



Statens
Planteavlsvforsøg

Planteværnscentret
Administrationen
Lottenborgvej 2 – DK-2800 Lyngby

Beretning nr. S 1829

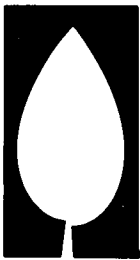
Dyrkningsmetoders indflydelse på udbytte, plantekvalitet, jord og miljø

V. Vanding, slam, industrispildevand og afvanding

Ole Juul Pedersen
Statens Forsøgsstation
St. Jyndeved

Tidsskrift for Planteavls Specialserie

København 1986



Statens
Planteavlsvforsøg

Beretning nr. S 1829

Dyrkningsmetoders indflydelse på udbytte, plantekvalitet, jord og miljø

V. Vanding, slam, industrispildevand og afvanding

Ole Juul Pedersen
Statens Forsøgsstation
St. Jynde vad

Tidsskrift for Planteavlsv Specialserie

København 1986

Forord

I de senere år har der været stigende interesse for at undersøge landbrugets indflydelse på miljøet.

Interessen samler sig især om de moderne driftformers indflydelse på produkt-kvalitet og miljø.

I 1982 besluttede Statens Jordbrugs- og Veterinærvidenskabelige Forskningsråd at gennemføre et udredningsarbejde med henblik på at analysere foreliggende forsøgsresultater, der behandler samspillet mellem driftformernes og dyrknings-metodernes indvirkning på udbytte, plantekvalitet, jord og miljø.

Udredningsarbejdet er gennemført af cand. scient Kirsten Høg, Jydevad Forsøgs-station. Resultatet publiceres i følgende rapporter:

Dyrkningsmetoders indflydelse på udbytte, plantekvalitet, jord og miljø.

I Gødskning.

II Plantebeskyttelse.

III Sædskifte og jordbehandling.

IV Økologisk jordbrug.

V Vanding, slam, industrispildevand og afvanding.

VI Sammendrag af udredningsarbejdet og forslag til forskningsbehov.

En styregruppe med følgende sammensætning har været ansvarlig for udrednings-arbejdet:

A. Dam Kofoed, Askov Forsøgsstation.

J. Jakobsen, Planteværnscentret Lyngby.

M. Blangstrup Jørgensen, Havebrugscentret Årslev.

V. Jørgensen, Jydevad Forsøgsstation (formand).

INDHOLDSFORTEGNELSE

INDHOLDSFORTEGNELSE.....	3
I. VANDING.....	5
Planteproduktion.....	6
Plantekvalitet.....	11
Jordkvalitet.....	14
Udvaskning.....	15
II. AFVANDING.....	18
Planteproduktion.....	19
Jordbundsforhold.....	20
Drænvandets kvalitet.....	21
Okker.....	24
III. ANVENDELSE AF SLAM FRA RENSNINGSANLÆG.....	25
Indflydelse på udbytte.....	26
Plantekvalitet.....	28
Jordkvalitet.....	29
Humus.....	29
Fysisk/kemiske forhold.....	31
Flora/fauna.....	31
Mikrobiel aktivitet.....	32
Tungmetalakkumulering.....	32
Udvaskning.....	33
Sundhedsmæssige risici.....	34
Lugtgener.....	34
IV. INDUSTRISPILDEVAND.....	35
Mejerispildevand.....	36
Udbytte og plantekvalitet.....	36
Jordkvalitet.....	37
Udvaskning.....	38

Spildevand fra kartoffelmelsfabrikker.....	39
Udbytte og plantekvalitet.....	40
Jordkvalitet.....	42
Udvaskning.....	43
LITTERATURLISTE.....	45

I. VANDING

Der er stor års- og stedvariation på nedbøren i Danmark og mangel på vand er ofte begrænsende for planteproduktionen.

I månederne maj, juni, juli og august vil der typisk være nedbørsunderskud på henholdsvis 30, 40, 30 og 30 mm udregnet som forskellen mellem den potentielle evaporation og nedbørsmængden (Gegersen & Knudsen, 1980).

Vandingsbehovet hænger nøje sammen med jordtype, fordampning, nedbør og afgrøde. Der er derfor forholdsvis store regionale forskelle i behovet for vanding.

Tabel 1. Nedbør og potentiel fordampning i regioner. (Gegersen & Knudsen, 1980).

	Midt-Jylland			Vest & Sønderjyl.			Nord & Østjyl.			Øerne		
	N	Ep	D	N	Ep	D	N	Ep	D	N	Ep	D
maj	51	74	23	46	80	34	48	77	29	48	77	29
juni	53	92	39	52	93	41	47	91	44	45	92	47
juli	74	100	26	72	101	29	64	100	36	60	98	38
aug.	55	84	29	67	87	20	47	82	35	51	85	34
ialt	233	350	117	237	361	124	206	350	144	204	352	148
gns. af antal målestationer: 1964-78												
	8			7			7			12		

N = nedbør, Ep = potentiel fordampning, D = deficit.

Det fremgår af tabel 1, at der er lidt større nedbørsmængde i Midt-, Vest- og Sønderjylland end i resten af landet, mens der stort set ingen forskel er på den potentielle evapotranspiration.

De største forskelle i vandingsbehov hidrører fra jordtyperne og afgrøderne.

Lerindholdet i jorden har stor betydning for rodudviklingen, desuden indeholder lerjord ved markkapacitet op til 2-3 gange så meget plantetilgængeligt vand pr. cm dybde som sandjord. På sandede jorde med et lille indhold af humus og ler får planterne en dårligere rodudvikling og derved bliver rodzonekapaciteten mindre. Rodzonekapaciteten er den vandmængde, der ved markkapacitet er til rådighed for planterne ved den forekommende roddebyde og tæthed. Rodzonekapaciteten bestemmes således både af planternes og jordens egenskaber. Som hovedregel bør der vandes, når nedbørsunderskuddet når 50% af rodzonekapaciteten.

Vandingsbehøvet er størst, når

1. Rodzonekapaciteten er lille som følge af, at
 - a. Jordens vandkapacitet er lille (grovsandet jord),
 - b. Rodudviklingen i undergrunden er hindret (grus, al),
 - c. Det er afgrøder, der har en ringe roddebyde, f.eks. salat og løg.
2. Afgrødens hovedudvikling finder sted i en periode med stort (>30 mm) nedbørsunderskud, der ikke kan dækkes af rodzonekapaciteten (Aslyng, 1978).

På grund af den ringere rodzonekapacitet på sandjord er vandingsbehøvet størst i Ringkøbing, Ribe og Sønderjyllands amter, hvilket klart afspejler sig i antallet af vandingsanlæg i disse amter. I 1982 var der ialt 8911 vandingsanlæg i de 3 amter og 15016 i hele landet. Således kunne 30% af landbrugsarealet i de 3 amter vandes, mens der kun kunne vandes 7% af det resterende landbrugsareal. Lands gennemsnittet ligger på ca. 14% (Landbrugsstatistik, 1982).

Planteproduktion.

De største merudbytter for vanding fås på jord med lav rodzonekapacitet, f.eks. grovsandet jord. De store klimavariationer gør, at behovet for vanding svinger meget fra år til år, men et konstant højt udbytte kan på grovsandet jord kun opretholdes ved vanding.

De forskellige afgrøder er ikke lige vandkrævende og med begrænset vandingskapacitet er det meget vigtigt at foretage den rigtige prioritering. Prioriteringen afhænger selvfølgelig af den enkelte bedrift, men en afgrøde som f.eks. kartofler er kvalitetsmæssigt meget følsom overfor vandmangel og giver et stort økonomisk merudbytte for vanding, tabel 2 (Jørgensen, 1985b).

Tabel 2. Prioritering af vanding. 1 = højeste prioritet (Jørgensen, 1985b).

Spisekartofler	1
Industrikartofler	2
Vinterhvede	3
Ærter	4
Vårraps	5
Foderroer	6
Vårbyg	7
Vinterbyg	8
Kløvergræs	9
Græs	10

Til vejledning for hvornår vanding skal påbegyndes, er der ud fra gennemførte vandingsforsøg opstillet nedbørsunderskud, hvorved de enkelte afgrøder bør vandes på forskellige tidspunkter gennem vækstperioden, idet planterne kan have forskellig tørkefølsomhed på forskellige tidspunkter. Avleren bør derfor følge med i de fordampningstal, der publiceres én gang ugentlig og selv sørge for ud fra vejruddsigter og erfaring at vurdere den kommende uges fordampning, så vanding kan igangsættes i tide. De enkelte markers vandregnskaber skal løbende ajourføres, således at de bliver så nøjagtige som muligt. Vejledende fordampningstal kan ses i tabel 3.

Tabel 3. Vejledende fordampningstal. (Jørgensen, 1985a).

	Fordampning pr. dag, mm
Bygevejr, høj luftfugtighed	1
Overskyet, høj luftfugtighed ...	2
Let skyet, ret tør luft, middeltemperatur	3
Skyfrit, tør luft, høj tempe- ratur, blæst	4
Skyfrit, ekstremt tør luft, høj temperatur, blæst	5

Som nævnt bør der som hovedregel vandes, når nedbørsunderskuddet når 40-50% af rodzonekapaciteten. Der bør oftest vandes med nedbørsunderskuddet evt. +10% til tab under vanding. Vanding vil i tørkeperioder være nødvendig ca. hver 7. dag på grovsandet jord og hver 11. dag på lerjord.

Jørgensen (1985b) har ud fra en række forsøg opstillet gennemsnitlige merudbytter for vanding og anbefalet forskellige vandingsstrategier for forskellige afgrøder.

Vårbyg har i gennemsnit af årene 1967-76 givet 17,5 hkg/ha (53%) i merudbytte ved vanding med 75 mm på grovsandet jord. Det tilsvarende gennemsnit for vårbyg på lerjord var i samme årrække 2,1 hkg/ha (4%) med brug af 60 mm vand. Vanding bør ske ved 35-40 mm nedbørsunderskud i begyndelsen af strækningsfasen, ved 30 mm underskud op til og under skridningen. Efter skridningen kan tåles op til 40 mm underskud, uden at det påvirker kerneindlejringen. Efter gulmodning bør ikke vandes, men vanding, hvis underskuddet oversteg 40 mm, har vist sig at kunne give øget kernevægt. Vanding ved 27 mm underskud gav 9,1 hkg/ha (20%) i merudbytte i forhold til vanding ved 42 mm underskud (1977-80) (Hejlesen & Andersen, 1984), mens vanding ved 10-15 mm underskud ikke gav merudbytte i forhold til vanding ved 27 mm underskud.

Vinterbyg gav i 1977-84 et merudbytte på 15,2 hkg/ha (28%) i gennemsnit ved en vandtilførsel på 105 mm (på grovsandet jord). Vinterbyg bør vandes efter samme strategi som vårbyg. Samtidig dyrkning af vinter- og vårbyg vil give større udnyttelsesgrad af vandingsanlægget, idet vandingsperioderne ikke overlapper ret meget.

Havre gav i årene 1966-78 et gennemsnitligt merudbytte på 18,5 hkg/ha (59%) på grovsandet jord. Der blev i gennemsnit vandet med 75 mm. Samme vandingsstrategi som ved byg kan anvendes. Det er specielt vigtigt med god vandforsyning fra begyndende aksskridning til begyndende gulmodning (Dragland, 1984).

Forsøg med vinterhvede i 1981-84 på grovsandet jord og fint lerblandet sandjord gav henholdsvis 22,2 hkg/ha (44%) og 4,8 hkg/ha (7%) i merudbytte, når der blev vandet ved henholdsvis 30 og 60 mm nedbørsunderskud. Tallene er gennemsnitsværdier over en kort årrække og dækker over stor variation. Forsøgene viser, at det på grovsandet jord er nødvendigt at vande i juni (og måske juli), hvis der er nedbørsunderskud på 30 mm. Vanding af hvede på grovsandet jord kan give stabile udbytter på højde med hvede på lerblande. I maj kan det kun betale sig at vande hvede, hvis kvælstof-gødningen ikke er blevet opløst. Hvede er lidt mere tørkefølsom end de andre kornsorter, og der bør vandes ved lidt mindre

(ca. 5 mm) nedbørsunderskud end ved de øvrige kornsorter (Gregersen & Hejlesen, 1985).

Vandingsforsøg med rug (1983-84) viste, at merudbytter på 7-11,5 hkg/ha svarende til 10-20% kan opnås, hvis der er tørke i juni. Er der fare for lejesød, bør der udvises forsigtighed med vanding før rugens skridning (Gregersen, 1985).

Vanding, specielt tidlig vanding, har givet merudbytter af halm i alle kornsorter.

I vårraps er der opnået merudbytter på gennemsnitlig 670 kg frø pr. ha (33%) i årene 1979-84 på grovsandet jord. Der blev i gennemsnit tilført 75 mm vand. Det anbefales at vande vårraps ved 35 mm nedbørsunderskud før blomstringen og ved 30 mm efter. Tallene for merudbytte ved vanding i 1985 vil sandsynligvis regulere det gennemsnitlige merudbytte for vanding af vårraps ned.

På grovsandet jord gav vinterraps i perioden 1981-84 et gennemsnitligt merudbytte pr. ha på 790 kg frø, hvilket er 30% mere end uvandet vinterraps. Der blev gennemsnitligt vandet med 60 mm pr. sæson. Vinterrapsen bør vandes ved 40 mm underskud før blomstringen og ved 30 mm efter (Jensen, 1983a).

I 1983-84 blev der gennemført forsøg med vanding af ærter på grovsandet jord og fin lerblandet sandjord. På den grovsandede jord blev der opnået 1250 kg/ha (29%) i merudbytte og på den lerblandede sandjord 720 kg/ha (14%). Sandsynligvis vil der sjældent være brug for vanding af ærter inden blomstringen, men fra begyndende blomstring og til ca. 14 dage før høst, bør der vandes, når halvdelen af markkapaciteten er brugt. D.v.s. ved et nedbørsunderskud på 30 mm på grovsandet jord og ved 45-50 mm på fin lerblandet sandjord. Den mest kritiske periode for vandmangel i ærter er i blomstringstiden (Jensen, 1985). Vandingsforsøgene i 1985 med ærter vil betyde en omvurdering af vandingens gennemsnitlige betydning for ærteudbyttet i lighed med det nævnte under vårraps.

