingerne kun nåede at blive gennemført én eller to gange i den samme mark i forsøgsperioden 1997-2000. Alle fem marker behandledes dog mindst én gang. Tre af markerne tildeltes de forskellige behandlinger to gange, nemlig B1, B4 og B5 (se tabel 2). Vi valgte i alle tre tilfælde med to behandlinger at bruge den maksimale dybde på Dutzi-tænderne (35-40 cm) også anden gang, idet der var indikationer af, at der trods den generelt gode løsneeffekt fandtes del-områder, der ikke var løsnet ved første behandling. Det er dog vigtigt at huske, at det ligger i konceptet, at der på længere sigt (som altså ikke er blevet undersøgt i dette projekt) kun skal løsnes til behovsbestemt dybde. Det kan f.eks. betyde, at Dutzi-tænderne slet ikke er med ved bearbejdningen, såfremt en spadeprøve viser, at jorden ikke kræver løsning. I så tilfælde bliver der altså tale om en art reduceret jordbearbejdning med tandfræsere som eneste bearbejdning.

Forsøgsplan og teknisk udførelse

Forsøget blev anlagt i 12m x 95m store parceller med 4 blokke i hver mark. De to pløjede forsøgsled i alle fire blokke blev lagt ved siden af hinanden for at kunne fortsætte pløjningen i den først pløjede parcels sidste fure for derved at reducere antallet af affuringer. De to pløjedybder (A og B) blev så skiftevis lagt øst eller vest for hinanden, og det samme var tilfældet med de to 'Dutzi'-behandlinger. I forsøget blev anvendt 3 m brede redskaber og såmaskiner. Dvs. at der var fire træk med en tre meters maskine i hver storparcel. Alle behandlinger blev foretaget på langs ad parcellen i Nord-Sydgående retning.

Gylleudbringning med 12 m slæbeslangebom samt strigling med en 12 m strigle foregik på den måde, at det yderste såtræk i hver parcel blev betraget som værn, hvor der blev kørt med det ene hjulpar i den ene parcel og det andet hjulpar i den anden parcel. Redskaberne nåede på den måde sammen i midten af parcellerne. Høst af parcellerne foregik ved, at det ene af de to midterste såtræk blev betraget som høstparceller.

Jordfysiske undersøgelser

Penetreringsmodstand

Jordens pakningsgrad blev bestemt ved nedpresning af et metalspyd med en 30° kegleformet spids, idet der blev anvendt et apparat, der automatisk presser spyddet ned til 60 cm dybde og

måler penetreringsmodstanden for hver centimeter (Olsen, 1988). Disse målinger blev foretaget i led A (traditionel pløjning) og i led C (det fulde Dutzi-koncept) om foråret i B3 (1997, 1998 og 1999), i B4 (1998) og i B1 (1999). Der blev målt med 20 gentagelser pr. parcel.

Jordens porøsitet

I september 1998 i mark B4 blev der udtaget jordprøver i 100 cm³ stålcyindre i forsøgsled A (pløjning til 20 cm) og i forsøgsled C ('fuld' Dutzi). Prøverne blev udtaget i dybderne ca. 8-12 og ca. 28-32 cm ved omhyggeligt at nedhamre cylindrene i de respektive jordlag og dernæst afskære over- og underside af de optagne jordsøjler i cylindrene. På udtagningsstidspunktet var udlæggræsset i vækst efter høst af dæksæden en måneds tid tidligere. Marken havde været udsat for Dutzi behandlingen to gange, nemlig i foråret 1997 og igen i foråret 1998. Det vil sige, at den sidste behandling skete ca. 5 måneder før prøveudtagningen. Samme udtagningsprocedure blev foretaget i mark B1 på 4 tidspunkter, nemlig den 23 september 1998 (lige før såning af vinterhvede efter forsøgsplanen), den 2. oktober (lige efter denne såning), den 20. oktober (altså 18 dage efter behandling) og endelig den 23. marts (altså i den voksende vinterhvedeafgrøde ca. 5 måneder efter forsøgsbehandlingerne). For B1 marken var det første gang, at forsøgsbehandlingerne blev gennemført. Udtagningsdybderne var her 0-4, 8-12 og 28-32 cm.

Jordprøverne, der blev udtaget på første, andet og tredje tidspunkt i B1 marken, blev vejret, tørret ved 105°C og vejret igen. Ud fra dette blev beregnet jordens volumenvægt, som videre blev brugt til at estimere jordens porøsitet. Jordprøverne, der blev udtaget i B4 marken og på det sidste udtagningsstidspunkt i B1 marken blev i laboratoriet opfugtet og afdrænet til en række vandpotentialer. Efter vejninger ved disse vandindhold og efter ovntørring blev beregnet volumen af porer af forskellig størrelse.

Smuldreevne

Jordens evne til at smuldre blev undersøgt med den såkaldte kasteprøve, hvorved en jordblok på 7 x 8 x 11 cm³, der er udtaget med specialudstyr i 6-13 cm dybde, bringes til at falde ned i en metalbeholder fra 75 cm højde (Schjønning et al., 2002). Graden af findeling af jorden bestemmes ved vejning af forskellige størrelser af klumper og aggregater efter forsigtig sigtning, og er et udtryk for jordens smuldreevne. Undersøgelserne omfattede alene led A og C og blev foretaget i juli 1997 i mark B3 samt i maj og september 1998 i mark B4.

Våd stabilitet af aggregater

I foråret 1997 og igen i 1998 blev der udtaget prøver af overfladejorden (til ca. 3-5 cm dybde) efter såning af udlægget i ært/byg marken, det vil sige i markerne henholdsvis B3 og B4. Jorden blev lufttørret og bragt til laboratoriet, hvor den blev sigtet og fordelt på aggregatstørrelser. En prøve af aggregater i størrelsesklassen fra 2 til 8 mm blev dernæst opfugtet til mæt-

ning og sigtet i vand i 3 minutter gennem en stabel af sigter med hulstørrelser 6, 4, 2 og 1 mm. Den samlede mængde af aggregater på alle disse sigter blev dernæst tørret ved 105 °C. Vådstabiliteten af aggregaterne blev beregnet som disse stabile aggregater i procent af den mængde, der blev taget i arbejde (Hartge, 1971).

Spadeprøve

Den såkaldte spadeprøve (Munkholm, 2000), som er udviklet fra den klassiske *spadediagnose* (Görbing, 1947; Preuschen, 1983, 1994), giver mulighed for at studere og kvantificere vigtige egenskaber ved de øverste 30 cm jord. Metoden blev anvendt to gange i projektet, nemlig i byg/ært med udlæg i 1997 og igen i 1998. Det vil sige i markerne B3 og B4, idet der i juli måned de respektive år blev gravet jordblokke på 30 x 20 x 10 cm³ op til undersøgelser som beskrevet af Munkholm (2000). Alene jord fra led A og C blev beskrevet på denne måde.

Specialforsøg med rodvækst

I maj 1999 blev der i udlægsmarken (B5) udtaget et antal jordsøjler med stålringe (20 cm diameter, 40 cm højde) i parceller med pløjning til 20 cm (forsøgsled A) og i parceller med 'fuld' Dutzi (led C). Ringene blev presset ned med hydraulik. Udtagningsfladerne blev valgt således, at der typisk var 2 ærteplanter og 9 bygplanter i hver jordsøjle. Der blev udtaget 8 søjler i hver parcel, det vil sige i alt 32 søjler pr. behandling. Metalringene med jord blev forsigtigt transporteret til et anlæg, hvor et mobilt tag automatisk kørte ind over prøverne i forbindelse med regn. Nogle af jordsøjlerne blev vandet gennem vækstperioden mens andre fik lov at udtørre. Flere detaljer omkring disse undersøgelser kan findes hos Nielsen et al. (2000).

Sådybde og plantebestand

Sådybde blev målt i kornafgrøderne ved at opgrave 10 stk. planter pr. parcel og dernæst måle afstanden fra frøet til overgangen mellem den hvide og den grønne del af stænglen. Plantebestanden blev bestemt på 2-4 blad stadiet ved at tælle antallet af planter i en kvadratisk metalramme dækkende 0.25 m², mens den var placeret på et tilfældigt valgt areal i parcellen. Der blev foretaget 4 sådanne målinger pr. parcel.

Ukrudt

Ukrudtsbestanden blev de tre første år bestemt ved kornets 2-4 blad stadium. I 1997 og 1998 blev ukrudtet bedømt ved at skønne antallet af planter pr. kvadratmeter. I 1999 bedømtes dækningsgraden (procent af jordoverfladen, dvs. 0-100). I 2000 omkring tidspunktet for kornets skridning blev der foretaget planteklip til bestemmelse af overjordisk biomasse af ukrudtet. Hvert år noteredes, hvilke ukrudtsarter, der var de mest fremherskende.

Udbytter og afgrødekvalitet

Kerneudbytte af kornafgrøderne blev bestemt på standard vis med omregning til hkg pr. hektar med 85% tørstof. I 1997 blev også byg/ært høstet ved modenhed og resultatet opgjort som for de rene kornafgrøder. De øvrige år blev byg/ært høstet som helsæd og udbyttet omregnet til hkg høstet tørstof pr. hektar. Både 1. og 2. års kløvergræs blev alle år høstet i tre slæt og udbyttet blev også her omregnet til hkg tørstof pr. hektar. For helsæds- og kløvergræsafgrøden blev der bestemt total N efter Dumas' princip (Hansen, 1989). N-indholdet blev omregnet til råprotein under antagelse af 16% N i proteinet.

Statistik

For hver mark, hvert år blev gennemsnitsresultater for hver parcel anvendt i variansanalyser (F-tests, PROC ANOVA; SAS, 1988), idet vekselvirkningen mellem blokke og forsøgsbehandling blev brugt som residualvarians i testet. Ved test af flere års resultater blev vekselvirkningen mellem år og forsøgsbehandling brugt som residualvarians.

3. Resultater og diskussion

Praktisk gennemførlighed

I forsøgsled A blev jorden det første år pakket med påmonteret furepakker ved pløjningen. Furepakkeren var imidlertid for let til at pakke jorden hensigtsmæssigt. Derfor blev frontmonteret en gummihjulspakker på traktoren ved såbedstilberedning og såning med eftermonteret kompaktharve og såmaskine.

I forsøgsled B med 10-12 cm pløjning blev knastromlen valgt, fordi en almindelig ringpakker let vil kunne skære igennem et 10-12 cm pløjelag og gå på furebunden uden at pakke pløjelaget tilstrækkeligt. Gennemført på denne måde, gav den overlige pløjning ikke anledning til problemer. Det første år, hvor der blev anvendt staldgødning, havde ploven dog problemer med at dække det tilfredsstillende. Derfor blev der efterfølgende anvendt gylle. Såbedstilberedning og såning blev udført som beskrevet under forsøgsled A, dog uden anvendelse af frontpakker.

Den originale, kommercielt tilgængelige Dutzi-ekvipage, hvor grubber, tandfræser og såmaskine er bygget sammen til en kompakt enhed (forsøgsled C), kræver ifølge fabrikkens oplysninger en traktor på min. 137 HK svarende til 100 kW. Forsøgene viste, at en 135 HK firehjuls trukket traktor ikke i alle tilfælde kunne trække ekvipagen. Det gjaldt især, når grubberne skulle arbejde i 35-40 cm dybde i en jord med pløjesål, der ikke tidligere var blevet Dutzi-bearbejdet. I foråret 1999, hvor jorden var ved markkapacitet og ikke specielt våd i overfladen, havde vi en 190 HK traktor som trækraft. Denne traktor havde nok at gøre med at trække redskabet. I efteråret 1999, hvor jorden var relativt våd og fedtet i overfladen, havde vi en

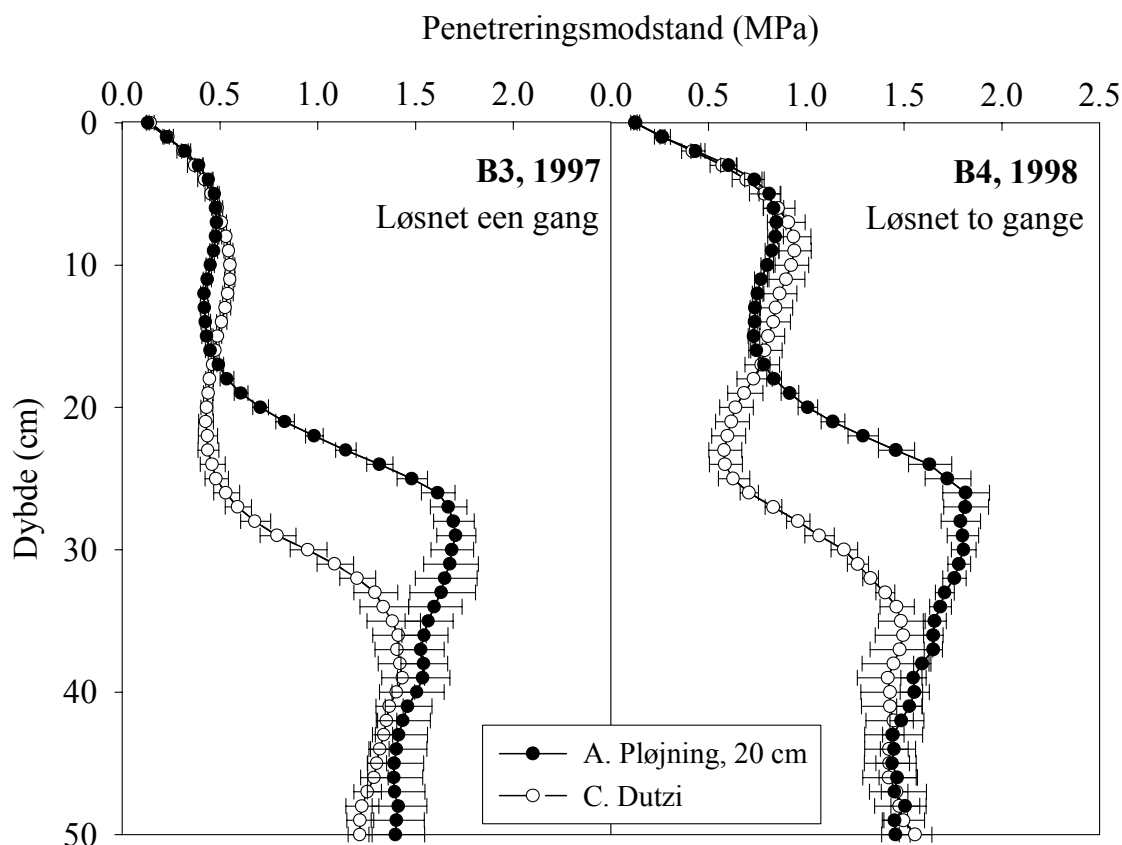
135 HK traktor foran, men der måtte suppleres med yderligere en 130 HK traktor for at kunne trække redskabet. Selvom der var tvillingmontering på den 135 HK traktor og tween dæk på den 130 HK traktor, er der ingen tvivl om, at der er sket en voldsom belastning af jorden.

