

# Energiforhold i den danske landbrugsproduktion

Af Gunver Bennekou, Peter Rand og Henning Schroll

Bennekou, G., Rand, P., & Schroll, H. 1974: Energiforhold i den danske landbrugsproduktion. *Geografisk Tidsskrift* 73: 36-48. København, juni 1, 1974.

*The increasing supply of energy in Danish agricultural production has reached a level where the energy lost on its way through the food chain in animal production only just balances with the gain of energy obtained by vegetable production.*

Gunver Bennekou, M. Sc., Peter Rand, M. Sc., Henning Schroll, M. Sc. Zoological Institute University of Copenhagen, Universitetsparken 15, DK-2100 Copenhagen Ø.

## Formål

Denne artikel er et delprojekt af et større gruppenspeciale – Dansk Landbrug, Økologisk belyst – udarbejdet af syv studerende ved Københavns Universitet.

Formålet med arbejdet har været at belyse de energitiske konsekvenser af industrialiseringen af den danske landbrugsproduktion.

En primær forudsætning for denne industrialisering har været en fortsat import af billigt, fossilt brændstof. Dette forhold har betydet, at landbrugsproduktionen i stigende grad er blevet afhængig af stabile tilførsler af olie.

På samme måde, som man kan opstille et økonomisk regnskab for produktionen, har vi opstillet et energiregnskab.

Økonomisk profitable produktionsformer har på mange måder vist sig utilstrækkelige i andre sammenhænge – f.eks. i spørgsmålet om at skaffe tilstrækkelig med føde til en stigende befolkning. Her mener vi, at energetiske betragtninger kan give nogle ideer, uden at disse alene er tilstrækkelige til at løse globale sultproblemer.

## Energi som værdimål

Ved brugen af kcal. som kvalitativ måleenhed må man gøre sig klart, at denne, ligesom den økonomiske målestok, ikke fuldt ud kan beskrive alle kvaliteter indenfor produktionen. Der eksisterer således ikke en direkte afhængighed mellem et produkts energiindhold og dets værdi som føde for konsumenten. Dette skyldes dels forskelle i de enkelte dyregruppers evne til at fordøje produktets forskellige biokemiske elementer (mono- og polysaccharider, peptider o.s.v.), og dels har de forskellige dyregrupper forskellige krav til fødens kvantitative sammensætning af disse. Dette gælder i særlig grad det for kon-

sumenterne så vigtige spørgsmål om fødens indhold af protein og dets biologiske ernæringsværdi. For mennesket, som er sidste led i landbrugsfødekæden, er kravene til en tilstrækkelig ernæring imidlertid ofte kvantitative. En kost, som består af forskellige naturlige fødevarer, vil, under forudsætning af, at den tilfredsstiller de kaloriemæssige krav, samtidig tilfredsstille organismens krav til en optimal ernæring (Ege, 1965).

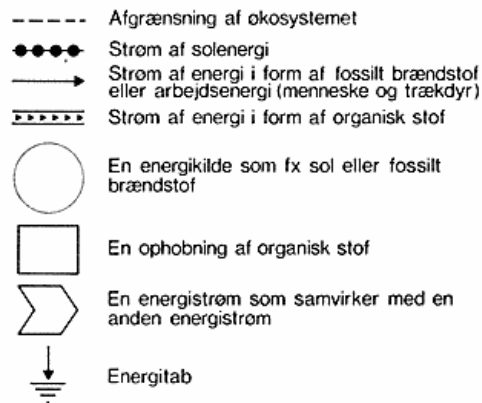


Fig. 1. Modelsymboler (delvis efter H. T. Odum, 1971).  
Fig. 1. Model symbols (partially after H. T. Odum, 1971).

Ved naturlige fødevarer forstås dels ubehandlede dele af dyr eller planter, dels dele af planter og dyr, som ikke har fået indholdet af livsnødvendige næringsstoffer frasorteret, ødelagt eller stærkt reduceret gennem industriel forarbejdning eller u hensigtsmæssig tilberedning.

Dette betyder, at det globale fødevarerproblem i første række er et spørgsmål om at producere en tilstrækkelig

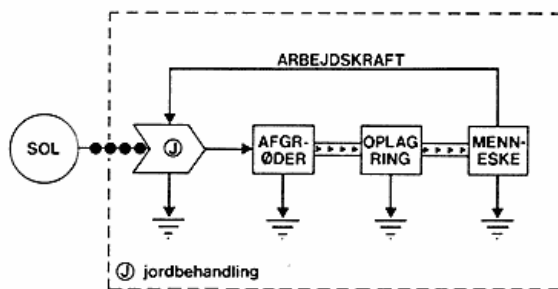


Fig. 2. Model af landbrug, hvor mennesket er eneste konsument.  
Fig. 2. Model of agriculture with only vegetable food production.

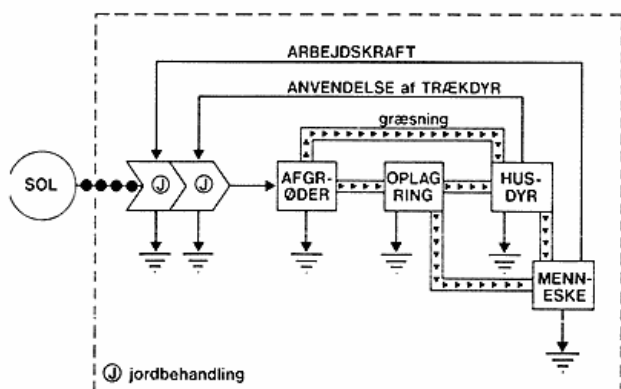


Fig. 3. Model af landbrug med husdyrhold.  
Fig. 3. Model of agriculture with animal husbandry.

mængde (kalorier) naturlige fødevarer, samt et behov for en mere ligelig fordeling af produktionen.

En forudsætning for, at der i fremtiden kan skaffes en tilstrækkelig fødemængde til et stadig stigende antal mennesker, må være, at der sker en produktionsforøgelse på de allerede dyrkede arealer og en stadig udvidelse af det dyrkede areal. Denne nyopdyrkning vil overvejende finde sted på marginaljorde, da den lettest tilgængelige dyrkningsjord må forudsættes allerede at være taget i anvendelse. Nyopdyrkingen og intensivering af produktionen på de allerede opdyrkede arealer vil derfor kræve en væsentlig forøgelse af de energetiske produktionsomkostninger. Foruden et intensivt forædlings- og forskningsarbejde har de senere års forøgelse af fødevarerproduktionen krævet en massiv indsats af teknologi og hermed store mængder energi i form af fossilt brændstof.

Man må derfor på længere sigt forvente et stadigt voksende energiforbrug til produktionen af den nødvendige fødemængde. Sættes dette forhold i relation til de stadig mere sparsomme forekomster af olie, må man forvente, at

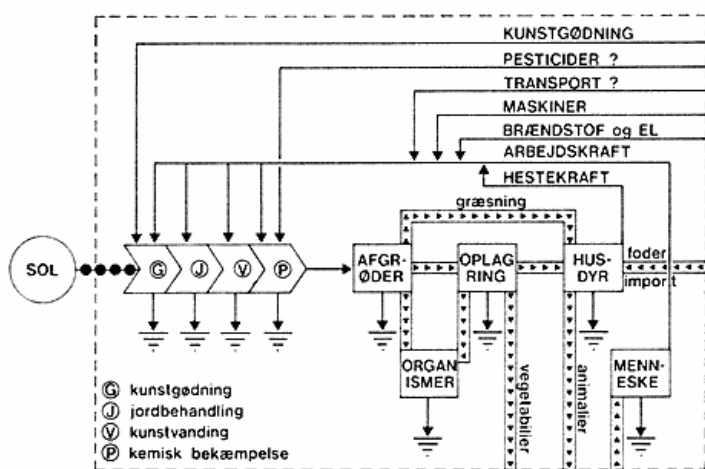


Fig. 4. Model af industrialiseret landbrug.  
Fig. 4. Model of industrialized agriculture.

der både globalt og nationalt må foretages en produktionsprioritering ud fra det aktuelle fødevarerbehov og hvilke produktioner, der giver det største energetiske udbytte af den tilgængelige oliemængde. En af forudsætningerne for en rimelig fordeling af energiressourcerne må være, at der bliver opstillet energetiske regnskaber for et så stort antal energikrævende produktioner som muligt. De følgende beregninger skal ses som et skridt i denne retning.

### Opstilling af modellen

Til belysning af energiforholdene i den danske landbrugsproduktion har vi opstillet en model, som beskriver energistrømmene i produktionen.

Modellens funktion er at give en fysisk præsentation af det virkelige system, men da det ved konstruktionen af modellen har været nødvendigt at foretage visse forenklinger, vil modellen ikke kunne give et fuldstændigt billede af det betragtede system. Anvendelsen af modellen har imidlertid den fordel, at de faktorer, der indgår i systemet, kan fremstå på en mere overskuelig form end ved en verbal formulering af systemets komponenter og deres indbyrdes sammenhænge.

Tabel 1. Danmarks landbrugsareal.

	I omdrift ha.	Uden for omdrift ha.	I alt ha.
1936	2.635.352	560.576	3.195.928
1970	2.641.858	299.458	2.941.316

Table 1. Extent of the agricultural area.