Kartofler er meget tørkefølsomme og bør vandes ofte på grovsandet jord. Der er i gennemsnit for 1977-83 opnået merudbytter på 76-119 hkg knolde pr. ha og 57-97 hkg/ha for vanding på henholdsvis grovsandet og finsandet jord. Udbytterne i uvandede kartofler lå på gennemsnitlig 420 hkg/ha på grovsand og på 442 hkg/ha på finsand. Vandingsfrekvensen og tidspunkterne betyder meget for udbyttmængden og kvaliteten. Hyppig vanding i knolddannelsesfasen gav større udbytte, flere knolde, samt flere knolde i mellemstørrelsen. Hyppig vanding i knoldvækstfasen gav et betydeligt merudbytte (Jørgensen, 1984a). Vandingsstrategien ved kartofler er afhængig af, hvad kartoflerne skal bruges til. Spisekartofler (str.

30-50 mm), hvor kvaliteten betyder meget for afregningen, bør vandes ved 20 mm underskud, dog 25 mm op til begyndende nedvisning. Industrikartofler, hvor der ønskes stort udbytte fremfor kvalitet, bør vandes ved 25 mm nedbørsunderskud.

Hvis der er et underskud på 12-15 mm ca. 14 dage efter fremspiring, bør der vandes til markkapacitet. En relativ stor mængde store knolde fås ved først at vande ved underskud på 40% af den plantetilgængelige vandmængde i knolddannelsesfasen, hvis der ønskes flere knolde i mellemstørrelsen, skal der vandes ved underskud på 30% af markkapaciteten. Ved større udtørring kan der være risiko for skurvangreb og faldende stivelsesindhold. For at opnå et stort masseudbytte skal der vandes hyppigt i knoldvækstfasen d.v.s. når 30-50% af markkapaciteten er optaget. Et underskud på 30% af markkapaciteten svarer til 18 mm underskud på grovsandet jord og 24 mm på finsandet. Skal kartoflerne bruges til chips, skal der først vandes ved 35-40 mm underskud, hvis der er mindre end 14 dage til optagning (Jørgensen, 1984a).

Vanding af bederoer på grovsandet jord 1981-84 har i gennemsnit givet et merudbytte på 58 hkg tørstof pr. ha svarende til en udbyttestigning på 40%. Der blev gennemsnitlig tilført 70 mm vand, og der var ingen umiddelbar forskel efter vanding ved 20 og 40 mm nedbørsunderskud. Ældre undersøgelser (1967-76) viste et merudbytte på 27% ved et vandforbrug på 65 mm, ligeledes på grovsandet jord.

Græs og kløvergræs er storforbrugere af vand, hvilket skyldes en lang vækstperiode. Det har dog vist sig, at der ikke blev opnået merudbytter for vanding, før 70% af den plantetilgængelige vandmængde i jorden var opbrugt. I varme tørkeperioder med stor fordampning kan det dog blive nødvendigt at vande, når 30-50% af markkapaciteten er opbrugt (Jørgensen, 1984b). Der bør tilføres vand efter slæt og gødningsudbringning. Ved vanding med gennemsnitlig 200 mm vand gav græs og kløvergræs henholdsvis 28,9 (57%) og 31,2 (71%) a.e./ha i merudbytte (gennemsnit af årene 1967-76) på sandjord, mens tallene for lerjord var henholdsvis 24,2 (34%) og 24,0 (33%) a.e./ha. Kløvergræs er mere tørkefølsomt end græs, hvorfor der bør vandes ved 50% markkapacitet. Det har vist sig, at vanding kan formindske udbyttenedgangen ved flerårigt græs. Udbyttenedgangen blev ved vanding mere end halveret på både grov- og finsandet jord ved græsdyrkning i 5 år. I kløvergræs var udbyttenedgangen under vandede forhold på begge jordtyper over 5 år ca. 65% af nedgangen uden vanding. Der blev i forsøgene vandet ved 30 mm underskud på grovsandet- og ved 45 mm på finsandet jord (Gregersen, 1980).

Majs har i forsøg på grovsandet jord givet merudbytter på 50-64% i kolber og

5-13% i stængeludbytter. Ved ingen eller moderat vanding før blomstringen og god vandforsyning under blomstringen fås det største kolbeudbytte pr. mm vand, mens det største totaludbytte, men samtidig det mindste merudbytte pr. mm vand, fås ved god vandforsyning i hele vækstperioden. Forbruget af vandingsvand lå på 63-96 mm (Gregersen, 1982).

Der er ved vanding af specialafgrøder fundet store merudbytter dog afhængigt af afgrøden, jordtypen og vandunderskuddet. I tørkeår vil vanding generelt give merudbytter både på sand- og lerjord, men ellers er det kun sandjord, der viser et konstant merudbytte for vanding. Vanding er på sandjord en betingelse for opnåelse af en stabil produktion af ensartet kvalitet (Jørgensen, 1982; Jørgensen & Henriksen, 1984). På lerjord har asieagurk vist et betydeligt merudbytte og kvalitetsforbedring ved vanding (Henriksen, 1980).

Konklusion.

Der er store årsvariationer i merudbytterne for vanding i de forskellige afgrøder, men generelt vil der være god økonomi i at investere i et vandingsanlæg på sandjord. Man kan ved korrekt vanding på sandjord opretholde udbytter, der er på niveau med eller højere end lerjordsudbytterne. Med stigende lerindhold i jorden falder merudbyttet for vanding af traditionelle landbrugsafgrøder, men der er dog generelt god økonomi i vanding af grøntsager også på lerjord.

Plantekvalitet.

Plantekvalitet er ikke noget veldefineret begreb og varierer i betydning for de forskellige afgrøder. For kornarterne er kernestørrelse, tørstofindhold, tusindkornsvægt, volumenvægt, faldtal, glutenprocent og bageegenskaber de mest brugte kvalitetsmål, mens f.eks. kartoflers kvalitet ofte alene vurderes ud fra udseende/farve, størrelsesfordeling, udkogningstendens, smag og evne til at modstå stød. Ved foderafgrøder indgår tørstofindhold, kvælstofindhold, proteinindhold, askeindhold, fordøjelighed og træstofprocent i kvalitetsbedømmelsen og ved frugt og grøntsager har smag, udseende og holdbarhed stor betydning for kvalitetsvurderingen. Kun sjældent indgår analyser af aminosyresammensætning, vitaminindhold, pesticidrestindhold og tungmetallindhold i kvalitetsvurderingerne, hvilket bl.a. hænger sammen med prisen for analyserne og de metoder der

bruges til prisansættelser.

I kornafgrøder påvirker vandingen først og fremmest kornstørrelsen, 1000 kornsvægten og volumenvægten. Der er eksempler på, at hele udbyttetigningen (ca. 30%) kunne forklæres ved stigning i kernevægten (Hejlesen & Andersen, 1984). Forsøg med vinterhvede på sandjord har vist en signifikant større kernevægt, rumvægt og større indhold af kerner over 2,8 mm, ligesom procent meludbytte steg i de vandede forsøgsled. Proteinindholdet, sedimentationsværdien og faldtallet var derimod størst i uvandet (Gregersen & Hejlesen, 1985). Et svensk forsøg (kun 1-årig) viste, at vanding af havre øgede tusindkornsvægten fra 29,5 g i uvandet til 32,4-36,9 g i vandet mark (15% vand i kernerne). Rumvægten var stort set uforandret, mens totalkvælstof i % af tørstoffet var størst i uvandet og den mindst vandede mark (55 mm vandingsvand) (Johansson, 1978).

I Norge er der omvendt fundet faldtal på 322 for uvandet hvede og 350 for vandet (gennemsnit for årene 1978 og 79), og i dette forsøg blev volumenvægt og kernestørrelse ikke væsentlig påvirket af vandingen (Ekeberg, 1982). Vandingen bevirkede, at en større del af de optagne næringsstoffer fandtes i kernen fremfor strået. Der var større tørstofproduktion og næringsstofoptagelse i vinterbyg end i vårbyg.

Proteinkvaliteten i byg afhænger af sorten, men også af gødnings- og vandforhold. Ved en rigelig vandforsyning udnyttes kvælstofgødningen bedre, hvilket giver et større udbytte og et mindre proteinindhold i kernerne. Proteinets indhold af tilgængeligt lysin og andre essentielle aminosyrer øges derimod, hvorved proteinet får en højere biologisk værdi (Jacobsen, 1975).

Ved at holde en god vandforsyning i vækstsæsonen, kan det blive næringsstoffer, der bliver den begrænsende faktor for planteproduktionens kvantitet og kvalitet. Der vil derfor som regel blive en større tørstofproduktion og en større næringsstofoptagelse pr. ha, men et mindre procentisk indhold i afgrøden.

Ved vanding af vinterraps er der fundet et større indhold af olie i frøene, mens råproteinindholdet ikke synes at være ændret (Jensen, 1983a). Der foreligger ikke noget om vandingens indflydelse på erucasyreindholdet og glucasinolatsammensætningen, og det var måske værd at se på, idet disse har betydning for kvaliteten af rapsskråen og for afregningsprisen.

Vandingens indflydelse på størrelsesfordelingen af kartofler er allerede nævnt, men vandingen har også betydning for andre kvalitetsfaktorer. Vanding i

knolddannelsesfasen giver større stivelsesindhold, mens tørke i denne fase giver større sucroseindhold og mindre reducerende sukker i % af tørstofindholdet. Udtørningsgraden i knolddannelsesfasen havde kun ubetydelig indflydelse på farve, smag og ensartethed, mens stigende udtørring gav større udkogning. Stigende udtørring i knoldvækstfasen gav mindre udkogning. Resultaterne fra markforsøg gav dog kun ubetydelige forskelle. Optagelsen af kvælstof og kalium pr. ha var størst efter vanding, men koncentrationerne i knoldene var lavere. Vanding medførte relativ stor meroptagelse af fosfor. Hyppige vandinger i knolddannelsesfasen reducerede skurvangreb, mens stigende udtørring i knoldvækstfasen gav forbedret hudkvalitet i form af større antal forkorkede cellelag og faldende antal skræl for at fjerne slagmisfarvning (Jørgensen, 1984a).

I en undersøgelse over vandings betydning for græs og kløvergræs fandt Gregersen (1980) et mindre indhold af nitrat-kvælstof i tørstoffet i vandet græs i forhold til uvandet græs, men der kun var små udslag for vanding m.h.t. træstof og askeindhold. Råproteinindholdet i vandet græs var ikke signifikant forskellig fra indholdet i uvandet græs, men vanding af kløvergræs øgede råproteinindholdet i afgrøden, sandsynligvis p.g.a. større kløverindhold og dermed større kvælstoffiksering. Vanding fremmer lignificeringen og dannelse af cellulosekomponenter, samt giver afgrøder en højere fysiologisk alder. Afgrøden skal derfor høstes tidligere, når den er vandet, hvis kvaliteten skal holdes.

Vanding af græs har i de fleste år betydet et fald i fordøjeligt råprotein pr. foderenhed, dette var ikke tilfældet i kløvergræs (Jørgensen, 1975). Hyppig vanding af rajgræs gav et større indhold af fosfor, kalium og træstof pr. kg tørstof, mens indholdet af kvælstof og antallet af foderenheder faldt. Stigende udtørningsgrad gav stigende indhold af de enkelte aminosyrer pr. kg tørstof, dog faldt det relative indhold af lysin og asparginsyre (incl. asparagin) (Søegaard, 1984b).

I tørkeår bliver tørstofindholdet i majscolber lavt, mens det bliver højt i stænglerne. Det skyldes sandsynligvis, at tørstof i form af sukker ikke har kunnet transporteres fra stængler til kolber p.g.a. sen kolbeudvikling. Vanding af majsen giver modsat ovennævnte et større tørstofindhold i kolberne i forhold til stænglerne. Kolbetørstoffets værdi (kg pr. foderenhed) er i gennemsnit ikke fundet ændret p.g.a. vanding. Der gælder her ligesom ved mange andre afgrøder, at tørstofproduktionen pr. ha bliver væsentlig større, når der vandes (specielt tørre år), men tørstofkoncentrationen i afgrøden er mere eller mindre uforandret

(Gregersen, 1982).

Ved vanding har grønsager, som f.eks. blomkål, givet større hoveder af en mere ensartet kvalitet og med en bedre holdbarhed (Jørgensen, 1977). Asieagurker angives at få generelle kvalitetsforbedringer ved vanding (Elkner et al., 1976), men også tendensen til svampethed blev væsentligt reduceret (Henriksen, 1980). Vanding kan give mindre tørstofindhold, hvorved smagen kan blive forringet.

Jordkvalitet.

Vandingens indflydelse på jordens indhold af plantenæringsstoffer er ofte indirekte. En højere jordfugtighed gennem hele vækstsæsonen vil betyde et mere veludviklet rodsystem hos planterne og større planteproduktion, hvorved en større del af næringsstofferne vil blive optaget. Ved fald i jordfugtigheden vil en større mængde af jordvandets fosfationer danne tungtopløselige forbindelser og kalium- og ammoniumionerne vil binde sig stærkere til lerminerallerne. Nitrat-, kalcium- og magnesiumkoncentrationerne vil ved faldende jordfugtighed stige og planteoptagelsen af disse næringsstoffer vil derfor ikke hæmmes proportionalt med faldet i jordfugtigheden (Viets, 1972). Udtørring vil dog kunne nedsætte "mass flow" af disse næringsstoffer til rødderne. Vanding til markkapacitet umiddelbart før en større nedbørsmængde kan betyde øget udvaskning af næringsstoffer, og dette kan give udbyttenedgang p.g.a. mangel på et eller flere næringsstoffer senere i vækstsæsonen.

Vanding afkøler jorden. Der er fundet temperaturforskelle på op til 4,6 °C i jorden efter vanding (Jørgensen, 1977).

Størstedelen af jordbundens dyreliv kræver en fugtig jord, således at jordluften har omkring 100% relativ fugtighed. Det gælder for dyr som regnorm, enchytraeer, mider m.fl. Dyr som f.eks. insektlarver, springhaler og mider kan tåle mere tør jord, men kan påvirkes af tørke, fordi deres føde forsvinder. Der er dog også eksempler på dyr, der skades af høj jordfugtighed. Således er dødeligheden blandt knoporme (ågeruglens larver), især i de tidlige larvestadier, væsentlig større ved høj jordfugtighed, og nedbøren indgår som et væsentligt element i det prognose- og varslingssystem, der er under udarbejdelse på Planteværnscentret (Esbjerg, 1983).

Den mikroskopiske fauna (nematoder, tardigrader, infusionsdyr, flagellater m.fl.), der lever i jordvandet er i høj grad også afhængig af en høj jordfugtighed, ligesom svampe og bakterier er det. Regnorm og enchytraeer vil

ved udtørring af jorden søge længere ned, mens nematoder og mindre dyr vil blive "fanget" af tørken. Nematoder indtræder derved i en tilstand af anabiose. Antallet af nematoder og enchytraeer ligger generelt på et lidt højere niveau i vandede forsøgsled i forhold til uvandede (Andersen et al., 1983).