Det 'hele' Dutzi-koncept (forsøgsled C) fungerede – efter en indkøringsperiode – til fuld tilfredshed. Løsnetænderne arbejdede godt og løsnede jorden effektivt til mellem 35 og 40 cm dybde. Tændernes løsnende effekt gav anledning til en betragtelig hævnning af jordoverfladen, som samtidig blev noget ujævn og knoldet. Der var dog ikke tale om, at der blev trukket 'rå' jord op til overfladen (Figur 2d). Den påmonterede tandfræser var i tilfredsstillende grad i stand til at jævne jorden og tilberede et godt såbed (Figur 2c). På trods af den lave fremkørselshastighed, var den traditionelle slæbeskær-såmaskine i stand til at placere og dække udsæden korrekt. Det bør nævnes, at kløver/græs-udlægget i udlægsmarken blev sået separat med en slæbeskær-såmaskine.

I forsøgsled D blev Dutzi-grubningen foretaget separat. For at få redskabet til at gå i dybden var det nødvendigt at belaste det med op til 360 kg ekstra i form af traktor-frontvægte (Figur 2d). Da det er grubberen, der kræver den største trækraft, viste trækraftbehovet sig at være stort set af samme størrelse som beskrevet ovenfor under forsøgsled C. Ifølge forsøgsplanen skulle såbedstilberedning og såning efterfølgende udføres med en redskabskombination bestående af en Doublet Rekord kompaktharve og en Nordsten slæbeskær-såmaskine med påmonteret efterharve. Det første år, hvor der blev brugt staldgødning forekom kraftig slæbning. Dette var også tilfældet, hvor der lå mange stub- og halmrester. Endvidere viste det sig, at jordoverfladen efter grubningen kunne være relativ ujævn således, at kompaktharven havde svært ved at give et tilstrækkeligt jævnt og ensartet såbed. Derfor var det nødvendigt at erstatte kompaktharven med tandfræseren for at få en tilstrækkelig god såning.

Penetreringsmodstand

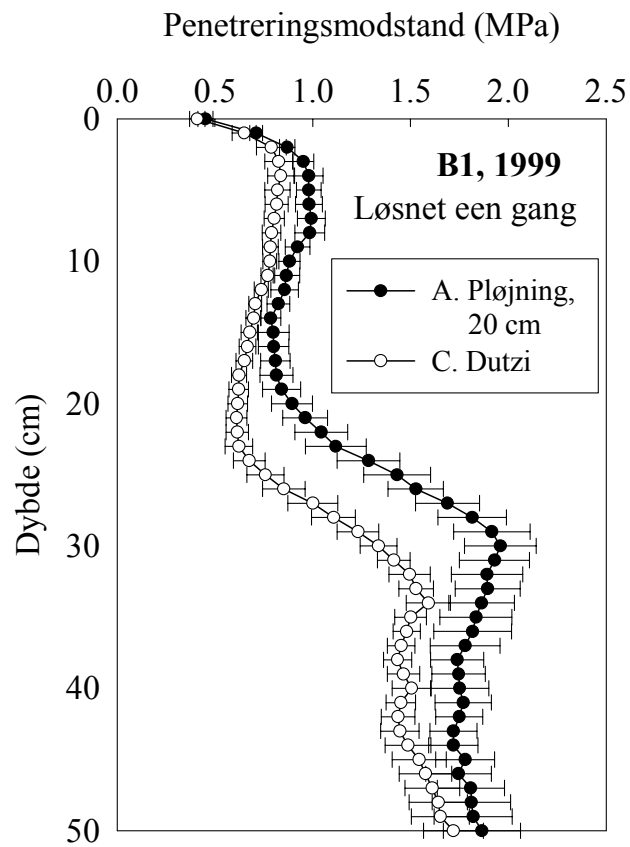
Modstanden mod nedpresning af et metalspyd i jorden siger noget om de kræfter, der binder den sammen. Selv om det er et meget simpelt mål for jordstyrken, har det vist sig, at et jordlag med penetreringsmodstand over ca. 1.5 MPa ($\sim 15 \text{ kg/cm}^2$ spyd tværsnit) hæmmer rodvæksten (Dexter, 1986). Figur 3 viser for det første, at den ikke-løsnede jord (led A. Pløjning) i både mark B3 og B4 har stærkt stigende penetreringsmodstand under pløjedybden til et maksimum omkring ca. 28-30 cm. Derunder falder modstanden igen. Der er tale om en pløjesål, der er dannet gennem årtierne med anvendelse af en traktor ved pløjearbejdet. For begge marker har pløjesålen en penetreringsmodstand over de kritiske 1.5 MPa. Figuren viser også, at den mekaniske løsning med Dutzi-tænderne effektivt har brudt pløjesålen op således, at der er markant reduceret modstand i jorden i laget med den tidligere pløjesål.



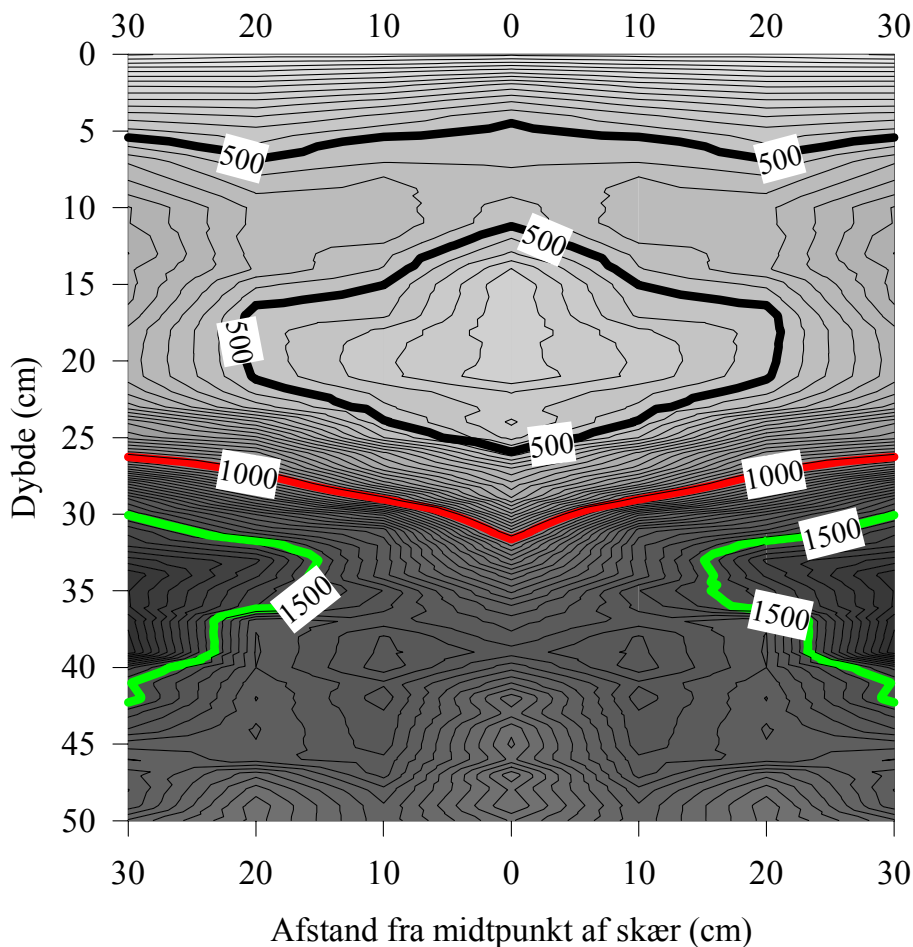
Figur 3. Penetreringsmodstand efter forsøgets anlæg i udlægsmarkerne i 1997 (B3) og 1998 (B4) målt primo maj ved et vandindhold omkring markkapacitet. Penetration resistance early May 1997 (B3) and early May 1998 (B4) following tillage treatments in April.

Målingerne i figur 3 er foretaget kun ca. 1 måned efter at jorden er blevet løsnet med Dutzi-tænderne, nemlig ved fremspiring af afgrøden i udlægsmarken. Der vil givetvis ske en vis naturlig sætning af jorden efter længere tid. Figur 4 viser, hvorledes situationen ser ud om foråret efter løsning i forbindelse med såning af vinterhvede efteråret før; også efter forløbet af en vinter er der signifikant reduceret penetreringsmodstand i jordlaget med pløjesål.

Gennemsnitsresultaterne i figur 3 og 4 medtager penetreringsstik både lige midt i løsnesporet og i alle tilfældige afstande fra denne (der er i alle tre marker i de to figurer foretaget i alt 80 stik pr. forsøgsbehandling). Det er imidlertid også interessant at se, hvor effektivt løsnetænderne arbejder på tværs af kørselsretningen. Figur 5 viser resultater fra en måleserie med mange stik systematisk på tværs af løsneretningen. Målingerne er foretaget i mark B3 i foråret 1997. Det fremgår, at der klart er en forskel fra selve løsnesporet ud til midt mellem to tænder. I forhold til tidligere undersøgte, dyberegående grubber (Schjønning, 1986) er der dog tale om et ganske godt bearbejdningsresultat. Dog er der i jordlaget lige mellem to nabotænder stadig en forholdsvis høj penetreringsmodstand. Frekvensen af 'øer' med kritisk penetreringsmodstand er dog markant mindre end i den ikke løsnede jord.

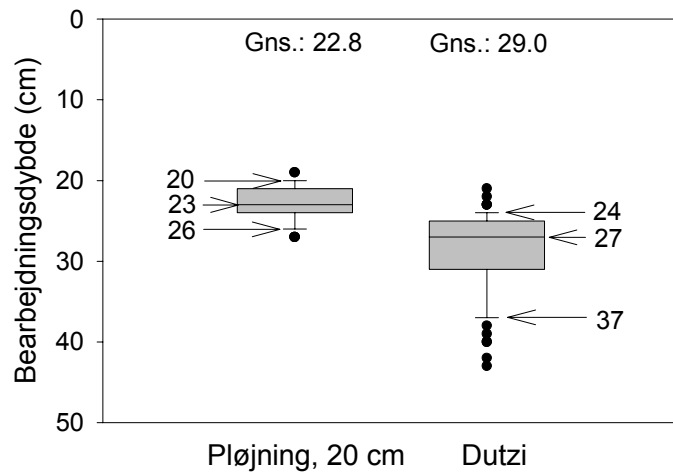


Figur 4. Penetreringsmodstand i vinterhvede (B1, foråret 1999), d.v.s. ca. 5 måneder efter forsøgets anlæg. Penetration resistance in winter wheat (field B1, spring 1999), i.e. approximately 5 months following tillage treatments.

