

INSTITUTT FOR JORDKULTUR
NORGES LANDBRUKSHØGSKOLE
1432 AS-NLH

591

Serie B 6/83

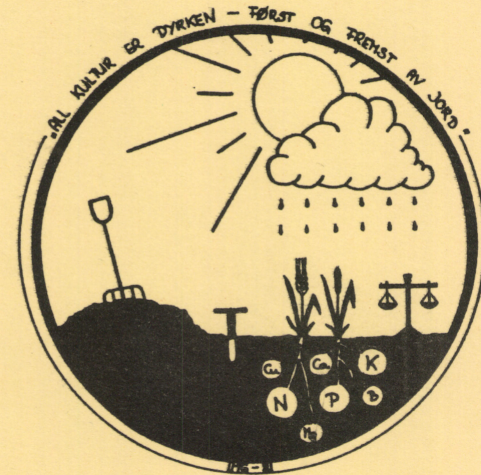
Energiforbruk og energiutnytting ved bruk av
nitrogengjødsel

av

Arnor Njøs

Foredrag under felles fagprogram NJF's 17. kongress
Helsingfors 1983

Nordisk Jordbruksforskning 2/1983 :192 - 201.



DEPARTMENT OF SOIL FERTILITY AND MANAGEMENT
AGRICULTURAL UNIVERSITY OF NORWAY
N-1432 AS-NLH, NORWAY

LITTERATUR

- BAUM, E.L. & E.O. HEADY 1957. Economic and Technical Analysis of Fertilizer Innovations and Resource Use: 125-134.
- BREIREM, K. 1982. 9th Symp. on Energy Metabolism, Lillehammer, Norway, Sept. 1982.
- BÆRUG, R. og ENGE, R. 1971: Meld.Norg.Landbr.Høgsk. 50 (4) 1-25.
- COUNCIL FOR AGRICULTURAL SCIENCE AND TECHNOLOGY(CAST) 1977. Report No 68, 1977: 1 - 27.
- ELBEK, B. 1975. Ugeskr. for agronomer og hortonomer 4/1975: 470.
- ELONEN, P. 1981. NJF-seminar "Nitrogengjødslingens effektivitet og nitrogentap". As 17.-18. februar 1981.
- FRISSEL, M.J. 1977. Ambio VI(2): 152-156.
- GORDON, F.J. 1980. Proc. Nutr. Soc. 39:249.
- GUNNARSON, S. 1981. SLU, Inst. f. ekonomi och statistik, 19 s.
- HJORTSHØJ NIELSEN, A. & S. RASMUSSEN 1978. Tidsskrift Landøkonomi 165 (1/1978).
- INGEBRIGTSEN, S. 1959. Gjødsling til kløverrik eng. Forsk. Fors. Landbr. 10: 159-206.
- LARSEN, S. 1976. Ugeskr. for agronomer og hortonomer, forstakandidater og licentiater 121 (43): 883-885.
- LEACH, G. 1976. Energy and food production. IPC Press Ltd. London. 137 p.
- LYNGSTAD, I. 1973. Forsk. Fors.Landb. 24: 523 - 538.
- LYNGSTAD, I. 1977. Norsk Landbruk 6/77 og særtrykk 154, Inst. for jordkultur.
- LYNGSTAD, I. 1981. Pers. melding.
- McKEY, J. 1978. Proc. Workshop on Agricultural Potentiality Directed by Nutritional Needs, Martonvásár, Hungary. June 6-9 1978.
- MYHR, K. 1975. Forsk. Fors.Landbr. 26: 315 - 324.
- MYHR, K. og NJØS, A. 1983. Meld.Norg.Landbr.Høgsk. Vol. 62(1): 1 - 14.
- NJØS, A. 1981. NLVF utredning nr. 118: 63-86.
- NLVF. 1980. Utredning nr. 111. 117 s.
- NOU 1974. Norges offentlige utredninger. 1974 (55): 63.
- PESTALOZZI, M. 1980. Forsk. Fors.Landbr. 31: 89 - 103.
- ROMARHEIM, H. 1982. NLVF's Arbeidsgruppe for energiberegninger. Delrapport 17. desember 1982. Stensil. 79 s. + 40 s. vedl.
- UHLEN, G. 1970. Jord og avling 3/1970: 4 - 7.
- ØDELIEN, M. og HVIDSTEN, L. 1957. Forsk. Fors.Landbr. 8: 241-294.

