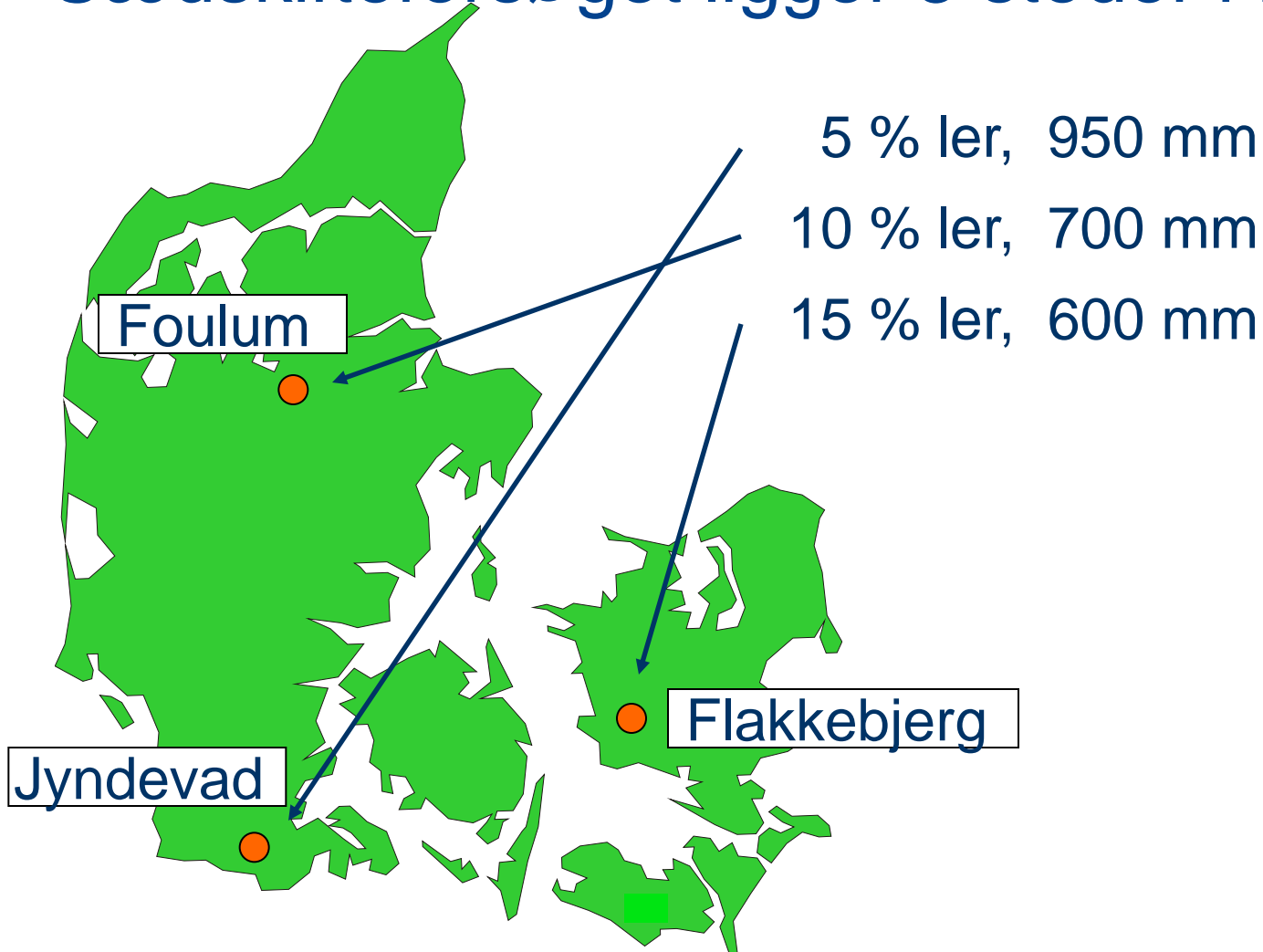


Udbytter og miljøeffekter i økologiske planteavlssædskifter

Professor Jørgen E. Olesen



Sædskifteforsøget ligger 3 steder i Danmark



Forsøgsfaktorer

1997-2004:

- Produktionssystem (økologisk med og uden kløvergræs som grøngødning)
- Efterafgrøder (med: ME, uden: UE)
- Husdyrgødning (med: MG, uden: UG)

2005-2008:

- Produktionssystem (økologisk med og uden kløvergræs som grøngødning, konventionelt)
- Efterafgrøder (med: ME, uden: UE)
- Gødning (med: MG, uden: UG)
- Kombinationen UG/UE udeladt



Sædskiftesystemer

Sædskifte	Rotation	Mark	O1			O2			O4		
			Afgrøde	G	E	Afgrøde	G	E	Afgrøde	G	E
1. rotation 1997-2000	1		Vårbyg:udl.	50		Vårbyg:udl.	50		Havre	40	+
	2		Kløvergræs	0		Kløvergræs	0		Vinterhvede	70	+
	3		Vårhvede	50	+	Vinterhvede	50	+	Vinterhvede	70	+
	4		Lupin	0	+	Ært/byg	0	+	Ært/byg	0	+
2. rotation 2001-2004	1		Vårbyg:udl.	50		Vårbyg:udl.	50		Vintersæd	50	+
	2		Kløvergræs	0		Kløvergræs	0		Havre	50	+
	3		Havre	30	+	Vintersæd	50	+	Vårbyg	50	+
	4		Ært/Vårbyg	0	+	Lupin	0	+	Lupin	0	
Lokaliteter			JY			JY, FO, FL			FO, FL		
3. rotation 2005-2009	1					Vårbyg:udl.	60		Vårbyg	60	+
	2					Kløvergræs	0		Hestebønner	0	+
	3					Kartofler	110		Kartofler	110	
	4					Vinterhvede	110	+	Vinterhvede	110	+
Lokaliteter						JY, FO, FL			JY, FO, FL		