Forsøg med pløjning og fræsning med og uden efterafgrøder har ved Jyndevad (sandjord) ikke vist entydige forskelle i den mikrobielle biomasse, antallet af bakterier og svampe, CO_2 -produktion, dehydrogenase- og fosfataseaktivitet, kvælstoffiksering og denitrifikation imellem vandede og uvandede forsøgsled. Der var dog en tendens til højere kvælstoffiksering og -mineralisering samt ATP-indhold under vandede forhold. Vanding gav den højeste cellulaseaktivitet (μg glucose/time/ cm^3 jord) både i 0-5 cm og 5-20 cm dybde ved Jyndevad (Andersen et al., 1983).

Udvaskning.

Vandingens indflydelse på udvaskningen er ikke undersøgt så grundigt, at et generelt mønster kan afdækkes. Ofte anslås denitrifikationen, kvælstoffikseringen og ændringen i det organisk bundne kvælstof at være ubetydelig, hvilket ikke altid er tilfældet. Derved ligger der i mange forsøg en eller flere fejlkilder, hvis størrelser er ukendte.

På Jyndevad Forsøgsstation har 39 etårsforsøg vist en gennemsnitlig større kvælstofoptagelse fra normalt gødede, vandede marker på 25 kg kvælstof/ha/år i forhold til uvandede. Dette skulle sammenholdes med, at der i gennemsnit af 4 forsøg blev fundet 14 kg kvælstof i pløjelaget efter en uvandet afgrøde og kun 9 kg efter en vandet afgrøde, betyde en mindre udvaskning fra vandede marker. For almindelig rajgræs er der fundet en større rod-mængde ved svag udtørring i forhold til stærk udtørring (Søgaard, 1984a). Vanding kan derfor bevirke, at der efterlades en større mængde letomsættelig materiale i pløjelaget, og en øget mineralisering i efteråret kan betyde en øget kvælstofudvaskning. F.eks. har mineralisering af en ompløjet kløvergræsmark givet en betydelig stigning i nitrat-kvælstof i drænvand (Kjellerup, 1983).

Bennetzen (1978) anfører, at ca. 70 % af vandingsvandet i græs fordamper, mens fordampningen er på 80 % i korn, resten af vandingsvandet afstrømmer. Vanding giver således større afstrømning, men sikrer en bedre kvælstofudnyttelse i græs og betyder derfor en mindre kvælstofudvaskning (så længe græsset ikke ompløjes). Vanding giver også bedre kvælstofudnyttelse i korn, men hvis der ikke er nogen

afgrøde til at optage den kvælstofmængde, der bliver frigjort ved mineraliseringen af rødder og stub efter kornhøst, kan vanding bevirke større kvælstofudvaskning fra marken efter høst p.g.a. bedre mineraliseringsforhold og flere rodrester.

I forsøg på sandjord, hvor kvælstofkoncentrationen i perkolationsvandet fra uvandet og vandet vårbyg i 1975-79 blev bestemt, fandtes gennemsnitlig 64 kg kvælstof pr.ha i afstrømningsvandet fra de uvandede forsøgsled, mens der var 78 kg kvælstof/ha i afstrømningsvandet fra de vandede led (vandingsbehov hvert år). Der blev fundet størst kvælstofudvaskning fra de vandede forsøgsled i 4 af de 5 år. Forskellen er dog p.g.a. store årsvariationer ikke signifikant (Simmelsgård, 1985).

I et amerikansk forsøg, blev kvælstofregnskabet vurderet efter 5 års dyrkning af majs ved 3 kvælstoftrin (0, 140 og 280 kg kvælstof/ha/år), uvandet og vandet ved 50 % vandunderskud af markkapaciteten (fin sandblandet lerjord). Den gennemsnitlige nedbør i vækstperioderne var 410 mm. Denitrifikationen blev ikke bestemt og blev antaget at være ubetydelig. Kvælstoftabet blev anslået ud fra målinger af jordens kvælstofindhold efter det 5. år og mængden af tilført kvælstof og kvælstof fjernet med afgrøden (tabel 4). Resultaterne af udregningerne viste et kvælstoftab på 66 og 139 kg kvælstof/ha/år i de uvandede led ved tilførsel af henholdsvis 140 og 280 kg kvælstof/ha, mens de tilsvarende udvaskningstal for de vandede led var henholdsvis 7 og 99 kg kvælstof/ha/år (Hahne et al., 1977). Kvælstofudvaskningen var mindst fra de vandede forsøgsled, men da der i udregningerne forudsættes ens ændring i de forskellige forsøgsleds organiske kvælstofindhold uanset kvælstofgødsning, kan der her være en fejlkilde.

Tabel 4. Kvælstofbalance for vandet og uvandet majs (kg kvælstof/ha/år).

Tallene er gennemsnit over 5 års forsøg. (Hahne et al., 1977).

	<u>Uvandet</u>		<u>Vandet</u>	
<u>Tilført</u>	140	280	140	280
<u>Tilført minus høstet</u>	15,4	138,0	-35,4	65,0
<u>Kvælstoftab</u>	65,6	138,6	6,8	98,8

Forsøg med overdækkede lysimetre (lerjord) med græs i England viste et langt større udvaskningstab af kvælstof fra uvandet afgrøde, når der efter 2-4 ugers tørke kom et stort nedbørsoverskud. Kvælstofudvaskningen fra lysimetre med 4 ugers tørke før slæt var i gennemsnit over 4 år på 109 kg kvælstof/ha, mens der fra lysimetre, der blev vandet ugentlig med langtidsgennemsnitsnedbøren, var et tab på 15 kg kvælstof/ha (Dowdell & Webster, 1984; Webster & Dowdell, 1984). Resultater fra lysimeterforsøg kan ikke umiddelbart overføres til markforhold, men tilsvarende er fundet herhjemme i markforsøg (Bennetzen, 1978).

Konklusion.

Forsøg med vanding og kvælstof til græs over 6 år viste, at vanding i gennemsnit medførte en meroptagelse af kvælstof på 20-30 kg pr. ha og år. I et meget tørt år (1983) medførte vanding en meroptagelse af kvælstof på 125 kg pr. ha, og under vandede forhold blev der høstet 435 kg kvælstof pr. ha - eller 97% af den tilførte mængde (Jørgensen, 1984b).

Bennetzen (1978) fandt, at udvaskningen fra uvandet græs i gens. af 3 år var 86 kg kvælstof pr. ha og år. Under vandede forhold var udvaskningen reduceret til 23 kg kvælstof pr. ha og år. I uvandet vårbyg blev der fundet en udvaskning på 48 kg kvælstof pr. ha og år og 59 kg kvælstof pr. ha og år under vandede forhold. Udbyttelniveauet i vårbyg var lavt, også under vandede forhold, hvilket måske er en del af forklaringen på den større udvaskning fra vårbyg under vandede forhold.

Ud fra de relativt få undersøgelser af vandingens indflydelse på kvælstofudvaskningen må det konkluderes, at vanding kan have varierende indflydelse afhængigt af en række variable, f.eks. klima, planteart, vækstperiodens længde og udbyttelniveau. Nyere forsøg har vist, at det ved højt udbyttelniveau er muligt at høste næsten lige så meget kvælstof, som der er tilført. Under gennemsnitlige danske driftforhold er det sandsynligt, at kvælstofudvaskningen ved hensigtsmæssig styring af vandingen kan reduceres med 0-20 kg pr. ha og år.

Vandingens indflydelse på udvaskningen af kvælstof og andre næringsstoffer bør undersøges nærmere.

II. AFVANDING

Den årlige nedbørsmængde i Danmark er relativ stor og kommer spredt over hele året. Planterne udnytter ca. 60-80 % af nedbøren. Den del af nedbøren, der ikke fordamper eller optages af planterne, siver til grundvandet eller afledes via drænrør, grøfter og vandløb til havet. P.g.a. forskellig hydraulisk ledningsevne i de forskellige jordtyper, forskellige afstrømningsforhold og evt. høj grundvandstand, kan der forekomme vandsamlinger på jordoverfladen og så høje vandindhold i jorden, at marken ikke kan bearbejdes rettidigt.

Afstrømningen foregår hovedsagelig i perioden oktober-maj, dels p.g.a. den mindre evapotranspiration, dels p.g.a. nedbørsophobninger i form af is og sne på frossen jord.

Tidligere var åbne grøfter udbredt, og man tilstræbte rundryggede agre, således at vandet bedre kunne løbe af. Det var en tilfredsstillende løsning, når afgrøden var varig græs, men andre afgrøder kræver en mere effektiv dræning og de rundryggede marker er ikke velegnede til store maskiner. Ved dræning forstås idag dræning med nedgravede tegl- eller plastikrør i en dybde på 70-90 cm på sandjord (med mindre end 5 % ler) og i 120 cm dybde på de øvrige mineraljorde. Meget lerede jorde drænes dog i 100 cm dybde og "humusjorde" drænes i 140 cm dybde. Drænafstanden varierer fra 8 til 40 meter og er tættest i lerjorde.

Den nyeste opgørelse over drænedes arealer og behovet for plet- og nydræning viser, at ca. 1/4 af den grov- og finsandede jord er drænet, og det samlede behov for plet og nydræning andrager yderligere 4 % af sandjordsarealerne. Den hydrauliske ledningsevne er stor på sandjord, hvorfor dræningsbehovet her er forholdsvis lille. 39 % af den lerblandede sandjord er drænet og behovet for plet- og nydræning anslås til henholdsvis 4 og 3 %. Af den sandblandede lerjord og lerjorden er henholdsvis 64 og 76 % drænet. Her skønnes dræningsbehovet at ligge på henholdsvis 75 og 83 %. Behovet for plet- og nydræning ligger ud fra en inddeling i afvandingsklasser på ialt 200.000 ha, og regnes der med en levetid på 30 år for et dræningssystem på humusjord og 100 år for mineraljordsdræn, vil der være et behov for omdræning på ca. 20.000 ha pr. år. Den faktiske dræningsaktivitet har dog i de sidste 20 år ligget på 5-10.000 ha pr. år (Arealdatakontoret, 1985).

Planteproduktion.

En høj grundvandstand om foråret virker hæmmende på planternes rodudvikling, idet det lave iltindhold i vandmættet jord forhindrer røddernes ånding. I velafvandet sandjord vil rodzonen være 50-90 cm dyb, mens den på lerjord kan nå helt ned til 120-150 cm dybde. En lille rodmængde øger planternes følsomhed for vandmangel, og de optager mindre af den tilførte gødning.

Hvor grundvandspejlet blev holdt konstant på henholdsvis 40, 60 og 120 cm under jordoverfladen om sommeren (på marskjord), fandtes udbyttenedgange for alle afprøvede afgrøder for den højeste grundvandstand i forhold til udbytterne ved den laveste grundvandstand. Størst udbyttenedgang fandtes for byg og havre med henholdsvis 20 og 40 %, mens de øvrige (hvede, etårig kløvergræs, bederoer og kålroer) havde fra 5 til 9 % nedgang. Ved grundvandspejl på 60 cm dybde havde kun havre et nævneværdigt mindre udbytte (10 %). Udbyttenniveauet var generelt størst og mest konstant ved den dybeste dræning. Tallene er gennemsnit af 9-11 års forsøg (Pedersen, 1977).

I en undersøgelse, hvor man sammenlignede udbytterne på et antal gårde før dræning med de opnåede udbytter efter dræning, fandtes følgende merudbytter: På mineraljord; korn: 10 hkg kerne/ha, roer: 25 a.e./ha og græs: 12 a.e./ha, på humusjord var de tilsvarende tal: 15 hkg/ha, 32 a.e./ha og 23 a.e./ha. På de nævnte jordtyper kunne der desuden sås 11 og 23 dage tidligere på henholdsvis mineral og humusjord (Skriver og Hedegård, 1974). Der foreligger ikke oplysninger om, hvor lang en årrække merudbytterne er gennemsnit af.

På marskjord ved Højer har forsøg vist et merudbytte på 3,5 hkg kerne/ha i byg og 3,9 hkg kerne/ha i havre ved dræning i 115 cm dybde i forhold til dræning i 80 cm dybde. Der var 24 m mellem drænene i begge forsøgsled, og merudbytterne er gennemsnit for 16-17 år. Forskellene på udbytterne har varieret meget fra år til år, men den dybeste dræning har for alle afgrøder, set under et, givet det sikreste udbytte. Overvintrende afgrøder som hvede og græs tålte lettest den mindste drændybde, men bederoer, majs og vårraps gav dog kun små merudbytter for den dybeste dræning. Merudbytterne er p.g.a. den store årsvariation ikke statistisk sikre (Pedersen, 1977).

De forskellige afgrøder stiller således ikke de samme krav til jordens dræningstilstand. På arealer, der kun anvendes til afgræsning, kan en ekstensiv afvanding accepteres, mens intensiv korndyrkning kræver en meget veldrænet jord. Jo bedre drænet en jord er, desto mere frit stillet er landmanden i sit afgrødevalg.

Jordbundsforhold.

Der foreligger, så vidt vides, ikke undersøgelser, der sammenligner plantenæringsstofindholdet i jorden før og efter en dræning, eller i drænet og udrænet jord. Makronæringsstofferne kvælstof, fosfor og kalium er tilført i normale mængder i de flerårige dræningsforsøg, og der har ikke været nogen væsentlige ændringer at spore i jordbundsanalyserne (Pedersen, 1977). De reducerende forhold i vandmættet jord, formodes at gøre fosfat mere tilgængeligt, men hvis rodaktiviteten er nedsat p.g.a. iltmangel, har det næppe nogen betydning.

Vandmættet eller fugtig jord er koldere end mere tør jord. Den tørre jord har en mindre varmekapacitet og varmes derfor hurtigere op af solstrålingen. Varmeledningen til de dybere jordlag i tør jord er ligeledes ringere. Den våde jord opvarmes derfor langsommere, både p.g.a. den større varmekapacitet og varmeledningsevne, men også fordi der bliver brugt varme til vandfordampning. Temperaturforskellen mellem tør og fugtig jord kan være et par grader, og det er nok til at spiringstidspunktet for afgrøden bliver væsentligt forskelligt (Olesen, 1982).

Fugtig jord er relativ følsom overfor færdsel med tunge maskiner, og der kan opstå strukturskader i forbindelse med forårsarbejde, høst og f.eks. roeoptagning, ligesom der kan dannes en hård pløjesål. Dræning mindsker faren for strukturskader, idet tør jord har en bedre bæreevne.

Jordfugtigheden har også betydning for ukrudtsfloraen. Vandlidende jord med dårlige iltforhold giver sumpplanter en konkurrencemæssig fordel, og i landbrugsmæssig henseende værdiløse planter som f.eks. siv er ofte dominerende.