INSTITUTT FOR JORDKULTUR
NORGES LANDBRUKSHØGSKOLE
1432 AS-NLH

Serie B 6/83

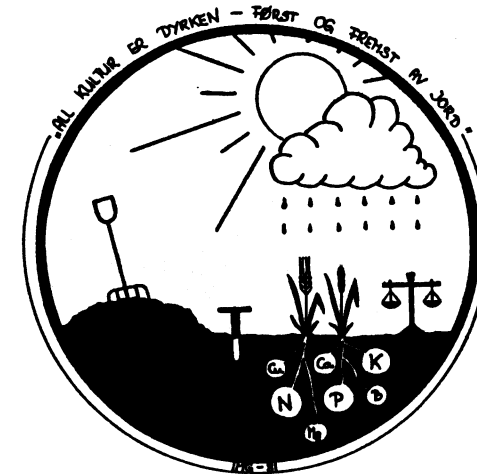
Energiforbruk og energiutnytting ved bruk av
nitrogengjødsel

av

Arnor Njøs

Foredrag under felles fagprogram NJF's 17. kongress
Helsingfors 1983

Nordisk Jordbruksforskning 2/1983 :192 - 201.



DEPARTMENT OF SOIL FERTILITY AND MANAGEMENT
AGRICULTURAL UNIVERSITY OF NORWAY
N-1432 AS-NLH, NORWAY

slutningen at kløverrik eng skal gjødsles forsiktig med nitrogen første år, og deretter sterkere etter som kløveren blir svakere.

Diskusjon

Baum & Heady (1957) regner kunstgjødsel som erstatning for jordareal og arbeid, og som et viktig bidrag til økonomisk vekst. "Everyone is aware of the need for labor transfer from agriculture to industry". - Dette var sagt den gang økonomene mente de hadde lært å styre økonomien! Romarheim (1982) tok utgangspunkt i at en bestemt energimengde kan produseres på varierende areal og regnet deretter ut optimalverdier for N-gjødsel. Optimalmengdene hadde en tendens til å ligge litt lavere enn ved en ren marginal-partiell betraktning.

I foredraget har vi brukt en betraktningssmåte som nærmest svarer til Mitscherlich's lov for avtakende utbytte. Men resultatet hadde kanskje ikke blitt så svært ulikt om vi hadde valgt Liebigs minimumslov som modell (rett linje + platå). Er målet å spare energi, kan vi bestemme oss for en gjødselmengde som gir f.eks. 80 prosent av maksimal avling. Vi kommer ikke til samme gjødselmengde men oppnår i begge tilfelle redusert energiinnsats, og økt virkningsgrad.

Til slutt vil vi ta med en sammenligning av ulike førmidler med hensyn til total energivirkningsgrad i planteproduksjonen. Se tabell 11.

Tabell 11. Omsettbar energi/hjelpeenergi, for ulike førmidler e. Breirem 1982.

Førmiddel	Omsettbar energi/Hjelpeenergi
Kålrot + blad	2,44
Bygg + NH ₃ - halm	2,35
Høy, låvetørket* + håbeite	1,65
Surfôr + håbeite	1,5

*) Fortørket til 50% vann

Frissel (1977) hevder at nitrogenoverføringen fra gras til husdyrprodukter er lite effektiv, ca. 15 prosent, mens effektiviteten er rundt 50 prosent i kornproduksjon. Han slutter av dette at N-gjødsel i moderate mengder til korn i U-land vil ha en større effektivitet enn til grasmark i I-land. Selv om det ikke er noen tvil om at nitrogengjødsel er en energiprodukerende faktor, vil det være vel anvendte forskningspenger å arbeide med spørsmål som biologisk N-fiksering, kløverens stabilitet, effektiviteten av ulike N-gjødselslag, fjerning av andre begrensninger i systemet klima-plante-jord.

Beregningen gjelder den midlere virkningsgraden. Vi ser at forbedene, særlig ved blandet gjødsling med husdyrgjødsel, kommer ut bra både i tørrstoffavling og energivirkningsgrad.