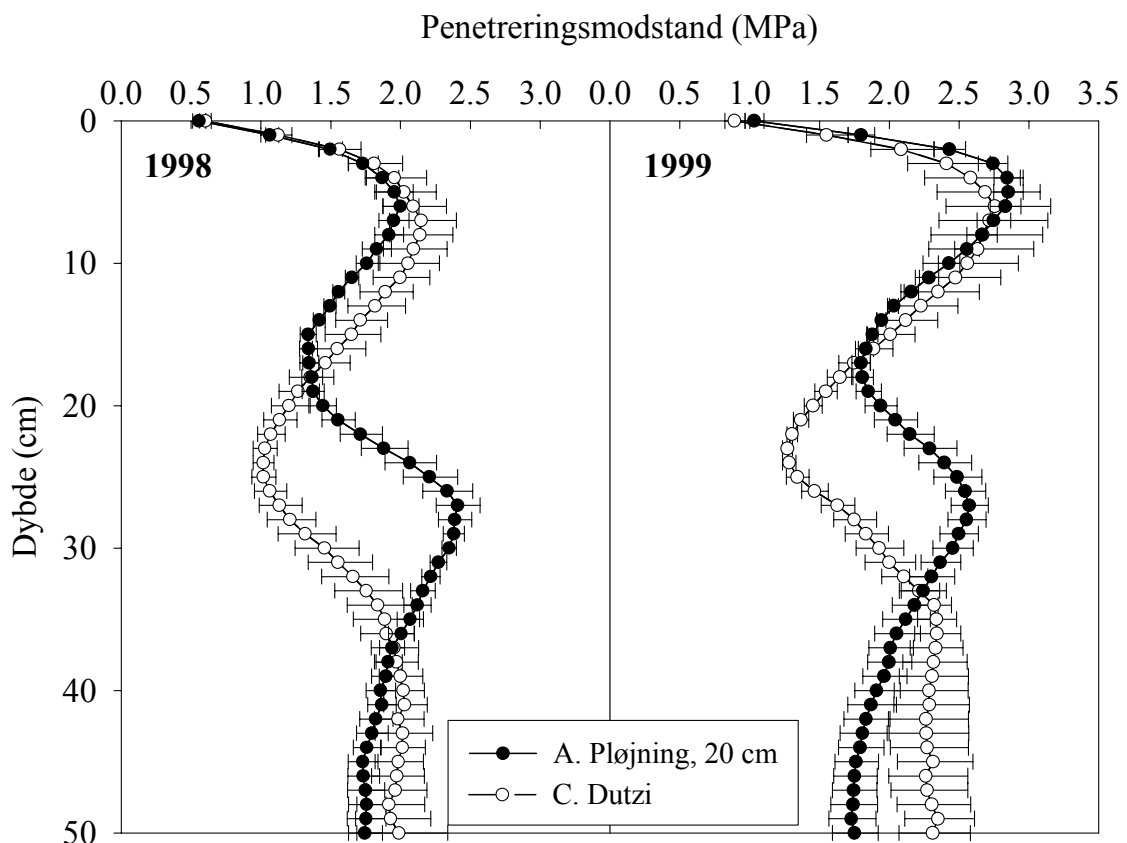


Figur 5. Penetreringsmodstand i mark B3, 1997, Dutzi-behandlet jord. Baseret på tætte målinger på tværs af løsneretningen. Bemærk, at der generelt er sket en god løsning på tværs af kørselsretningen, men at der dog stadig findes områder med over 1.5 MPa (1500 kPa) penetreringsmodstand i området mellem to tænder. Penetration resistance in field B3, 1997, treatment C (Dutzi). Based on closely separated measurements perpendicular to the tillage direction. Notice that, generally, a successful loosening of the soil has taken place, but that there are still areas with >1.5 MPa penetration resistance.

Penetreringsmålingerne giver også mulighed for at bedømme bearbejdningsdybden. Ud fra målingerne i mark B1 i foråret 1999 (dvs. ca. et halvt år efter bearbejdning til vinterhvede) fandtes, at pløjedybden gennemsnitligt havde været 22.8 cm og at bearbejdningsdybden med Dutzi-tænderne gennemsnitligt havde været 29.0 cm (figur 6). For begge tals vedkommende er der tale om afstanden fra forårets jordoverflade til ubearbejdet jord. Da jorden vil falde noget sammen over tiden, er den reelle bearbejdningsdybde lidt mindre. Gennemsnitstallet på 29 cm for Dutzi dækker over målinger både mellem og i selve løsnesporet. Som figuren viser, var der for halvdelen af stikkene (dvs. i halvdelen af marken) en bearbejdningsdybde på 27 cm (median). Kun 10% af marken var bearbejdet til dybder større end 37 cm. Informationerne fra figur 5 og 6 taler for, at en fuldstændig løsning af den tidligere pløjesål – selv med de brede Dutzi-tænder – kræver mere end en enkelt løsning til fuld dybde.



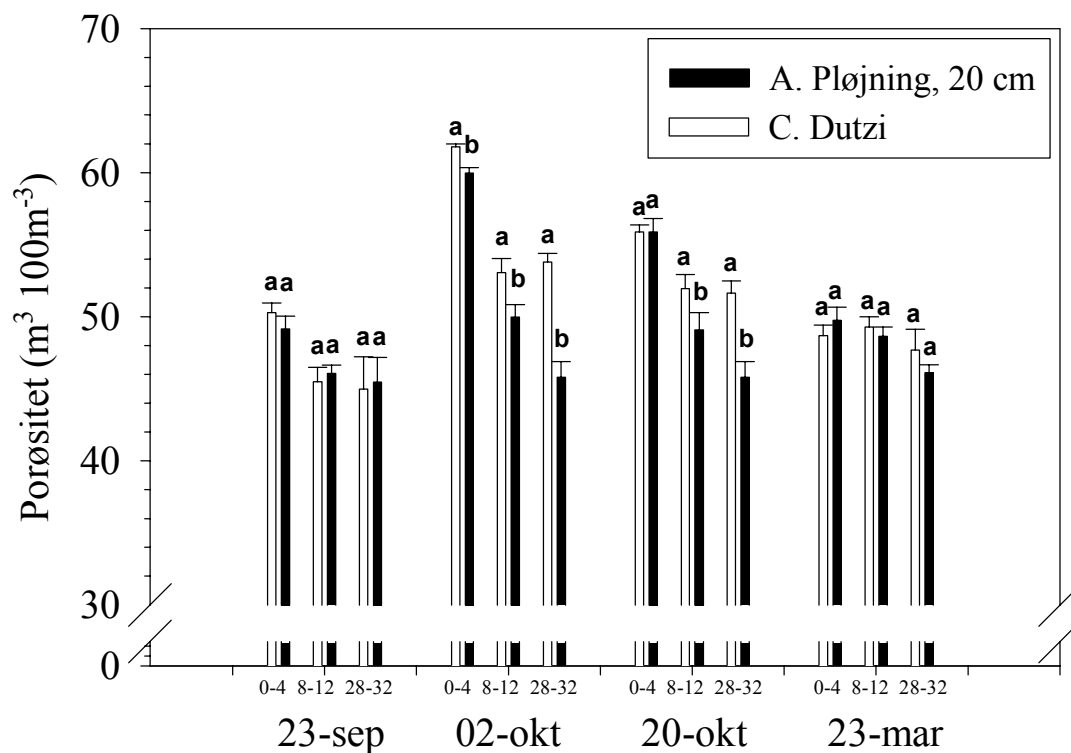
Figur 6. Bearbejdningsdybde (cm) for både plov og Dutzi-tænder bestemt ud fra penetreringsmålinger i B1-marken i foråret 1999. Tallene ud for de tre pile viser henholdsvis 10, 50 og 90 % fraktilen for bearbejdningsdybden. Se tekst for nærmere forklaring. Tillage depth (cm) for mouldboard plough as well as the Dutzi tines. Calculated from penetration measurements performed in spring 1999 in the B1 field. The values at the arrows indicate the 10, 50 and 90 percentiles, respectively, for the tillage depth. Consult text for details.



Figur 7. Penetreringsmodstand i B3-marken eet henholdsvis to år efter Dutzi-bearbejdnigen i 1997. Den høje penetreringsmodstand i de øvre jordlag skyldes udtørring af jorden efter begyndende vækst af kløvergræsset i maj måned. Penetration resistance in the B3 field at respectively one year (1998) and two years (1999) following the treatment with the Dutzi tines in 1997. The high penetration resistance in the upper soil layers is due to a low water content after evapotranspiration from the grass/clover crop in May.

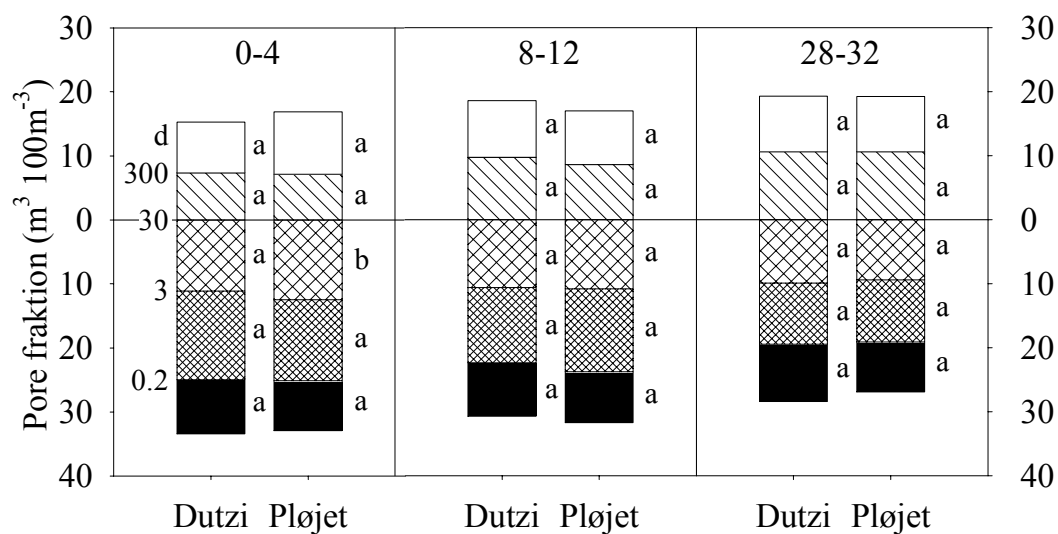
Hvordan går det med det løsnede jordlag efter længere tid? Vil jorden pakkes sammen til lige så stærk penetreringsmodstand som før løsningen? Andre undersøgelser har vist, at dette nemt kan ske (Soane et al., 1986; Hipps & Hodgson, 1988). Figur 7 viser målinger i mark B3 henholdsvis 1 og 2 år efter løsningen i foråret 1997. Det huskes, at afgrøden i 1997 var byg/ært m. udlæg, i 1998 1. års kløvergræs og i 1999 2. års kløvergræs. Der har altså ikke været flere jordbearbejdnings af nogen art i perioden. Til gengæld har der været den nødvendige trafik i forbindelse med høst af afgrøderne. Figuren viser tydeligt, at der selv efter 2 år stadig er en stor forskel på penetreringsmodstanden i 25-35 cm dybde. Løsneeffekten har holdt sig. Bemærk, at der – især i 1999 – er en ganske høj penetreringsmodstand i de øverste jordlag. Det skyldes, at der begge år blev målt hen i maj måned, hvor der var sket en begyndende udtørring af jorden på grund af afgrødens vandoptagelse. Bemærk videre, at der – ligeledes især i 1999 – var en tendens til højere penetreringsmodstand i den løsnede jord for dybder under ca. 35 cm. Vi tolker dette som et udtryk for et større vandforbrug i dette lag på grund af øget rod-vækst.

Jordens porøsitet

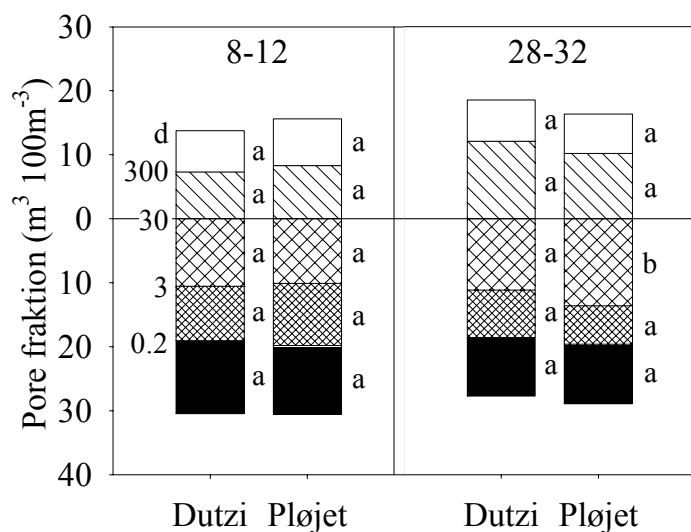


Figur 8. Jordens porøsitet i 3 dybder (0-4, 8-12 og 28-32 cm) fra før bearbejdning forud for vinterhvede i mark B1 (23. september) til foråret (23. marts), idet de to mellemliggende måletidspunkter er få dage efter bearbejdning henholdsvis ca. 3 uger efter bearbejdning. Søjler med samme bogstav er ikke signifikant forskellige ($P>0.05$). Soil porosity at three depths (0-4, 8-12 and 28-32 cm) measured before tillage treatments (23 September) to the spring (23 March). The two intermediate dates are respectively a few days and three weeks following the tillage treatments. Columns with identical letters are not significantly different ($P>0.05$).