Markens jordbundsfauna tåler ikke iltfrie forhold i længere tid, ligesom en lavere temperatur reducerer faunaens aktivitet. Visse dyregrupper f.eks. nematoder tåler dog meget lav iltspænding, men hvorledes faunasammensætningen generelt forholder sig til forskelle i iltforhold og fugtighed er ikke undersøgt. Sandsynligvis vil stigende grad af vandmætning betyde færre regnorme.

Virkningen af jordfugtigheden på den mikrobielle aktivitet hænger sammen med jordvandets indflydelse på iltforholdene. De fleste kvælstoffikserende bakterier hæmmes af højt iltindhold (tør jord) og fungerer bedst ved iltspændinger på 1 % eller derunder. Under iltfrie forhold er mange aerobe bakterier i stand til at skifte til nitrataånding. Nitraten reduceres derved til lattergas (N_2O) eller frit kvælstof (N_2), og der kan derfor blive et ikke ubetydeligt kvælstoftab p.g.a. denne denitrifikation. På fugtig lerjord ved Roskilde er der således fundet kvælstoftab på 39 kg kvælstof/ha/år. Nitratkoncentrationen i jorden

påvirker både denitrifikationen og kvælstoffikseringen, idet førstnævnte stimuleres af en høj nitratkoncentration, mens sidstnævnte hæmmes. Denitrifikationen er størst i april-maj, når der er forårsgødet, mens kvælstoffikseringen topper midt på sommeren, når den tilførte kvælstofmængde er ved at være opbrugt af planterne (Andersen et al., 1983).

Velafvandet jord har mange dyrkningsmæssige fordele fremfor vandlidende jord.

- forårsarbejdet kan færdiggøres tidligere,
- den tidligere såning giver en længere vækstsæson,
- jorden bliver hurtigere varm og frøene spirer derfor hurtigere,
- den mekaniske ukrudtsbekæmpelse får større effekt, når ukrudtet kan ligge og tørre ud,
- kulturplanterne har større konkurrencedygtighed overfor ukrudtet,
- der er bedre ilttilførsel til rødderne, og de får en bedre rodudvikling i dybden,
- medvirker til at sikre planternes vandforsyning i tørkeperioder,
- udnyttelsen af handels- og staldgødning er bedre,
- høstning og efterårsarbejdet på lave jorde er mindre besværligt, og der er færre skader på maskiner og redskaber.

Drænvandets kvalitet.

Indholdet af plantenæringsstoffer i drænvandet og afstrømningen af nitrat til grundvand og vandløb, har i de seneste år været grundlag for en heftig debat, som ikke vil blive nærmere behandlet her. Der henvises til Blanner (1983), Landskontoret for Planteavl (1983) og Sommer (1982), der debatterer emnet og angiver yderligere litteratur.

Forskelle i udvaskning fra drænet og udrænet jord er ikke undersøgt, men en forholdsmæssig større del af næringsstofferne vil sandsynligvis nå til vandløbene via drænrørene, dog afhængig af de lokale afstrømningsforhold. På lerjord angives 50% eller mere af afstrømningen at gå i drænrørene, mens 15-50 % af afstrømningen på sandjord skulle gå til drænet (Bennetzen, 1978; Kjellerup, 1983). Dræningens påvirkning af udvaskningen og fordelingen af afstrømningen mellem grundvand og vandløb afhænger således i høj grad af jordtypen.

Siden 70'erne er der lavet undersøgelser over drænvandets kemiske sammensætning, og resultaterne er sat i relation til nedbørsmængde, jordtyper og gødningsmængder. Langvarige undersøgelser (1973-81) af drænvand fra lerjord har

vist en gennemsnitlig kvælstofudvaskning på 7,7 kg nitrat-kvælstof (ingen kvælstofgødsning), 13,5 kg nitrat-kvælstof (normal kvælstoftilførsel) og 20,7 kg nitratkvælstof (50% overgødsket) pr. ha pr. år. De tilsvarende tal for 4 års drønvandsundersøgelser på sandjord er henholdsvis 20,8, 22,1 og 39,9 kg nitrat-kvælstof pr. ha pr. år. Gennemsnitstallene dækker over store variationer, således svinger udvaskningen af nitrat-kvælstof ved normal gødsning fra 0,4 til 23,8 kg/ha/år på lerjord og fra 9,5 til 44,8 kg/ha/år på sandjord. Gennemsnitskoncentrationerne af nitrat-kvælstof ved normalgødsning var 7,0 og 8,8 mg/l svarende til 34 og 39 mg nitrat/l fra henholdsvis ler- og sandjord (Kjellerup, 1983).

En anden undersøgelse af drønvandet fra 15 danske lerjorde i årene 1971-81 med ugentlig registrering af afstrømningsmængde og analyse af den kemiske sammensætning gav følgende resultater (gennemsnit); nitrat-kvælstof: 21,5 kg/ha/år, kalium: 1,0 kg/ha/år, ammonium-kvælstof: 63 g/ha/år og ortofosfat: 37g/ha/år. Den gennemsnitlige nitrat-kvælstofkoncentration lå noget højere end i Kjellerups undersøgelse, der kun var fra én lokalitet (Sdr.Stenderup ved Kolding). I gennemsnit over alle år og alle lokaliteter fandtes 18,2 mg nitrat-kvælstof pr. liter, svarende til 80 mg nitrat/l (Pedersen, 1983).

Det har vist sig, at nitratkoncentrationen i afstrømningsvandet stiger med stigende afstrømningsintensitet. Dette forhold forklares ved, at afstrømningen ved store nedbørsmængder sker horisontalt i de øverste jordlag og evt. følger pløjesålen til nærmeste drønrønde og trænger ned til drønet forholdsvis hurtigt, fordi jordens naturlige lejring her er brudt (Hansen & Pedersen, 1975; Kjellerup & Kofoed, 1979).

Afgrøden spiller en stor rolle for udvaskningens størrelse. F.eks. blev der på sandjord kun målt en kvælstofudvaskning på 29 kg/ha fra en græsmark i god vækst, der var tilført 351 kg kvælstof/ha, mens der blev målt kvælstoftab på 42-66 kg/ha fra en kornmark, der havde fået tilført 110 kg kvælstof/ha (Bennetzen, 1978).

Udvaskningen med drønvandet af de øvrige plantenæringsstoffer er på lerjord bestemt til at være (gennemsnit af 4000 drønvandsprøver); 16,8 kg natrium, 129 kg kalcium, 28 kg sulfat-svovl, 50 kg klorid, 194 kg hydrogenkarbonat og 8,2 kg magnesium pr. ha pr. år (Pedersen, 1983).

Specielt udvaskningen af nitrat til grundvand og til kystnære områder via vandløbene har en negativ effekt på miljøet. En stor del af de private og offentlige boringer efter drikkevand på sandjord, har vist sig at indeholde for

meget nitrat efter Sundhedsstyrelsens og EF's normer (der må højst være 50 mg nitrat/l $\pm$ 11 mg nitrat-kvælstof/l). Nitrat er farligt at indtage i større mængder p.g.a. at ca. 5 % omdannes til nitrit og binder sig til blodets hæmoglobin, der derved bliver dårligere til at transportere ilt. Spædbørn er p.g.a. mere sur mavesyre, mangel på bestemte enzymer og større væskebehov pr. kg legemsvægt mere følsomme overfor nitratinhold i drikkevandet end større børn og voksne. Nitrit kan i mavesækken reagere med aminer og danne nitrosoaminer, der i dyreforsøg selv i små mængder har vist sig kræftfremkaldende.

Udledning af næringsstoffer til vandløb giver sig udslag i en øget plantevækst, hvis de tilførte næringsstoffer er begrænsende i vandløbet på udledningstidspunktet. Drænvandsudledninger indeholder ikke umiddelbart toksiske stoffer, med mindre der er ensilagesaft, møddingsvand o.l. i. Ammoniak er et meget giftigt stof for vandløbsfaunaen, men det findes kun i ubetydelige mængder i drænvand. De udledte næringsstoffer (hovedsagelig nitrat) ender på et tidspunkt i de kystnære farvande, hvor de sammen med fosfor (der hovedsagelig kommer fra husspildevand), giver øget eutrofiering. Fosfor er i fjordsystemer den begrænsende faktor for algevækst i forårsmånederne, mens nitrat er begrænsende fra juni til september. Næringsstofftilvæksten giver øget algevækst og derved større organisk produktion, der igen medfører nedsættelse af vandets gennemsigtighed. Den øgede plankton biomasse bevirker et stort iltforbrug ved planktonets uddøen, og alt efter strømforhold og vejrlig kan der forekomme bundvendinger med frigørelse af svovlbrinte og andre giftige gasarter fra nedbrydningsprocesserne i havbunden med massedød af fisk og bundfauna til følge. Der udledes ca. 88.500 tons total-kvælstof/år til vore kystnære farvande, og heraf kommer ca. 40 % fra landbrugsarealerne (Miljøstyrelsen 1983). Det er dog usikkert, hvor meget disse udledninger kan reduceres, idet der også udvaskes nitrat fra ugødede områder og skove.

Udvaskningen af tungmetaller er undersøgt ved Sdr.Stenderup (lerjord) i 1974/75 og 1976/77 (tabel 5), men hvorledes udvaskningen er relateret til jordens tungmetallindhold diskuteres ikke (Kjellerup & Kofoed, 1979). Hvis man regner med et atmosfærisk nedfald på 2 g cadmium/ha/år (Miljøstyrelsen, 1980) og 105-460 g bly/ha/år (Tjell & Larsen, 1975), er udvaskningstallene for cadmium forholdsvis høje, mens de er lave for blys vedkommende. Udvaskningen af tungmetaller afhænger dog meget af jordens pH, humus- og lerindholdet, jordkoncentrationen af tungmetaller og det lokale nedfald.

Tabel 5. Udvaskning af tungmetaller, g/ha. (Kjellerup & Kofoed, 1979).

	Cu	Cd	Pb	Ni	Cr	Mn	Co	F
1974/75	17	2	17	30	17	165	3	
1976/77	8	0,2	1	<10	<10	5	<5	167

Okker.

På nogle lavbundsområder, specielt i Jylland, er der ved dræning fare for okkerudvaskning via drænrørene med store miljømæssige konsekvenser for det vandløb drænvandet løber ud i. Hvor jorden indeholder store mængder af jernmineralet pyrit, vil en sænkning af grundvandstanden bringe pyritten i forbindelse med luftens ilt, og der dannes opløst ferrojern og svovlsyre. Ferrojernet iltes videre til ferrijern, der kan udfældes som okker. På kalkholdige arealer vil kalken bevirke, at okkeren udfældes i jorden og derfor ikke udvaskes. På sure, kalkfattige arealer, der især findes i Vestjylland, vil okkeren derimod ikke iltes, før det når ud i dræn og vandløb. Der er udført et stort arbejde for at kortlægge de potentielle okkerudvaskningsområder, samt på at finde en brugbar metode til rensning af okkerholdig drænvand. Man nåede frem til at klassificere 296.000 ha som okkerpotentielle områder i større eller mindre grad (Reker, 1984), og ifølge en nylig ikrafttrådt lov om okker, må dræning og udgrøftning indenfor disse områder ikke iværksættes uden godkendelse fra det pågældende amtsråd. Amtsrådet kan give pålæg om okkerrensning, og der er lavet en støtteordning hertil.

III. ANVENDELSE AF SLAM FRA RENSINGSANLÆG

Der regnes med, at der produceres 700 kg spildevandsslam (95% vand) eller 25-40 kg tørstof pr. indbygger pr. år (Community-Cost Concerted Action Committee, 1981). Ifølge miljøstyrelsen (Miljøstyrelsen, 1981) var slamproduktionen i 1977 på ialt 82.300 tons tørstof, hvoraf de 34.900 tons eller ca. 42% blev deponeret i jordbruget. Det forventes, at tørstofmængden til jordbrugsanvendelse i 1990 vil være steget med ca. 14-15.000 tons tørstof.

Slammets kemiske sammensætning vil i høj grad være bestemt af oprindelsesmaterialet, det vil sige, at det kan være afgørende om rensningsanlægget modtager hovedparten af spildevandet fra husholdninger eller erhvervsvirksomheder, og navnlig om der er metalforarbejdende industri i væsentlig omfang i det område, anlægget modtager afløb fra.

I tabel 6 er vist et eksempel på den kemiske sammensætning af slam fra 2 rensningsanlæg (Kofoed & Larsen, 1982).

Det ses af tabel 6, at tørstofindholdet kan variere stærkt. Det højt metalbelastede slam er afvandet ved centrifugering, medens det, der her er betegnet som lavt metalbelastet slam fra byområde uden større metalforarbejdende virksomheder, er tørret på sandbed.

Tungmetaller som cadmium (Cd), kviksølv (Hg), bly (Pb) og nikkel (Ni) har ingen særlig funktion i planter og dyr, og i jord, der udnyttes til foder- eller fødevarerproduktion, er de at betragte som uønskede og giftige.

I henhold til bekendtgørelse om anvendelse af slam i landbruget (Miljøstyrelsen, 1984) må slam, som anvendes i landbruget, højest indeholde følgende mængder af tungmetaller.

Cadmium (Cd)	8 g/ton tørstof.	Kviksølv (Hg)	6 g/ton tørstof.
Bly (Pb)	400 g/ton tørstof.	Nikkel (Ni)	50 g/ton tørstof.

g/ton tørstof svarer til ppm (parts per million).

Tabel 6. Slamanalyser (Kofoed & Larsen, 1982).

Antal prøver 1974-80	Højt metalbelastet slam		Lavt metalbelastet slam	
	8		8	
	gns.	min.-maks.	gns.	min.-maks.
Indhold i procent				
Tørstof	23,0	20,4-24,8	31,5	13,2-68,2
Total-N	0,86	0,39-1,77	0,66	0,93-1,24
NH ₄ -N (Ammoniumkvælstof)	0,15	0,05-0,41	0,10	0,03-0,37
P (Fosfor)	0,72	0,30-1,47	0,31	0,16-0,66
K (Kalium)	0,03	0,01-0,07	0,02	0,02-0,04
Na (Natrium)	0,03	0,01-0,05	0,02	0,01-0,08
Ca (Calcium)	1,55	0,64-3,06	0,56	0,26-1,21
Mg (Magnesium)	0,10	0,03-0,20	0,04	0,02-0,08
Indhold, ppm, gram pr. ton				
Cu (Kobber)	108	53-200	113	19-339
Mn (Mangan)	206	36-467	95	25-200
Zn (Zink)	582	279-956	293	159-484
Pb (Bly)	324	164-564	60	26- 96
Cd (Cadmium)	8	1- 37	1	1- 2
Ni (Nikkel)	55	9-122	9	6- 13
Cr (Crom)	188	18-704	31	16- 43
Co (Cobolt)	5	1- 19	3	2- 5

Indflydelse på udbytte.