Til beskrivelsen af landbrugsproduktionens forskellige komponenter og deres funktion har vi benyttet en række symboler konstrueret af H. T. Odum (1971) (fig. 1).

Det simpleste landbrugssystem består af komponenterne: sol – primærproduktion og mennesket som eneste konsument. I dette system vil der således være to energiinputs, dels solenergien, dels hjælpeenergien som tilføres via menneskets arbejdskraft (fig. 2).

I et landbrugssystem, hvor der indgår husdyrhold, vil dette betyde et output i form af animalier til menneskekonsument, men der vil også optræde et ekstra input repræsenterende udnyttelsen af husdyrenes trækraft i produktionen (fig. 3).

I de to ovennævnte landbrugssystemer vil den energi der bruges, med undtagelse af solenergien, findes inden i systemet. D.v.s. energiinput vil afhænge af output. I det industrialiserede landbrug vil der være mange energitilskud, som kommer fra andre økosystemer. Hvor mange og hvor store inputs vil her afhænge af de økonomiske relationer mellem output og input, d.v.s. prisen på produkterne og produktionsmidlerne.

I det industrialiserede landbrug vil anvendelsen af

kunstgødning, pesticider, maskiner o.s.v. betyde en række yderligere hjælpeenergiinputs. Disse energiinputs repræsenterer dels den energi, det har kostet at udvinde og forarbejde disse produkter, dels den ved forarbejdningen anvendte arbejdskraft. Endvidere forbruges energi ved anvendelsen af produktionsmidlerne (fig. 4).

Energimodellen for den danske landbrugsproduktion er opstillet og beregnet for driftsårene 1936/37 og for 1970/71. Valget af driftsåret 1936/37 skyldes ønsket om at beregne energiforbruget for et år, hvor heste endnu spillede en betydelig rolle i produktionen. 1936/37 var samtidig det år, hvor man indenfor landbrugsstatistikken startede de mere omfattende maskintællinger. Driftsåret 1970/71 var det seneste år, for hvilket der ved beregningstidspunktet forelå tilgængelig landbrugsstatistik.

Landbrugsarealet for de to år er vist i tabel 1.

### Beskrivelse af modellen

På de følgende sider vil vi, medens vi følger energistrømmen i modellen, give en kvalitativ og kvantitativ beskrivelse af modellens enkelte dele.

Først beregnes solenergien. Dernæst beskrives de enkelte energitilskud (hjulpeenergi), som sammen med solenergien danner basis for primærproduktionen. Endvidere beskrives primærproduktionens fordeling på husdyrfoder og transport ud af økosystemet, og endelig beregnes størrelsen af den animalske produktion.

### Solenergi.

Omdannelsen af solenergi til energi bundet i organisk stof sker ved planternes fotosyntese, hvorunder kultveilete ( $\text{CO}_2$ ) og vand ( $\text{H}_2\text{O}$ ) reagerer under dannelse af organisk stof ( $\text{CH}_2\text{O}$ )<sub>n</sub> og ilt ( $\text{O}_2$ ). Til reaktionen kræves energi, som absorberes fra sollyset via planternes klorofyl. Denne absorption foregår ikke lige effektivt i alle sollysets bølgelængdeområder, og der vil derfor være et maksimum for klorofyllets udnyttelse af solenergien. Men selv ved dette maksimum vil kun en lille del af den indstrålede energimængde kunne udnyttes.

Tabel 2. Gennemsnits-indstråling over Danmark.

	Arsindstråling $10^9$ kcal/ha/år	Vækstsæson- indstråling $10^9$ kcal/ha
1936	8,8	7,1
1970	8,8	7,1

Table 2. Insolation over Denmark. Average values for the years 1955-64.

Den del af solenergien, som ikke udnyttes i fotosyntesen, går til dannelsen af makroklimaet (vinde, havstrømme o.s.v.), driver vandkredsløb o.m.a.

Solindstrålingen over Danmark er blevet målt af H. C. Aslyng og S. E. Jensen (1966) i årene 1955-1964. Som

gennemsnitsindstråling fandt de en værdi på  $88.488 \text{ cal/cm}^2$  pr. år, hvilket svarer til  $88.488 \times 10^8$  kcal/ha pr. år.

Vækstsæsonen i Danmark er, på grund af klimaet, indskrænket til månederne april-september. Vi har derfor udregnet indstrålingen i denne periode. Den udgør ca. 80 % af årsindstrålingen ialt  $71,165 \times 10^8$  kcal/ha (tabel 2).

### Hjulpeenergi.

Som det fremgår af modellen, tilføres landbruget foruden solenergi også energi i form af kunstgødning, pesticider, maskiner, brændstof, elektricitet samt menneskets arbejdskraft og anvendelse af heste.

Disse sekundære energiinputs (energitilskud) er en hyppigt overset udgiftsside i landbrugets samlede energiregnskab. Med udtrykket hyppigt overset udgiftsside sigtes her til landbrugsorganisationernes opgørelser over produktionens brodfødningssevne.

I det følgende har vi søgt at beskrive størrelsen af og udviklingen inden for nedenstående områder.

Pkt. 1. Energiinput til afhjælpning af produktionsbegrænsende faktorer (kunstgødning, kunstvanding).

Pkt. 2. Energiinput til begrænsning af fødekædetab (pesticider, korntørring).

Pkt. 3. Energiinput i form af menneskets arbejdskraft og anvendelse af heste.

Pkt. 4. Energiinput som erstatning for menneskets arbejdskraft og anvendelse af heste (maskiner, brændstof, elektricitet).

Pkt. 5. Energiinput som følge af centralisering af befolkning og fabrikation af produktionsmidler (transport).

De i tabellerne præsenterede resultater hviler på et meget omfangsrigt statistisk materiale, som det af pladshensyn har været nødvendigt at reducere. Der henvises til »Dansk landbrug - økologisk belyst« (1973) bilag 1-11.

Ved beregningerne er der benyttet de i tabel 3 angivne værdier for tørstof- og energiindhold.

Pkt. 1. Energiinput til afhjælpning af produktionsbegrænsende faktorer.

Enhver afvigelse fra de optimale forhold for de enkelte vækstfaktorer vil bevirke en formindskelse af primærproduktionen. For primærproduktionen under danske forhold vil dette i særlig grad gælde vækstfaktorerne: lys, temperatur, næringssalte og vand. Da kontrol med lysintensiteten og temperaturen ikke lader sig praktisere i større målestok (som i drivhuse), er hovedvægten i disse hjælpeenergiinputs lagt på forbedring af næringssalttilførslen.

Energiinput ved tilførsel af gødning og vand skyldes ikke et direkte energiindhold i stofferne (som for olie), men de med fabrikationen forbundne energiomkostninger i form af f.eks. forbrugt oliemængde pr. produceret mængde næringssalt.

Tabel 3. Værdier for tørstof- og energi-indhold.

Produkt	Tørstof- procent	Energi- indhold kcal/kg tørvægt	Produkt	Tør- stof- pro- cent	Energi- indhold kcal/kg tørvægt	Energi- indhold kcal/kg vådvægt
Vinterhvede	85	4.408	Protein		5.650	
Vårhvede	85	4.478	Lipid		9.450	
Vinterrug	85	4.351	Kulhydrat		4.100	
Vårrug	85	4.351	Blod			990
Byg	85	4.410	Hjerte			1.400
Havre	85	4.586	Nyre			1.530
Blandsæd	85	4.498	Brisler			1.580
Gennemsnit for korn	85	4.505	Tunge			1.500
Gennemsnit for halm	87,5	4.353	Kalvekød			2.000
Bælgsæd	85	4.538	Kalve- og okseknogler			5.000
Kartofler	22,5	4.121	Kalve- og oksetalg			9.450
Sukkerroer	23,4	3.989	Kalve- og okseindmad			1.400
Kålroer	11,5	4.158	Oksekød			2.300
Sukkerroetop	15	3.640	Høns, kyllinger, kalkuner			2.470
Gennemsnit for græs	20	4.380	Ænder			2.360
Græsrødder + stubbe	50	4.000	Gæs			3.730
Gennemsnit for klid, fodermidler m.m.	88	4.482	Hestekød			1.900
Bomuldsekstraktionsaffald	88	4.650	Heste- og fåreknogler			5.000
Solsikkeekstraktionsaffald	88	4.719	Heste- og fårefedt			9.450
Kokoskager	88	5.185	Fårekød			2.310
Palmekerneexpeller	88	4.982	Æg			1.780
Jordnøddeskager	88	5.185	Komælk (frisk)	13	5.814	
Sojabønneekstraktionsaffald	88	4.805	Sødmælk			750
Gennemsnit for foderkager	88	4.888	Skummet- og kærnemælk			428
Sukkerroemelasse	80	3.892	Valle (frisk)			200
Pulp (frisk)	19	4.205	Koks			7.950
Mask (tørret)	90	4.869	Petroleum			10.500
Bærme (tørret)	88	4.290	Benzin			7.600
Kødfodermel	90	5.479	Diesel			8.400
Fiskemel	90	4.582				
Skummetmel (tørret)	92	4.537				

Table 3. Content of dry matter and energy.