Jorden under havrestubben i mark B1 havde forud for forsøgsanlæggelse ultimo september 1998 en porøsitet på ca. 50% i de allerøverste lag og ca. 47-48% midt i pløjelaget. På trods af den målte pløjesål i marken i netop ca. 30 cm dybde (figur 4) var porøsiteten i dette jordlag ikke lavere end midt i pløjelaget (figur 8, 23. sept.). Dette kan forekomme ulogisk, men også andre undersøgelser har fundet omtrent samme tæthed i pløjelag og pløjesål på trods af stor mekanisk modstand i pløjesålen (f.eks. Schjønning & Rasmussen, 2000). En pløjesål kan altså være svært gennemtrængelig alene på grund af den måde, jorden er lejret på. I forbindelse med pløjning og jordløsning med Dutzi øgedes porøsiteten naturligvis i de bearbejdede lag. Umiddelbart efter bearbejdningerne var der signifikant større porøsitet efter Dutzi end efter pløjning i alle de tre dybder (figur 8, 2. okt.). Allerede efter yderligere 18 dages forløb var jorden dog faldet en del sammen og var nu ens for de to behandlinger i det allerøverste jordlag mens der stadig var signifikant større porøsitet efter Dutzi end efter pløjning i de to nederste lag (figur 8, 20. okt.). Endelig efter 5 måneder med påvirkning fra vinterens vejrlig var porøsiteten faldet yderligere og de to behandlinger var nu ikke signifikant forskellige (figur 8, 23. marts). Ganske vist var der en tendens til den største porøsitet i det Dutzi-løsnede 28-32 cm jordlag i forhold til pløjning, men effekten var altså ikke statistisk sikker. Der blev dog samtidig konstateret en sikker reduktion af jordens penetreringsmodstand i denne dybde (figur 4) og Dutzi-effekten synes således nok så meget at 'holde sig' m.h.t. en formindsket penetreringsmodstand som m.h.t. et forøget porevolumen.



Figur 9. Jordens porerumfang fordelt på størrelsesklasser af porer i tre dybder i mark B1, foråret 1999, d.v.s. ca. 5 måneder efter bearbejdning. d angiver beregnet diameter for porerne. Størrelsesklasser med samme bogstav (a, b) er ikke signifikant forskellige ($P>0.05$). Soil porosity distributed in pore size classes for three depths of the B1 field, spring 1999. I.e., approximately 5 months following tillage treatments. d denotes tube-equivalent pore diameter. Size classes with the same letters (a, b) are not significantly different ($P>0.05$).



Figur 10. Jordens porerumfang fordelt på størrelsesklasser af porer i to dybder i mark B4, september 1998, d.v.s. ca. 5 måneder efter bearbejdning. d angiver beregnet diameter for porerne. Størrelsesklasser med samme bogstav (a, b) er ikke signifikant forskellige ($P>0.05$). Soil porosity distributed in pore size classes for two depths of the B4 field, September 1999. I.e., approximately 5 months following tillage treatments. d denotes tube-equivalent pore diameter. Size classes with the same letters (a, b) are not significantly different ($P>0.05$).

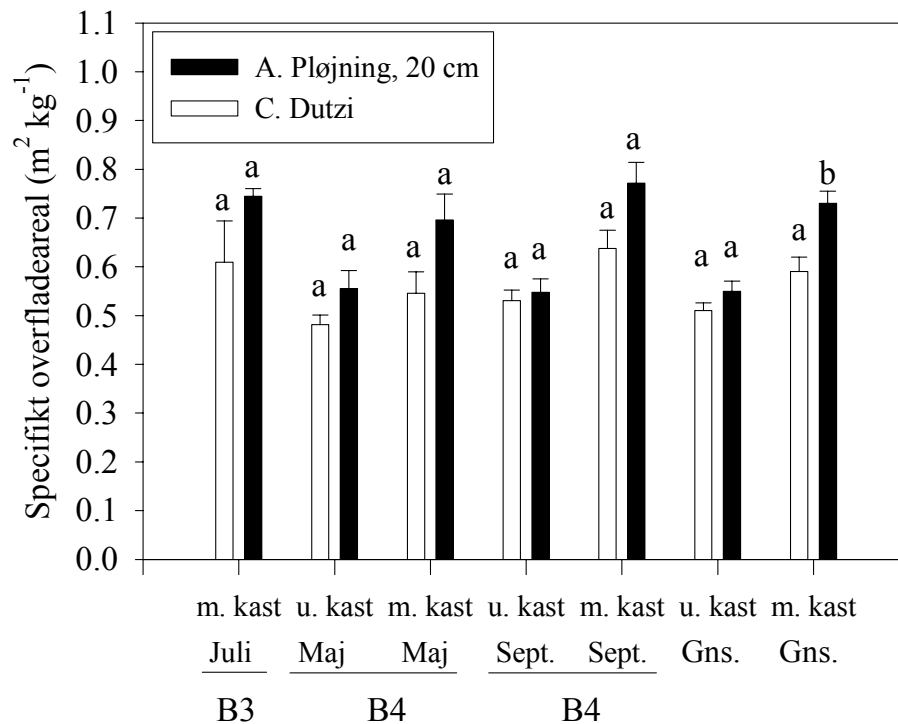
I figur 9 er vist, hvorledes porøsiteten er fordelt på grupper af porer med forskellig størrelse ved forårsudtagningen i mark B1. Søjlernes samlede højde angiver den totale porøsitet og er således identisk med søjlerne i figur 8 (sidste udtagning). Den eneste sikre effekt på grupper af porer er 3-30 μm porerne i 0-4 cm dybde, hvor pløjning har givet et signifikant større volumen end Dutzi-behandlingen.

September-udtagningen i mark B4 giver mulighed for at vurdere effekten af Dutzi-behandlingen, når denne er udført to gange. Ca. 5 måneder efter den sidste af disse behandlinger fandtes Dutzi-behandlingen at have forårsaget et forøget volumen af store porer over 30 μm i dybden 28-32 cm i forhold til pløjningen (figur 10). Tendensen er ikke statistisk sikker men dog forventelig, idet det ofte ses, at en tæt jord har et lille volumen af netop de store porer i jorden (f.eks. Schjønning & Rasmussen, 2000). Dutzi-løsningen af 28-32 cm laget har til gengæld givet anledning til et statistisk sikkert mindre rumfang af porer i størrelsesklassen 3-30 μm (Figur 10). Ved markkapacitet om foråret rummer disse porer den lettilgængelige del af jordens plantetilgængelige vand. Dette aspekt kan måske siges at være en af de få fordele ved en komprimeret jord.

Smuldreevne

En god smuldreevne er af betydning både ved bearbejdning til såbed og for planterøddernes mulighed for at vokse i jorden. Det sidste skyldes, at en god smuldreevne er udtryk for små sammenhængskræfter mellem store knolde i jorden. Og det har betydning for, om rødderne kan trænge sig frem. Adskillige målinger af jordens evne til at fragmentere i mindre bestanddele viste, at den ikke-pløjede jord (Dutzi-behandlingen) havde en dårligere smuldreevne end pløjet jord (figur 11). Ved disse undersøgelser brugte vi jord, der blev udtaget i jordlaget fra

ca. 7-14 cm. Også udenlandske undersøgelser har påvist, at pløjning løsner jorden bedre end tandkultivering (f.eks. Carter et al., 1998). Vi betragter dog den dårligere smuldreevne som et overgangsfænomen, idet der ved flere års gentagen ikke-vendende bearbejdning vil ske en ophobning af organisk materiale i de øvre jordlag (f.eks. Rasmussen, 1988), hvilket alt andet lige vil medvirke til en bedre smuldreevne (Watts & Dexter, 1998).



Figur 11. Jordens smuldreevne udtrykt som overfladen af de aggregater, der dannes ved en jordklump's fald fra en højde på 75 cm. Søjler med samme bogstav er ikke signifikant forskellige ($P>0.05$). Soil friability expressed in terms of the surface area of aggregates created due to free drop of a block of soil from a height of 75 cm. Columns with identical letters are not significantly different ($P>0.05$).

Vådstabilitet af aggregater

Prøverne til aggregatstabilitetsanalyse blev udtaget under vidt forskellige fugtighedsforhold i de to år, hvor vi lavede denne analyse. I 1997 (mark B3) var jorden meget våd ved udtagningen, hvilket gjorde, at den klumpede sammen inden lufttørringen. I 1998 (mark B4) var betingelserne for prøveudtagning langt bedre. Dette betød, at der de to år var meget stor forskel på, hvorledes aggregaterne fordelte sig på størrelsesfraktionerne under og over 2 mm. På trods af den indledende knusning af knolde på over 8 mm i laboratoriet, var stadig over 90% af aggregaterne større end 2 mm. Det samme tal for 1998 var kun ca. 30% (tabel 3).

Tabel 3. Resultater fra vådsigtninganalyser af aggregater udtaget i de øverste 4-5 cm i udlægsmarken efter såning. For hvert år er der angivet dels den procentdel af jorden, der efter udtagning, lufttørring og forbehandling er større end 2 mm (> 2 mm, tør) samt den procentdel af disse aggregater, der er stabile mod sigtning i vand i en 3 minutters periode (Stabile). Stability of topsoil (0-~5 cm) aggregates >2 mm during a three minutes sieving procedure in water.

	1997, B3		1998, B4	
	> 2 mm, tør, %	Stabile %	> 2 mm, tør, %	Stabile %
A. Pløjning, 20 cm	92,2	85,5	29,4	89,0
B. Pløjning, 10 cm	90,8	84,1	30,4	88,5
C. 'Fuld' Dutzi	90,9	79,2	28,0	88,6
D. 'Delt' Dutzi	90,7	79,3	32,6	89,2
LSD _{.05}	n.s.	5,5	3,2	n.s.

I B3 marken i 1997 var der en signifikant højere vådstabilitet af aggregaterne over 2 mm i de pløjede i forhold til de Dutzi-behandlede parceller. I B4 marken i 1998 var der ikke forskel i stabilitet af de (forholdsvis få) aggregater, der ved den indledende tørsigtning bibeholdt en størrelse over 2 mm (tabel 3).

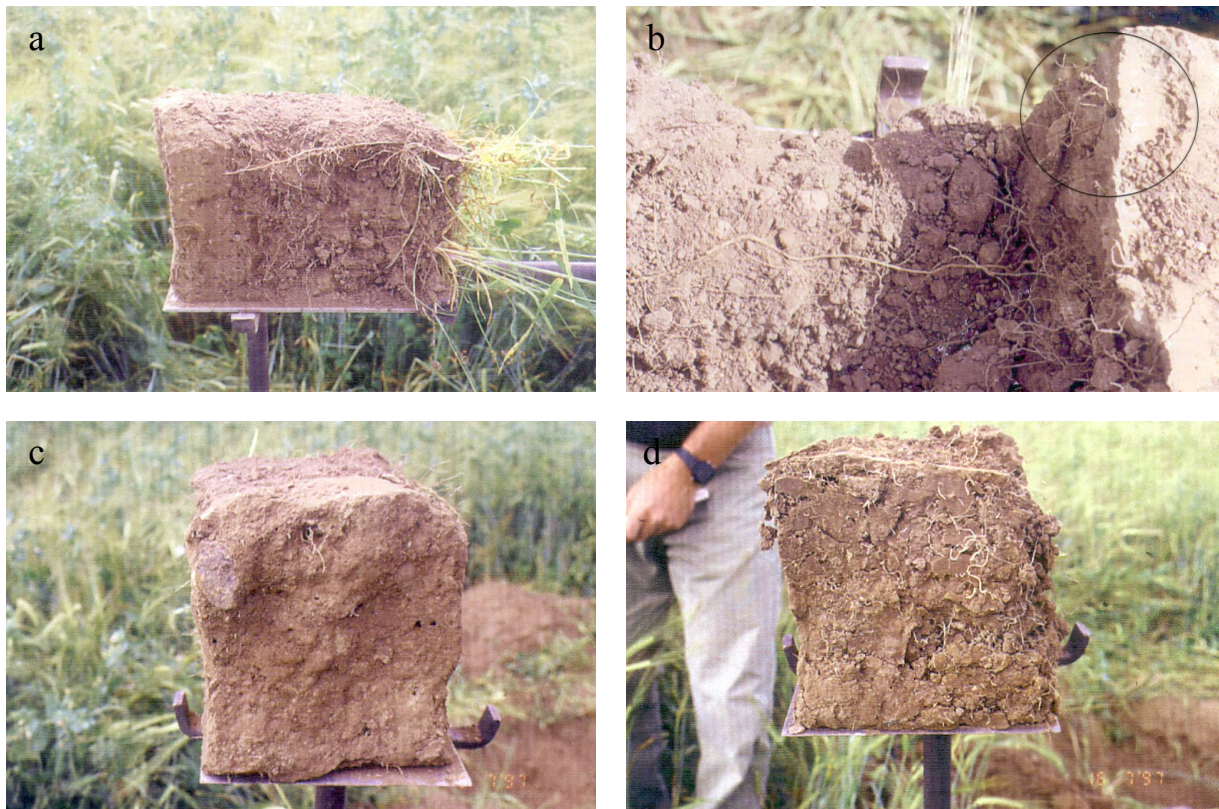
Andre undersøgelser med pløjefri dyrkning har vist, at der med flere års gentagen behandling vil udvikle sig mere stabile aggregater i overfladejorden i forhold til pløjet jord (f.eks. Schjønning & Rasmussen, 1989). At det omvendte er konstateret her (mark B3 i 1997) er sandsynligvis et udslag af de nævnte vejrmæssige betingelser i forbindelse med prøveudtagningen. Ved flerårig anvendelse af Dutzi-konceptet må i lighed med de nævnte andre undersøgelser forventes en stigende stabilitet af overfladejordens aggregater.