Energibruk og energiutbytte for belgvekster og gras er gjennomgått av Breirem (1982) som på grunnlag av tall fra MacKey (1978) viser at den beregnede energiutnyttningen av fotosyntese for produksjon av karbohydrat-protein-fett har vært henholdsvis 93-49-82 prosent. Proteinplantene gir et dårligere energiutbytte enn karbohydratplantene. Breirem (ibid.) hevder bl.a. at det fra energiøkonomisk synspunkt ikke er noe å innvende mot dyrking av korn til husdyrfôr. Det er kostbart energimessig å produsere protein i gras. Det er grunn til igjen å vurdere innblanding av belgvekster i enga. Vi gjengir i tabell 9 noen resultater av Gordon (1980).

Tabell 9. Innsats av N og energi, samt utbytte i avling og energi for gras og gras + kløver e Gordon (1980).

Innsats og utbytte	Gras	Gras + kløver
N kg/ha	450	60
Energiinnsats i alt MJ/ha	37490	6810
Avling kg tørrstoff/ha	13200	6700
Energiutbytte MJ/ha	145200	106700
Energivirkningsgrad	3,8	15,7

Virkningsgraden er beregnet på grunnlag av omsettbar energi i føret. Avlingsmengden, målt som energi har altså vært størst ved stor N-mengde til gras, mens virkningsgraden har vært langt større for gras + kløver.

I noen eldre engforsøk fant Ødelien og Hvidsten (1958) ganske store avlinger av gras ved to høstinger, første høsting ved skyting av timotei, som vist i tabell 10. Dette var kløverfattig eng.

Tabell 10. Beregning av energivirkningsgrad, e_N , for N-gjødsling til eng på grunnlag av resultater fra Ødelien og Hvidsten (1958). (Avling som omsettbar energi).

N-gjødseltrinn Kg/ha	e_N
0 - 60	6,1
60 - 120	4,9
120 - 180	2,6

Tørrstoffavlingen ved 0 kg N var 6,4 t/ha og ved 180 kg N 13,3 t/ha. Ingebrigtsen (1960) gjorde forsøk med kløverrik eng. En beregning på basis av hans resultater viste at avlingene 1., 2. og 3. år uten N var henholdsvis 8,6 t/ha - 6,9 t/ha - 4,7 t/ha (regnet som høy). Energivirkningsgradene for 0-42 kg N og 42-84 kg N pr ha var henholdsvis 5,6 og 4,2 de to første årene og ca 1 enhet høyere det tredje året. Det var naturlig å dra den

Arnor Njøs
Institutt for jordkultur
N-1432 As-NLH

ENERGIFORBRUK OG ENERGIUTNYTTING VED BRUK AV NITROGENGJØDSEL

INNLEDNING

Dagens jordbruk er innrettet på å øke areal- og arbeidsproduktiviteten og å minske risiko og variasjon i produksjonen. I plan-teproduksjonen søker en å kapre mest mulig solenergi ved innsats av hjelpeenergi. Vi kan si at jordbruk er et markbrukssystem som går ut på å utnytte de biologiske produksjonsmulighetene ved en økt strøm av hjelpeenergi gjennom systemet. Energibruk har også en økonomisk side. I en rapport fra Council for Agricultural Science and Technology (CAST, 1977) forklares det hvorfor energibruken har økt. Et dagsverk i jordbruket kostet i 1976 i USA 26,50 dollar. Det samme arbeidet kunne utføres med elektrisk kraft for omtrent 3 cent.

I jordbruksproduksjonen under nordiske forhold har de mineralske næringsstoffene en spesiell stilling. Den naturlige tilførselen i form av nedbør, tørravsetninger, mineralisering av dødt plantemateriale og forvitring kan holde en produksjon i gang så lenge plantemassen visner ned og beholdes på arealet fra år til år. Men når produktet fjernes fra arealet, vil tappingen av næringskapital ikke kunne dekkes av naturlige tilførsler. I det nordiske utmarksjordbruket ble det høstet før i utmarka, og husdyrgjødsel ble brukt i nærheten av tunet. Noe virkelig sirkulasjonsjordbruk har ikke eksistert.

Jordbrukets andel av samfunnets totale energibruk har ikke endret seg så mye de siste 50 år. I flere land regner en med at jordbrukets andel ligger rundt 3-4 prosent, mens det som medgår i hele matsystemet kan være 15-16 prosent (Leach 1976, CAST 1977). I Sverige ble det regnet at jordbruket tok ca. 4 prosent i 1972 (Gunnarson 1981) i Danmark 7,5 prosent i 1975 (Elkæk 1977) Utviklingen av jordbrukets energibruk i Norge er vist i tabell 1.