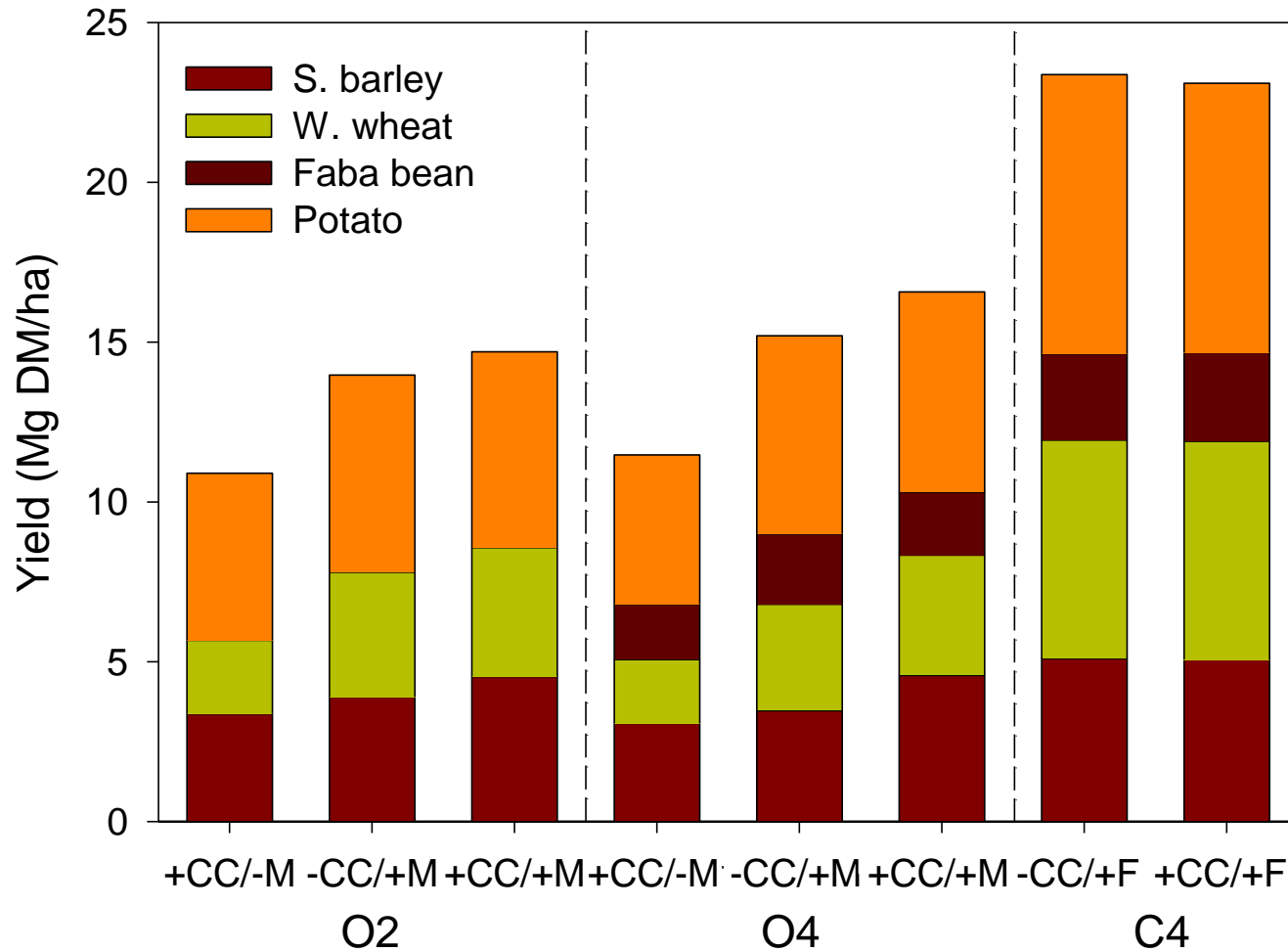
G: Tilstræbte gødningsmængder i gødede behandlinger. Angivet som kg NH₄-N/ha in 1. and 2. rotation and kg total-N/ha i 3. rotation.

E: Efterafgrøder i behandlingen med efterafgrøder.

Nitrogen input i O2 rotation

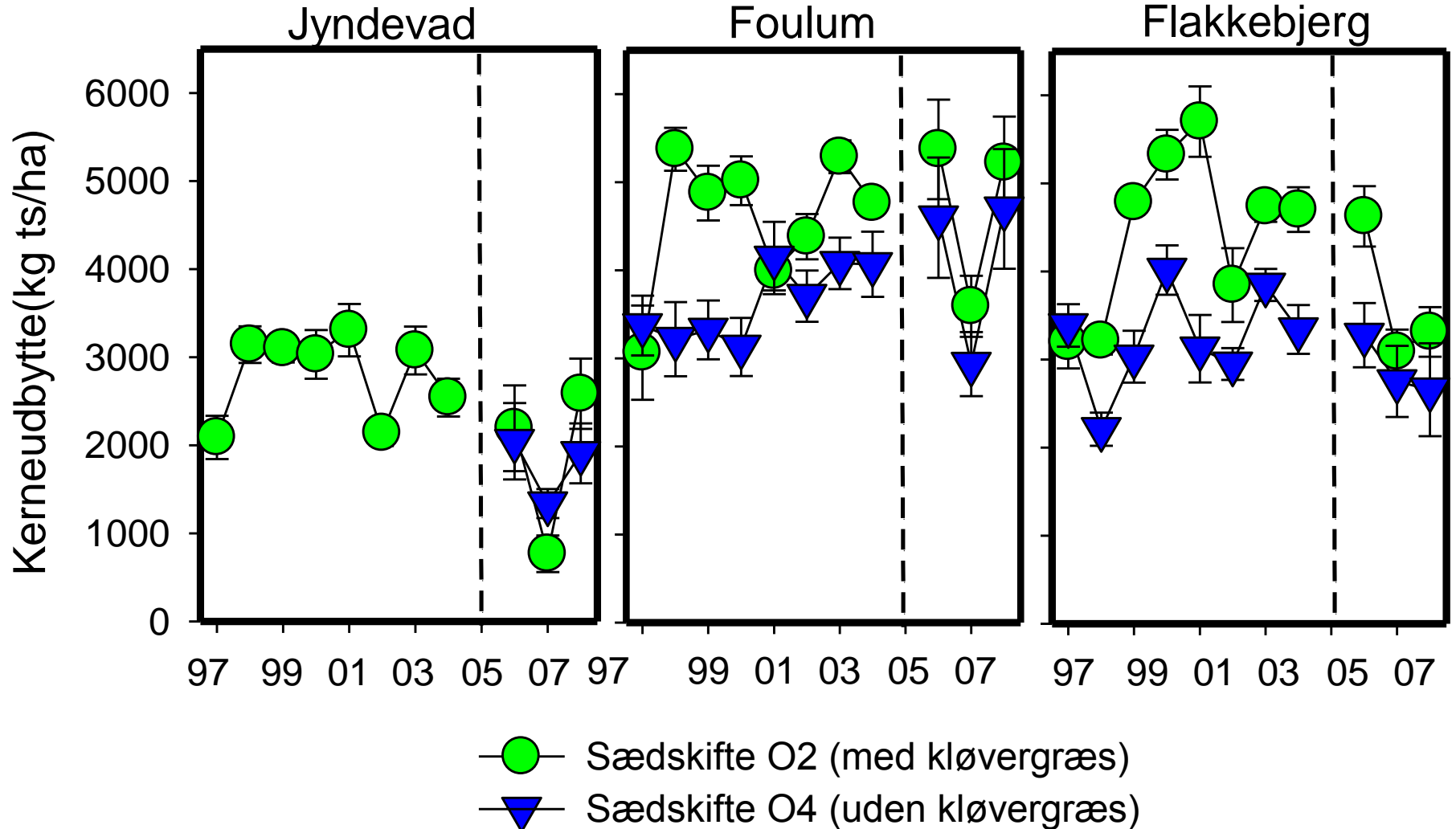
Source	S. barley	Grass-clover	Potato	W. wheat	Mean
Without manure (-M)					
Manure	0	0	0	0	0
Crop residues	33	343	70	40	122
Catch crop	0	0	0	78	20
Total input	33	343	70	118	141
With manure (+M)					
Manure	61	0	112	107	70
Crop residues	53	38	90	33	54
Catch crop	0	0	0	63	16
Total input	114	38	203	202	139