Spadeprøve

I både B3 og B4 marken kunne de øverste 30 cm jord ved spadeprøven adskilles i tre karakteristiske jordlag. I både pløjet og Dutzi-behandlet jord fandtes et øvre lag med krummer som strukturelementer. Herunder var der et mere kompakt lag ned til pløjedybden (Dutzi: den tidligere pløjedybde). Og endelig var der herunder i den pløjede jord en kompakt pløjesål og i den Dutzi-behandlede jord kompakte blokke som rester af den tidligere pløjesål. Et stort antal af 0.5-2 mm porer (>5 pr. dm²) blev observeret i alle lag i den Dutzi-behandlede jord. Den pløjede jord havde et tilsvarende antal store porer i pløjelaget. I pløjesålen fandtes gennemsnitligt kun omkring 1 pore af denne størrelse pr dm². I begge behandlinger var rodvæksten tydeligt hæmmet ved overgangen til den (tidligere) pløjesål. Dette var stærkt udpræget i det pløjede forsøgsled. Billeder af jord fra forsøgsleddet med pløjning til 20 cm henholdsvis 'fuld' Dutzi er vist i figur 12.



Figur 12. Prøver af de øverste 30 cm jord sommeren 1998, mark B4. a) forsøgsleddet med traditionel pløjning og b) det Dutzi-behandlede forsøgsled. Bemærk, at Dutzi-behandlingen har brudt den kompakte pløjesål op og givet anledning til forøget rod-vækst (foto: Lars J. Munkholm). Blocks of soil sampled from the top 30 cm of the B4 field, summer 1998. a) soil from the traditionally ploughed treatment and b) the Dutzi treatment. Notice how the Dutzi treatment has broken up the plough pan and allowed an increased root growth in this soil layer.

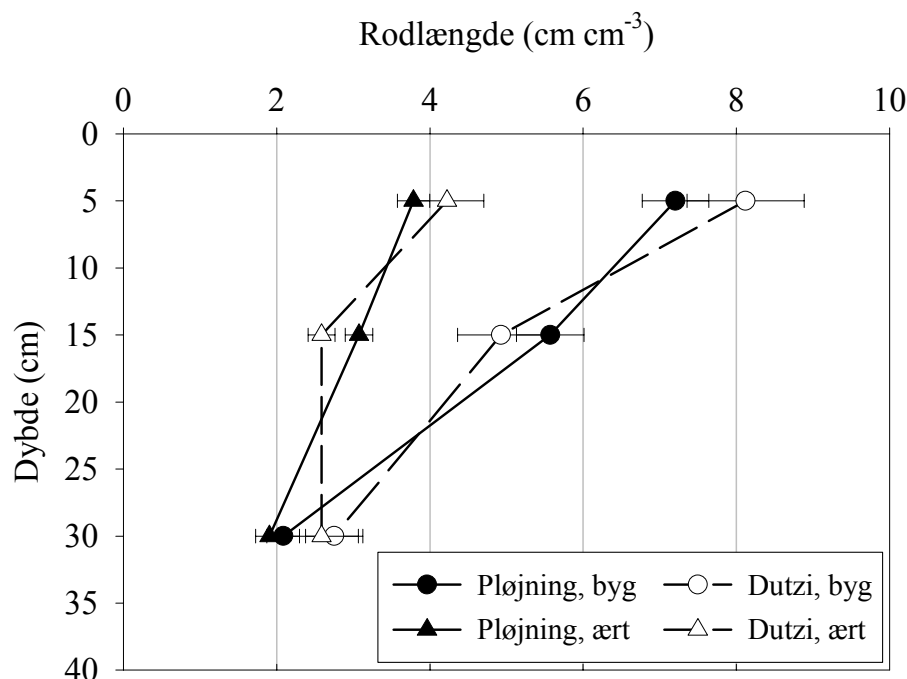


Figur 13. Prøver af de øverste 30 cm jord i mark B4, sommeren 1998. a) pløjet led, hele jordlaget 0-30 cm, b) samme prøve, jord fra pløjelaget skrabet væk (bemærk fortykkede rødder og vækst ned i afdækket regnormegang, c) samme prøve set fra neden (bemærk rødderne i regnormegangen), d) Dutzi-løsnet prøve set fra neden (bemærk den større mængde rødder) (foto: Lars J. Munkholm). Blocks of soil sampled from the top 30 cm of the B4 field, summer 1998. a) ploughed soil, 'undisturbed' column, b) the same column with the plough layer soil partly removed (notice the thickened roots and the preferential growth in the earthworm channel, c) the same column seen from below (notice the roots in the earthworm channel), d) a column sampled in the Dutzi treatment, seen from below (notice the increased amount of roots compared to the ploughed treatment).

Figur 13 viser, hvorledes rødderne i det pløjede forsøgsled fortykkes, når de når frem til pløjesålen. Videre ses, at rødderne typisk kommer ned til dybereliggende horisonter gennem regnormegange. Det er klart, at dette vil give anledning til en ikke-optimal udnyttelse af vand og næringsstoffer i laget med pløjesålen. Endvidere må det formodes, at en pløjesål på denne vis forsinker planten i dens udvikling.

Rodvækst

Specialundersøgelsen af rodvækst i jord udtaget i metalcylindre fra mark B5 (Nielsen et al., 2000) viste, at der i de tre undersøgte dybder var flere byg- end ærterødder (Figur 14). I 15 cm dybde var der signifikant flere ærterødder i pløjet jord end i Dutzi-behandlet jord. For byg fandtes en lignende men dog ikke signifikant forskel. Der var også tendens til flere bygrødder i 15 cm dybde i pløjet jord. Til gengæld fandtes for både ært og byg i 30 cm dybde en tendens til flere rødder i den løsnede end i den ikke-løsnede jord (Figur 14). De nævnte forskelle for 15 og 30 cm dybde kan forklares med foretrukken rodvækst i områder med lav mekanisk modstand. Den svært gennemtrængelige pløjesål har hæmmet rodvæksten under pløjedybde og betydet øget rodvækst i pløjelaget. Omvendt har den lavere mekaniske modstand i den løsnede pløjesål givet bedre vilkår for rodvækst under pløjelaget for den Dutzi-behandlede jord.



Figur 14. Rodvækst i udtagne jordsøjler (mark B5, foråret 1999) placeret under tag i vækstperioden. Root growth in soil cores from the B5 field sampled spring 1999 and placed below roof (no irrigation).

Topudbyttet af ært og byg var større for Dutzi-løst jord end for pløjet jord,- dog kun signifikant for ærternes vedkommende. Resultaterne viste også, at der skete en forrykning af balancen mellem ærter og byg, idet ærterne havde størst fordel af, at jorden var løst.

Den her refererede specialundersøgelse er ganske vigtig i vurderingen af jordløsningen under pløjedybde. Som det senere vil fremgå, fandtes ingen signifikante udbytteeffekter i forsøgså-

rene, der var præget af rigelig nedbør i vækstsæsonen. Barraclough & Weir (1988) viste ligeledes, at løsning af en pløjesål kun gav merudbytte, hvis vandforsyningen gennem vækstsæsonen var begrænsende. Det må derfor formodes, at Dutzi-behandlingen vil manifestere sig med forbedrede udbytter i år med tørre vækstforhold og generelt på jordtyper med ringe vandkapacitet.

Sådybde og plantebestand

Tabel 4 viser plantebestanden af både korn og ært i byg/ært med udlæg. I byg var der ingen signifikante forskelle i plantebestanden imellem de 4 forsøgsled. Den lave plantebestand blev valgt bevidst af hensyn til udlægget. Med hensyn til ært var plantebestanden signifikant lavest i forsøgsled D i 1998. Dette skyldes, at såbedstilberedningen blev udført med kompaktharve. Denne harve har svært ved at tilberede et tilfredsstillende såbed i den Dutzi-grubbede jord. Derfor blev såbedstilberedning og såning i efterår 1999 udført med kombinationen tandfræser og såmaskine. Med tandfræseren kan rotorhastighed og fremkørselshastighed varieres, så der opnås et passende såbed.

Tabel 4. Fremspirede planter (m⁻²) i byg/ært med udlæg. Plant density (m⁻²) in the barley/pea crop.

Afgrøde:	Byg	Byg	Byg	Ært	Ært	Ært
År:	1998	1999	2000	1998	1999	2000
Mark:	B4	B5	B1	B4	B5	B1
A. Pløjning, 20 cm	146	135	163	29	27	43
B. Pløjning, 12 cm	164	152	171	29	27	43
C. 'Fuld' Dutzi	148	138	165	30	28	35
D. 'Delt' Dutzi	154	144	177	19	30	32
LSD _{.05}	n.s.	n.s.	n.s.	8,1	n.s.	10,3

Tabel 5. Sådybde (cm) i byg/ært med udlæg. Sowing depth (cm) in the barley/pea crop.

Afgrøde:	Byg	Byg	Byg	Ært	Ært
År:	1998	1999	2000	1998	1999
Mark:	B.4.2.	B.5.2.	B.1.2.	B.4.2.	B.5.2.
A. Pløjning, 20 cm	4,3	4,2	4,8	4,2	4,3
B. Pløjning, 12 cm	4,1	4,1	5,6	4,2	4,1
C. 'Fuld' Dutzi	4,5	4,6	5,5	4,7	4,9
D. 'Delt' Dutzi	3,9	4,0	4,7	3,7	3,8
LSD _{.05}	n.s.	n.s.	0,4	0,7	0,6

Sådybden for byg/ært med udlæg er vist i tabel 5. Det ses, at der ikke var sikre forskelle i sådybden til korn. Ærterne blev placeret dybest i forsøgsled C ('fuld' Dutzi). Dette skyldes sandsynligvis, at fremkørselshastigheden med 'fuld' Dutzi var relativ lav således, at såskærene her gik bedre i jorden.

Ukrudt

Byg/ært med udlæg

I 1998 og 1999 (B4 og B5) er det anden gang, at forsøget anlægges (se tabel 2). Her er det altså anden gang, at jorden ikke vendes i forbindelse med afgrødeetableringen. I 1997 (B3) og i 2000 er det derimod første gang, at jorden i C og D parcellerne ikke pløjes. I 2000 blev ukrudtet bedømt i et ekstra forsøg i den nærliggende mark B.1.1, som blev anlagt for at foretage undersøgelser omkring jordens fauna (et separat FØJO-projekt ikke i øvrigt medtaget i denne rapport). Her indgik alene forsøgleddene A (pløjning til 20 cm) og C ('fuld' Dutzi).

Af hensyn til udlægget blev der ikke foretaget mekanisk ukrudtsbekæmpelse i udlægsmarken. I sådanne tilfælde kan forventes en betragtelig ukrudtsmængde, der primært bekæmpes ved høst af helsæden. I 1997 (mark B3) og i 1998 (mark B4) var de dominerende ukrudtsarter skivekamille, lugtløs kamille, hvidmelet gåsefod, hyrdetaske, rød tvetand, markærenpris og græsser. I 1999 (mark B5) var de dominerende ukrudtsarter kamille, fuglegræs, hvidmelet gåsefod og agersennep. I 2000 (mark B.1.1) var de dominerende arter hvidmelet gåsefod og fuglegræs.

Tabel 6. Ukrudtsplanter (1997 og 1998), dækningsgrad (1999) eller overjordisk plantetørstof i ukrudtsplanterne (2000) i byg / ært / udlæg. Weeds in the barley/pea crop judged by the amount of weed plants (1997 and 1998), percentage coverage by weed plants (1999) or amount of above-ground weed plant dry matter (2000).

	B3, 1997 planter/m ²	B4, 1998 planter/m ²	B5, 1999 pct. dækning	B.1.1, 2000 kg tørstof / ha
A. Pløjning, 20 cm	388	494	62	695
B. Pløjning, 12 cm	415	770	69	n.d.*
C. 'Fuld' Dutzi	428	1686	81	964
D. 'Delt' Dutzi	548	2168	82	n.d.
LSD ₀₅	54	329	3,6	193

*n.d. = ikke målt (not determined)

Af tabel 6 fremgår, at der de tre år 1997-1999 fandtes mindst ukrudt efter pløjning til 20 cm (forsøgsled A), lidt mere hvor pløjedybden var reduceret til 10-12 cm (B) og mest i de dutzi-behandlede forsøgsled – specielt i forsøgsled D, hvor grubning blev udført separat efterfulgt af såbedstilberedning og såning. Resultaterne fra 2000 bekræfter, at der generelt er mest

ukrudt i ikke-pløjet jord. Det bør dog nævnes, at det meget store antal ukrudtsplanter i Dutzi-behandlingerne i B4, 1998 primært skyldtes meget dårlig bekæmpelse af ukrudtet i roemarken året før. Der var ikke synlig forskel i ukrudtsbestanden i de forskelligt bearbejdede parceller, når udlægsafgrøden var høstet og i de efterfølgende kløvergræsmarker.