#### Kunstgødning.

Planternes hovednæringsstoffer er N, P og K, som her i Danmark før sidste verdenskrig hovedsagelig tilførtes jorden i form af kalksalpeter, superfosfat og kali. Efter anden verdenskrig er der imidlertid, og navnlig indenfor de sidste ti år, sket en betydelig ændring i de anvendte gødningsformer. Således har der i 1970/71 hovedsageligt været anvendt følgende typer: flydende ammoniak, kalksalpeter, kalkammonsalpeter, PK-gødninger og NPK-gødninger.

I beregningerne er der ikke inkluderet energiforbrug ved fremskaffelse og forarbejdning af naturråstoffer samt

deres transport her til landet. De beregnede energiomkostninger i tabel 4 repræsenterer således kun energiudgifterne ved videreforarbejdningen af råstofferne. Det beregnede samlede energiinput vil derfor være en minimumsværdi.

I tabel 4 ses at der er sket en stor stigning i energiforbruget til fremstilling af kunstgødning fra 1936 til 1970. Det skyldes i høj grad den store stigning, der har været i forbruget af kvælstofgødning. Kvælstofgødning fremstilles hovedsageligt ud fra atmosfærisk kvælstof, og denne fremstillingsproces er meget energikrævende.

Tabel 4. Beregnede energiøkonomkostninger.

Art	Gødningsforbrug mængde 10 <sup>3</sup> tons	Olieforbrug pr.ton vare tons/tons	Oliefor- brug ialt 10 <sup>3</sup> tons	Energi- forbrug 10 <sup>12</sup> k.cal	Energifor- brug pr.ha 10 <sup>5</sup> kcal/ha
Kalksalpeter	115 (15,5 % N)	0,35	40,0		
Svovlsur ammoniak	43 ( = )		9,8		
Kalkammonsalpeter	2 ( = )		0,5		
1936/37 N-holdige bland.gødn.	1 ( = )	0,29	0,3		
Super-og Thomasfosf.	360	0,02	7,2		
Kaliumklorid	70	-			
Chilesalpeter	50 (15,5 % N)	-			
			57,8	0,6	1,8
Kalksalpeter	160 (15,5 % N)	0,35	56,0		
Kalkammonsalpeter	100 (26,0 % N)	0,44	44,0		
1970/71 Flydende ammoniak	160 (82,2 % N)	1,21	194,0		
P- og PK-gødning	570	0,02	11,0		
NPK-gødning	600	0,32	192,0		
			497,0	5,0	17,2

Table 4. Costs of energy by producing the quantity of fertilizer applied.

#### Naturgødning.

Naturgødningens indhold af mere eller mindre nedbrudt organisk materiale betyder, at dette energiinput skal beregnes som de energetiske omkostninger ved produktionen.

Vi har imidlertid, som det ses af modellen, valgt at udelade naturgødning som hjælpeenergi, fordi produktionen af naturgødning foregår inden for landbruget, og de energetiske omkostninger ved produktion og udbringning (arbejdskraft, olie og elektricitet) vil derfor være inkluderet i disse energiinputs.

#### Vand.

Kunstvanding spiller ikke den store rolle i den danske landbrugsproduktion, og som for naturgødningens vedkommende vil de energetiske omkostninger ved kunstvanding – olie og elektricitet – være inkluderet i disse energiinputs.

#### Pkt. 2. Energiinput til begrænsning af fødekædetab.

Som det fremgår af modellen sker der fra marken og laden eller siloen et energitab ved skadeorganismernes konsumtion. Ligeledes sker der et tab (respiration) ved fødens opbevaring.

#### Pesticider.

Energitabet ved skadeorganismernes konsumtion søges nedbragt ved regelmæssige behandlinger med et bredt spektrum af pesticider (bekæmpelsesmidler).

Som for kunstgødningens vedkommende gælder, at pesticider ikke i sig selv repræsenterer et energiindhold. Stør-

relsen af dette energiinput vil derfor afhænge af de energetiske omkostninger ved fremstillingen.

Skønt vi har foretaget adskillige henvendelser til flere led i produktionskæden (fra fabrikker til organisationer), har det ikke været muligt at få tal for gennemsnitsomkostninger ved pesticidproduktionen. Dette kan skyldes beregningsvanskeligheder på grund af produktionens store alsidighed eller måske en vis tilbageholdenhed som følge af miljødebatten.

#### Korntørring.

Danmarks relativt fugtige klima og den korte vækstsæson medfører, at den største del af kornhøsten tørres inden oplagringen for derved at begrænse respirationen.

Som energikilde ved tørringen anvendes i overvejende grad elektricitet og i mindre grad olie eller gas. Som følge af en mangelfuld statistik har det ikke været muligt at foretage en udspecificering af elektricitet- og olieforbruget ved tørringsprocessen, og den anvendte energimængde er derfor inkluderet i det totale forbrug af el og olie (se nedenfor).

#### Pkt. 3. Energiinput i form af menneskets arbejdskraft og anvendelse af heste.

##### Mennesket.

Det stigende lønningsniveau i perioden 1936-1970 og, i sammenhæng hermed, den gradvise forøgelse af maskinparken har bevirket en væsentlig reduktion i antallet af helårsarbejdere. Som det ses af tabel 5 er størrelsen af dette energiinput i driftsåret 1970/71 som følge heraf kun en trediedel af værdien i driftsåret 1936/37.

Tabel 5. Energiinput via mennesker.

	Antal helårs- arbejdere	Energiforbrug 10 <sup>11</sup> kcal	Energi- forbrug/ha 10 <sup>4</sup> kcal/ha
1936	480.917	1,443	4,5
1970	155.700	0,467	1,6

Table 5. Consumption of energy by using manpower. Number of whole-year workers in agriculture in Denmark 1972.

Beregningen er foretaget ud fra statistiske opgørelser over antallet af helårsarbejdere (d.v.s. 1 person i 300 dage á 8 timer), og et kalorieforbrug for et arbejdende menneske på 3000 kcal/dag.

#### Heste.

Den stigende mekaniseringsgrad har ligeledes betydet en formindskelse af antallet af arbejdsheste i landbruget. Som følge af at hesteholdet i driftsåret 1970/71 stort set

Tabel 6. Energiinput via heste.

	Antal arbejds- heste	Energi- forbrug 10 <sup>11</sup> kcal	Energi- forbrug/ha 10 <sup>4</sup> kcal/ha
1936	472.000	3,64	11,4
1970	-	-	-

Table 6. Consumption of energy by using draught animals.

indskrænkedes til sports- og rideheste, er dette energiinput kun beregnet for driftsåret 1936/37 (se tabel 6). Ved beregningen er der brugt følgende parametre:

Det benyttede antal heste (samlet antal arbejdsheste fraregnet føl og unge plage) - 472.000 stk. (L.S. 1900-1965, 1970).

Den gennemsnitlige udnyttelsestid - 1220 timer/hest pr. år (Undersøgelser over landbrugets driftsforhold 1936-1937, 1938).

Tabel 7. Energiomkostninger ved produktion af maskiner.

Type	Antal i stk.	Gennemsnits- vægt i kg.	Gennemsnits- funktions- tid i år	Arligt for- brug i 10 <sup>3</sup> kg stål	Antal kcal forbrugt til 10 <sup>12</sup> maskiner	Energi- forbrug pr. ha 10 <sup>5</sup> kcal/ha
Traktorer	6.660	1.531	16	6.373		
Radsåmaskiner	128.060	508	18	3.614		
Selvbindere	82.303	708	18	3.237		
Slåmaskiner	115.915	417	17	2.843		
1936 Forbrændingsmo- torer	35.254	250	15	588		
Elektromotorer	91.083	175	18	886		
Sammenlagt vægt af andre maskiner		4.500	14	34.955		
				52.496	0,290	0,9
Traktorer	174.639	2.522	12	36.766		
Mejetærskere	42.253	3.675	10	15.528		
Grønthøstere	53.415	521	7	3.976		
Såmaskiner	112.535	515	10	5.796		
1970 Samlepressere	20.632	1.333	10	2.750		
Universalvogne	44.561	1.100	8	6.127		
Roeoptagere	26.017	1.683	8	5.473		
Sammenlagt vægt af andre maskiner		5.875	11	44.285		
				120.701	0,748	2,6

Tabel 7. Energiforbruget ved fremstillingen af den mængde stål, som anvendes ved fabrikationen af landbrugsmaskiner. Antal maskiner (forbrændingsmotorer og elektromotorer undtaget) er sat lig med antal brug. For 1970 er værdierne fra Landøkonomisk Oversigt 1971 og fra L.S. 1970. Energiforbruget er beregnet ud fra stålforbruget (antal, vægt og funktionstid. Gennemsnitsvægt og funktionstid hviler på egne undersøgelser.

Table 7. Consumption of energy by producing the steel applied for agricultural machinery. For 1936, the values are from Statistiske Meddelelser 1936. Number of machines (combustion engines and electromotors excepted) has been put equal to number of farms. For 1970, the values are from Landøkonomisk Oversigt 1971 and from L.S. 1970. The consumption of energy is calculated on the basis of the consumption of steel (number, weight and functioning time. Average weight and functioning time result from own investigations).

Den gennemsnitlige belastning af hesten - 1 hk = 736 Watt =  $6,3 \times 10^3$  kcal. (Samuel Brody, 1945).

Pkt. 4. Energiinput som erstatning for menneskets arbejdskraft og anvendelse af heste.

Maskiner.