Tabell 1. Jordbrukets andel av samlet energibruk i Norge 1929-79. NLVF utredning 111 (1980).

År	Hjelpeenergi PJ	Hjelpeenergi Relativ	Prosent av Norges energibruk
1929	7,5	100	4,0
1949	14,0	187	6,7
1979	34,1	455	4,9

Det kan være grunn til å se på utviklingen av de tre viktige ressursene energi, areal og arbeid. Dette er gjort i tabell 2, hvor det er beregnet energibruk pr. produsert enhet omsettbar energi.

Tabell 2. Relative tall for bruk av energi, areal og arbeid pr. produsert enhet omsettbar energi i mat e. Breirem (1982).

Ressurs	1929	1949	1979
Hjelpeenergi	100	163	309
Jordbruksareal	100	83	63
Arbeid	100	80	25

Arbeidsproduktiviteten har steget til det 4-dobbelte, men også arealproduktiviteten har økt betydelig. I denne perioden har det samtidig skjedd en betydelig økning i andelen av husdyrprodukter i jordbruket, fra 65-67 prosent i 1929-39 til 70-80% i 1969-79 (Breirem ibid.)

I tabell 3 er vist fordelingen av ulike grupper hjelpeenergi innen norsk jordbruk i perioden 1929-79.

Tabell 3. Fordeling av energibruk i norsk jordbruk i perioden 1929-79 (NLVF utredning lll (1980)).

Energibruk	1929	1949	1979
Olje og elektrisk energi	6	8	23
Maskiner	8	8	13
Kunstgjødsel og kalk	21	26	27
Innkjøpt fôr	38	37	21
Bygninger	23	17	10
Annet	4	4	6

Bruken av nitrogen svarte i 1979 til ca. 1 prosent av Norges samlede energibruk, mens bruken av privatbiler utgjorde 15% (Breirem, ibid.)

Næringsstoffer

I dagens jordbruk blir næringsstoffene stort sett skaffet fra kilder utenom bruket, nitrogen blir tappet fra lufta, fosfor og kalium blir skaffet fra fosfat- og kalileier ved bruk av hjelpeenergi. Produksjon, pakking og transport krever energi. Spesielt mye hjelpeenergi går det til å produsere nitrogen. I fig. 1 er vist utviklingen i bruk av hjelpeenergi i nitrogenproduksjon fra Birkeland/Eydes tid og fram til i dag. Figuren gjelder ren prosessenergi.

Etter NLVF-utredning lll (1980) går det med ca. 65 MJ eller omtrent 1,6 kg olje-ekvivalenter til 1 kg nitrogen. Bruk av energi til emballasje og transport fram til gården svarer til ca. 5 MJ pr kg N. Når nitrogengjødsel er kommet fram til gården, kan vi regne energi-ekvivalentet til 70 MJ pr kg N (Romarheim 1982).

I økonomien bruker en prisene til å finne optimalpunktet for en produksjon. I en energianalyse blir det på samme måte brukt energimål både for produkt og for innsatsfaktor. Det er bare for produkter som skal brukes til energi (f.eks. ved, olje fra

Det er forutsatt at fôret er brukt til melkeku. Vi ser at e_N er 1,0 eller større bare ved økning i N-gjødsling fra 160-200 kg ved 2 høstinger, men opp til 240-280 kg N ved 3 høstinger.

Hvis en her setter opp en sammenligning mellom 2 og 3 høstinger, må en ta med energi til høstingsoperasjonene, maskinslitasje og vedlikehold, i tillegg til selve nitrogengjødselas energibehov. Her er det brukt 40 kg/ha mer av N ved 3 i forhold til 2 høstinger. Tar en med energihøsten og energiforbruket i en balanse-regning, finner en at energitapet ved 3 høstinger ville svare til henholdsvis 190 og 140 liter dieselbrensel pr hektar. Her var det regnet med 40% tillegg for brensel for den 3. høstingen og 20% tillegg for slitasje/vedlikehold. I forsøkene til Pestalozzi var økningen i råproteinmengde henholdsvis 230 og 340 kg/ha for minste og største N-mengde ved 3 høstinger i forhold til 2. Förenhetskonsentrasjonen er normalt noe større ved 3 enn ved 2 høstinger.