Vinterhvede

Forfrugten for vinterhveden var havre. Tiden mellem høst af havren og såning af vinterhveden var så kort, at der ikke blev foretaget mekanisk ukrudtsbekæmpelse. Første forsøgsår med vinterhvede var 1997/98 i mark B5. Her opstod så store problemer med kamille i foråret 1998, at afgrøden blev harvet op og i stedet såedes foderræddike, der ikke høstedes forsøgmæssigt. Der skønnedes ikke at være forskel på ukrudtstrykket mellem forsøgsbehandlingerne.

Andet forsøgsår med hvede var 1998/99 i mark B1. Her blev hveden sået den 1.-2. oktober på 24 cm rækkeafstand med henblik på radrensning. På grund af det fugtige efterår 1998 var det vanskeligt at gennemføre mekanisk ukrudtsbekæmpelse. Der blev dog gennemført en enkelt strigling den 7. oktober, men effekten var for dårlig. Under hvedens fremspiring forekom angreb af råger, der åd de nyfremspirede planter. Angrebet var kraftigst i de dutzi-behandlede parceller, hvor dækningen af kernerne pletvis var for dårlig på grund af efterladte planterester og kvikrødder. Foråret 1999 blev der den 21. april foretaget en strigling, men effekten var for dårlig, dels fordi striglen ikke kunne gå i jorden, da der i vinterens løb var dannet en hård jordskorpe, og dels fordi striglen ikke kunne gøre noget ved de overvintrede ukrudtsplanter. Der blev ikke udført yderligere radrensninger i resten af vækstsæsonen. Med en rækkeafstand på 24 cm og en afgrøde, der ikke var kraftig nok til at kunne dække jorden, skete der en kraftig udvikling af ukrudtet i sommerens løb, specielt bestanden af kvik og kløver udvikledes kraftigt.

Hveden, der blev sået efterår 1999 og udviklet forår/sommer 2000 (mark B2), etablerede sig generelt godt på trods af meget fugtige forhold ved såning. I de pløjede parceller, havde kompaktharven lidt besvær med at lave et godt såbed i de lerede områder af marken.

Ukrudtsbestanden blev i 1999 bedømt på to tidspunkter, dels den 18. juni og dels den 20. august. I 2000 blev der foretaget planteklip den 20. juni. I 1999 var der en tendens til en større ukrudtsbestand i Dutzi-parcellerne end i de pløjede parceller (tabel 7). De dominerende ukrudtsarter i 1999 var kløver, kvik, græsser, kamille, mælkebøtte, fuglegræs, hvidmelet gåsefod, hyrdetaske, agersennep og tidsel. I 2000 var der signifikant den største mængde ukrudt i pløjning til 20 cm i forhold til både den overfladiske pløjning og Dutzi-behandlingerne (tabel 7). I 2000 var de dominerende arter forglemmigej, fuglegræs og enårig rapgræs. Det var især fuglegræsset, der gav anledning til det høje tal i traditionel pløjning men også enårig rapgræs fandtes i signifikant større mængder efter pløjning end efter den ikke-vendende bearbejdning med Dutzi.

Tabel 7. Ukrudt i vinterhvede bedømt som dækningsgrad (1999) eller som overjordisk plantetørstof i ukrudtsplanterne (2000). Weeds in the winter wheat crop judged by the amount of weed plants (1999) or amount of above-ground weed plant dry matter (2000).

	B1, 18.06.1999 pct. dækning	B1, 20.08.1999 pct. dækning	B2, 20.06.2000 kg tørstof / ha
A. Pløjning, 20 cm	40	87	418
B. Pløjning, 12 cm	45	81	152
C. 'Fuld' Dutzi	55	85	165
D. 'Delt' Dutzi	53	84	191
LSD _{.05}	7,5	n.s.	204

Generel vurdering af ukrudtsbestanden

Mængden af ukrudt varierede fra år til år og fra mark til mark. I byg/ært/udlægsmarkerne, hvor mekanisk renholdelse ikke kunne gennemføres af hensyn til udlægget, var der ofte en kraftig ukrudtsbestand i de Dutzi-behandlede forsøgsled. Dette generede tilsyneladende ikke kulturplanterne væsentligt. Efter høst af byg/ært/udlægsblandingen var der ingen forskelle at se i ukrudtsbestanden imellem behandlingerne, hverken i udlægsåret eller i 1. og 2. års græsmarken.

I vinterhveden var mekanisk ukrudtsbekæmpelse meget problematisk på grund af det relativt sene såtidspunkt og den deraf følgende langsomme fremspiring af såvel ukrudt som kulturplanter og ikke mindst på grund af vejrliget, som ofte vanskeliggjorde mekanisk renholdelse om efteråret. Strigling om foråret var meget problematisk dels på grund af dannelse af en hård jordskorpe i løbet af vinteren, dels på grund af overvintret ukrudt, som er vanskeligt at rive op og tildække, og dels fordi jordfugtigheden ofte er for høj til, at man kan komme tidlig nok i gang. Vinterhveden blev derfor i efteråret 1998 sået på 24 cm rækkeafstand med henblik på ukrudtsbekæmpelse ved radrensning. Erfaringerne fra 1999 og 2000 viser imidlertid, at hveden på denne rækkeafstand har for dårlig konkurrenceevne således, at ukrudtet breder sig samt, at man skal tidlig i gang med radrensningen og at der skal følges op med flere radrensninger i forsommeren. De modsatrettede tendenser i hveden i 1999 og i 2000 viser, at der ikke kan drages entydige konklusioner om behandlingernes effekt på ukrudtsbestanden. Hvorvidt en pløjning af jorden vil være bedre end den ikke-vendende løsning vil formodentlig afhænge af såvel klimaforholdene som ukrudtsfrøpuljen og dens fordeling i jordprofilen.

Udbytter

Byg/ært med udlæg – høst ved modenhed

Det første forsøgsår blev byg/ært afgrøden høstet ved modenhed (tabel 8). Af tabellen fremgår, at det lavere udbytte i forsøgsled D ('delt' Dutzi) ikke er signifikant forskelligt fra de øvrige forsøgsled.

Tabel 8. Kerneudbytte (hkg/ha, 85% tørstof) i byg/ært med udlæg, mark B3, 1997. Forsøgseffekterne er ikke signifikant forskellige (P>0.05). Yield of grains in the barley/pea crop (hkg/ha), field B3, 1997. The values are not significantly different (P>0.05).

A. Pløjning, 20 cm	49,5
B. Pløjning, 10 cm	47,1
C. 'Fuld' Dutzi	48,1
D. 'Delt' Dutzi	45,6

Byg/ært med udlæg – høstet som helsæd

I 1998, 1999 og 2000 blev byg/ært med udlæg høstet som helsæd. Der opnåedes generelt et tilfredsstillende udbytte (70-86 hkg/ha tørstof ~ 5500-6700 foderenheder (FE) pr. ha ved 1,28 kg tørstof pr. FE). I 1998 var der en tendens til højest udbytte i forsøgsled A (pløjning 20 cm), mens der ved et efterslæt høstede mest i forsøgsled D ('delt' Dutzi) (tabel 9). I 1999 var udbyttet højest ved 10-12 cm pløjning, men forskellene var ikke signifikant forskellige. I år 2000 og på gennemsnit af 1998-2000 var der heller ingen signifikante udbytteforskelle (tabel 9).

Tabel 9. Udbytte af byg/ært med udlæg høstet som helsæd (hkg tørstof pr. ha). Ingen forsøgseffekter er signifikant forskellige (P>0.05). Yield of the barley/pea crop harvested as wholecrop (hkg dry matter / ha), field B3, 1997. The values are not significantly different (P>0.05).

Afgrøde:	Helsæd	Efterslæt	I alt	Helsæd	Helsæd	Helsæd
År:	1998	1998	1998	1999	2000	gns.
Mark:	B.4.2.	B.4.2.	B.4.2.	B.5.2.	B.1.2.	1998/2000
A. Pløjning, 20 cm	76,1	13,2	89,3	80,4	86,4	85,4
B. Pløjning, 12 cm	71,6	15,3	86,9	82,7	84,1	84,6
C. 'Fuld' Dutzi	73,5	12,7	86,2	79,0	84,8	83,3
D. 'Delt' Dutzi	70,6	17,1	87,7	78,6	86,2	84,2

Første års kløvergræs

Første års kløvergræs er høstet i mark B3 i 1998, i mark B4 i 1999 og i mark B5 i 2000. Der høstedes tilfredsstillende udbytter (87-136 hkg/ha tørstof) med højest udbytte i 1999 og lavest i 2000. På trods af forsøgsdesignet med 4 blokke og store parceller var der ikke statistisk sikre forskelle mellem behandlingerne ved nogen af de i alt 9 slæt, der blev taget i første års græs gennem de tre år. Heller ikke som gennemsnit af de tre slæt var der sikre forskelle i noget af årene. Der er dog en tendens til højest udbytte for øverlig pløjning (tabel 10).

Tabel 10. Udbytte i 1. års kløvergræs (hkg tørstof pr. ha). Sum af tre slæt pr. år. Ingen forsøgseffekter er signifikant forskellige ($P>0.05$). Yield of the grass/clover mixture, 1st year (hkg dry matter / ha). Sum of three cuts per year. The values are not significantly different ($P>0.05$).

	1998	1999	2000	Gns.
A. Pløjning, 20 cm	114,6	130,0	87,3	110,6
B. Pløjning, 10 cm	113,2	136,0	98,0	115,7
C. 'Fuld' Dutzi	113,4	128,0	95,5	112,1
D. 'Delt' Dutzi	111,6	126,4	92,3	110,1

Andet års kløvergræs

Andet års kløvergræs er høstet i mark B3 i 1999 og i mark B4 i 2000. Heller ikke her var der statistisk sikker forskel mellem behandlingerne ved enkelt-slæt. Udbytterne varierede fra år til år, såvel mellem slæt som med hensyn til det totale udbytte. I 1999 var udbyttet højest i forsøgsled C ('fuld' Dutzi) og i 2000 var det højest i forsøgsled B (10-12 cm pløjning), mens det i gennemsnit af 1999 og 2000 var højere efter såvel 10 som 20 cm pløjning (led A og B) end efter Dutzi-behandlingerne (led C og D) (tabel 11). Det forholdsvis store – men dog ikke signifikante – udbyttetab for Dutzi-behandlingerne i 2000 blev indkasseret i mark B4, der også året før havde givet lavt udbytte for Dutzi i 1. års kløvermarken (tabel 10). Dette kan måske hænge sammen med det meget store ukrudtstryk, der var i denne mark under udlæggets etablering i 1998 (tabel 6).

Tabel 11. Udbytte i 2. års kløvergræs (hkg tørstof pr. ha) i 1999 og 2000. Sum af 3 slæt pr. år. Ingen forsøgseffekter er signifikant forskellige ($P>0.05$). Yield of the grass/clover mixture, 2nd year (hkg dry matter / ha). Sum of three cuts per year. The values are not significantly different ($P>0.05$).

	1999	2000	Gns
A. Pløjning, 20 cm	136,3	116,8	126,6
B. Pløjning, 10 cm	133,1	118,9	126,0
C. 'Fuld' Dutzi	137,4	109,8	123,6
D. 'Delt' Dutzi	130,8	109,5	120,2

Generel vurdering af græsudbytterne

- Høstresultaterne fra de første tre udlægsår viser en svag tendens til, at udbytterne i gennemsnit var lidt højere (men ikke signifikante) i de pløjede (A og B) end i de upløjede forsøgsled (C og D).
- Udbytterne fra 1. års kløvergræsmarkerne viser en ikke signifikant tendens til de højeste udbytter i de 10-12 cm pløjede parceller (forsøgsled B).
- Udbytterne i 2. års kløvergræsmarkerne viser tendens til højere udbytte efter 10 og 20 cm pløjning (forsøgsled A og B) end efter 'delt' Dutzi (forsøgsled D).

Vinterhvede

Vinterhvede er kun høstet forsøgsmæssigt i to år. Forfrugten var havre. Marken var i 1998/99 (B1) en del forurenet med kvik. Der havde 2-3 år tidligere gået frilandssvin, så markoverfladen var fortsat noget ujævn. Forud for havren var der en enårig græsmark. I 1999/2000 var marken (B2) forholdsvis fri for ukrudt. Også her var forfrugten havre.

Hverken i 1999 eller 2000 eller i gennemsnit af de to år, var der signifikante udbytteforskelle imellem behandlingerne. Heller ikke ved bestemmelsen af total overjordisk afgrødetørstof omkring skridning i 2000 var der signifikante forskelle mellem behandlingerne (tabel 12).