Som for kunstgødningens vedkommende kan dette energiinput beregnes som de samlede energiomkostninger ved brydning, forarbejdning og transport af jernmalm samt energiforbruget ved selve maskinfremstillingen. Det har vist sig meget vanskeligt at opnå en tilfredsstillende vurdering af størrelsen af dette energiinput.

Tabel 8. Brændstof- og el-omkostninger.

	Landbrugsareal $10^6$ ha	Brændstofomkostn. kr/ha	El-omkostn. kr/ha	Brændstofpris kr/l ell. kg	El-pris kr/kwh
1936	3,2	0,82	7,0	17,19 kr/100 kg petroleum	0,2
1970	2,94	32,56	42,71	0,317 kr/l	0,135

Tabel 8. Parametre til beregning af energiinput i form af brændstof og elektricitet. Parametrene er fra Undersøgelser over landbrugets driftsforhold 1936-37, Regnskabsresultater fra danske landbrug i året 1969-70, NESA, S. H. Tidestrom, 1957.  
Table 8. Parametres for calculating the input of energy in the form of fossil fuel and electricity.

Dette skyldes dels den meget store variation i maskintyper, -størrelser og -fabrikater, og dels at der ikke foreligger tilstrækkeligt detaljerede opgørelser over energiforbruget ved brydningen og transporten af jernmalmen og ved selve maskinfremstillingen. Tallene i tabel 7 repræsenterer således kun energiomkostningerne ved produktionen af den forbrugte mængde jern og stål. Det skal derfor kraftigt pointeres, at disse værdier må være et absolut minimum for størrelsen af dette energiinput.

Det årlige stålforbrug til produktionen af landbrugsmaskiner er beregnet ud fra oplysninger om antal, vægt og levetid af de anvendte maskiner og redskaber. Stålforbruget ved fremstillingen er forudsat afskrevet når maskinerne er økonomisk afskrevet.

Brændstof og elektricitet.

Da både brændsel (benzin og olie) og elektricitet i sig selv repræsenterer et energiindhold, er dette energiinput opgjort som årligt brændstofforbrug i kg eller liter multipliceret med brændstoffartens energiindhold (se tabel 8 og tabel 9).

Ved beregning af elektricitetsinput er energiindholdet af elektricitetsforbruget (kWh) multipliceret med en faktor 3. Dette skyldes, at den danske el-produktion overvejende er baseret på råolie med en udnyttelsesgrad ved elektricitetsfremstillingen på ca. 33 %.

Pkt. 5. Energiinput som følge af centraliseringen af befolkningen og af fabrikationen af produktionsmidler.

Transport.

Den dominerende faktor i dette input skyldes energiud-

Tabel 9. Energi-input via brændstof og el.

	Energi-forbrug brændstof $10^{12}$ kcal	Energi-forbrug el $10^{12}$ kcal	Energi-forbrug pr. ha, brændstof $10^5$ kcal	Energi-forbrug pr. ha, el $10^5$ kcal
1936	0,2	0,3	0,6	0,9
1970	2,6	2,1	9,0	7,2

Table 9. Input of energy in the form of fossil fuel and electricity.

gifter ved transport af landbrugsprodukter fra producenterne til forarbejdningsstederne (mejerier, slagterier, foderkompagnier) samt den videre transport af forarbejdede produkter til forbrugerne. Den stigende opdeling i land-by-områder har gennem perioden betydet en væsentlig forøgelse af dette input.

Der er igennem perioden sket en koncentration m.h.t. fabrikation af produktionsmidler. Dette har bevirket en forøgelse af transportudgifterne ved leveringen af f.eks. kunstgødning, pesticider og maskiner. Det har ikke været muligt at bestemme størrelsen af dette energiinput, men det må skønnes at være betragteligt og af stigende betydning.

#### Vegetabilsk produktion (primærproduktion)

Primærproduktionen er den første vigtige komponent i økosystemet. Her sker omdannelsen fra uorganisk stof til organisk stof, der er energirigt.

Tabel 10. Energiindholdet i høsten.

Afgrøde	Friskvægt $10^5$ kg	Høst $10^{12}$ kcal	Høst pr. ha $10^7$ kcal	NPP-S $10^{12}$ kcal	NPP-S pr. ha $10^7$ kcal
1936					
Korn (kerner) ialt	2,934	11,235		11,235	
Spild ved høsten	-	-		0,112	
Halm høstet	4,062	15,472		15,472	
Halm afbrændt	-	-		-	
Korn (rødder+stubbe)	-	-		6,702	
Bælgæd ialt	8	0,031		0,031	
Rodfrugter (rod) ialt	-	14,266		14,266	
Roetop ialt	230	0,126		0,126	
Hø	2,001	7,450		7,450	
Græsmarksafgrøder ialt	21,444	18,785		18,785	
Græs (rødder+stubbe) ialt	5,156	-		10,312	
Ialt	-	67,362	2,1	82,421	2,6
1970					
Korn (kerner) ialt	-	23,495		23,495	
Spild ved høsten	-	-		0,235	
Halm høstet	4,342	16,538		16,538	
Halm afbrændt	-	-		2,318	
Korn (rødder+stubbe)	-	-		10,008	
Bælgæd ialt	93	0,359		0,359	
Rodfrugter (rod) ialt	-	11,652		11,652	
Roetop ialt	6,144	3,409		3,409	
Græsmarksafgrøder ialt	4,466	3,912		3,912	
Føers afgræsning	18,635	16,327		16,327	
Græs (rødder+stubbe)	3,200	-		6,400	
Frø ialt	59	0,222		0,222	
Ialt	-	59,587	2,6	94,924	3,2

Tabel 10. Høsten og NPP - S. Mængderne er fra L.S. 1900-65, L.S. 1970.

Table 10. The crops and NPP - S.

Tabel 11. Primærproduktionens anvendelse.

	Svind		Udsød		Direkte foder		Eksport fra økosystemet		Ukendt eller andet	
	Frisk vægt	Energi indh.	Frisk vægt	Energi indh.	Frisk vægt	Energi indh.	Frisk vægt	Energi indh.	Frisk vægt	Energi indh.
	10 <sup>6</sup> kg	10 <sup>12</sup> kcal	10 <sup>6</sup> kg	10 <sup>12</sup> kcal	10 <sup>6</sup> kg	10 <sup>12</sup> kcal	10 <sup>6</sup> kg	10 <sup>12</sup> kcal	10 <sup>6</sup> kg	10 <sup>12</sup> kcal
Korn ialt	293	1,124	203	0,777	1.993	7,632	428	1,639	17	0,065
Halm	609	2,320			3.060	11,655	-	-	393	1,497
Bælgsød	1	0,004			6	0,023	1	0,004		
1936/37 Rodfrugter (rod) ialt		1,290		0,190		10,947	-	1,495		0,343
Roetop ialt		0,016				0,110	-	-		
Græsmarks-afgrøde ialt						26,235	-	-		
Ialt		4,754		0,967		56,602		3,138		1,905
Korn ialt	312	1,177	316	1,191	4.931	18,615	673	2,502	0	
Halm	434	1,653			3.247	12,367	-	-	661	2,518
Bælgsød	8	0,031			37	0,143	45	0,174	3	0,012
1970/71 Rodfrugter (rod) ialt	1.198	0,988	79	0,073	10.138	8,291	2,143	1,999	331	0,306
Roetop ialt	1.395	0,762			4.762	2,601	-	-		
Græsmarks-afgrøde ialt					4.466	3,912	-	-		
Frø			8	0,029			48	0,187		
Ialt		4,611		1,366		45,929		4,862		2,836

Table 11. The use of the crops.

Den stofmængde, der opbygges ved fotosyntesen kaldes bruttoprimærproduktionen BPP. Samtidig med fotosyntesen foregår der en nedbrydning af stof, idet  $(\text{CH}_2\text{O})_n$  under tilgang af  $\text{O}_2$  omdannes til  $\text{CO}_2$  og  $\text{H}_2\text{O}$  samt energi. Denne proces kaldes respirationen.

Bruttoprimærproduktionen minus den ved respirationen omdannede stofmængde kaldes nettoprimærproduktionen NPP. NPP er altså den stofmængde, der kan gå videre til næste led i fødekæden.

#### Høst.

Til beregning af NPP i den danske landbrugsproduktion har vi som udgangspunkt benyttet de meget omfattende landbrugsstatistikker over høstudbyttet i de enkelte driftsår. Energiindholdet i høsten (tabel 10) er således en størrelse, der kan angives med forholdsvis stor sikkerhed. Høstudbyttet vil afhænge dels af de forskellige inputs, dels af de afgrøder man dyrker, og dels af hvor stor en del af disse man høster. De forskellige afgrøder giver forskelligt hektarudbytte, f.eks. giver roer (bl.a. fordi man høster både rod og top) langt større hektarudbytte end korn. Afgrødernes tørstofindhold varierer fra 11-87 %.

#### NPP-S

Det er vanskeligt at beregne NPP, fordi der ikke findes opgørelser over skadeorganismernes konsumtion + visning + nedbrydning af plantedele (her kaldet S). Derfor har vi valgt at indføre størrelsen NPP-S. I NPP-S ind-

går foruden høsten, halmafbrænding, spild ved høstprocessen samt rødder og stubbe. Der findes ikke årlige opgørelser over spild ved høsten samt mængden af rødder og stubbe.