Udbytter (2006-08)



Udbytter i vintersæd

Gennemsnit af 3 behandlinger og 2 gentagelser



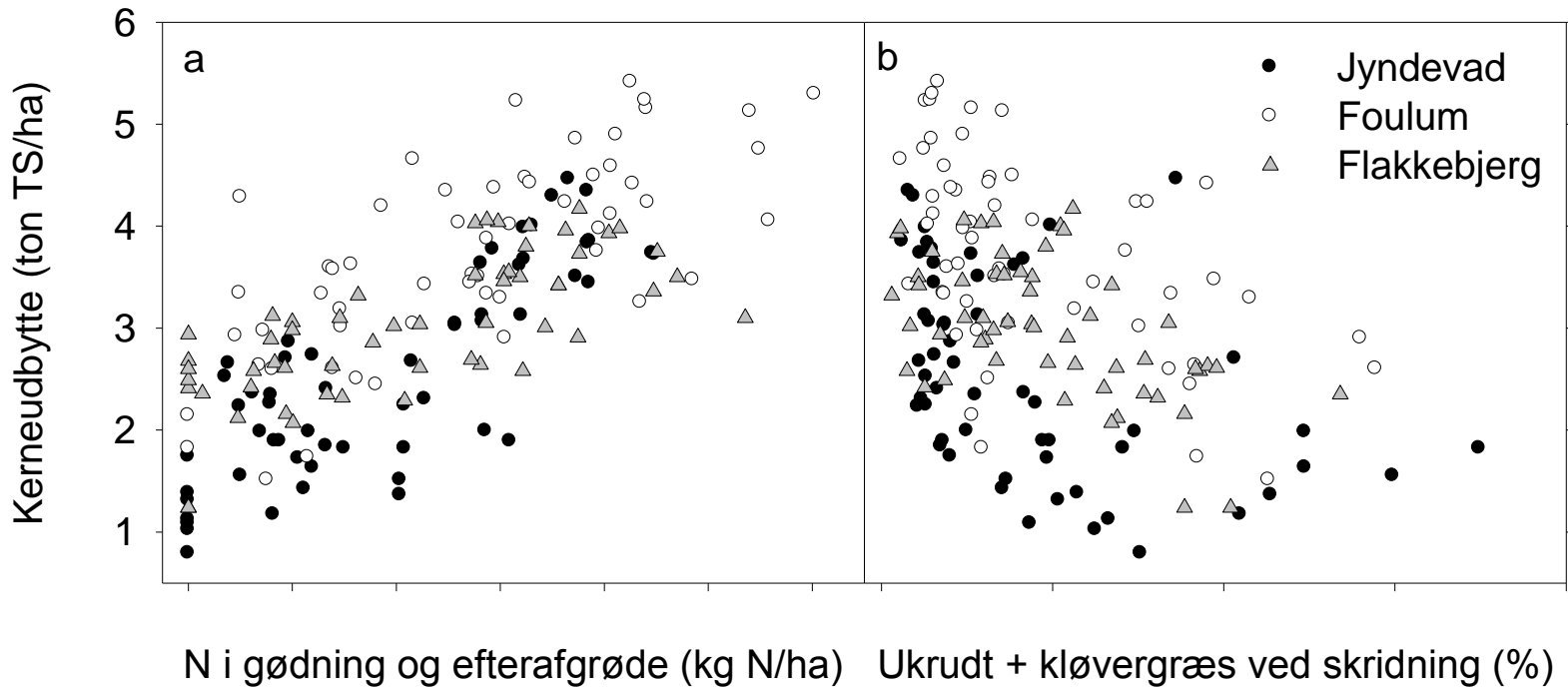
Udbytte i vårbyg (2005-2008)

Treatment	Dry matter yield (Mg DM ha ⁻¹)			N yield (kg N ha ⁻¹)		
	Jyndevad	Foulum	Flakkebjerg	Jyndevad	Foulum	Flakkebjerg
O2/-M/+CC	2.7 ^{ad}	4.3 ^z	2.8 ^{ac}	38 ^a	68 ^{ac}	39 ^a
O2/+M/-CC	3.3 ^{bef}	4.7 ^{abde}	3.3 ^{abc}	45 ^b	71 ^{abc}	52 ^b
O2/+M/+CC	4.6 ^c	5.0 ^{be}	3.6 ^b	68 ^c	84 ^b	54 ^b
O4/-M/+CC	2.3 ^{ab}	3.9 ^{ac}	2.4 ^a	32 ^{ab}	57 ^a	34 ^a
O4/+M/-CC	3.2 ^{ed}	3.9 ^{abc}	3.0 ^{bc}	41 ^{ab}	56 ^a	43 ^{ab}
O4/+M/+CC	4.3 ^{fc}	5.0 ^{def}	3.6 ^b	65 ^c	80 ^{bc}	53 ^b
C4/+F/-CC	4.9 ^c	5.6 ^f	4.9 ^d	70 ^c	98 ^d	91 ^c
C4/+F/+CC	4.8 ^c	5.5 ^{bf}	5.0 ^d	69 ^c	101 ^d	98 ^c