Under Vestlandsforhold i Norge har Myhr (1975) funnet avligningsnedgang på 4-5 tonn tørrstoff pr hektar av timotei ved 3 i forhold til 2 høstinger. I en forsøksserie med jordpakking i eng, (Myhr og Njøs 1983) har det vært større nedgang i avling for jordpakking ved 3 enn ved 2 høstinger. I ett forsøk var det 30-40 prosent kveke ved 3 høstinger mot 16-27 prosent kveke ved 2 høstinger. Det går hardt utover timoteien ved mer enn 2 høstinger.

Uhlen (1970) har i en forsøksserie vist at meravlingene for store N-mengder avtok med alder av enga. Beregninger med grunnlag i Uhlen's tall viste at e_N ble mindre enn 1,0 ved N-mengder større enn 200 kg/ha, bortsett fra 1. år.

Ved dagens norske engdyrking er det en rekke problemer som henger sammen med kravet til høg fôrvalitet, med stort husdyrtall i forhold til gårdens heimeareal og med stort forbruk av fôr produsert utenfor gårdens heimeareal. Driftsmåten fører med seg stor trafikk ved vannkjøring til fjøset av rått gras, og fra fjøset i form av bløtgjødsel. Resultatet er mange hjulspor, for store mengder bløtgjødsel, dårlig overvintring av graset, overflateavrenning av fosfater til vassdragene.

I danske undersøkelser av Hjortshøj Nielsen & Rasmussen (1978) ble de forskjellige fôrmidlene sammenlignet med hensyn til avling, og virkningsgrad av hjelpeenergi. Resultatene er vist i tabell 8.

Tabell 8. Energiutbytte i omsettbar energi pr enhet hjelpeenergi for noen fôrvekster e. Hjortshøj Nielsen & Rasmussen (1978).

Vekst	Tørrstoff avling t/ha	N kg/ha	Energivirk- ningsgrad
Bygg (uten halm)	3,7	110	2,8
Fôrbeter, med husdyrgjødsel	11,0	110	5,1
" uten "	11,0	170	4,3
Kløver-grassurfôr	9,0	320	2,3

Det er en skarp overgang fra energigevinst til energitap ved økning fra 60 til 90 mm vanning.

Særlig i leirjordsområder med forsommertørke kan en tidlig vanning, for å sikre full busking, tidlig næringsopptak og ensartet, tidlig modning, ha stor praktisk betydning og gi en svært høy virkningsgrad. I India blir vanning ved buskingsstadiet i hvete kalt "life saving irrigation".

Nitrogen til poteter.

Noen forsøksresultater av Bærug og Enge (1971) er brukt som basis for beregning av e_N i poteter. Se tabell 6.

Tabell 6. Virkningsgrad, e_N , for stigende mengder N-gjødsel til poteter beregnet ut fra et materiale av Bærug og Enge (1971) ved bruk av poteter til mat.

	N-trinn, kg/ha			
	50-100	100-150	150-200	Middel
Kg poteter/kg N	+ 124	+ 76	+ 29	
e_N	5,3	3,3	1,2	3,3

Sannsynligvis er meravlingene i dette materialet noe større enn vanlig. Det er regnet med 3 MJ pr kg knoller eller 12,5 MJ pr kg tørrstoff. Den midlere potetavlingen ved 50 kg N/ha var 36100 kg/ha. Vi ser her at e_N har vært større enn 1,0 selv ved økning i N-mengde fra 150-200 kg N/ha. Hvis en skal bruke potetene til mat, kommer selvsagt kvaliteten inn i bildet. Ved dyrking av poteter som energivækst, f.eks. til etanolproduksjon, kan e_N være en svært nyttig parameter. Da måtte en regne på etanol låget av poteter og energi som bruttoenergi.

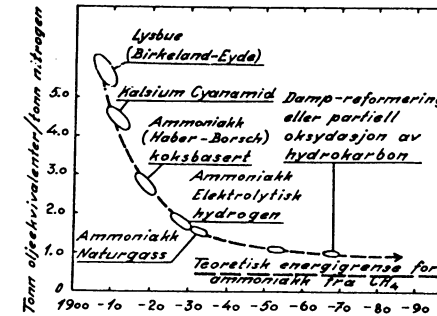
Nitrogengjødsel til gras.