Svindet ved høsten andrager normalt ca. 1 % af det samlede høstudbytte (Rationelt landbrug, 1963-).

Undersøgelser af energiindholdet i rødder og stubbe, som står tilbage efter høsten viser, at dette varierer stærkt med afgrødens art og produktionsform. For kornafgrøder angives mængden af rødder og stubbe at variere fra 20-30 % af vægten af halm og kærner (D. Müller, 1968). Vi har her sat det til 25 %. Der angives forskellige værdier for mængden af græs-rødder + stubbe, afhængig af græsarten (Köhlein, J. & Vetter, H., 1953). Ud fra disse tal har vi sat det til  $4 \times 10^3$  kg/ha.

Disse værdier er benyttet ved beregning af NPP-S.

#### NPP.

Til beregningen af NPP er det således nødvendigt at kende skadedyrenes konsumtion, visning og nedbrydning af plantedele inden høsten. Disse værdier vil i høj grad afhænge af produktionsmetoden, anvendelsen af maskiner, jordbehandlingen samt anvendelsen af pesticider. Det er ikke muligt at angive noget sikkert tal for disse størrelser. Sættes størrelsen S skønsmæssigt til 10 % af NPP, bliver NPP i de to år henholdsvis  $2,9 \times 10^7$  kcal/ha for 1936/37 og  $3,6 \times 10^7$  kcal/ha for 1970/71.



### Primærproduktionens anvendelse

Langt den overvejende del af høsten går direkte til foder – ca. 75 % i 1970. Desuden føres en del af primærproduktionen via industrien tilbage til landbruget som foder for husdyrene (f.eks. sukkerroeffald, pulp, melasse m.v.). Svindet ved høsten udgør ca. 8 %. Svindet skyldes vandtab og respiration under opbevaringen og skadedyrenes konsumtion. Resten af høsten bliver fordelt på udsæd, eksport fra økosystemet og andet (se tabel 11).

Den største del af foderet udgøres af vegetabilier fra den danske høst. Desuden fodres med fabriksaffald, mælkeprodukter og importeret husdyrfoder. Denne import består dels af foderkorn, og dels af proteinrige foderstoffer. Energetisk svarer importen til ca. 10 % af det samlede foderforbrug, men dækker samtidig ca. 30 % af husdyrenes proteinforbrug (Landbruget i Danmark, 1966). Se tabel 12.

Tabel 12. Energiindholdet i det samlede foderforbrug.

Foder	Udenlandsk foder		Dansk foder		Ialt	
	10 <sup>12</sup> kcal	10 <sup>12</sup> kcal	10 <sup>12</sup> kcal	10 <sup>12</sup> kcal	10 <sup>12</sup> kcal	10 <sup>12</sup> kcal
Korn og kornprodukter	3,442		8,245		11,687	
Oliekager	3,279				3,279	
Industriaffald	-		3,504		3,504	
Rodfrugter	-		13,901		13,901	
1936 Roetop	-		0,109		0,109	
Græs og grøntfoder	-		26,235		26,235	
Halm	-		11,827		11,827	
Mælkeprodukter	-		1,934		1,934	
Foder ialt	6,721		55,755		72,476	
Korn og kornprodukter	2,987		19,058		22,045	
Oliekager	4,246				4,246	
Industriaffald	0,147		0,940		1,087	
Rodfrugter	-		8,291		8,291	
1970 Roetop	-		2,601		2,601	
Græs og grøntfoder	-		23,101		23,101	
Halm	-		12,367		12,367	
Mælkeprodukter	0,099		1,086		1,185	
Foder ialt	7,479		67,444		74,923	

Table 12. Content of energy in the forage crops, indicated in kcal. only.

Som følge af manglende kildemateriale har det ikke været muligt at bestemme de enkelte husdyrgruppers foderforbrug i 1936. Et sådant materiale foreligger imidlertid fra 1970. Ud fra opgørelser (Landøkonomisk oversigt

Tabel 14. Energiindholdet i levende husdyr.

	Svin		Køer og kalve		Fjerkræ		Heste		Får		Mælk		Æg		Ialt	
	10 <sup>12</sup> kcal	10 <sup>12</sup> kcal	10 <sup>12</sup> kcal	10 <sup>12</sup> kcal	10 <sup>12</sup> kcal	10 <sup>12</sup> kcal	10 <sup>12</sup> kcal	10 <sup>12</sup> kcal	10 <sup>12</sup> kcal	10 <sup>12</sup> kcal	10 <sup>12</sup> kcal	10 <sup>12</sup> kcal	10 <sup>12</sup> kcal	10 <sup>12</sup> kcal	10 <sup>12</sup> kcal	
1936/37	1,630	0,820	0,074	0,016	0,029	3,910	0,205	6,676								
1970/71	3,800	1,228	0,235	0,009	0,014	3,598	0,141	9,025								

Table 14. Total animal production (stated in kcal. only).

1972) har det været muligt at beregne de enkelte husdyrgruppers foderforbrug (se tabel 13).

Langt den overvejende del af foderet konsumeres af kvæget. Det er dog værd at bemærke, at kvæget også i høj grad konsumerer de vanskeligt fordøjelige foderstoffer som hø og halm. Således er den fordøjelige energi for halm ca. 40 %, mens den for kornarterne ligger omkring

Tabel 13. Husdyrgruppernes foderforbrug.

	Kvæg		Svin		Fjerkræ		Andet		Ialt	
	10 <sup>12</sup> kcal	10 <sup>12</sup> kcal	10 <sup>12</sup> kcal	10 <sup>12</sup> kcal	10 <sup>12</sup> kcal	10 <sup>12</sup> kcal	10 <sup>12</sup> kcal	10 <sup>12</sup> kcal	10 <sup>12</sup> kcal	
1970	50,8	19,4	1,9	2,8	74,9					

Table 13. The distribution of forage crops on the livestock.

de 60 % (R. Schiemann 1971). Svinene konsumerer omkring 25 % af det samlede foder. Den største mængde udgøres her af korn og kornprodukter, som har en høj procent fordøjelig energi. Resten af foderet konsumeres af fjerkræ og »andet«, der især udgøres af heste og får.

### Animalsk produktion (sekundær produktion)

Husdyrene er den anden vigtige komponent i landbrugsøkosystemet. I den danske landbrugsproduktion går ca. 80 % af den energi, som dannes ved primærproduktionen til foder for husdyrene. Dette svarer til ca. 90 % af det samlede energiforbrug ved produktionen af animalier. De resterende ca. 10 % tilføres økosystemet via importen af husdyrfoder og sekundære energiinputs (se tidligere).

Energiforbruget ved husdyrholdet kan opdeles i 2 hovedposter:

1. Energiforbruget ved dyrenes vækst (kalorietilvækst pr. tidsenhed).
2. Energiforbruget ved dyrenes pasning (arbejdskraft, el- og olieforbrug).

Ad. 1. Vi har valgt at benytte driftsåret (1/8–31/7) som tidsenhed ved beregningen. Den animalske produktion bliver således lig med husdyrenes kalorietilvækst i driftsåret. Under forudsætning af, at antallet og sammensætningen af husdyr er ens ved driftsårets begyndelse og afslutning, kan denne tilvækst beregnes ud fra statistiske opgørelser over antallet af slagtinger indenfor driftsåret. Dette forbehold må tages, fordi produktionstiden for nogle husdyr (køer og heste) er længere end ét driftsår.

Produktionen i driftsåret opgives i landbrugsstatistikken dels som antal slagtede dyr i forskellige vægtklasser (levende vægt), og dels som antal kilo (slagtet vægt) og

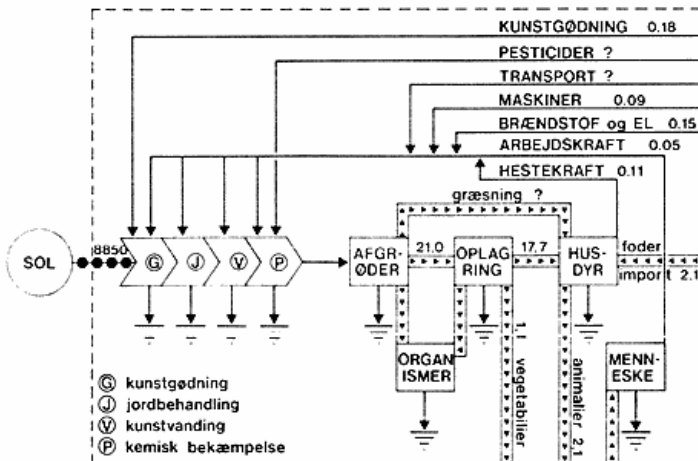


Fig. 5. Model af dansk langbrug 1936/37.  
Fig. 5. Model of Danish agriculture 1936/37.

vægten af spiselige biprodukter (hjerte, lever, nyrer m.v.). En produktionsberegning ud fra slagtevægt samt vægten af spiselige biprodukter vil betyde en undervurdering af energiproduktionen p.gr.a. energiindholdet i de ikke spiselige biprodukter.

Tabel 15. NPP-effektiviteter.

	Solindstråling $10^9$ kcal/ha	Nettoprimærproduktion $10^7$ kcal/ha	Effektiviteter %
1936	8,8	2,9	0,33
1970	8,8	3,6	0,40

Table 15. Efficiencies for the net primary production.