Udbytte i kartofler (2005-2008)

Treatment	Dry matter yield (Mg DM ha ⁻¹)			N yield (kg N ha ⁻¹)		
	Jyndevad	Foulum	Flakkebjerg	Jyndevad	Foulum	Flakkebjerg
O2/-M/+CC	4.2 ^a	5.6 ^{ac}	5.0 ^{ac}	50 ^a	94 ^a	65 ^a
O2/+M/-CC	5.7 ^b	6.0 ^{ac}	5.4 ^{ac}	88 ^{bc}	114 ^{bc}	75 ^a
O2/+M/+CC	5.7 ^b	5.5 ^{ac}	5.6 ^{ac}	83 ^b	106 ^{cd}	83 ^{ab}
O4/-M/+CC	4.2 ^a	5.3 ^a	4.4 ^a	49 ^a	79 ^a	53 ^c
O4/+M/-CC	5.6 ^b	5.9 ^{bc}	5.5 ^{bc}	79 ^b	92 ^{ad}	71 ^a
O4/+M/+CC	5.9 ^b	6.0 ^{bc}	5.8 ^{bc}	85 ^b	105 ^{abd}	78 ^a
C4/+F/-CC	9.5 ^c	8.6 ^d	7.8 ^d	111 ^{cd}	124 ^b	97 ^{bd}
C4/+F/+CC	9.4 ^c	8.1 ^d	7.8 ^d	114 ^d	128 ^b	107 ^d

Vårbyg udbytte afhænger af N og ukrudt



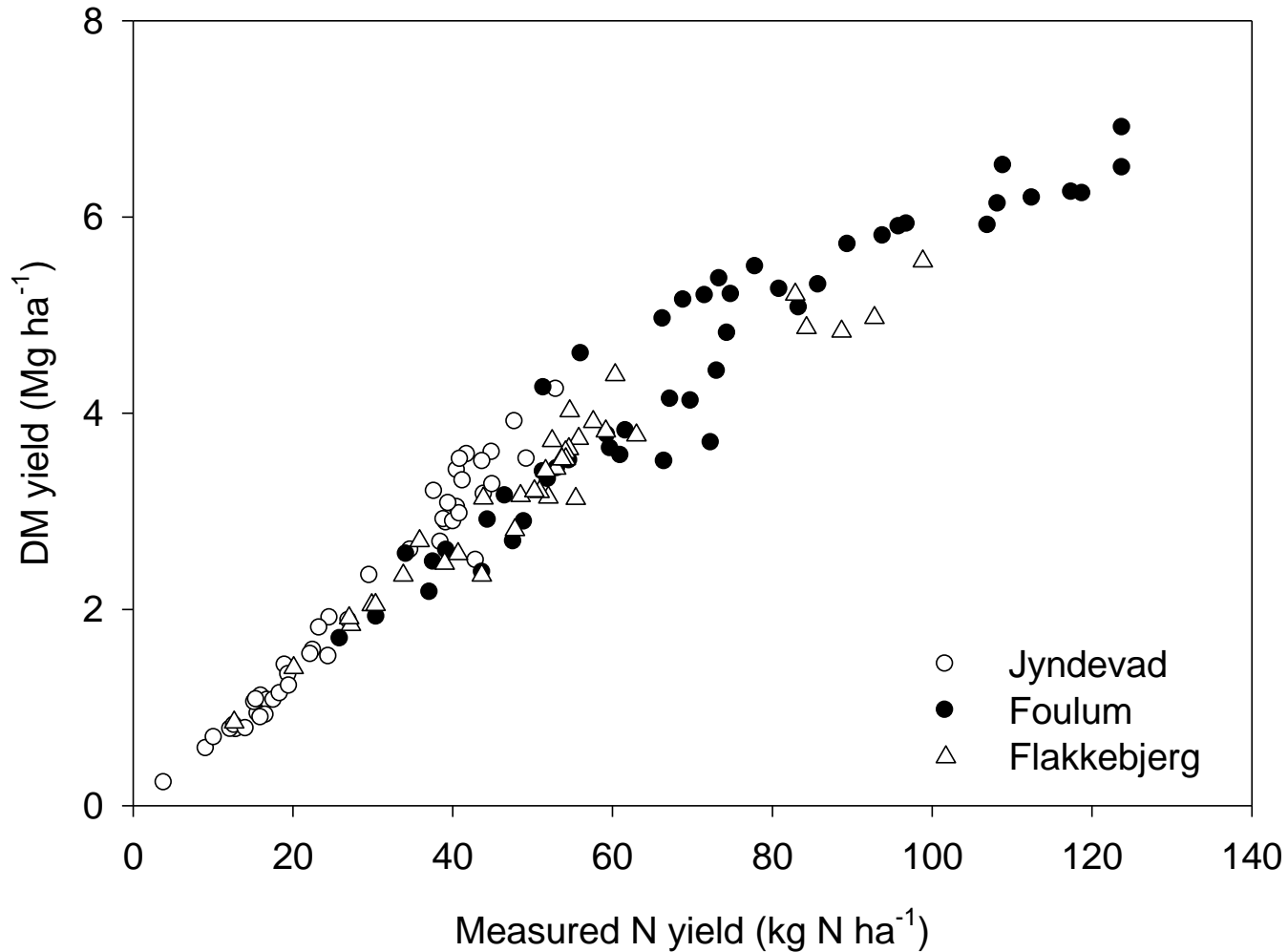
Vårbyg-udbytte - regressionsanalyse

Parameter	Dry matter yield (kg DM ha ⁻¹)			N yield (kg N ha ⁻¹)		
	Jyndevad	Foulum	Flakkebjerg	Jyndevad	Foulum	Flakkebjerg
O1	2805			38		
O2	2829	4029	3080	39	61	45
O4	2695	3710	2741	36	55	40
-CC	2752	3703	2695	37	54	39
+CC	2801	4036	3127	38	62	45
O1/-CC	2791			38		
O1/+CC	2818			38		
O2/-CC	2781	4021	2954	38	59	44
O2/+CC	2877	4037	3206	39	62	45
O4/-CC	2684	3384	2435	35	48	34
O4/+CC	2707	4035	3047	38	62	45
N _{man}	32	21	20	0.46	0.37	0.35
N _{nov}	29	13	2	0.50	0.27	0.16
R ²	0.83	0.85	0.65	0.82	0.86	0.73