Gødningsvirkningen af slam er først og fremmest knyttet til dets indhold af kvælstof og fosfor. Da kalium er meget let opløseligt i vand, følger det meste kalium med "afvandingsvandet" under slamafvandingsprocessen. Kaliumindholdet i slam er derfor meget lille og har ingen særlig betydning i gødningsmæssig henseende.

Kvælstof i slam er tilstede i langsomt omsættelige eller svært nedbrydelige organiske forbindelser afhængig af oprindelsesmaterialet og er således kun i

meget begrænset omfang umiddelbart tilgængeligt for planterne. Ofte er kun 10-20% af kvælstoffet i slam tilstede som ammoniakkvælstof. I anaerobt udrådnetslam vil kun en forsvindende lille andel af kvælstoffet være nitrat-kvælstof.

Slammets kvælstofvirkning vil 1. år være knyttet til dets indhold af ammonium samt til en lille del af det lettere omsættelige organisk bundne kvælstof. Kvælstofvirkningen efter tilførsel af anaerobt stabiliseret slam fra kommunale rensningsanlæg er undersøgt i markforsøg ved Statens forsøgsstationer (Damgaard-Larsen et al., 1979a). Udbytterne som gennemsnit af 3 års forsøg er vist i tabel 7.

Tabel 7. Virkning af slamgødskning. Udbytte i hkg tørstof/ha, 1974-76.
(Damgaard-Larsen et al., 1979a).

	Ingen forsøgs gødning	Slam		Handelsgødning	
		10 ton tørstof pr. ha	30	150N+31P kg pr. ha*	300N+62P
Byg, kerne	24,1	37,1	42,6	40,6	44,8
- , halm	14,4	23,5	35,2	31,4	37,4
Ital. rajgræs	14,3	37,9	67,2	47,6	71,4
Bederoer, rod	53,6	83,8	95,6	89,9	93,7
- , top	14,8	27,3	38,7	33,1	40,1
Kartofler	52,3	78,4	95,2	85,7	91,5

*) Halv mængde til byg.

Værdien af kvælstof i slam sammenlignet med kvælstof i handelsgødning kan angives i værdital, som udtrykker den mængde handelsgødningskvælstof, der skal til for at give samme udbytte som slamkvælstof. På grundlag af de foreliggende 3 års resultater med de anvendte mængder gødning, kan det beregnes, at 30 kg kvælstof i handelsgødning/kalkammonsalpeter kan erstatte 100 kg slamkvælstof.

Da størstedelen af slamkvælstoffet, som det tidligere er anført, er bundet i organiske forbindelser, der skal mineraliseres, inden planterne kan udnytte det, betyder det, at slamvirkning kan strække sig over flere år. Resultater fra forsøg med éngangstilførsel af slam har vist en ikke helt ubetydelig eftervirkning i 1. og 2. år efter slamtilførsel (Damgaard-Larsen et al., 1979b).

Fosforindholdet i slam er betydeligt, men det er tilstede i ikke vandopløselige fosfater. For at fosfor i slam skal kunne komme planterne til gode, må det på lignende måde som for jordfosfater ske ved at indgå i udfældnings- og opløsningsprocesser og i systemet labilt og ikke labilt fosfor.

Fosfortilgængeligheden fra mekanisk og kemisk fældet slam sammenlignet med fosfor i superfosfat har i forsøg på jord med stærk fosformangel været ens (Larsen, 1981). Udenlandske erfaringer viser ligeledes, at fosfor i spildevandsslam er lige så tilgængeligt for planter som fosfor i handelsgødning (Commission of the European Communities, 1982).

Fosfortilførsel med slam vil bidrage til at opbygge en reserve af fosfor i jorden, hvorfra der sker en langsom frigørelse på samme måde som for husdyrgødningsfosfor. Eftervirkningen i de følgende år vil medvirke til, at de opsamlede fosforreserver kan udnyttes over en længere årrække.

Indholdet af mikronæringsstoffer som kobber, mangan og bor kan have betydning under visse dyrkningsforhold, hvor mangel på disse plantenæringsstoffer optræder.

Plantekvalitet.

Planteanalyser efter slamgødskning viser, at navnlig cadmium, zink og nikkel bliver optaget i forøgede mængder i planterne, mens der for metallerne kobber, mangan, krom og kobolt ikke sker generelle ændringer i planternes indhold (Damgaard-Larsen et al., 1979b).

I tabel 8 er vist cadmiumindholdet i forskellige afgrøder efter årlig tilførsel af lavt og højt metalbelastet slam. Til sammenligning er vist analysetal for de samme afgrøder tilført handelsgødning.

Stigende tilførsel af cadmium til jorden har resulteret i et øget cadmiumindhold.

Det ses i tabel 8, at cadmium navnlig forekommer i grønne plantedele som f.eks. bederoetop, og indholdet i kerne er lavt. Optagelsen af bly er forholdsvis lille.

Bestemmelse af planteoptagelse af metallerne Pb, Cd og Hg fra atmosfæren og jord ved hjælp af isotopteknik har vist, at meget af metallerne Pb og Hg i grønne plantedele kan tilskrives direkte kontamination fra atmosfæren. Andelen af Cd er mindre, men absolut betydelig.

Tabel 8. Cadmiumindhold i planter efter slæmtilførsel, ppm i tørstof, gns. 1974-78. (Damgaard-Larsen et al., 1979b).

	Handelsgødning	Slam	
		Lavt metalbelastet	Højt
Tilførsel kg Cd/ha		0,2-0,3	0,5-0,6
Optagelse, ppm			
Byg, kerne	0,07	0,09	0,12
- , halm	0,22	0,18	0,27
Havre, kerne	0,14	0,16	0,29
- , halm	0,24	0,30	0,42
Ital. rajgræs	0,27	0,24	0,44
Bederoer, rod	0,39	0,42	0,65
- , top	0,91	0,96	1,41
Kartofler	0,31	0,31	0,41

Kviksølv i slam og dets optagelse i planterne er undersøgt, og resultaterne viser, at den forøgelse, der sker i planterne er lille og giver ikke baggrund for ængstelse for nogen særlig kviksølvforurening ad denne vej (Sevel & Jensen, 1979). Tjell (1981) har undersøgt slammets anvendelighed til jordbrugsformål.

Jordkvalitet.

a. Humus.

Som følge af det høje indhold af organisk stof i slam kan man forvente, at anvendelse af denne organiske gødning vil være af betydning for jordens indhold af organisk stof "humus" og virke som jordforbedringsmiddel.

Virkningen af fast staldgødning og slam på jordens kulstofindhold er undersøgt i et langvarigt forsøg ved Woburn forsøgsstation, England, med følgende resultat, tabel 9.

Tabel 9. Kulstofindhold efter tilførsel af fast staldgødning og slam. Pct. C i jordlaget 0-23 cm. Woburn Market Garden forsøg, 1942-72. (Johnston, 1980).

	1942	1951	1960	1967	1972**
Fast staldgødning*	0,95	1,79	2,21	2,36	1,91
Slam*	0,95	1,34	2,96	2,38	2,10

*) 75 ton frisk gødning ha/år. Staldg. 1942-67, slam 1942-61.

**) Efter 5 og 6 år uden gødning på henholdsvis staldgødningens og slamforsøgsleddet.

Om resultaterne fra Woburn anføres (Johnston, 1980), at kun ca. 30% af det gennem årene tilført organiske stof i staldgødning eller slam var efterladt i jorden, da tilførslen ophørte. Forøgelsen i jordens kulstofindhold var tilnærmet 0,0105 og 0,150% pr. ton tilført organisk stof i henholdsvis staldgødning og slam. Så snart tilførsel af organisk stof ophørte, begyndte kulstofprocenten i jorden at falde, og den langsigtede virkning på jordens indhold af organisk stof vil næppe være forskellig fra slam og staldgødning. Da tørstofindholdet i fast staldgødning og i slam ikke nødvendigvis er ens, må resultaterne fra Woburn tages med et vist forbehold.

Norske undersøgelser har vist, at tilførsel af 10 tons slamtørstof pr. ha ikke forøger humusindholdet i pløjelaget med mere end 0,2% (på vægtbasis), og det vil derfor være vanskeligt at opnå målelige virkninger af små tilførsler af slam. Bedst virkning på jordens fysiske egenskaber opnås på jord med lavt indhold af humus.

Det organiske materiale fra slam vil gradvis blive reduceret i jorden. Ca. 60% vil allerede være nedbrudt i løbet af det første år efter slamudbringningen, og i de næste 2-4 år vil der ske en yderligere formindskelse til 20-25% af den oprindelige tilførte mængde, medens den tilbageværende del synes at være relativt stabilt (Vigerust, 1981). Dette nedbrydningsforløb svarer meget nær til, hvad der er fundet for organisk stof i staldgødning under hollandske markforhold (Sluismans & Kolenbrander, 1976).

Uden at antage direkte sammenhæng mellem nedbrydning af organisk stof og kvælstoffrigørelse ved mikrobielle processer, giver disse resultater dog et vist tilnærmet udtryk for eftervirkning af kvælstof. Som tidligere nævnt er der i danske slamforsøg fundet ret god eftervirkning i de første år efter slamtilførsel.

b. Fysisk/kemiske forhold.

Slamtilførsel kan medvirke til at stabilisere jordstrukturen navnlig på let og svær jord, forøge kationombytningskapacitet og vandkapacitet på let jord (Hall & Coker, 1981).

Jord med god kationombytningskapacitet (ECE) i forbindelse med ler- og humusindhold er i stand til at adsorbere større mængder af tungmetaller, og ved tilførsel til sådanne jorder er plantetilgængeligheden relativ mindre.

Humus og andre organiske stoffer kan chelatere med metaller og danne stabile komplekse forbindelser, hvorved metallernes tilgængelighed for planter reduceres.

Jordens reaktionstal (pH) er af betydning for tungmetallernes tilgængelighed, da de fleste er mindre tilgængelige, når pH er relativt højt, 6,5-7, end under betingelser med lavere pH (Sevel & Jensen, 1979). Ved højere pH udfældes tungmetaller som tungt opløselige basiske salte. Potentiel toksisk effekt kan således reduceres ved kalkning.

c. Flora/fauna.

Slamtilførsel fremmer udviklingen af en vis ensidighed i regnormepopulationens sammensætning (Andersen, 1979). Ud fra et jordbundsbiologisk synspunkt kan det ikke siges at være decideret negativt, da det drejer sig om de to største arter, *A. longa* og *L. terrestris*, som er de vigtigste for en gunstig udvikling i jordbundsstrukturen.

Slammets indhold af bly og cadmium påvirker ikke ormenes forplantningsevne. Opkoncentreringen af tungmetaller i regnorme muliggør viderebringelse af metallerne i fødekæden til dyr, der æder regnorme. Der er eksempler på forhøjet cadmiumindhold i drosler (Martin & Coughtrey, 1975), spidsmus og muldhvarpe (Roberts & Johnson, 1978) fra cadmiumforurenede områder, hvor de højeste cadmiumkoncentrationer fandtes i bænkebidere og regnorm. Cadmium passerer lettere gennem leddene i fødekæden, fordi det i modsætning til f.eks. bly ophobes i bløddelene (nyre, lever) og derved forbliver lettilgængeligt for det næste led (Friberg et al., 1974).

d. Mikrobiel aktivitet.

Det er fundet, at stigende koncentrationer af tungmetaller i jorden kan føre til nedsat mikrobiel aktivitet i jorden (Brookers et al., 1984; Eiland, 1981), så vigtige processer, som fosfor- og kvælstofmineraliseringen, nitrifikationen og nitrogenfikseringen kan påvirkes (Larsen, 1980).

e. Tungmetalakkumulering.

Tungmetallerne cadmium og bly akkumuleres i pløjelaget. Jordbundsundersøgelser ned til 1 m dybde efter éngangstilførsel af slam viser, at cadmium tilført med slam stadig findes i overjorden, 0-25 cm 7 år efter slamtilførsel (Larsen, 1983) (tabel 10).

Tabel 10. Cadmiumindhold i jord 7 år efter tilførsel af slam, ppm i tør jord.
(Larsen, 1983).

Dybde i cm	Handels- gødning	Lerjord		Sandjord		
		Slam		Handels- gødning	Slam	
		Lavt*	Højt**		Lavt	Højt
		metalbelastet			metalbelastet	
0 - 25	0,25	0,28	0,58	0,18	0,23	0,49
25 - 50	0,14	0,16	0,19	0,09	0,10	0,17
50 - 75	0,13	0,13	0,17	0,05	0,06	0,08
75 - 100	0,13	0,14	0,14	0,05	0,05	0,06

*) 0,3 kg Cd/ha med slam.

**) 3,9 kg Cd/ha.

Tilførsel af den meget store cadmiummængde (3,9 kg/ha) medførte ikke kun et højere indhold i planterne i det år, hvor slam blev tilført, men størrelsen af planteoptagelse holdt sig konstant gennem årene.

Konsekvensen af tungmetallernes akkumulering er, at der ved fortsat tilførsel opstår risiko for toksiditet. Det er derfor af afgørende betydning at begrænse mængden af tungmetaller, der tilføres jorden, uanset kilderne.

I henhold til bekendtgørelse om anvendelse af slam i landbruget (Miljøstyrelsen, 1984) må der kun tilføres landbrugsjord ialt 200 g cadmium pr. ha med slam, og cadmiumtilførslen må gennemsnitligt kun udgøre 10 g Cd pr. ha pr. år. Der må dog tilføres mere et enkelt år men derefter mindre i følgende år. I forvejen tilføres jorden gennemsnitlig 5 g Cd/ha/år med handelsgødningfosfat og som atmosfærisk nedfald, hvilket betyder en årlig stigning på 0,7%.

Udvaskning.

Risiko for påvirkning af recipienterne grundvand og vandløb som følge af slam anvendelse har kun interesse, hvad angår nedsivning af kvælstof, fordi andre potentielle forureningselementer, som fosfor og tungmetaller kun udvaskes i små mængder eller slet ikke.

Nedsivning af kvælstof fra udbragt slam er bestemt af et sammenspil af flere faktorer, hvor de vigtigste er afstrømning og dermed nedbør, jordtype og tilført mængde. Desuden vil mineralisering af det organisk bundne kvælstof i slam udenfor vækstsæsonen, når jorden ikke er plantedækket med nedadgående vandbevægelse, medføre udvaskning af kvælstof.

Undersøgelse vedrørende udvaskning efter slam anvendelse er gennemført siden 1974 i lysimeterforsøg ved Askov forsøgsstation. I lysimeterforsøg opsamles hele den gennemsnitlige vandmængde, og derved kan den totale udvaskning fra rodzonen bestemmes.