Tabel 12. Udbytte af vinterhvede (hkg kerne med 85 % tørstof pr. ha), mark B1, 1999 og mark B2, 2000. Endvidere er angivet overjordisk plantetørstof (hkg pr. ha) bestemt ved planteklip den 20. juni 2000. Ingen forsøgseffekter er signifikant forskellige ($P>0.05$). Yield of grains in the winter wheat crop (hkg/ha), field B1, 1999, and field B2, 2000. For year 2000 the amount of above-ground crop dry matter (hkg/ha) is given as well. The values are not significantly different ($P>0.05$).

	Korn 1999	Korn 2000	Korn Gns.	Plantetørstof 20.06.2000
A. Pløjning, 20 cm	45,7	58,1	50,5	88,0
B. Pløjning, 10 cm	44,4	55,3	49,9	78,1
C. 'Fuld' Dutzi	43,1	61,4	52,3	89,0
D. 'Delt' Dutzi	43,8	60,0	52,7	90,2

Generel vurdering af hvedeudbyttet

- Forsøgsbehandlingerne gav stort set samme udbytte, hvorfor det må være andre forhold, der er bestemmende for valg af bearbejdningsmetode.

Afgrødekvalitet

Tabel 13 viser indholdet af råprotein i helsædsafgrøden. Der er ingen signifikante forskelle men dog en tendens til højere indhold i de Dutzi-løsnede parceller. Det kan ikke afgøres, om denne tendens skal tilskrives en bedre bestand af ærter (jf. figur 14) eller en bedre vækst og optagelse af kvælstof i de Dutzi-bearbejdede parceller, hvor jorden er mindre kompakt. Alakukku (1996) fandt nemlig, at en pakket jord ikke alene gav mindre udbytte i tørstof men især et mindre kvælstofoptag.

Tabel 13. Råprotein (% af tørstof) i helsædsafgrøden. Ingen forsøgseffekter er signifikant forskellige ($P>0.05$). Raw protein (% of dry matter) in the barley/pea crop harvested as wholecrop. The values are not significantly different ($P>0.05$).

	1998	1999	2000	Gns.
A. Pløjning, 20 cm	12,1	12,1	10,4	11,5
B. Pløjning, 10 cm	11,1	11,8	10,6	11,2
C. 'Fuld' Dutzi	12,2	12,5	10,7	11,8
D. 'Delt' Dutzi	12,5	12,0	10,6	11,7

De generelt høje protein-indhold i 1. års kløvergræsset (tabel 14 og 15) stemmer overens med, at der generelt var en god kløverbestand. I mark B4 i 1999 fandtes som gennemsnit af de 3 slæt signifikant højere protein-indhold efter Dutzi-behandling end efter pløjning (tabel 14), hvilket formodentlig indikerer højere kløverandel. Effekten tydeliggøres i løbet af vækstsæsonen (første til tredje slæt).

Tabel 14. Råprotein (% af tørstof) i 1. års græs afgrøden, B4-marken, 1999. Raw protein (% of dry matter) in 1st year grass/clover mixture, field B4, 1999.

	1. slæt	2. slæt	3. slæt	Gns.
A. Pløjning, 20 cm	24,1	15,6	17,9	19,2
B. Pløjning, 10 cm	24,1	15,9	16,9	18,9
C. 'Fuld' Dutzi	23,9	17,1	17,7	19,6
D. 'Delt' Dutzi	24,8	16,3	18,1	19,8
LSD _{.05}	n.s.	n.s.	0,9	0,4

I modsætning til resultaterne for 1999 fandtes der ingen sikre forskelle i råprotein-% i mark B5 i 2000 (tabel 15). Dette tyder på, at klimaforholdene kan øve indflydelse på, hvorvidt jordbearbejdningen vil påvirke afgrødens protein-indhold. Der kan dog ikke ud fra de foreliggende data siges noget sikkert om denne sammenhæng.

Tabel 15. Råprotein (% af tørstof) i 1. års græs afgrøden, B5-marken, 2000. Ingen forsøgseffekter er signifikant forskellige (P>0.05). Raw protein (% of dry matter) in 1st year grass/clover mixture, field B5, 2000. The values are not significantly different (P>0.05).

	1. slæt	2. slæt	3. slæt	Gns.
A. Pløjning, 20 cm	18,8	18,7	18,7	18,7
B. Pløjning, 10 cm	18,3	20,1	19,1	19,2
C. 'Fuld' Dutzi	17,8	18,5	18,2	18,1
D. 'Delt' Dutzi	18,1	18,9	18,3	18,4

Heller ikke i 2. års kløvergræs høstet i mark B3 i 1999 var der sikre forskelle mellem forsøgsbehandlingerne (tabel 16). Råprotein-indholdet er stadig højt som udtryk for et højt islæt af kløver også i andet brugsår.

Tabel 16. Råprotein (% af tørstof) i 2. års græs afgrøden, B3-marken, 1999. Ingen forsøgseffekter er signifikant forskellige (P>0.05). Raw protein (% of dry matter) in 2nd year grass/clover mixture, field B3, 1999. The values are not significantly different (P>0.05) .

	1. slæt	2. slæt	3. slæt	Gns.
A. Pløjning, 20 cm	19,0	17,6	19,3	18,6
B. Pløjning, 10 cm	18,6	16,3	18,7	17,8
C. 'Fuld' Dutzi	18,9	16,4	18,6	18,0
D. 'Delt' Dutzi	18,6	16,9	19,5	18,3

Overordnet vurdering af de undersøgte bearbejdningsmetoder

På grundlag af erfaringerne med det store trækkræftbehov ved brug af det samlede Dutzi-koncept kan det diskuteres, hvor hensigtsmæssigt det er at koble løsning af en pakket jord sammen med såbedstilberedning og såning. Herved øges jo trækkræftbehovet – og dermed vægten af den trækkende traktor - betragteligt. Det, der er bestemmende for, om en jord pakkes i dybder under ca. 40 cm, er altovervejende akselbelastningen på den traktor, der trækker. Gode dæk vil primært minimere skaden på de øverste 40 cm. Som tommelfingerregel vil en akselbelastning på 6 tons kunne give anledning til pakning af en forårsvåd jord i dybder ned til 40 cm (Håkansson & Reeder, 1994; Håkansson, 2000). Højere belastninger vil altså kunne pakke den del af jorden, der ikke bliver løsnet af Dutzi-tænderne, der følger lige efter den tunge traktor. Traktorer af den kaliber, som vi blev nødsaget til at anvende i forsøget kan nemt komme op over 6 tons belastning på de bagerste hjul i forbindelse med arbejdet med Dutzi-ekvipagen. Det må derfor erkendes, at det er en svaghed ved metoden, at der kræves så store traktorer ved arbejdet. Ræsonnementet skal ikke nødvendigvis bruges til at forkaste brugen af udstyr efter Dutzi-konceptet. Det er jo således primært første gang, udstyret skal anvendes på en given jord, at det meget store trækkræftbehov forekommer. Efterfølgende vil trækkræftbehovet være mindre og der kan derfor køres med mindre traktorer. Det gælder både, hvis man

igen løsner til fuld dybde, idet størsteparten af jordvolumenet mellem 20 og 40 cm så vil have langt mindre mekanisk styrke. Og det gælder nok så meget, hvis man – som det oftest vil være tilfældet – lader Dutzi-tænderne arbejde mere overfladisk for kun at løsne de mere overfladenære lag, der kan have fået behov for løsning. Ved undersøgelserne her valgte vi i alle tilfælde at lade Dutzi-tænderne arbejde til fuld dybde (35-40 cm). Dette er i og for sig et udtryk for netop behovsbestemt jordbearbejdning, idet vi vurderede, at der stadig var kompakte 'kamme', der krævede løsning (se figur 5 og 6). Resultaterne giver dog ikke mulighed for at vurdere de situationer, hvor bearbejdningen – efter bedømmelse af løsnebehovet med f.eks. spadeprøven – alene ville bestå i brug af tandfræser / såmaskine kombisættet. Eller hvor Dutzi-tænderne – ligeledes behovsbestemt – blev sat til at arbejde til f.eks. kun 20 cm dybde. Konklusioner om udstyrets egnethed i disse situationer vil kræve yderligere undersøgelser.

Ideelt set bør en pakket jord løsnes under tørre forhold således, at jorden brydes op frem for - i værste fald - at blive pakket sammen foran løsnetanden. Ved egentlige grubbere, der opererer til 60-70 cm dybde opereres der med en såkaldt kritisk bearbejdningsdybde (Spoor & Fry, 1983). Overskrides denne (dvs. ved dybere bearbejdning end i denne dybde) kan der netop ske det, at jorden pakkes lokalt foran og over bearbejdningstanden frem for at brydes op. Og denne fare er størst under våde forhold. Det er dog vores erfaring fra pilot-undersøgelser med jordløsning ved hjælp af f.eks. Para-plow'en og også andre flertandede løsneredskaber, der arbejder i maksimalt 40 cm dybde, at jorden ved sådanne relativt overligt gående løsneredskaber vil brydes godt også ved vandindhold op til markkapacitet (som er jordens vandindhold om foråret) (Schjønning, 1986). Både ud fra en visuel vurdering og ud fra de metoder, vi efterfølgende brugte til at bedømme bearbejdningseresultatet (f.eks. penetreringsmodstand og spadeprøven) i forsøgene her, skete der klart også en god løsning af jorden med Dutzi-redskabet.

Den separate brug af Dutzi-redskabet uden samtidig såning viste sig at være en mulighed. Men det kræver næsten lige så stor trækraft (og dermed lige så stor traktor) som ved brug af det samlede Dutzi-koncept. Videre viste det sig, at der efter separat bearbejdning med Dutzi-tænderne krævedes en rotorharve/tandfræser for at få gennemført såningen uden store problemer med slæbning og ujævn overflade. Da der ved den separate anvendelse af Dutzi-tænderne desuden bliver tale om trafik på det netop løsenede areal i forbindelse med såning, har denne model ikke speciel interesse.

Forsøgene viser klart, at pløjning til reduceret dybde er en realistisk mulighed i alle andre tilfælde end ved ompløjning af en græsmark og ved nedpløjning af halm-rig staldgødning. Dette er i overensstemmelse med tidligere forsøg og kan anbefales, idet der dels kræves mindre energi til bearbejdningen og dels sker forstyrrelse af en mindre del af jorden. Ved gentagen brug af den reducerede bearbejdningsdybde kan der blive behov for mekanisk løsning af 10-20 cm laget, idet der er en tendens til, at der opbygges en ny pløjesål under den nye bearbejdningsdybde. Sidstnævnte kan givetvis mindskes ved anvendelse af plove, der tillader trak-

toren at køre 'på land'. Sådanne systemer er tilgængelige i dag og indgår i øvrigt i nye undersøgelser, der i 2001 og 2002 gennemføres i de aktuelt rapporterede forsøgsmarker.

4. Konklusioner og perspektiver

Anvendelse af Dutzi-konceptet med samtidig ikke-vendende løsning af jorden til behovsbestemt dybde og såning af en afgrøde er en realistisk mulighed som en del af jordbearbejdningen i et økologisk sædskifte. Der er ikke nævneværdige fordele ved at foretage separat Dutzi-løsning med efterfølgende særskilt såbedstilberedning og såning.

Dutzi-tænderne giver en god løsning af det berørte jordlag. På arealer med forekomst af en pløjesål (og det vil i Danmark sige stort set hele det dyrkede areal) vil en løsning med Dutzi-tænderne til 35-40 cm dybde give markante ændringer i især de jordmekaniske egenskaber. En mindsket mekanisk modstand i den tidligere pløjesål giver bl.a. mulighed for forøget rodvækst og bedre betingelser for knoldbakterier (*Rhizobium*).

For et sædskifte som det undersøgte, gav Dutzi-behandlingen ikke entydige påvirkninger af udbyttet samt forekomsten af ukrudt. I forhold til pløjning var der enkelt-resultater med både ringere og bedre dyrkningsresultat men generelt viser resultaterne, at dyrkningsikkerheden ikke forringes ved anvendelse af Dutzi-konceptet. Forholdene kan være anderledes for andre sædskifter og afgrøder end de undersøgte. I de fire forsøgsår var nedbørsmængderne i vækstsæsonen forholdsvis høje. Den forøgede rodvækst formodes at have betydning for udbytte under tørre vækstforhold.

En ulempe ved anvendelse af Dutzi-tænderne er et meget stort trækraftbehov med deraf følgende anvendelse af en tung traktor på et bearbejdningsstidspunkt med generelt våd jord. Dette kan eventuelt imødegås ved anvendelse af bæltetraktorer, når disse er udviklet tilstrækkeligt til at sikre ensartede og reelt lave belastninger under hele trædefladen.

Forsøgene viste også, at pløjning til 10-12 cm dybde er realistisk og med tendens til uændrede eller forøgede udbytter i forhold til traditionel pløjedybde. Ved ompløjning af græsmark var 20-25 cm pløjedybde dog nødvendig for at sikre et passende såbed.

De her rapporterede undersøgelser giver alene mulighed for at vurdere, hvorvidt de anvendte systemer har fungeret på den pågældende jordtype og i det aktuelle sædskifte. Der kan ikke konkluderes generelt om den bedst mulige bearbejdningsstrategi for økologisk jordbrug. Undersøgelserne giver dog basis for vurdering af principielle forhold.