Vi har derfor foretaget en beregning af energiindholdet i levende husdyr af forskellig art og vægklasse og benyttet antallet af slagtninger i disse vægklasser ved produktionsberegningen. Der er ved beregningerne ikke ta-

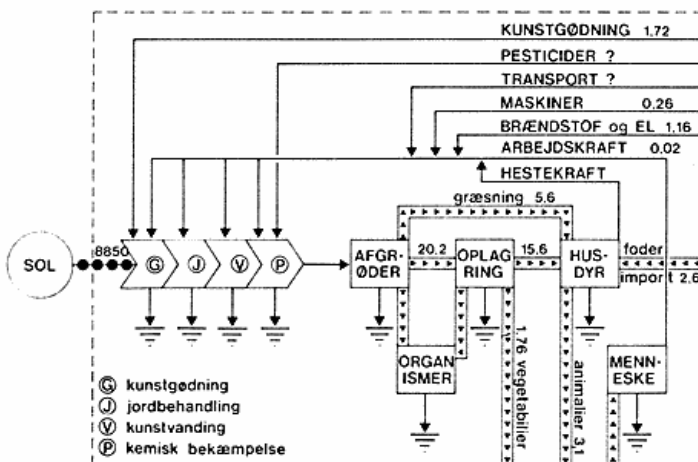


Fig. 6. Model af dansk landbrug 1970/71.  
Fig. 6. Model of Danish agriculture 1970/71.  
Erratum (fig. 6): Brændstof og El 1,62.

get hensyn til produkternes fordøjelighed (se tabel 14). Energiindholdet i den del af produktionen, som direkte udnyttes af næste led i fødekæden – mennesket – er beregnet til ca. 60 % af totalproduktionen.

Disse beregninger har tjent to formål. Dels at bestemme størrelsen af det samlede output fra husdyrene, og dels til beregning af fødekædeeffektiviteter for de enkelte husdyrgrupper. Der er derfor ved beregningerne lagt størst vægt på præcisionen ved beregningen af produktionen i de kvantitativt vigtigste husdyrgrupper. Der er endvidere benyttet samme beregningsform i de to driftsår, hvilket giver de bedste muligheder for indbyrdes sammenligninger.

Det har ikke været muligt at beregne usikkerheden på produktionsværdierne, da der ikke angives størrelsen af spredningen på de i landbrugsstatistikken opgivne tal.

Ad. 2. Dette energiforbrug tjener dels til en reduktion af energitabet ved at mindske den naturlige dødelighed og en formindskelse af respirationstabet ved opvarmning af stalde (olie og el), og dels som et nødvendigt energiforbrug ved produktionsprocessen (fodring, malkning etc.).

De beregnede værdier for energiinput og produktion er vist i fig. 5 og fig. 6.

#### Produktionseffektiviteter

De foregående beregninger af energistrømmene i landbrugsøkosystemet kan danne grundlaget for en kvantitativ vurdering af økosystemets forskellige produktionseffektiviteter. Disse kan beregnes som forholdet mellem energiinput og energioutput ved de forskellige komponenter og kaldes i økologisk litteratur for systemets produktions-effektiviteter. Da en væsentlig del af de sekundære energiinputs til økosystemet har til formål at forøge disse effektiviteter, vil en beregning af disse, for begge de betragtede driftsår, kunne give et indtryk af i hvilket omfang dette er lykkedes.

#### Primærproduktion

Som et mål for, hvor effektivt plantevæksten udnytter den indstrålede energimængde, kan man beregne økosystemets BPP-effektiviteter eller NPP-effektiviteter. Størrelsen af disse vil afhænge af bl.a. klima- og jordbundsforhold samt plantesamfundets art og for landbrugsøkosystemer tillige af størrelsen af hjælpeenergiinput.

Landbrugsøkosystemets størrelse og kompleksitet bevirker, at disse størrelser, som tidligere omtalt, bliver meget vanskelige at angive med en tilfredsstillende nøjagtighed. Ved skønmæssigt at sætte – skadedyrenes konsumtion + bortvisning + nedbrydning af plantemateriale – til 10 % af NPP, kan denne beregnes til  $2,9 \times 10^7$  og  $3,6 \times 10^7$  kcal/ha for henholdsvis 1936/37 og 1970/71. Sammenholdes NPP med solindstrålingen for hele året, kan NPP-effektiviteterne beregnes (se tabel 15).

For landbrugsøkosystemet vil størrelsen af høsten kunne angives med en del større sikkerhed, og det vil derfor

Tabel 16. Høsteffektiviteter.

	Solind- stråling	Høst	Effekti- vitet
	$10^9$ kcal/ha	$10^7$ kcal/ha	
1936	8,8	2,10	0,23
1970	8,8	2,02	0,30

Table 16. Efficiencies of forage crops.

som sammenligningsgrundlag være formålstjenligt tillige at beregne høsteffektiviteterne (se tabel 16). I en undersøgelse af høsteffektiviteterne for landbrug med varierende indsats af hjælpeenergi (H. T. Odum 1971) ligger de beregnede værdier mellem 0,03 og 0,2 for henholdsvis ikke energisubsidierede og industrialiserede landbrug.

En kvantitativ sammenligning af høsteffektiviteterne for de to år kan kun foretages ved en samtidig vurdering af en række faktorer, som vides at have indflydelse på produktionens størrelse, men som det ikke har været muligt at indføre i modellen. Dette gælder i særlig grad vejrforholdene i driftsårene og ændringer i de enkelte afgrøders procentvise andel af landbrugsarealet.

Et for landbruget ugunstigt vejr vil direkte afspejles i høstens størrelse. En vurdering af høstudbyttet i de pågældende driftsåre i forhold til gennemsnitsudbyttet for de enkelte afgrøder i perioderne 1930-1940 og 1965-1971, vil derfor kunne give en orientering om i hvilket omfang vejrliget har betydet en ændring i størrelsen af produktionen. For såvel 1936/37 som 1970/71 kan vejrforholdene karakteriseres som mindre gunstige for landbruget. Dette har da også betydet, at høstudbyttet for disse år ligger lidt lavere end gennemsnittet for de respektive perioder.

I fig. 7 er der vist de forskellige afgrøders procentvise andel af arealet. Det ses, at kornet er gået meget frem, nemlig fra 41,5 % til 60 % af det samlede landbrugsareal, mens rodfrugtarealet og græs- og grøntfoderarealet er gået tilbage. Høstudbyttet i foderenheder pr. hektar af rodfrugter og græs og grøntfoder er stort i forhold til høstudbyttet af korn og halm. Det vil sige, at man er gået fra nogle højtydende til nogle lavereydende afgrøder.

Man kunne således - alt andet lige - forvente, at høsteffektiviteterne havde været faldende i den betragtede periode. At dette ikke har været tilfældet, må i overvejen- de grad skyldes et intensivt forskning- og forædlingsar-

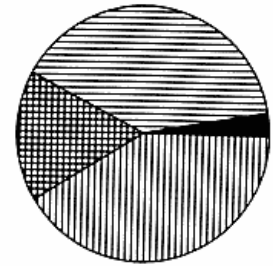
Tabel 17. Udnyttelsesgraden af hjælpeenergien.

	Hjælpe- energi	Høsten	Udnyttel- sesgrad
	$10^5$ kcal/ha	$10^5$ kcal/ha	
1936	4,5	210	47
1970	28,9	260	9

Table 17. Utilization rate for the vegetable production.

1936

Korn og bælgssæd	1.326.541 ha = 41,5%
Rodfrugter og kartofler	515.121 ha = 16,2%
Græs, kløver og grøntfoder	1.266.457 ha = 39,6%
Anden afgrøde + brak	87.809 ha = 2,7%
	3.195.928 ha



1970

Korn og bælgssæd	1.765.534 ha = 60,0%
Rodfrugter og kartofler	289.197 ha = 9,8%
Græs, kløver og grøntfoder	800.172 ha = 27,2%
Anden afgrøde + brak	86.413 ha = 3,0%
	2.941.316 ha

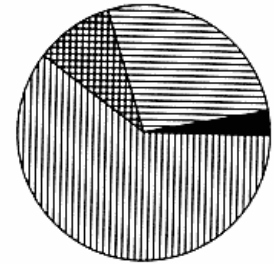


Fig. 7. De forskellige afgrøders procentvise andel af landbrugsarealet.

Fig. 7. The pro rata share of farm area for the different crops.

bejde kombineret med et stigende tilskud af hjælpeenergi i form af bl.a. kunstgødning og pesticider.

For at kunne vurdere i hvilket omfang den tilførte hjælpeenergi har betydet en forøgelse af den energimængde som fra solen via planteproduktionen føres videre til næste led i fødekæden har vi beregnet udnyttelsesgraden for de to driftsåre, tabel 17.

#### Sekundærproduktion

I et naturligt økosystem er en fødekædeeffektivitet på 10 % et brugbart gennemsnit for de enkelte led i fødekæderne. I naturen vil en sådan gennemsnitsværdi dække over en stor variation, både mellem de forskellige arter og mellem de forskellige individer indenfor en given population. Fødekædeeffektiviteten vil således afhænge af populationens aldersfordeling. For de unge individer vil tilvæksten pr. energienhed være stor, og dette vil betyde, at deres fødekædeeffektivitet ligger væsentlig over populationsgennemsnittet. For ældre individer, hvor væksten er ophørt, vil en stor del af foderets energi gå til respiration. Disse vil således have en fødekædeeffektivitet under gennemsnittet.