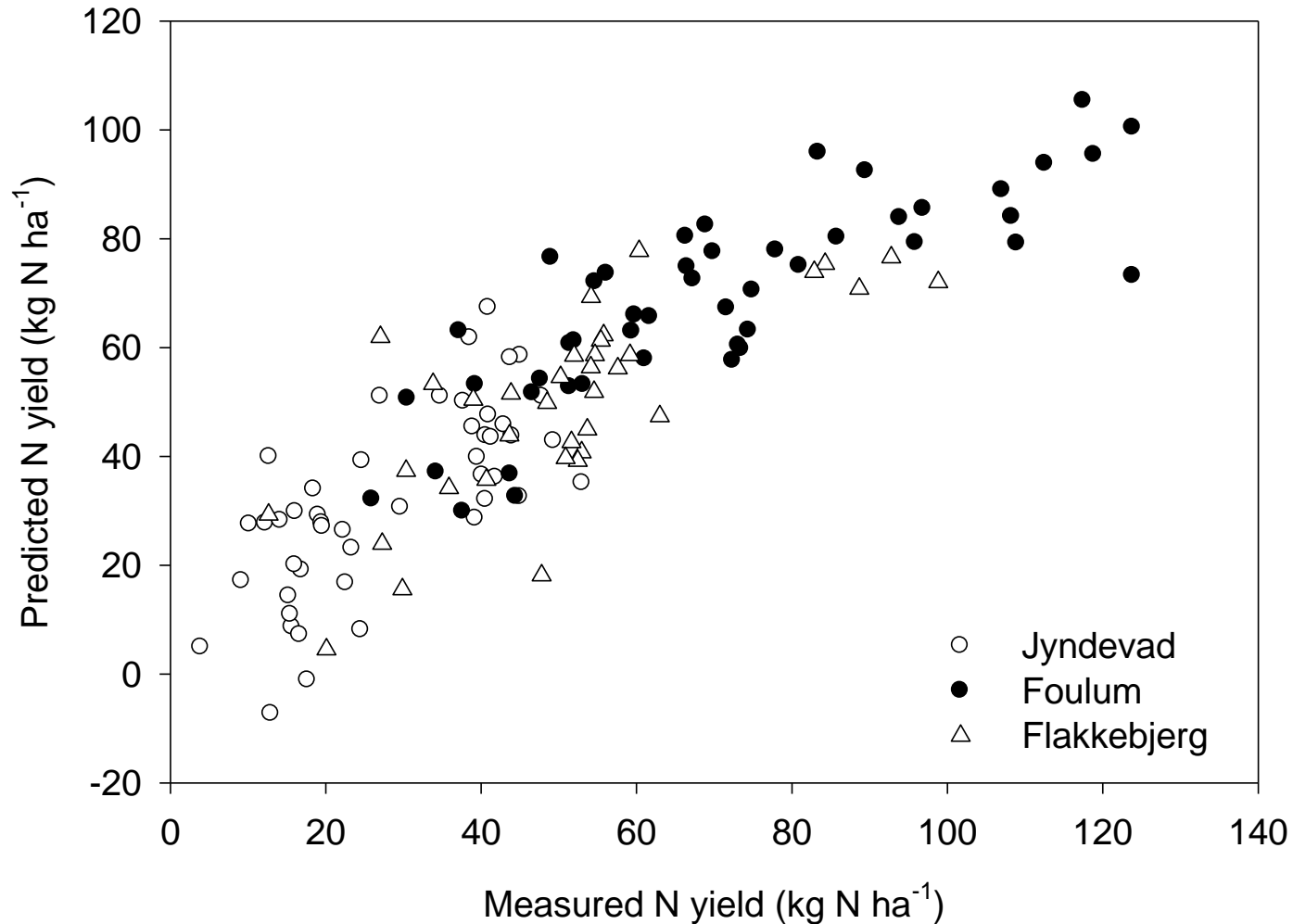
Udbytte i vinterhvede (2006-2008)

Treatment	Dry matter yield (Mg DM ha ⁻¹)			N yield (kg N ha ⁻¹)		
	Jyndevad	Foulum	Flakkebjerg	Jyndevad	Foulum	Flakkebjerg
O2/-M/+CC	0.7 ^a	3.2 ^{ac}	3.0 ^a	12 ^a	59 ^a	46 ^{ae}
O2/+M/-CC	2.2 ^b	5.6 ^b	3.9 ^b	30 ^b	97 ^b	63 ^{bd}
O2/+M/+CC	2.6 ^b	5.4 ^b	4.1 ^b	36 ^b	91 ^b	68 ^{bc}
O4/-M/+CC	0.8 ^a	3.4 ^a	1.8 ^c	14 ^a	38 ^a	29 ^e
O4/+M/-CC	2.2 ^b	4.6 ^{bc}	3.2 ^{ab}	30 ^b	73 ^{ab}	48 ^{ad}
O4/+M/+CC	2.3 ^b	5.3 ^b	3.7 ^{ab}	32 ^b	91 ^b	56 ^{abc}
C4/+F/-CC	5.7 ^c	7.8 ^d	7.0 ^d	104 ^c	160 ^c	157 ^f
C4/+F/+CC	5.7 ^c	7.4 ^d	7.4 ^e	99 ^c	158 ^c	172 ^g

Tørstof-udbytte mod N-udbytte i vinterhvede



Prædikteret mod målt N-udbytte i vinterhvede



Model for N-udbytte i kerne i vinterhvede

Variabel	Effekt
År: 2006 (kg N/ha)	23.4
2007	-9.4
2008	0.4
2009	0.0
Dybde af A-horisont (kg N/cm)	0.49
Total-N i pløjelag (kg N/kg N)	0.009
N tilført i planterester sidste 10 år (kg N/kg N)	0.025
Ammonium-N i gødning (kg N/kg N)	0.209

Effekter af dyrkningsfaktorer på tørstofudbytter

	Jyndevad		Foulum		Flakkebjerg	
<i>Vintersæd (første års)</i>						
Husdyrgødning (kg TS/kg NH ₄ -N)	18	***	26	***	16	***
Kløvergræsforfrugt (kg TS/ha)	630	***	673	***	828	***
Kløvergræs i sædskiftet (kg TS/ha)	85	IS	664	***	781	***
Efterafgrøde i sædskiftet (kg TS/ha)	37	IS	-108	IS	153	IS
<i>Vårbyg</i>						
Husdyrgødning (kg TS/kg NH ₄ -N)	32	***	20	***	20	***
Kløvergræs i sædskiftet (kg TS/ha)	192	IS	303	***	309	***
Efterafgrøde (kg TS/ha)	580	***	592	***	429	***
<i>Havre</i>						
Husdyrgødning (kg TS/kg NH ₄ -N)	29	***	21	***	20	***
Efterafgrøde (kg TS/ha)	112	IS	770	***	630	***
<i>Kartoffel</i>						
Husdyrgødning (kg TS/kg NH ₄ -N)	24	***	5	IS	12	***
Kløvergræs i sædskiftet (kg TS/ha)	-25	IS	-14	IS	136	IS
Efterafgrøde (kg TS/ha)	100	IS	186	IS	256	IS