Efter 8 års forsøg med en gennemsnitlig tilførsel af ca. 350 g totalkvælstof pr. m² årlig, er der målt en årlig udvaskning på 5 g N/m², hvilket svarer til 50 kg N/ha. Øges mængden af N med slam til det dobbelte har N-udvaskningen været 10 g N/m². Resultaterne fra dette lysimeterforsøg med slam svarer til, hvad der er fundet i forsøg med husdyrgødning (Kofoed, 1985).

Nedvaskning af tungmetaller fra normale jorder i god kalktilstand må anses for at være uden praktisk betydning.

Efter 8 års tilførsel af slam fra renseanlæg med en samlet tilførsel af op til 30 kg nikkel (Ni), 190 kg bly (Pb) og 2,7 kg cadmium (Cd) er der fundet følgende koncentrationer i gennemsnitsvandet.

Cu, Mn, Nikkel	< 10 ppb *)
Cr og Co	< 5 ppb
Pb	< 1 ppb
Cd	<0,1 ppb

*)
ppb = 10^{-9}

Sundhedsmæssige risici:

Slam indeholder almindeligvis patogener, bakterier, virus og parasitter, som kan inficere dyr og mennesker.

Direkte kontakt med slam under håndtering, kontakt gennem aerosoler eller direkte med jord og planter, som er kontamineret gennem slam eller inficeret føde og vand, vil alle være måder, hvorpå slambårne infektioner vil kunne opstå (Larsen, 1982).

Såvel danske som udenlandske undersøgelser viser klart, at slamtilførsel på voksende afgrøder, som f.eks. græsmarksarealer bør undgås uanset slammets art og oprindelse. Ved tilførsel uden for vækstperioden i forbindelse med normal jordbrugsmæssig jordbehandling kan muligheden for smitte via afgrøderne til både dyr og mennesker reduceres til det ubetydelige i forhold til andre smitteveje (Jepsen, 1981).

I henhold til den danske bekendtgørelse om anvendelse af slam i landbruget, må der på arealer, hvor der er tilført slam, indtil 1 år efter sidste tilførsel kun dyrkes korn og frøafgrøder til modenhed samt græs eller lignende til industriel fremstilling af tørfoder.

Råslam må kun tilføres landbrugsjord ved nedfældning. Ved nedfældningen skal slammet bringes mindst 10 cm under jordens overflade.

Lugtgener.

For at mindske lugtgener er stabilisering af råslammet nødvendig. De mest benyttede metoder er anaerob og aerob udrådning, eventuelt efterfulgt af en kalktilsætning, hvorved pH hæves, og den mikrobielle omsætning hæmmes. Veludrådnet slam er praktisk taget lugtfrit (Kofoed & Larsen, 1982).

Konklusion.

De største problemer vedrørende brug af slam i landbruget knytter sig til indholdet af cadmium, zink og nikkel. Der kan være specielle lokale høje koncentrationer af andre uønskede stoffer f.eks. kobber og krom. Det er derfor nødvendigt at kende indholdet af kemiske stoffer i slammet før det anvendes, samt at følge jordkoncentrationerne af tungmetallerne. I Tyskland er grænserne for slam anvendelse f.eks. 3 ppm cadmium, 300 ppm zink, 50 ppm kobolt og 100 ppm for nikkel, bly, kobber og krom i tør jord (Damgaard-Larsen et al., 1979a). Cadmium er allerede i små mængder skadelig for lunger, knoglesystem og især nyrer. Kosten er den vigtigste cadmiumkilde for normaldanskeren med ca. 30 µg/dag, hvilket er forholdsvis højt set i relation til WHO's ADI-værdi på 60 µg cadmium pr. dag (Miljøstyrelsen, 1980). Forhøjet zink og nikkelindhold i planterne skulle ikke kunne give sundhedsmæssige problemer i almindelighed, men langtidseffekterne kendes ikke. Nikkelallergi er stigende, og der er eksempler på eksemudbrud ved indtagelse af nikkelmængder, der svarer til forekomsten i den daglige kost (Statens Levnedsmiddelinstitut, 1980).

Højtbelastet slam bør ikke udbringes på landbrugsjord, men kan evt. tilføres områder uden fødevarerproduktion (skove, parker o.l.). Tilførsel af tungmetaller til landbrugsjord er en næsten 100% irreversibel proces, så tilbageholdenhed er nødvendig.

IV. INDUSTRISPILDEVAND

Spildevand fra visse landbrugsindustrier indeholder en del plantenæringsstoffer og det indeholder normalt ingen eller meget begrænsede mængder af tungmetaller eller andre skadelige stoffer. Det kan derfor ofte være fordelagtigt at udsprøjte det på landbrugsarealer, fremfor at det ledes til vandløb via rensningsanlæg.

Ved Jyndevad forsøgsstation har der i årene 1970-78 været gennemført forsøgsmæssige undersøgelser med udsprøjtning af spildevand fra mejerier og kartoffelmelsfabrikker på landbrugsjord.

Mejerispildevand.

Ca. 10% af landets mejerier bortskaffer spildevand ved udsprøjtning på landbrugsjord. Da mejerispildevand produceres og udsprøjtes kontinuerligt året rundt, har det foruden gødningsvirkningen også en vandingsvirkning. Gødningsværdien er afhængig af koncentrationen af næringsstoffer. I tabel 11 er vist næringsstofindholdet i spildevandet fra det smørmejeri, der leverede spildevandet til forsøgene. Til sammenligning er vist tallene fra et ostemejeri. Fra begge mejerier indgik en del kølevand i spildevandet. P.g.a. fortyndingen medfører kølevand i spildevandet forøgede udbringningsomkostninger.

Tabel 11. Analyser af mejerispildevand.(Jensen, 1981b)

	Smørmejeri	Ostemejeri
pH	7,9	6,8
Tørstof g/l	0,83	1,0
Total N mg/l	31,7	83,0
NO ₃ -N "	8,3	-
NH ₄ -N "	5,6	-
P "	9,1	18,0
K "	23,8	22,0
Mg "	3,4	5,0

Udbytte og plantekvalitet.

Ved 300 mm mejerispildevand pr. ha pr. år bliver der tilført: 95 kg kvælstof, 27 kg fosfor, 71 kg kalium og 10 kg magnesium.

I udbytteforsøg blev værdien af kvælstof i mejerispildevand målt i forhold til værdien af kvælstof i handelsgødning. Sammenligningen skete ved, at man i forskellige forsøgsled gav samme mængde spildevand og grundvand i vækstperioden. I forsøgsleddet med grundvand blev der givet forskellige mængder handelsgødnings-kvælstof. Forsøget viste, at når handelsgødnings-kvælstof sættes = 100, er værdien af samme mængde kvælstof i mejerispildevand = 54 til byg, 74 til rug, 77 til bederoer og 66 til græs. En beregning på 8 forsøg i forskellige afgrøder viste, at den gennemsnitlige kvælstofudnyttelse var på ca. 60% (Jensen, 1981b).

Da der i rengøringen på mejerierne ofte indgår skiftevis anvendelse af natronlud og salpetersyre, opstår der store svingninger i spildevandets surhedsgrad. Der blev målt variationer i pH fra 2,4 til 12,2 indenfor én time. Det er derfor nødvendigt at kunne opsamle spildevandet i så lang tid, at variationerne dæmpes. I frostperioder kan det også være nødvendigt at kunne oplagre spildevandet. Den gennemsnitlige surhedsgrad af spildevandet i den refererede undersøgelse lå på pH 7,9. Den basiske reaktion i spildevandet kan eventuelt hæve reaktionstallet i jorden, hvorved de positivt ladede mikronæringsstoffer bliver mindre tilgængelige for planterne p.g.a. dannelse af uopløselige forbindelser med hydroxydioner. Muligheden for mangelsygdomme foreligger derfor. Da det gennemsnitlige pH i mejerispildevand sandsynligvis varierer en del fra mejeri til mejeri, er det ikke sikkert, at der er tale om et generelt problem. Det kan under alle omstændigheder nemt løses, når man er opmærksom på det (Jensen, 1981b).

I nogle mejerier bruges kloridholdige rensemidler, og da brugt saltlage kan indgå i spildevandet, kan der opstå kloridskader på afgrøderne.

Ved udsprøjtning af mejerispildevand på græs, der bliver afgræsset af kreaturer, kan spildevandet påvirke ædelysten i negativ retning i op til 12 dage herefter (Statens Forsøgsmejeri, 1953).

Jordkvalitet.

Tilførsel af 360 mm mejerispildevand pr. ha pr. år, svarende til 31 kg fosfor pr. ha, har hævet fosforsyretallet (Ft) i jorden en ubetydelighed i et forsøg på sandjord, mens der ikke har kunnet registreres nogen forandring af kaliumtallet (Kt) eller magnesiumtallet (Mgt), der kan tillægges tilførslen af spildevand.

Der er eksempler på mejerispildevand, der har indeholdt 2000 mg natriumklorid pr. liter. Udbringning af spildevand med så høj en saltkoncentration kan give en stærk stigning i jordens indhold af natrium- og kloridioner med udbyttenedgang til følge. Natrium kan desuden bevirke en større pakning af lerjord (Bennetzen, 1981). På grund af natrium og klorids store vandopløselighed vil niveauerne hurtigt blive normale, når tilførslen af mejerispildevand ophører. Normaliseringshastigheden falder med stigende lerindhold i jorden og på sandblandet lerjord er den nedbør, der falder i vinterhalvåret ikke altid i stand til at udvaske hele den tilførte natriummængde (Jørgensen, 1982).

Der er så vidt vides ikke lavet undersøgelser over mejerispildevandets indflydelse på flora og fauna, men som ved stald- og handelsgødning vil der sandsynligvis være en tilvækst i antallet af mikroorganismer i forhold til antallet i ugødet-uvandet jord.

Udvaskning.

Tidspunktet for tilførsel af spildevand i forhold til planternes behov er af stor betydning for udvaskningens størrelse. Tilførsel uden for vækstperioden giver derfor øget næringsstofftab. Udvaskningens størrelse afhænger desuden af gødningsintensiteten, nedbørsmængden høstudbyttet og et afstemt forhold mellem næringsstofferne til den pågældende afgrøde. Lave udbytter giver stor udvaskning og omvendt. Det har vist sig, at mængden af kvælstof i drønvandet stiger med mængden af udsprøjtet mejerispildevand, og niveauet er generelt højere end udvaskningen efter anvendelse af handelsgødning med tilsvarende kvælstofindhold. Udvaskningen er større fra grovsandet jord end på mere lerholdig jord, hvilket kan skyldes, at lerblandet sandjord har større evne til at tilbageholde næringsstoffer, eller at mere kvælstof er blevet ført bort med det større udbytte på sidstnævnte jordtype.

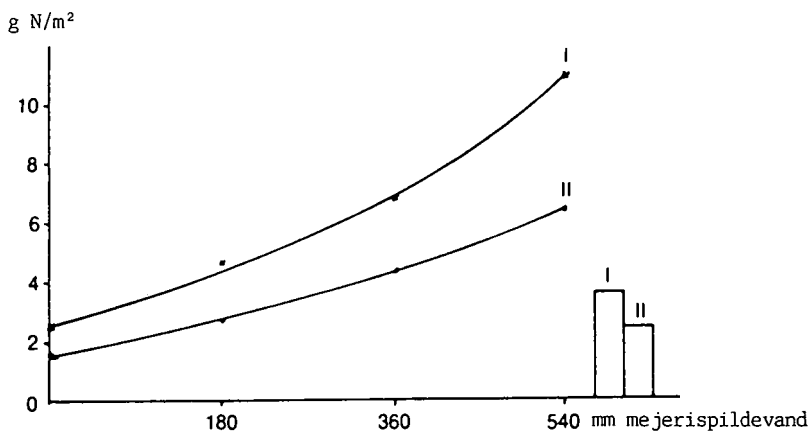


Fig. 1. Udvaskning af kvælstof (g/m^2) gennemsnit 1974/75-77/78. Søjlerne viser de tilsvarende udvaskningstal ved tilførsel af 290 kg handelsgødningskvælstof pr. ha. I: Hedeslettesand, II: Morænesand (Jensen, 1982).

Det kan være svært at fastlægge en acceptabel grænse for kvælstofudvaskningen og mængden af udsprøjtet mejerispildevand. Udvasningen af total-N kan variere mellem 1,4 og 14,4 g N/m²/år. Hovedparten af totalkvælstoffet i drønvandet er nitrat-kvælstof. Sættes det acceptable total-N niveau til 5 g N/m² år, kan der på grovsandet jord udbringes 200 mm mejerispildevand pr. ha pr. år og på grov lerblandet sandjord 424 mm.

Der er ingen forskel på udvaskningen af kalium fra handels- og spildevandsgødet jord, og der udvaskes hverken fosfor eller organisk stof fra jordtyperne.

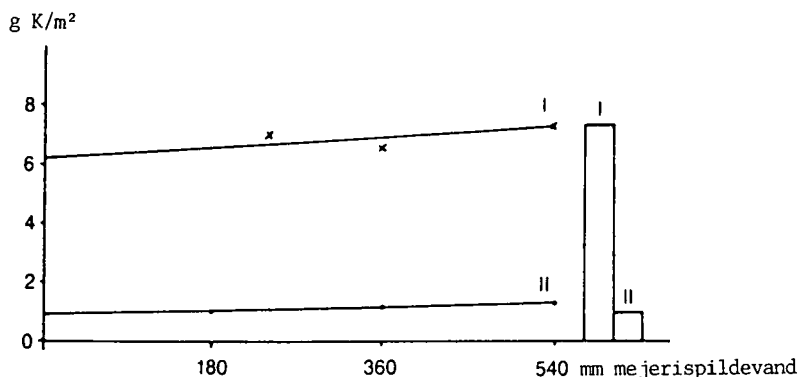


Fig. 2. Udvasning af kalium (g/m²) gennemsnit 1974/75-77/78. Søjlerne viser de tilsvarende udvaskningstal ved tilførsel af 191 kg handelsgødningsskalium pr. ha. I: Hedeslettesand, II: Morænesand. (Jensen, 1982).

Spildevand fra kartoffelmelsfabrikker.

Processpildevand fra kartoffelmelsfabrikker fremkommer ved rivning af kartoflerne med efterfølgende ekstraktion, udvaskning og raffinering af stivelsen. Dette processpildevand kaldes frugt vand. Frugt vand er en udpræget sæsonspildevandsart, der kun fremkommer i den periode, hvor der produceres kartoffelmel, dvs. fra midten af september til december, alt efter kampagnens størrelse. En kartoffelmelsfabrik af gennemsnitsstørrelse har en frugt vandsproduktion på omkring 1300 m³ pr. døgn, hvilket gør en kontinuert udsprøjtning i produktionsperioden nødvendig.