Et materiale som omfatter høstetid og N-gjødsel til eng er publisert av Pestalozzi (1980). I dette materialet var det mindre tørrstoffavling ved 3 høstinger enn ved 2 høstinger, og selv om en regnet på førenhetsbasis var det omtrent ikke forskjell. Tabell 7 viser virkningsgraden for N-gjødsling. Tallene er beregnet ut fra korrigerte tørrstoffavlinger slik at større energinnhold ved tidlig høstestadium skulle komme fram.

Tabell 7. Virkningsgrad, e_N , for N-gjødsling ved 2 og 3 høstinger i gras på Sør- og Vestlandet, samt tørrstoffavling ved minste og største N-mengde. Beregnet på grunnlag av Pestalozzi (1980).

Antall høstinger	Avling t tst/ha		Virkningsgrad, e_N			
	minste N-mengde	største N-mengde	N-trinn, kg/ha			
			160-200	200-240	240-280	280-320
2	10,4	11,0	1,3	0,5	0,4	
3	9,0	10,0		1,8	1,0	0,6

raps, eller etanol fra sukker) at en slik betraktning er helt adekvat. Energi i mat og energi i gjødsel har ulik etterspørsel og ulik pris. Energianalyser har likevel en verdi for sammenligning mellom produksjoner og for vurderinger når energi er i en mangelsituasjon, eller når det skjer brå forandringer i energiprisene.



Figur 1. Energiforbruket ved binding av nitrogen (NOU 1974)

For å få et mål for energiutnytting ved bruk av gjødsel, kan en bruke grenseproduktiviteten av energien eller energivirkningsgraden:

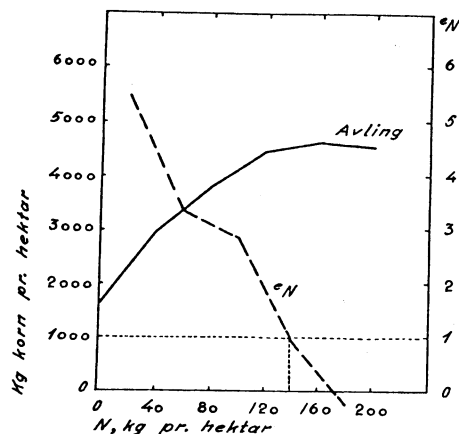
$$e_G = (a \cdot \Delta A) / (g \cdot \Delta G)$$

e_G = grenseproduktiviteten for energi ved bruk av gjødsel
 a = energinnhold pr enhet avling
 ΔA = meravling
 g = energi-ekvivalent for gjødsel
 ΔG = mer gjødsling

Resultatet av en slik beregning er avhengig av a , f.eks. om a representerer bruttoenergi (brennverdi) eller omsettbare energi. Vi vil stort sett bruke omsettbare energi. Maksimum av en funksjon finner vi ved å sette den deriverte av funksjonen = 0. I det følgende vil vi for planteproduksjonen betrakte $e = 1,0$ som et mål for optimal energibruk. Det svarer til en innsatsmengde hvor energiverdien av den sist produserte enheten er lik innsatsen for å produsere enheten. Vi bruker en ren marginalbetraktning. Mange vil hevde at det er kunstig å velge $e = 1,0$ som referansepunkt, fordi produksjonen kan være økonomisk forbi denne verdien. Videre vil det være røster som hevder at loven om de avtakende utbyttetilvekster ikke svarer til virkeligheten. Prof. Larsen (1976) har gjort rede for synspunkter på dette spørsmålet. - I de følgende avsnitt vil vi ta for oss noen beregninger av energivirkningsgrad for nitrogengjødsel til korn, gras og poteter, ved eksempler fra Norge.

Nitrogengjødsling til korn

I fig. 2 er gitt grensevirkningsgrad for nitrogengjødsel til korn, beregnet på grunnlag av opplysninger fra I. Lyngstad (upubl.)

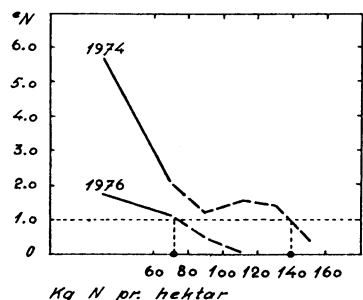


Figur 2.
Avling og nitrogen-gjødsling til bygg år 2, i et flerårig forsøk. e_N = N-gjødselsenergetiske grensevirkningsgrad. Beregnet på grunnlag av tall oppgitt av I. Lyngstad (upubl) fra et forsøk på lettleire i Ås, Norge.