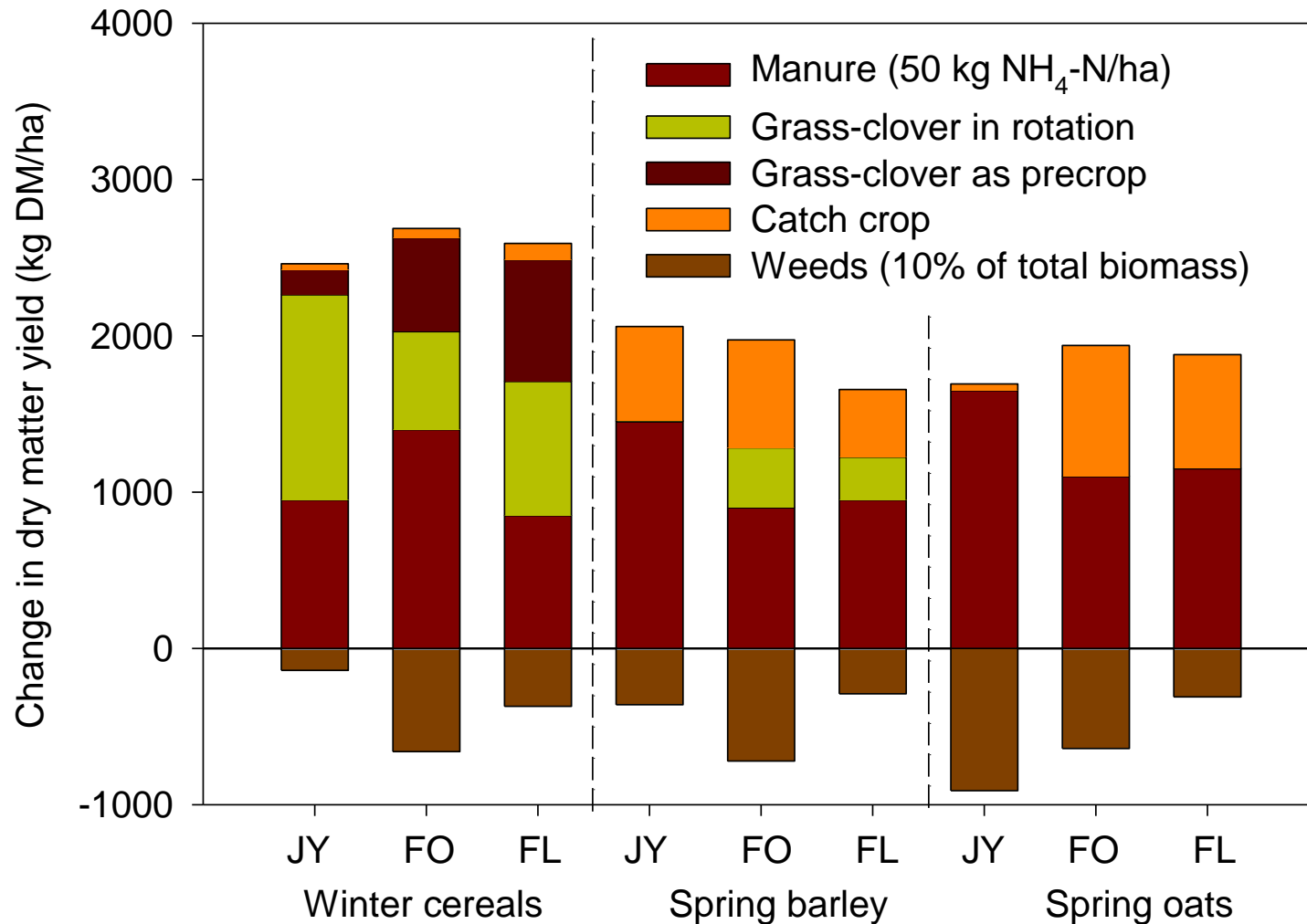
Signifikansniveauer: IS: $P > 0.05$, * : $0.05 > P > 0.01$, ** : $0.01 > P > 0.001$, *** : $0.001 > P$.

Effekter af dyrkningsfaktorer på N-udbytter

	Jydevad		Foulum		Flakkebjerg	
<i>Vintersæd (første års)</i>						
Husdyrgødning (kg N/kg NH ₄ -N)	0.23	***	0.44	***	0.28	***
Kløvergræsforfrugt (kg N/ha)	10	***	11	***	15	***
Kløvergræs i sædskiftet (kg N/ha)	0	IS	16	***	15	***
Efterafgrøde i sædskiftet (kg N/ha)	0	IS	-2	IS	3	IS
<i>Vårbyg</i>						
Husdyrgødning (kg N/kg NH ₄ -N)	0.45	***	0.35	***	0.35	***
Kløvergræs i sædskiftet (kg N/ha)	3	IS	5	***	4	***
Efterafgrøde (kg N/ha)	11	***	14	***	8	***
<i>Havre</i>						
Husdyrgødning (kg N/kg NH ₄ -N)	0.47	***	0.39	***	0.36	***
Efterafgrøde (kg N/ha)	1	IS	20	***	11	***
<i>Kartoffel</i>						
Husdyrgødning (kg N/kg NH ₄ -N)	0.53	***	0.29	***	0.26	***
Kløvergræs i sædskiftet (kg N/ha)	3	IS	14	***	8	***
Efterafgrøde (kg N/ha)	0	IS	2	IS	7	IS

Signifikansniveauer: IS: $P > 0.05$, * : $0.05 > P > 0.01$, ** : $0.01 > P > 0.001$, *** : $0.001 > P$.