Udbytte og plantekvalitet.

Næringsstofindholdet i frugt vand er meget stort (se tabel 12). Med de angivne koncentrationer vil der med udbringning af 30 mm frugt vand pr. ha blive tilført marken: 267 kg N/ha, heraf 6 kg som $\text{NO}_3\text{-N}$ og 30 kg som $\text{NH}_4\text{-N}$, 31 kg P, 444 kg K og 16 kg Mg pr. ha. 87% af kvælstoffet findes som organisk bundet kvælstof, der ikke umiddelbart er tilgængeligt for planterne. BI_5 står for biologisk iltforbrug i 5 døgn ved en bestemt temperatur og er et udtryk for indholdet af organisk stof. Et BI_5 større end 20 mg ilt/liter bør ikke udledes til vandløb.

Tabel 12. Analyser af frugt vand, gns. 1975-76 (Jensen, 1981a).

pH	5,4	$\text{NO}_3\text{-N}$	mg/l	20
Tørstof g/l	13,4	$\text{NH}_4\text{-N}$	"	99
Aske "	3,2	P	"	102
BI_5 mg/l	8938	K	"	1480
Total N mg/l	890	Mg	"	53

Forsøg har vist, at kvælstof i frugt vand udnyttes dårligere end handelsgødning-kvælstof. Sættes værdien af handelsgødning-kvælstof til 100, vil værdien af frugt vand-kvælstof ligge mellem 20 og 41, alt efter afgrødeart og udbringnings-tidspunkt. Værdien var lavest i byg og højest i græs. Tilførslen af kvælstof i nævnte forsøg gik fra 0 til mere end 900 kg N/ha. Udbyttesammenligningerne for byg, græs og bederoer kan ses på fig. 3 til fig. 5 (Jensen, 1981a).

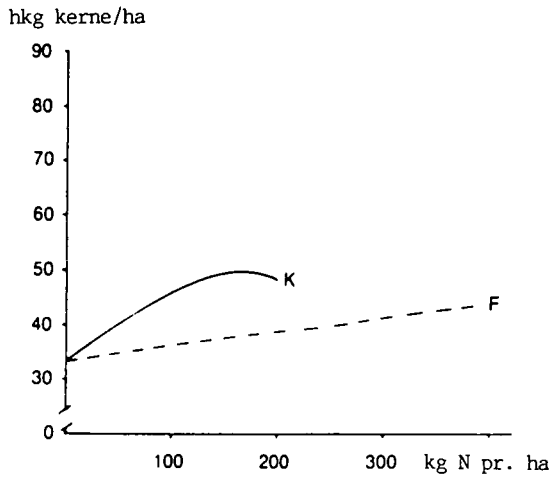


Fig. 3. Udbytte af byg som funktion af kvælstoftilførslen i frugt vand (F) og handelsgødning (K). (Jensen, 1981a).

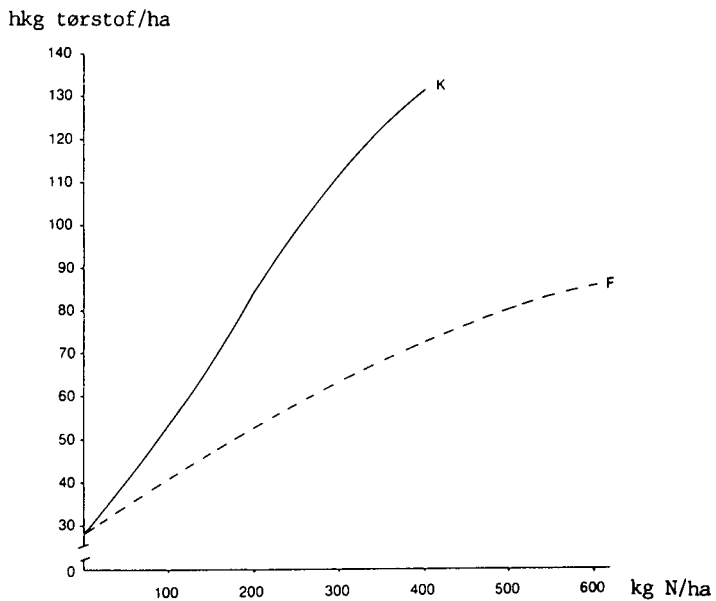


Fig. 4. Udbytte af græs som funktion af kvælstoftilførsel i frugt vand (F) og handelsgødning (K). (Jensen, 1981a).

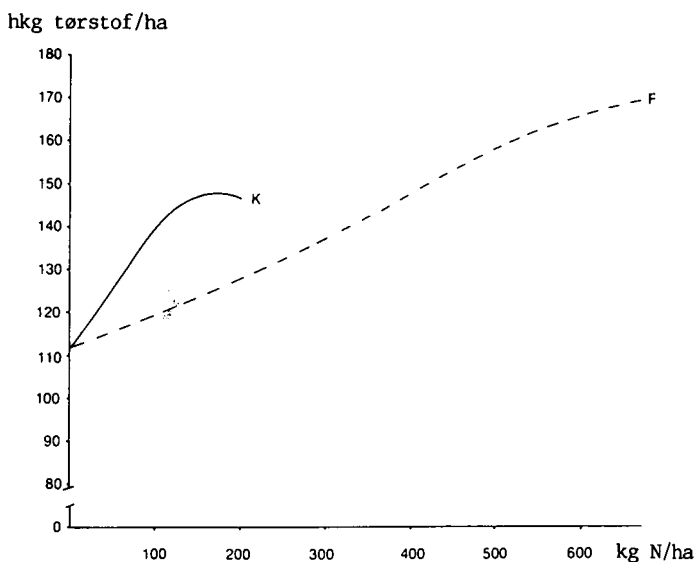


Fig. 5. Udbytte af bederoer som funktion af kvælstoftilførsel i frugt vand (F) og handelsgødning (K). (Jensen, 1981a).

Kvalitetsmæssig er der ingen væsentlige forskelle på afgrøder ved de to gødningsformer. Der var dog tendens til, at det procentiske indhold af kalium steg med stigende frugt vandstilførsel. Ved tilførsel af store frugt vandsmængder faldt udbyttet af havre markant, sandsynligvis som følge af Mg-mangel, som havre er meget følsom overfor. Høje kaliumkoncentrationer kan blokere for magnesium-optagelsen.

Jordkvalitet.

Jordens reaktionstal faldt lidt hurtigere efter tilførsel af frugt vand, sandsynligvis fordi frugt vandet er svagt surt. Kaliumtallet (Kt) steg stærkt ved tilførsel af store mængder frugt vand år efter år. Da højt Kt som nævnt kan bevirke planteskader, bør man føre kontrol med jordens kaliumindhold og indføre et år uden frugt vandstilførsel, hvis Kt bliver for højt. Da kalium er meget mobilt, vil udvaskningen hurtigt betyde tilbagevenden til normale Kt, dog afhængig af jordens lerindhold.

Med hensyn til fosfor og magnesium indholdet i jorden var der kun små udsving ved tilførsel af frugt vand. Mineraliseringen af den store mængde organiske stof foregår forholdsvis hurtigt tidligt på efteråret, hvilket må skyldes en øget mikrobiel aktivitet.

Udvaskning.

I det følgende omtales resultater fra lysimeterforsøg. De eksakte størrelser kan ikke umiddelbart overføres til markforhold.

I lysimetrene undersøgtes udvaskningens størrelse til dræn på to jordtyper. Hedeslettesand (JB1) fra Jydevad og morænesand (JB3) fra Frøslev. Undersøgelserne viste, at der på trods af frugt vandets store indhold af organiske stoffer, ikke var gennemsvivning af organisk stof til dræn, ligesom der ikke kunne påvises nogen udvaskning af fosfor. Udvaskningen af kvælstof steg kraftigt som følge af frugt vandstilførslen (fig. 6), og det samme var tilfældet med kalium på hedeslettesand. Udvaskning af af kalium fra morænesand steg kun ubetydeligt, hvilket sandsynligvis skyldes morænesandets større evne til at binde kalium. Bortførsel af magnesium med afstrømningsvandet var stor i forhold til den mængde Mg, der blev høstet med afgrøden. Der blev ikke optaget mere magnesium ved stigende tilførsel, men udvaskningen steg.

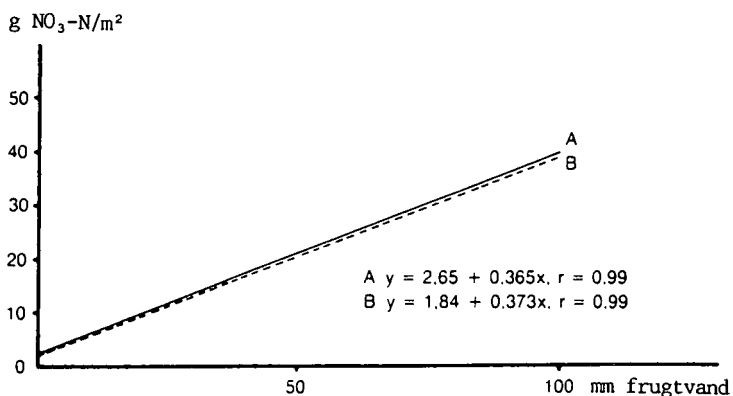


Fig. 6. Udvasket $\text{NO}_3\text{-N}$ g/m^2 som funktion af mm tilført spildevand. 1974/75-76/77. (Jensen, 1983b).

A: Hedeslettesand

B: Morænesand

Det er udvaskningen af kvælstof, der på sandjord bliver begrænsende for, hvor store mængder frugtvand, det er forsvarligt at køre ud på markerne. Med den nævnte koncentration af kvælstof i frugtvandet vil tilførsel af 27 og 30 mm frugtvand til henholdsvis hedeslettesand og morænesand, give en kvælstofudvaskning på 12,5 g $\text{NO}_3\text{-N}$ pr. m^2 (=125 kg kvælstof/ha). Sættes udvaskningsgrænsen til værdi, som nævnt under mejerispildevand (5 g N/ m^2) kan der kun udsprøjtes 6-7 mm frugtvand, hvilket svarer til ca. 58 kg kvælstof og 96 kg kalium pr. ha pr. år. Disse udvaskningstal stammer imidlertid fra lysimeterforsøg, og de kan ikke umiddelbart overføres til markforhold. Følges ovennævnte grænser for udsprøjtning af frugtvand, vil kalium ikke give problemer hverken på sand- eller lerjord.

Frugtvandets store indhold af organisk stof (ca. 30 gange så koncentreret som husspildevand), gør det meget kostbart at rense spildevandet i et rensningsanlæg, hvorfor alle 5 kartoffelmølsfabrikker herhjemme udsprøjter deres spildevand på landbrugsjord.

Konklusion.

Udsprøjtning af frugtvand på landbrugsjord er en brugbar måde til udnyttelse af de plantenæringsstoffer, som frugtvandet indeholder. Af hensyn til kvælstofudvaskningen må det dog tilrådes, at udsprøjtningen sker på arealer med græs, vintersæd eller efterafgrøde. Af hensyn til kaliumakkumuleringen i jorden, kan der være grund til at skifte mellem flere arealer, specielt på mere lerholdig jord.

LITTERATURLISTE

- Andersen, C. (1979): Cadmium, lead and calcium content, number and biomass in earthworms (Lumbricidae) from sewage sludge treated soil. *Pedobiologia* 19, 309-319.
- Andersen, C., Eiland, F. & Vinther, F.P. (1983): Økologiske undersøgelser af jordbundens mikroflora og fauna i dyrkningssystemer med reduceret jordbrug, vårbyg og efterafgrøde. *Tidsskr. for Planteavl* 87, 257-96.
- Arealdatankontoret (1985): Afvandingsundersøgelsen i Danmark.
- Aslyng, H.C. (1978): Vanding i jordbruget.
- Bennetzen, F. (1978): Vandbalance og kvælstofbalance ved optimal planteproduktion. *Tidsskr. for Planteavl* 82, 191-220.
- Bennetzen, F. (1981): Planteavlsorientering 11.
- Blanner, P. (1983): Nitratens vej til et miljøproblem. *Ugeskrift for Jordbrug* nr. 28, 539-545.
- Brookes, P.E., McGrath, S.P., Klein, D.A. & Elliott, E.T. (1984): Effects of heavy metals on microbial activity and biomass in field soils treated with sewage sludge. *Environmental Contamination*. Publ. CEP. Ltd. Edinburgh, 574-583.
- Commission of The European Communities (1982): Nitrogen and phosphorus value of sewage sludge. Concerted Action, treatment and use of sewage sludge, cost project 68 Ter. SL/82/82 ENV/35/82.
- Community-Cost Concerted Action Committee (1981): Directorate general Science, Research and Development. Bruxelles.
- Damgaard-Larsen, S., Larsen, K.E. & Søndergaard Klausen, P. (1979a): Årlig tilførsel af slam for rensningsanlæg til landbrugsjord. *Tidsskr. Planteavl* 83, 349-386.
- Damgaard-Larsen, S., Larsen, K.E. & Søndergaard Klausen, P. (1979b): Engangstilførsel af slam fra rensningsanlæg til landbrugsjord. *Tidsskr. Planteavl* 83, 387-403.
- Dowdell, R.J. & Webster, C.P. (1984): Effect of Drought and Irrigation on the Fate of Nitrogen Applied to Cut Permanent Grass Swards in Lysimeters: Experimental Design and Crop Uptake. *J.Sci. Food Agric.* 35, 1092-1104.
- Dragland, S. (1984): Virkninger av tørke ved ulike utviklingsstadier av havre. *Forskning og Forsøk i Landbruget* 35, 49-58.
- Eiland, F. (1981): The effects of application of sewage sludge on microorganism in soil. *Tidsskr. Planteavl* 85, 39-46.