Den midlere virkningsgraden er ca. 3,0. Hvis det regnes bruttoenergi i korn + halm, blir virkningsgraden betydelig større.

Samspill nitrogen x år

I figur 3 er vist energivirkningsgrader for N i en forsøksserie med korn på Østlandet. Beregningene er utført på grunnlag av opplysninger i Lyngstad (1977).



Figur 3.
 e_N = grensevirkningsgrad for energiutbytte i forhold til energiinnsats ved N-gjødsling til korn, beregnet ut fra resultater i en forsøksserie av Lyngstad (1977)

Vi ser at virkningsgraden for N-gjødsel faller med økende N-mengde, og at den går under 1,0 ved 140 kg N/ha i 1974 og ved 70 kg N/ha i 1976. Året 1974 var et år med svært tidlig såing, mens 1976 var et tørkeår. Uten tvil er vannfaktoren en viktig del av forklaringen på forskjellen mellom de to årene. Det ser ut til at en kan holde en flat e_N -kurve til betydelig høyere N-gjødsling i et år med tidlig såing. I praksis blir det i Norge tilrådd å redusere N-gjødslingen med 10 kg pr hektar per uke i forhold til "normal" såtid til korn og poteter.

Hvis vi regner med omsettbar energi i bygg 11MJ/kg og ikke tar hensyn til halmen og med et energiekvivalent på 70 MJ/kg N, vil e_N bli lik 1,0 ved ca. 6 kg meravling korn. Økonomisk optimum

ligger med dagens kornpriser i Norge ved ca. 2-2,5 kg meravling¹⁾ (1983). Da prisene på nitrogen er stigende, er det trolig at denne forskjellen kan jamne seg ut med tiden. Tar vi imidlertid i betraktning alle de uheldige følgene av for sterk N-gjødsel, f.eks. færre skurtreskerdager ved utsatt modning, større energiforbruk til tørking pga. større vanninnhold og på lengre sikt større energiinnsats mot økte ugrasmengder (kveke), vil det økonomiske optimum selv i dag forskyves nedover mot energimessig optimum.

Samspill nitrogen x såtid

I tabell 4 er vist beregninger av e_N med grunnlag i avlinger av korn i et forsøk med N x såtid (Lyngstad 1973).

Tabell 4. Energivirkningsgrad for nitrogen, e_N beregnet på grunnlag av avlinger i forsøk med N x såtid til korn (Lyngstad 1973).

Såtid	N-trinn, kg/ha			Middel
	23 - 46	46 - 69	69 - 92	
3. mai	4,2	3,1	1,8	3,0
1. juni	2,4	0,6	0,2	1,1

Det er regnet med 11 MJ omsettbar energi pr kg korn. Vi ser at e_N ved første såtid har variert fra 4,2 til 1,8 når N-mengden har økt fra 23 til 92 kg N/ha. Ved siste såtid har e_N vært 2,4 for første N-tillegg og under 1,0 ved videre økning av N-mengden. Tabell 4 viser at ved tidligste såing burde det ha vært gitt større N-mengde enn 92 kg pr hektar for å nå et energimessig optimum.

Ved bruk av halmen til brensel eller fôr (NH_3 -behandling) ville vi ha fått større verdier for energivirkningsgraden.

Virkning av vanning

Den store variasjonen for optimale gjødselmengder som er vist i figur 3, kan strengt tatt ikke aksepteres i et moderne jordbruk. I forrige avsnitt så vi den sterke virkningen av tidlig såing i retning av å flytte optimalpunktet mot større N-mengde.

Forsøk i Finland (Elonen 1981) har gitt betydelige meravlinger for vanning til hvete, spesielt av tidlig vanning. N-gjødslingen var her 136 kg N pr ha. Hvis en regner 11,3 MJ omsettbar energi pr kg hvete og 43 MJ pr hektar-mm²⁾, kan det beregnes følgende grensevirkningsgrader, e_v , for vanning (tabell 5):

Tabell 5. Energivirkningsgrad for vanning til hvete i Finland, beregnet på grunnlag av opplysninger i Elonen (1981).

Vanningstrinn:	0-30 mm	30-60 mm	60-90 mm
Meravling pr hektar	+ 1140 kg	+ 570 kg	- 250 kg
e_v	10,0	5,0	- 2,2

1) I praksis vil vi regne med bortimot det dobbelte
2) Se Njøs (1981)