For husdyrholdet betyder disse forhold, at landmanden vil få det største udbytte af sit foder ved at holde husdyr med hurtig opvækst og ved at foretage slagtning af dyrene på et tidspunkt, hvor tilvæksten pr. foderenhed endnu er høj.

Til beregningen af husdyrenes fødekædeeffektiviteter kræves en nøjere bestemmelse af dels foderforbruget og dels den totale animalieproduktion. Disse størrelser er tid-

ligere beregnet – se tabel 12 og 14, og det er således muligt at beregne en samlet fødekædeeffektivitet for den sekundære produktion, se tabel 18.

**Tabel 18. Den sekundære produktions fødekædeeffektivitet.**

	Foder	Animalsk produktion	Effekti- vit
	10 <sup>12</sup> kcal	10 <sup>12</sup> kcal	%
1936	72,5	6,7	9,2
1970	74,9	9,0	12,0

*Table 18. The food chain efficiency of the secondary production.*

Som det ses af tabellen er der sket en markant forøgelse af fødekædeeffektiviteten inden for husdyrproduktionen. Denne forøgelse kan dels skyldes en rationalisering af husdyrbruget i almindelighed, dels forædling og endelig en forskel i foderets sammensætning. Er man således gået over til at fodre dyrene med lettere udnytteligt foder, med f.eks. en større andel af korn og foderkager i forhold til græs, hø og halm, vil fødekædeeffektiviteten stige. Endelig vil en forskydning i de enkelte husdyrgruppers andel af totalproduktionen bevirke en ændring i effektiviteten. Dette skyldes, at de enkelte husdyrgrupper har forskellige fødekædeeffektiviteter. Ved at forøge produktionen i de grupper, som har de største fødekædeeffektiviteter, vil der således ske en forøgelse af den samlede effektivitet.

For at kunne bedømme i hvor høj grad det sidstnævnte er tilfældet og for at få en fornemmelse af fødekædeeffektiviteten i de enkelte husdyrgrupper, har vi foretaget en opdeling af foderforbruget i 1970 på køer, svin, fjerkræ og andet, hvor andet væsentligst dækker heste og får, tabel 13. Sammenholdes foderforbruget med energiproduktionen for de enkelte husdyrgrupper, kan deres fødekædeeffektiviteter beregnes, tabel 19.

Den store forskel i fødekædeeffektiviteter mellem kvæg og svin skyldes dels, at den største del af kvæget først slagtes efter en periode som malkekvæg, hvor tilvæksten har været meget ringe, dels at kvægets foder indeholder en større procentdel af vanskeligt fordøjelige stoffer. Fjerkræns fødekædeeffektivitet er ligeledes høj. Dette skyldes dels en hurtig opvækst, dels at foderet væsentlig består af letfordøjelige kornprodukter.

Det ville være ønskeligt, om der havde foreligget et tilstrækkeligt detaljeret materiale for 1936, således at en lignende beregning kunne udføres for dette år. En sådan beregning for 1936 ville kunne have givet information om, hvorvidt den beregnede fødekædeeffektivitetsforøgelse skyldes en forøget fødeudnyttelse i de enkelte husdyrgrupper eller en forøgelse i produktionen af grupper med højere fødekædeeffektiviteter. Der har således i perioden 1936 til 1970 været en stigning i antallet af svin på 140 % og en reduktion i antallet af køer på 10 % (L.S.

1900–1965 og L.S. 1971) og sket en væsentlig reduktion i antallet af heste. Hestenes fødekædeeffektivitet er meget lille, fordi de væsentligst holdes som trækdyr (1936) og som rideheste (1970). Dette betyder, at de først slagtes i en høj alder. En reduktion i antallet af heste vil derfor betyde en forøgelse af den samlede effektivitet. For at belyse om denne forskydning alene kan forklare effektivitetsforøgelsen, har vi foretaget følgende beregning:

Antager vi, at fødekædeeffektiviteten for de enkelte grupper har været konstant i perioden, kan vi ud fra de fundne produktionsværdier for de enkelte grupper i 1936/37 og fødekædeeffektiviteterne for 1970/71 beregne, hvor stort foderforbruget skulle have været i 1936.

**Tabel 19. Husdyrgruppernes fødekædeeffektivitet.**

	Kvæg	Svin	Fjerkræ	Andet
Foderforbrug				
10 <sup>12</sup> kcal	50,8	19,4	1,9	2,8
Total energiproduktion				
10 <sup>12</sup> kcal	4,8	3,8	0,37	0,03
Fødekædeeffektivitet				
Ca. %	9,5	20,0	19	0,9

*Table 19. Food chain efficiencies of some domestic animals for the year 1970.*

Sammenlignes denne værdi med det reelle foderforbrug (tabel 12) kan vi vise om den samlede produktionseffektivitetsforøgelse alene skyldes produktionsforskydning eller må tilskrives en effektivitetsforøgelse indenfor de enkelte husdyrgrupper (tabel 20). Da det faktiske foderforbrug i 1936 ligger væsentlig over det beregnede, hvor produktionsforskydningens virkning er elimineret, må den beregnede stigning i sekundærproduktionseffektiviteten (tabel 18) skyldes en forbedret udnyttelse af foderet indenfor en eller flere husdyrgrupper.

**Tabel 20. Husdyrgruppernes beregnede foderforbrug.**

	Kvæg	Svin	Fjerkræ	Andet	Ialt
1936 Total energiproduktion	4,7·10 <sup>12</sup> kcal	1,6·10 <sup>12</sup> kcal	0,2·10 <sup>12</sup> kcal	0,04·10 <sup>12</sup> kcal	
1970 Fødekædeeffektivitet	9,5 %	20 %	19 %	0,9 %	
Foderforbrug 1936, beregnet	50·10 <sup>12</sup> kcal	8·10 <sup>12</sup> kcal	1·10 <sup>12</sup> kcal	4·10 <sup>12</sup> kcal	63·10 <sup>12</sup> kcal

*Table 20. The theoretical consumption of forage crops for 1936.*

### Konklusion

Siden århundredskiftet er der sket en gradvis mekanisering af den danske landbrugsproduktion. Dette har betydet, at den sekundære energi, som tilføres landbrugsøkosystemet, er blevet mangedoblet – fra 6×10<sup>5</sup> kcal/ha i 1936/ til 36×10<sup>5</sup> kcal/ha i 1970/71.

Det intensive forsknings- og forædlingsarbejde inden for landbrugsproduktionen har ligeledes resulteret i en forøgelse af såvel den vegetabiliske som den animalske

Tabel 21. Nettoenergiproduktionen i landbrugsøkosystemet.

	Hjælpeenergi 10 <sup>5</sup> kcal/ha	Produktion, der konsumeres af mennesket 10 <sup>5</sup> kcal/ha	Udnyttelses- grad
1936/37	6	30	5,0
1970/71	36	47	1,3

Table 21. The utilization rate for the part of the production meant for human consumption.

produktion – fra  $2,9-3,6 \times 10^7$  kcal/ha for den vegetabiliske produktion og  $2,1-3,1 \times 10^6$  kcal/ha for den animalske produktion i henholdsvis 1936/37 og 1970/71.

De anførte beregninger af energistrømmene i produktionen har endvidere påvist en forbedring af produktions-effektiviteterne indenfor både primær- og sekundærproduktionen – fra 0,33–0,40 % for primærproduktionen og fra 9,2–12,0 % for sekundærproduktionen i henholdsvis 1936/37 og 1970/71.

De forøgede energiinputs, kombineret med en produktionsforskydning mod afgrøder med mindre energiydelse pr. ha, har imidlertid ført til en formindskelse af udnyttelsesgraden af hjælpeenergien ved den vegetabiliske produktion fra 47–9 for driftsårene 1936/37 og 1970/71.

Med mennesket som det sidste led i landbrugsfødekæden vil det være nok så interessant at undersøge, hvilken virkning den beskrevne udvikling har haft på størrelsen af den energimængde – vegetabilier og animalier – som går til menneskekonsum. Dette kan opnås ved at beregne forholdet mellem energistrømmen til menneskekonsum og de energetiske produktionsomkostninger (se tabel 21).

Som det ses af tabellen, har energisubstideringen af den danske landbrugsproduktion i 1971 nået et niveau, hvor en forøgelse af hjælpeenergien vil betyde, at der ikke længere vil foregå en nettoenergiproduktion i landbrugsøkosystemet.

Sættes dette forhold i relation til det forventede behov inden for den globale fødevarer- og energiforsyning, bør det overvejes, om ikke de marginale energiomkostninger ved landbrugsproduktionen i de industrialiserede lande istedet burde anvendes ved landbrugsproduktionen i u-landene, hvor udnyttelsesgraden af hjælpeenergien er større som følge af en lav mekaniseringsgrad.

## SUMMARY

It has been attempted to set up an energetic model of the Danish agricultural production in order to elaborate a quantitative estimate of agriculture as a transformer of the energy received as sunlight and the energy supplied by human activity, fossil fuel etc.