Da der ofte indgår græs eller andre flerårige afgrøder (f.eks. lucerne) i økologiske sædskifter, kræves fortsat anvendelse af plov til nedmuldning af disse afgrøder. Ikke-vendende jordbearbejdning som f.eks. Dutzi-systemet kan i disse tilfælde kun anvendes i tilknytning til de øvri-

ge afgrøder i sædskiftet (som i den aktuelle undersøgelse). Ofte vil i økologisk jordbrug også blive anvendt fast staldgødning, dybstrøelse eller kompost. Også her vil ploven være nødvendig til nedmuldning, idet de aktuelle undersøgelser viste problemer med slæbning ved etablering af ny afgrøde med tandfræser/såmaskine sættet efter ikke-vendende bearbejdning.

Økologiske jordbrugere kan derfor næppe sælge ploven. I stedet forekommer det relevant at reducere pløjedybden til det mindst mulige og foretage en evt. påkrævet mekanisk løsning af dybere jordlag med maskinel, der bryder jorden op til den ønskede dybde uden at vende den. Her er Dutzi-tænderne (separat eller i forbindelse med et kombisæt) én af flere muligheder. Både aktuelle og tidligere undersøgelser ved Danmarks JordbrugsForskning viser, at også f.eks. Para-plow'en er velegnet til dette formål. Når en sådan mekanisk jordløsning foretages (uanset maskinfabrikat) bør den ske på et tidspunkt, hvor der er ingen eller minimal færdsel med maskiner på jorden i helst adskillige måneder efter. Dette vil øge genskabelsen af en vis mekanisk styrke i den løsnede jord, hvilket er nødvendigt for at mindske genpakning ved senere færdsel. Ved løsning til dybder større end 35-40 cm er det desuden vigtigt, at bearbejdningen foretages under relativt tørre forhold.

Den generelle anbefaling om at minimere jordbearbejdning i økologisk jordbrug kan for den enkelte landmand virke risikofyldt, bl.a. på grund af usikkerhed mht at styre ukrudtet. Der bør derfor gennemføres forsøgsserier på forskellige jordtyper, hvor forskellige systemer testes med henblik på optimering af jordstruktur og biodiversitet i jorden, udbyttets størrelse og kvalitet, ukrudtsbekæmpelse samt med henblik på minimering af arbejdstid og forbrug af fossilt brændstof. Sådanne undersøgelser bør dække de vigtigste kombinationer af jordtype, sædskifte og gødskningsstrategi mm. og gennemføres i så langt et tidsrum, at det er muligt at vurdere de nævnte succeskriterier efter en nødvendig overgangsfase.

5. Litteraturliste

- Alakukku, L., 1996. Persistence of soil compaction due to high axle load traffic. II. Long-term effects on the proportion of fine-textured and organic soils. *Soil & Tillage Research* 37, 223-238.
- Barraclough, P.B. & Weir, A.H., 1988. Effects of a compacted subsoil layer on root and shoot growth, water use and nutrient uptake of winter wheat. *J. Agr. Sci. Camb.* 110, 207-216.
- Braim, M.A., Chaney, K. & Hodgson, D.R., 1984. Preliminary investigations on the response of spring barley (*hordeum sativum*) to soil cultivation with the Paraplow. *Soil & Tillage Research* 4, 277-293.
- Carter, M.R. (ed.), 1994. *Conservation Tillage in Temperate Agroecosystems*. Lewis Publishers, Boca Raton, Ann Arbor, London, Tokyo.
- Carter, M.R., Sanderson, J.B. & Macleod, J.A., 1998. Influence of time and tillage on soil physical attributes in potato rotations in Prince Edwards Island. *Soil & Tillage Research* 49, 127-137.

- Dexter, A.R., 1986. Model experiments on the behaviour of roots at the interface between a tilled seed-bed and a compacted sub-soil. I. Effects of seed-bed aggregate size and sub-soil strength on wheat roots. *Plant Soil* 95, 123-133.
- Djurhuus, J. & Olesen, J.E., 2000. Characterisation of four sites in Denmark for long-term experiments on crop rotations for organic farming. DIAS report, Plant production no. 33, 74 pp.
- Ehlers, W. & Claupein, W., 1994. Approaches Toward Conservation Tillage in Germany. In: Carter, M.R. (ed.). *Conservation Tillage in Temperate Agroecosystems*. Lewis Publishers, Boca Raton, Ann Arbor, London, Tokyo. pp. 141-165.
- El Titi, A. & Landes, H., 1990. Integrated farming system of Lautenbach. A practical contribution toward sustainable agriculture in Europe. In: Edwards, C.A. et al. (eds.). *Sustainable Agricultural Systems*. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, IA, pp. 265-286.
- Görbing, J., 1947. *Die Grundlagen der Gare im praktischen Ackerbau (Band I und II)*. Landbuch Verlag GMBH, Hannover. 206 pp.
- Hampl, U., Hoffmann, M., Kaiser-Heydenreich, B., Kress, W. & Markl, J., 1995. *Ökologische Bodenbearbeitung und Beikrautregulierung*. Deukalion Verlag, Holm, Germany. 128 pp.
- Hansen, B., 1989. Determination of nitrogen as elementary N, an alternative to Kjeldahl. *Acta Agric. Scand.* 39, 113-118.
- Hartge, K.H., 1971. *Die physikalische Untersuchung von Böden. Eine Labor- und Praktikumanweisung*. F. Enke Verlag, Stuttgart, 168 pp.
- Hipps, N.A. & Hodgson, D.R., 1988. Residual effects of a slant-legged subsoiler on some soil physical conditions and the root growth of spring barley. *J. Agric. Science* 110, 481-489.
- Håkansson, I. (ed.), 1994. Subsoil compaction by high axle load traffic. *Soil & Tillage Research (Special Issue)* 29, 105-306.
- Håkansson, I., 2000. Packning av åkermark vid maskindrift. Omfatning – effekter – motåtgärder. *Rapporter från Jordbearbetningsavdelingen Nr 99*. Institutionen för Markvetenskap. SLU. 123 pp.
- Håkansson, I. & Reeder, R.C., 1994. Subsoil compaction by vehicles with high axle load - extent, persistence and crop response. *Soil & Tillage Research* 29, 277-304.
- Lampkin, N., 1990. *Organic Farming*. Farming Press, UK, 701 pp.
- Munkholm, L.J., 2000. The spade analysis - a modification of the qualitative spade diagnosis for scientific use. DIAS-report, Plant Production No. 28, 73 pp.
- Munkholm, L., Schjønning, P. & Rasmussen, K.J., 1998. Non-inverting soil tillage as a means of optimizing soil tilth. NJF-seminar no. 286: Soil tillage and biology, Agricultural University of Norway, Ås, Norway, 8-10 June 1998, NJF-UTREDNING/RAPPORT nr. 124, 26-33.
- Munkholm, L.J., Schjønning, P. & Rasmussen, K.J., 2000. Non-inverting tillage: Early-stage effects on soil mechanical behaviour. In: Morrison, J.E. (ed.). *Proceedings 15th ISTRO Conference, Texas, June 2000*. Published by P. Dyke, Texas Agricultural Experiment Station, Temple, Texas USA. 10 pp. (CD-Rom).
- Munkholm, L.J., Schjønning, P. & Rasmussen, K.J., 2001. Non-inversion tillage effects on soil mechanical properties of a humid sandy loam. *Soil & Tillage Research* 62, 1-14.

- Nielsen, A.L., Munkholm, L.J. & Andersen, M.N., 2000. Effect of soil compaction on root development during the establishment of a pea-barley crop. In: Morrison, J.E. (ed.). Proceedings of the 15th ISTRO Conference, Texas, June 2000. Published by P. Dyke, Texas Agricultural Experiment Station, Temple, Texas USA. 9 pp. (CD-Rom).
- Olsen, H.J., 1988. Electronic penetrometer for field tests. *J. Terramechanics* 25, 287-293.
- Preuschen, G., 1983. Die Spatendiagnose und ihre Auswertung. In: Böhm, W., Kutschera, L. & Lichtenegger, E. (eds.). Root ecology and its practical application. A-8952 Irdning: International Symposium Gumpenstein, 1982, Bundesanstalt Gumpenstein. pp. 355-368.
- Preuschen, G., 1994. Anleitung zur Spatendiagnose: Die Kontrolle der Bodenfruchtbarkeit. Stiftung Ökologie und Landbau, Bad Dürkheim. 46 pp.
- Rasmussen, K.J., 1981. Reduceret jordbearbejdning ved monokultur i byg. *Tidsskrift for Planteavl* 85, 171-183.
- Rasmussen, K.J., 1988. Pløjning, direkte såning og reduceret jordbearbejdning til korn. *Tidsskrift for Planteavl* 92, 233-248.
- Rasmussen, K.J., Hansen, E.M. & Schjøning, P., 1996. Grønne marker, og pløjedybde i et integreret sædskifte med vårsæd på sandjord. *Grøn Viden*, 172, Statens Planteavlsforsøg.
- Rasmussen, K.J., Hansen, E.M. & Schjøning, P., 1998. Halm, gylle og pløjedybde til vintersæd på lerjord. *Grøn Viden – Markbrug*, 189, Danmarks JordbrugsForskning.
- Rasmussen, K.J., Nielsen O.H., Olesen, S.E. & Schjøning, P., 1995. Karakterisering af jordarealer ved Forskningscenter Bygholm. Statens Planteavlsforsøg, SP-rapport nr. 30.
- SAS Institute., 1988. SASP/STAT User's Guide. Release 6.03 Edition. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Schjøning, P., 1986. Jordløsningens indflydelse på jordstrukturen. Seminarrapport, NJF: Jordpackning, Skørdepåverkan - Motåtgärder - Ekonomi. Rapporter från Jordbearbetningsavdelningen (Uppsala), 71, 157-164.
- Schjøning, P., 1992. Karakterisering af jordarealer omkring Forskningscenter Foulum. *Tidsskrift for Planteavl*, 96, 256. Beretning nr. S2229, 75 pp.
- Schjøning, P. & Rasmussen, K.J., 1989. Long-term reduced cultivation. I. Soil strength and stability. *Soil & Tillage Research* 15, 79-90.
- Schjøning, P. & Rasmussen, K.J., 1994. Danish experiments on subsoil compaction by vehicles with high axle load. *Soil & Tillage Research* 29, 215-227.
- Schjøning, P. & Rasmussen, K.J., 2000. Soil strength and soil pore characteristics for direct-drilled and ploughed soils. *Soil & Tillage Research* 57, 69-82.
- Schjøning, P., Elmholt, S., Munkholm, L.J. & Deboz, K., 2002. Soil quality aspects of humid sandy loams as influenced by organic and conventional long-term management. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 88, 195-214.
- Schjøning, P., Munkholm, L.J., Elmholt, S., Deboz, K., Mikkelsen, G.H. & Trautner, A., 2000. Den danske dyrkningsjords tilstand og kvalitet – konsekvenser af trafik og jordbearbejdning. *Tidsskrift for Landøkonomi* 4/00, 293-300.
- Sharrat, B., Voorhees, W., McIntosh, G. & Lemme, G., 1998. Persistence of soil structural modification along a historic wagon trail. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62, 774-777.

- Soane, G.C., Godwin, R.J. & Spoor, G., 1986. Influence of deep loosening techniques and subsequent wheel traffic on soil structure. *Soil & Tillage Research* 8, 231-237.
- Sommer, C. & Zach, M., 1992. Managing traffic-induced soil compaction by using conservation tillage. *Soil & Tillage Research* 24, 319-336.
- Spoor, G. & Fry, R.K., 1983. Soil disturbance generated by deep-working low rake angle narrow tines. *J. Agric. Engng. Res.* 28, 217-234.
- Watts, C.W. & Dexter, A.R., 1998. Soil friability: theory, measurement and the effects of management and organic carbon content. *European Journal of Soil Science* 49, 73-84.

DJF Foulum

Postboks 50, 8830 Tjele
Tlf. 89 99 19 00. Fax 89 99 19 19
djf@agrsci.dk. www.agrsci.dk

Direktion
Administration

Afdeling for Animalske Fødevarer
Afdeling for Husdyravl og Genetik
Afdeling for Husdyrnæring og Fysiologi
Afdeling for Husdyrsundhed og Velfærd
Afdeling for Jordbrugssystemer
Afdeling for Plantevækst og Jord

Afdeling for Mark- og Stalldrif
Afdeling for Analytisk Kemi
Informationsafdeling
International Enhed
Afdeling for Centerdrift

DJF Årslev

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

Afdeling for Prydplanter og
Vegetabilske Fødevarer

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
Schüttesvej 17, 8700 Horsens
Tlf. 76 29 60 00. Fax 76 29 61 00

Afdeling for Jordbrugsteknik
Driftsfunktion

Enheder på andre lokaliteter

Afdeling for Sortsafprøvning
Teglværksvej 10, Tystofte
4230 Skælskør
Tlf. 58 16 06 00. Fax 58 16 06 06

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

Bioteknologigruppen
(Afd. for Plantebiologi)
Thorvaldsensvej 40, 2., opg. 8
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