- Ekeberg, E. (1982): Vanning og radgjødsling til korn. I. Avling og kornkvalitet. *Forskning og Forsøk i Landbruget* 33, 99-110.
- Elkner, K. & Radzikowska, D. (1976): The influence of irrigation, mineral nutrition and variety on the quality of cucumber fruit for pickling. *Zeszyty Problemowe Postepow Nauk Rolniczych* no. 181, 55-70.
- Esbjerg, P. (1983): Fangst af agerugler (*Agrotis segetum*) og nedbørsmåling som baggrund for knopormevarsling. *Tidsskr. for Planteavl* 87, 371-377.
- Friberg, L., Piscator, M., Nordberg, G.G. & Kjellstrom, I. (1974): Cadmium in the environment. CRC Press, Cleveland.
- Gregersen, A.K. (1980): Vand og kvælstofgødning til flerårigt græs og kløvergræs. *Tidsskr. for Planteavl* 84, 191-208.
- Gregersen, A.K. (1982): Vanding af majs 1976-80. *Tidsskr. for Planteavl* 86, 427-436.
- Gregersen, A.K. (1985): Vanding af rug. *Statens Planteavlsforsøg Meddl. nr.* 1810.
- Gregersen A.K. & Hejlesen, E. (1985): Vand og kvælstof til vinterhvede på sandjord. *Tidsskr. for Planteavl* 89, 231-240.
- Gregersen A.K. & Knudsen, H. (1980): Vindhastighed, vandbalance og vandingsbehov 1957-78. *Tidsskr. for Planteavl* 84, 111-161.
- Hahne, H.C.H., Kroontje, W. & Lutz, J.A. (1977): Nitrogen Fertilization I. Nitrate accumulation and losses under continuous corn cropping. - *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41, 562-67.
- Hall, J.E. & Coker E.G. (1981): Some effects of sewage sludge on soil physical conditions and plant growth. EEC-seminar on the influence of sewage sludge application on physical and biological properties of soils. Munich Federal republic of Germany June 23-34, 1981. ISBN 90-277-2501-7, 43-60.
- Hansen, L. & Pedersen, E.F. (1975): Drænvandsundersøgelser 1971-74. *Tidsskr. for Planteavl* 79, 670-688.
- Hejlesen, E. & Andersen, J.B. (1984): Stofproduktion og næringsstofoptagelse i vinter- og vårbyg ved forskellige vandingsfrekvenser. *Tidsskr. for Planteavl* 88, 49-61.
- Henriksen, K. (1980): Vanding af asieagurker. *Tidsskr. for Planteavl* 79, 545-560.
- Jacobsen, E.E. (1975): Proteinkvalitet af byg i afhængighed af dyrkningsbetingelser og sort. *Biotechnisk Institut - Kolding. Beretn. nr.* 75.

- Jensen, F. (1981a): Udbringning af spildevand fra kartoffelmelsproduktion (frugtvand) til landbrugsafgrøder på sandjord. Statens Planteavlsforsøg. Tidsskr. for Planteavl 85, 47-58.
- Jensen, F. (1981b): Mejerispildevand til landbrugsafgrøder på sandjord. Tidsskr. for Planteavl 85, 159-170.
- Jensen, F. (1982) Mineralstofbortførsel fra græsdækket jord i lysimeter efter tilførsel af mejerispildevand. Tidsskr. for Planteavl 86, 193-204.
- Jensen, F. (1983a): Vanding af vinterraps. Statens Planteavlsforsøg Medd. nr. 1715
- Jensen, F. (1983b): Udvaskning af næringsstoffer fra lysimeter ved tilførsel af frugtvand. Tidsskr. for Planteavl 87, 489-504.
- Jensen, F. (1985): Vandingsbehov i forskellige vækstfaser hos ærter. Statens Planteavlsforsøg Medd.nr. 1815.
- Jepsen, A. (1981): Infektionshygiejne. Slammets jordbrugsanvendelse II. Fokusering, 29-63 Polyteknisk forlag.
- Johansson, W. (1978): Åkerbruket och vattentillgångarna. II. Vattenbehov - vattenfaktorens betydelse - bevatning. Skog- o. Lantbr.-akad. Tidsskr., 117, 299-307.
- Johnston, A.E. (1980): The effect of farming systems on the ammount of soil organic matter and its effect of yield at Rothamsted and Woburn. EEC-seminar on soil degradation, Wageningen, Holland, October 13-15, 1980.
- Jørgensen, V. (1975): Vanding af græs og kløvergræs. Tidsskr. for Planteavl 84, 479-490.
- Jørgensen, V. (1977): Vanding af kartofler og blomkål ved høje temperaturer. Indflydelse på jordtemperatur, stofproduktion og kvalitet. Tidsskr. for Planteavl 81, 439-449.
- Jørgensen, V. (1982): Virkninger af saltholdigt vandingsvand til kartofler, gulerødder og hvidkål. Tidsskr. for Planteavl 86. 577-590.
- Jørgensen, V. (1984a): Vandforsyningens indflydelse på udbytte og kvalitet af kartofler. Tidsskr. for Planteavl 88, 453-468.
- Jørgensen, V. (1984b): Virkning af udtørningsgraden på udbytte og kemisk sammensætning af alm. rajgræs. Tidsskr. for Planteavl 88, 365-77.
- Jørgensen, V. (1985a): Styling af vanding i landbrugsafgrøder. Landmandsalmanakken 1985, 90-108.
- Jørgensen, V. (1985b): Styling af vanding i planteavlsbrug. Agrologisk Tidsskrift. Marken 5, 10-18.

- Jørgensen, V. & Henriksen, K. (1984): Vanding af blomkål. Tidsskr. for Planteavl 88. 265-275.
- Kjellerup, V. (1983): Kvælstofgødningens indflydelse på drænvandets indhold af nitratkvælstof 1973-1981. Statens Planteavlsforsøg Medd.nr. 1736.
- Kjellerup, V. & Kofoed, A.D. (1979): Kvælstofgødningens indflydelse på drænvandets indhold af plantenæringsstoffer. Tidsskr. for Planteavl 83, 330-348.
- Kofoed Dam, A. (1985): Leaching of nutrients from sewage sludge and animal manure. EEC-seminar. Ladelund, Denmark, June 25-27, 1985.
- Kofoed Dam, A. & Larsen, K.E. (1982): Spildevandsslam og dets eventuelle anvendelse i jordbruget. Tolvmandsbladet 4, 155-165.
- Landbrugsstatistik (1982). Danmarks Statistik Kbh. 1983.
- Landskontoret for Planteavl (1983): Landbrugets rolle i belastningen af overfladevand og grundvand med næringsstofferne kvælstof (N) og fosfor (P).
- Larsen Errebo, H. (1982): Sygdoms- og miljømæssige problemer i forbindelse med behandling og disponering af affald. Spildevandsslam. DSR-forlag 1982. Miljøforvaltning, 232-244.
- Larsen, K.E. (1980): Tunge metaller i spildevand til dyrkningsjord. Ugeskrift for Jordbrug 37, 867-872.
- Larsen, K.E. (1981): Fosforvirkning af kemisk fældet slam. Tidsskr. Planteavl 85, 185-191.
- Larsen, K.E. (1983): Cadmium content in soil and crops after use of sewage sludge. EEC-seminar on utilisation of sewage sludge on land. Rates of application and long-term effects of metal. Uppsala, Sweden, June 7-9, 1983. ISBN 90-277-1701-X, 157-165.
- Lov nr. 180 (1985): Lov om okker + bemærkninger til lovforslaget.
- Martin, M.H. & Coughtrey, P.J. (1975): Preliminary observations on the levels of cadmium in a contaminated environment. Chemosphere 3, 155-160.
- Miljøstyrelsen (1980): Cadmiumforurening. En redegørelse om anvendelse, forekomst og skadevirkning af cadmium i Danmark.
- Miljøstyrelsen (1981): Miljøstyrelsens sektorredøgørelse for status, og udviklingstendenser i den kommunale spildevandsplanlægning.
- Miljøstyrelsen (1983): Opgørelse af belastningen fra land af de indre danske farvande med organisk stof, Total-N og Total-P. Rapport udarbejdet af vandkvalitetsinstituttet, ATV.
- Miljøstyrelsen (1984): Bekendtgørelse om anvendelse af slam.

- Olesen, S.E. (1982): Landmandens dispositioner hæmmes af en vandlidende jord. Hedeselskabets Tidsskrift 103, 34-37.
- Olesen, S.E. (1983): Dræning i relation til vådområderne. Bidrag til "Miljø og Vand", Miljøstyrelsens konference i Åbenrå 1983. 28-30.
- Pedersen, E.F. (1977): Dræning og grundvandsstand på marskjord. Tidsskr. for Planteavl 81, 325-345.
- Pedersen, E.F. (1983): Kvælstoftab gennem drænvand 1971-1981. Statens Planteavlsforsøg Medd.nr. 1704.
- Reker, L. (1984): Forsøgsordningen om okker. Vand & Miljø 3, 6-9.
- Roberts, R.D. & Johnson, M.S. (1978): Dispersal of heavy metals from abandoned mine workings and their transference through terrestrial food chains. Environ. Pollut. 16, 293-310.
- Sevel, I. & Jensen, K.O. (1979): Kviksølv i slam, jordbrug. Isotopcentralen.
- Simmelsgård, S.E. (1985): Vandbalance og kvælstofudvaskning på 4 jordtyper. III. Kvælstofkoncentration, -udvaskning og -balance. Tidsskr. for Planteavl 89. 133-154.
- Skriver, K. & Hedegård, J. (1974): Undersøgelser over danske jordes dræningstilstand. Landsudvalget for Planteavl. Oversigt over forsøg og undersøgelser i Landbo- og Husmandsforeningerne 1973, 2055-59.
- Sluijsmans, C.M.J. & Kolenbrander, G.J. (1976): De stikstoffwerking van stalmist op Korte en lange termign. Instituut voor bodernvruchtbaarheid, Haren-Groningen 1976.
- Sommer, S. (1982): Plantenæringsstoffer - en kilde til vandforurening. Ugeskrift for Jordbrug nr. 18, 349-353.
- Statens Forsøgsmejeri (1953): Forsøg med udsprøjtning af mejerispildevand. Beretning nr. 79. Statens Forsøgsmejeri 1953, 1-37.
- Statens Levnedsmiddelinstitut (1980): Levnedsmidlers og tilsætningsstoffers betydning ved allergi og intolerance. Redegørelse fra en arbejdsgruppe. Publikation nr. 43.
- Søegård, K. (1984a): Vand og kvælstof til alm. rajgræs. I. Planteproduktion, vandudnyttelse, jordtemperatur og morfologisk udvikling ved kontrolleret vandtilførsel. Statens Planteavlsforsøg beretn.nr. S 1704a.
- Søegård, K. (1984b): Vand og kvælstof til alm. rajgræs. II. Planternes kemiske sammensætning ved kontrolleret vandtilførsel. Statens Planteavlsforsøg Beretn.nr. S 1704b.

- Tjell, J.Chr. (1981): Spormetaller i affaldsmaterialer, plantetilgængelighed ved jordblanding ved varierende pH karforsøg. Slammets jordbrugssanvendelse III delrapporter, 147-166. Polyteknisk forlag 1981.
- Tjell, J.C. & Larsen, S.D. (1975): Slam i jordbruget, optagelse af spormetaller og mineraler i planteafgrøderne. Slam Nyt 11, 1-24.
- Viets, F.G.Jr. (1972): Water deficits and nutrient availability. I. Water deficit and plant growth. Kozlowski (ed.): Plant responses and control of water balance. Vol. III, 217-239. Acad.Press.
- Vigerust, E. (1981): Physical properties in sewage sludge and sludge treated soils. EEC-seminar on the influence of sewage sludge application on physical and biological properties of soil. München, Federal republic of Germany. June 23-24, 1981. ISBN 90-277-1501-7, 107-199.
- Webster, C.P. & Dowdell, R.D. (1984): Effect of Drought and Irrigation on the Fate of Nitrogen Applied to Cut Permanent Grass Swards in Lysimeters: Leaching Losses. J.Sci. Food Agric. 35, 1105-1111.

Institutter m.v. under Statens Planteavlsforsøg

Sekretariatet

Statens Planteavlskontor, Kongevejen 83, 2800 Lyngby	(02) 85 50 57
Informationstjenesten, Lottenborgvej 2, 2800 Lyngby	(02) 87 53 27
Dataanalytisk Laboratorium, Lottenborgvej 24, 2800 Lyngby	(02) 87 06 31
Sekretariatet for Sortsafprøvning, Tystofte, 4230 Skælskør	(03) 59 61 41
Statens Bisygdomsnævn, Kongevejen 83, 2800 Lyngby	(02) 85 62 00
Jordbrugsmeteorologisk Tjeneste, Forsøgsanlæg Foulum, 8833 Ørum Sønderlyng	(06) 65 25 00

Landbrugscentret

Statens Forsøgsstation, Ledreborg Allé 100, 4000 Roskilde	(02) 36 18 11
Statens Forsøgsareal, Bornholm, Rønnevej 1, 3720 Åkirkeby	(03) 97 53 10
Statens Biavlsforsøg, Ledreborg Allé 100, 4000 Roskilde	(02) 36 18 11
Statens Forsøgsstation, Rønhave, 6400 Sønderborg	(04) 42 38 97
Statens Forsøgsstation, Tylstrup, 9380 Vestbjerg	(08) 26 13 99
Statens Forsøgsstation, Tystofte, 4230 Skælskør	(03) 59 61 41
Afdeling for Grovfoder, Forsøgsanlæg Foulum, 8833 Ørum Sønderlyng .	(06) 65 25 00
Statens Forsøgsstation, Borris, 6900 Skjern	(07) 36 62 33
Statens Forsøgsstation, Silstrup, 7700 Thisted	(07) 92 15 88
Statens Forsøgsstation, Askov, 6600 Vejen	(05) 36 02 77
Statens Forsøgsstation, Lundgård, 6600 Vejen	(05) 36 01 33
Statens Forsøgsstation, 6280 Højer	(04) 74 21 04
Afdeling for Kulturteknik, St. Jyndeved, 6360 Tinglev	(04) 64 83 16
Statens Planteavls-Laboratorium, Lottenborgvej 24, 2800 Lyngby	(02) 87 06 31
Centrallaboratoriet, Forsøgsanlæg Foulum, 8833 Ørum Sønderlyng . . .	(06) 65 25 00

Havebrugscentret

Institut for Grønsager, Kirstinebjergvej 6, 5792 Årslev	(09) 99 17 66
Institut for Væksthuskulturer, Kirstinebjergvej 10, 5792 Årslev	(09) 99 17 66
Institut for Frugt og Bær, Kirstinebjergvej 12, 5792 Årslev	(09) 99 17 66
Institut for Landskabsplanter, Hornum, 9600 Års	(08) 66 13 33

Planteværnscentret

Institut for Pesticider, Lottenborgvej 2, 2800 Lyngby	(02) 87 25 10
Institut for Plantepatologi, Lottenborgvej 2, 2800 Lyngby	(02) 87 25 10
Planteværnsafdelingen på »Godthåb«, Låsbyvej 18, 8660 Skanderborg .	(06) 52 08 77
Institut for Ukrudtsbekæmpelse, Flakkebjerg, 4200 Slagelse	(03) 58 63 00
Analyselaboratoriet for Pesticider, Flakkebjerg, 4200 Slagelse	(03) 58 63 00