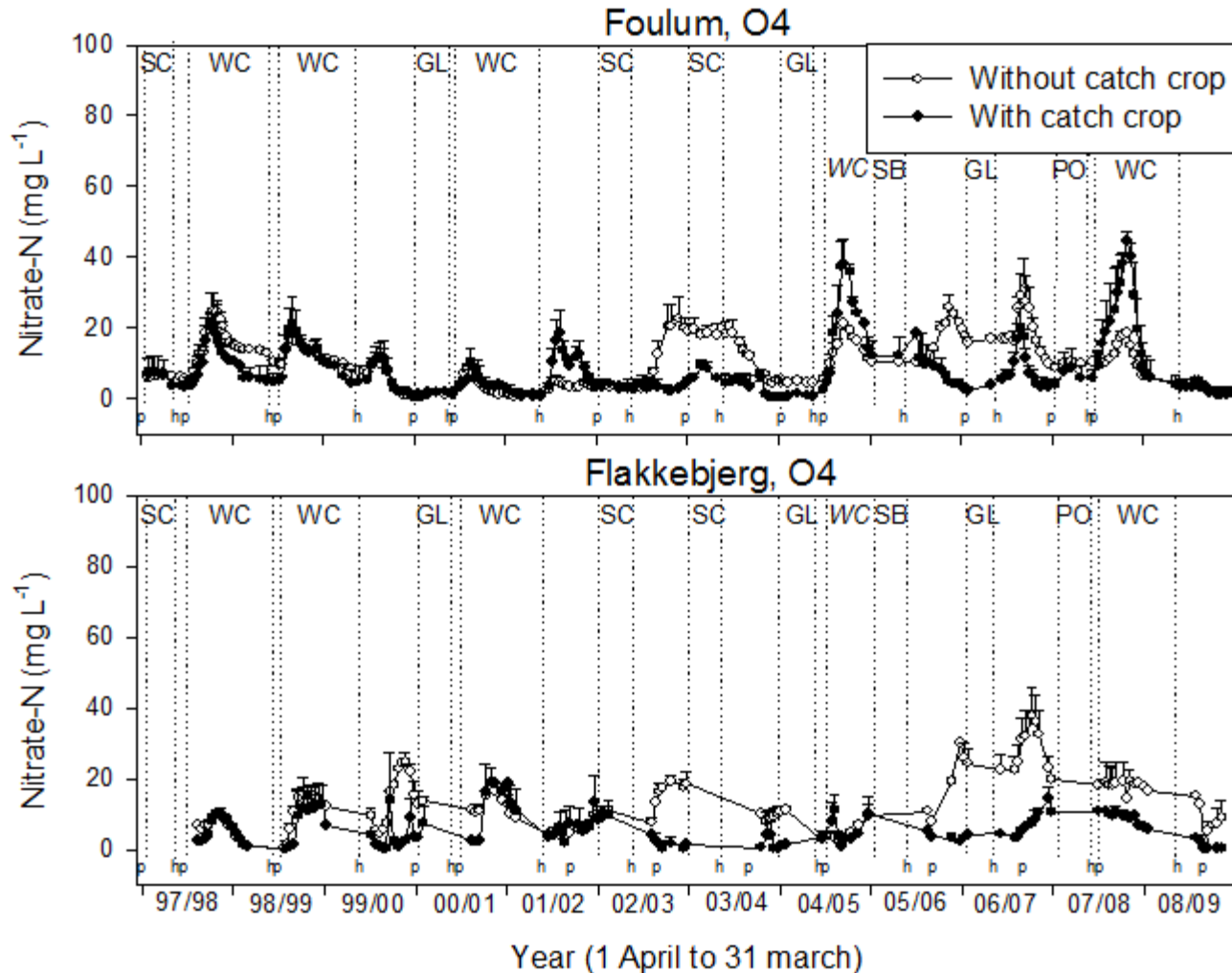
Udbytte-effekter af sædskifter og management