By comparing the energy gained with the energy expended, a ratio is obtained expressing the efficiency of agriculture in exploiting the total input of energy, but also, and this is of special interest here, a ratio solely for the efficiency of supplied energy (human work, fossil fuel, fertilizers etc.).

This coefficient of utilization has been computed both for the vegetable production and for the part of the agricultural (vegetable and animal) production that is used for human consumption. For the agricultural year 1970/71 the ratio of energy gained to energy expended has been calculated to be about 9/1 in purely vegetable production against about 1/1 for the part of the production meant for human consumption.

Thus the input of energy – except the sun energy – into agricultural production has reached a level where the energy lost on its way through the food-chain in animal production (about 90 %) only just balances with the gain of energy obtained by vegetable production.

An increased input of energy made by man, fossil fuel and the like, might easily result in a net loss of energy; consequently, it would be more favourable to increase the production of high-yielding vegetables at the expense of animal production.

## LITTERATUR

- Aslyng, H. C. & Jensen, Sv. E.* (1966): Radiation and Energy Balances at Copenhagen 1955–1964. Årsskrift for den kongelige Veterinær- og landbohøjskole.
- Brody, Samuel* (1945): Bioenergetics and Growth. Reinhold Publishing Company, New York.
- Carlsen* (1973), upubliceret materiale.
- Dansk landbrug – økologisk belyst (1973), gruppespeciale fra Københavns Universitet, Studenterrådets trykkeri.
- Ege, Rich.* (1965): Ulandenes ernæringsproblemer. Mellemfolkeligt Samvirke.
- Ege, Rich.* (1970): Fødevarer- og ernæringstabeller. Nyt Nordisk forlag.
- Hansen, Bodil* (1971): Ernæringslære bind I, Ernærings- og husholdningslæreserien. Gyldendal.
- Köhlein, J. & Vetter, H.* (1953): Ernæringsstænde und Wurzelbild.
- Landbruget i Danmark (1966), Landbrugsrådet.
- Landbruget i Danmark (1972), Statistik med kommentarer.
- Landbrugsstatistik 1936 (1937), 4. række, 103. bind, 5. hefte.
- Landbrugsstatistik 1900–1965 (1968 og 1969), Statistiske Undersøgelser nr. 22 og 25.
- Landbrugsstatistik 1970 (1971), Statistiske meddelelser 1971:11.
- Landbrugsstatistik 1971 (1972), Statistiske meddelelser 1972:9.
- Landøkonomisk oversigt 1971 (1971), De Samvirkende Danske Landboforeninger.
- Landøkonomisk oversigt 1972 (1972), De Samvirkende Danske Landboforeninger.
- Müller, D.* (1968): Plantefysiologi, København.
- NESA, personlig meddelelse.
- Odum, H. T.* (1971): Environment, power and society. Wiley-Interscience.
- Rationelt landbrug (1963–), Landbrugsproduktionen i dag og i morgen, Medical Book Company.
- Regnskabsresultater fra danske landbrug i året 1969–70 (1970), Det landøkonomiske Driftsbureau, Beretning I nr. 54.
- Schiemann, R. m.v.* (1971), Energetische Futterbewertung und Energienormen, Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.
- Statistiske meddelelser (1936), 4. række, 106. bind, 3. hefte.
- Tidestrom, S. H.:Son* red (1957): Råvaror och material, Alfabetisk uppslagsverk, Nordisk rotogravyr.
- Undersøgelser over landbrugets driftsforhold 1936–37, XXI, 1938.

Tabel 21. Nettoenergiproduktionen i landbrugsøkosystemet.

	Hjælpeenergi 10 <sup>5</sup> kcal/ha	Produktion, der konsumeres af mennesket 10 <sup>5</sup> kcal/ha	Udnyttelses- grad
1936/37	6	30	5,0
1970/71	36	47	1,3

Table 21. The utilization rate for the part of the production meant for human consumption.

produktion – fra  $2,9-3,6 \times 10^7$  kcal/ha for den vegetabiliske produktion og  $2,1-3,1 \times 10^6$  kcal/ha for den animalske produktion i henholdsvis 1936/37 og 1970/71.

De anførte beregninger af energistrømmene i produktionen har endvidere påvist en forbedring af produktions-effektiviteterne indenfor både primær- og sekundærproduktionen – fra 0,33–0,40 % for primærproduktionen og fra 9,2–12,0 % for sekundærproduktionen i henholdsvis 1936/37 og 1970/71.

De forøgede energiinputs, kombineret med en produktionsforskydning mod afgrøder med mindre energiydelse pr. ha, har imidlertid ført til en formindskelse af udnyttelsesgraden af hjælpeenergien ved den vegetabiliske produktion fra 47–9 for driftsårene 1936/37 og 1970/71.

Med mennesket som det sidste led i landbrugsfødekæden vil det være nok så interessant at undersøge, hvilken virkning den beskrevne udvikling har haft på størrelsen af den energimængde – vegetabilier og animalier – som går til menneskekonsum. Dette kan opnås ved at beregne forholdet mellem energistrømmen til menneskekonsum og de energetiske produktionsomkostninger (se tabel 21).

Som det ses af tabellen, har energisubstideringen af den danske landbrugsproduktion i 1971 nået et niveau, hvor en forøgelse af hjælpeenergien vil betyde, at der ikke længere vil foregå en nettoenergiproduktion i landbrugsøkosystemet.

Sættes dette forhold i relation til det forventede behov inden for den globale fødevarer- og energiforsyning, bør det overvejes, om ikke de marginale energiomkostninger ved landbrugsproduktionen i de industrialiserede lande istedet burde anvendes ved landbrugsproduktionen i u-landene, hvor udnyttelsesgraden af hjælpeenergien er større som følge af en lav mekaniseringsgrad.

## SUMMARY

It has been attempted to set up an energetic model of the Danish agricultural production in order to elaborate a quantitative estimate of agriculture as a transformer of the energy received as sunlight and the energy supplied by human activity, fossil fuel etc.

By comparing the energy gained with the energy expended, a ratio is obtained expressing the efficiency of agriculture in exploiting the total input of energy, but also, and this is of special interest here, a ratio solely for the efficiency of supplied energy (human work, fossil fuel, fertilizers etc.).

This coefficient of utilization has been computed both for the vegetable production and for the part of the agricultural (vegetable and animal) production that is used for human consumption. For the agricultural year 1970/71 the ratio of energy gained to energy expended has been calculated to be about 9/1 in purely vegetable production against about 1/1 for the part of the production meant for human consumption.

Thus the input of energy – except the sun energy – into agricultural production has reached a level where the energy lost on its way through the food-chain in animal production (about 90 %) only just balances with the gain of energy obtained by vegetable production.

An increased input of energy made by man, fossil fuel and the like, might easily result in a net loss of energy; consequently, it would be more favourable to increase the production of high-yielding vegetables at the expense of animal production.

## LITTERATUR

- Aslyng, H. C. & Jensen, Sv. E.* (1966): Radiation and Energy Balances at Copenhagen 1955–1964. Årsskrift for den kongelige Veterinær- og landbohøjskole.
- Brody, Samuel* (1945): Bioenergetics and Growth. Reinhold Publishing Company, New York.
- Carlsen* (1973), upubliceret materiale.
- Dansk landbrug – økologisk belyst (1973), gruppespeciale fra Københavns Universitet, Studenterrådets trykkeri.
- Ege, Rich.* (1965): Ulandenes ernæringsproblemer. Mellemfolkeligt Samvirke.
- Ege, Rich.* (1970): Fødevarer- og ernæringstabeller. Nyt Nordisk forlag.
- Hansen, Bodil* (1971): Ernæringslære bind I, Ernærings- og husholdningslæreserien. Gyldendal.
- Köhlein, J. & Vetter, H.* (1953): Ernæringsstænde und Wurzelbild.
- Landbruget i Danmark (1966), Landbrugsrådet.
- Landbruget i Danmark (1972), Statistik med kommentarer.
- Landbrugsstatistik 1936 (1937), 4. række, 103. bind, 5. hefte.
- Landbrugsstatistik 1900–1965 (1968 og 1969), Statistiske Undersøgelser nr. 22 og 25.
- Landbrugsstatistik 1970 (1971), Statistiske meddelelser 1971:11.
- Landbrugsstatistik 1971 (1972), Statistiske meddelelser 1972:9.
- Landøkonomisk oversigt 1971 (1971), De Samvirkende Danske Landboforeninger.
- Landøkonomisk oversigt 1972 (1972), De Samvirkende Danske Landboforeninger.
- Müller, D.* (1968): Plantefysiologi, København.
- NESA, personlig meddelelse.
- Odum, H. T.* (1971): Environment, power and society. Wiley-Interscience.
- Rationelt landbrug (1963–), Landbrugsproduktionen i dag og i morgen, Medical Book Company.
- Regnskabsresultater fra danske landbrug i året 1969–70 (1970), Det landøkonomiske Driftsbureau, Beretning I nr. 54.
- Schiemann, R. m.v.* (1971), Energetische Futterbewertung und Energienormen, Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.
- Statistiske meddelelser (1936), 4. række, 106. bind, 3. hefte.
- Tidestrom, S. H.:Son* red (1957): Råvaror och material, Alfabetisk uppslagsverk, Nordisk rotogravyr.
- Undersøgelser over landbrugets driftsforhold 1936–37, XXI, 1938.