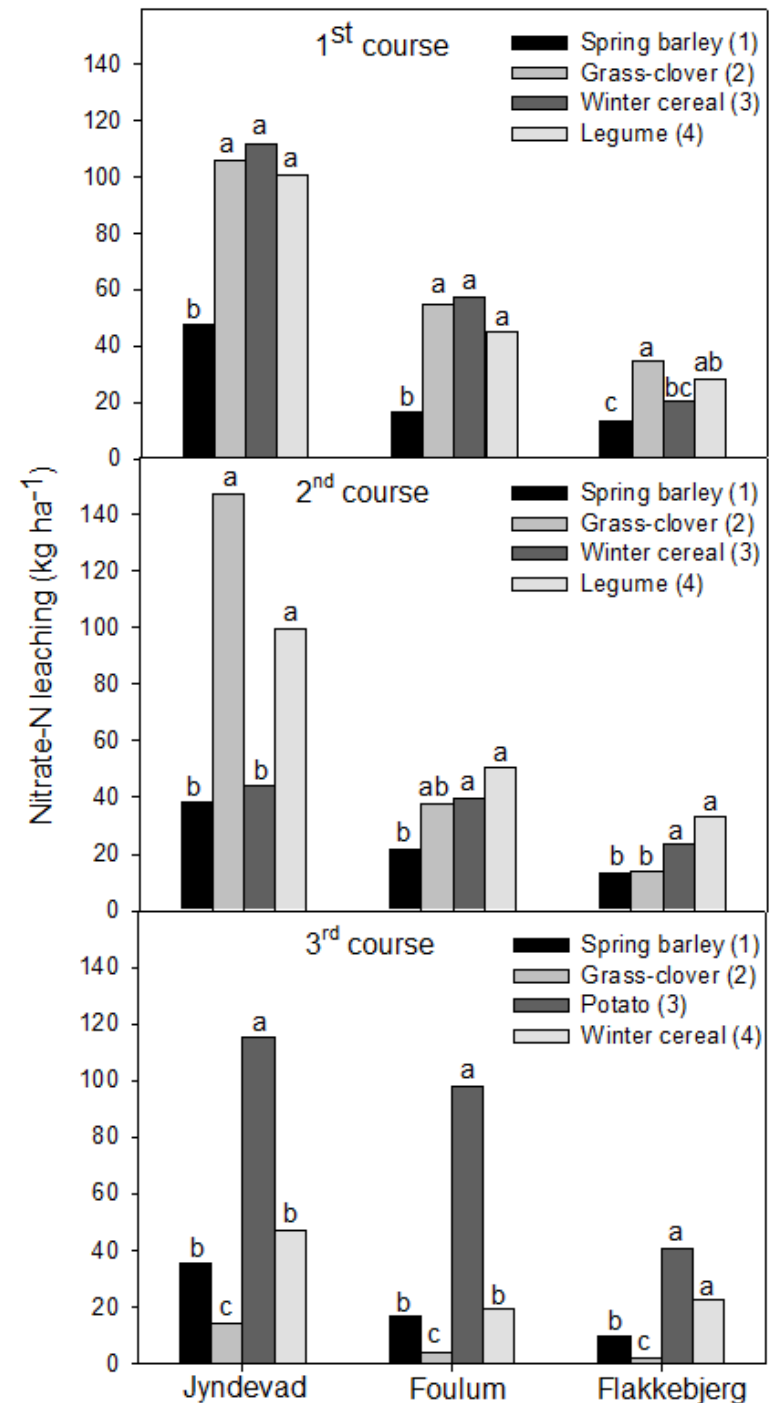
Konklusioner

- › Gødskning er den vigtigste faktor for at opnå højere udbytter i økologisk planteavl
- › Der kan opnås lige så store merudbytter ved gødskning med gylle i økologiske kornafgrøder som i konventionelle
- › Kløvergræs giver både en kortsigtet og en langsigtet effekt på udbytte i kornafgrøder
- › Kløvergræs forud for vintersæd virker lige så godt som gødskning med 50 kg ammonium-N/ha
- › Efterafgrøder øger primært udbytterne i den efterfølgende kornafgrøde
- › Udbytterne vil kunne øges yderligere ved større gødningsmængder, f.eks. gennem anvendelse af kløvergræs og efterafgrøder til biogas

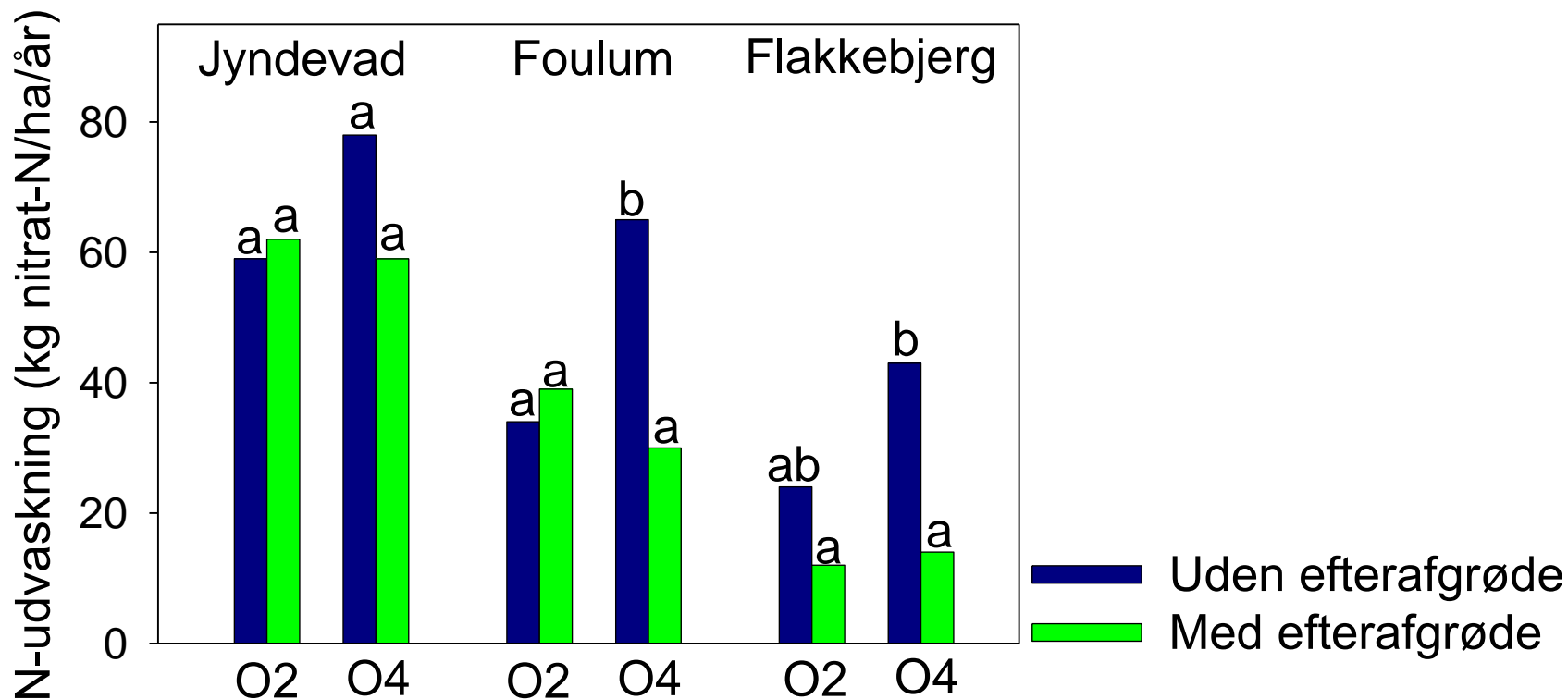
Nitrat-koncentrationer i jordvand



Nitrat-udvaskning uden efterafgrøder



N-udvaskning afhængig af efterafgrøder



Sædskifter

O2

O4

3. rotation	1	Vårbyg:udlæg	Vårbyg ^E
2005-2008	2	Kløvergræs	Hestebønner ^E
	3	Kartofler	Kartofler
	4	Vinterhvede ^E	Vinterhvede ^E

N-udvaskning afhænger af jorddække efterår

Dyrkningssystem		Udvaskning		Forskel
UE	ME	UE	ME	
Dække efterår/vinter		kg N ha ⁻¹ yr ⁻¹		
Kløvergræs	Kløvergræs	27 ^a	26 ^a	-1
Ukrudt	Efterafgrøde	30 ^a	21 ^b	-10
Bar jord	Efterafgrøde	55 ^a	18 ^b	-37
Vintersæd	Vintersæd	39 ^b	44 ^a	5

Konklusioner

- › N-udvaskningen er ikke påvirket af gødskningen
- › N-udvaskningen afhænger primært af jorddække om efteråret
- › Efterafgrøder reducerer N-udvaskning i de år hvor efterafgrøden dyrkes
- › Øget jordfrugtbarhed (efterafgrøder, grøngødning) øger N-udvaskningen
- › Foreløbige resultater
 - › Fjernelse af kløvergræs mindsker N-udvaskning
 - › Varmere vintre giver højere N-udvaskning

Indikatorer for jordkvalitet og miljø

- › Luftdiffusivitet i jorden (jordkvalitet - jordstruktur)
- › Jordrespiration (jordkvalitet – biologisk aktivitet)

- › Lattergas (miljø)
- › Kulstoflagring (miljø)

Måling af lattergas



Måling af jordrespiration



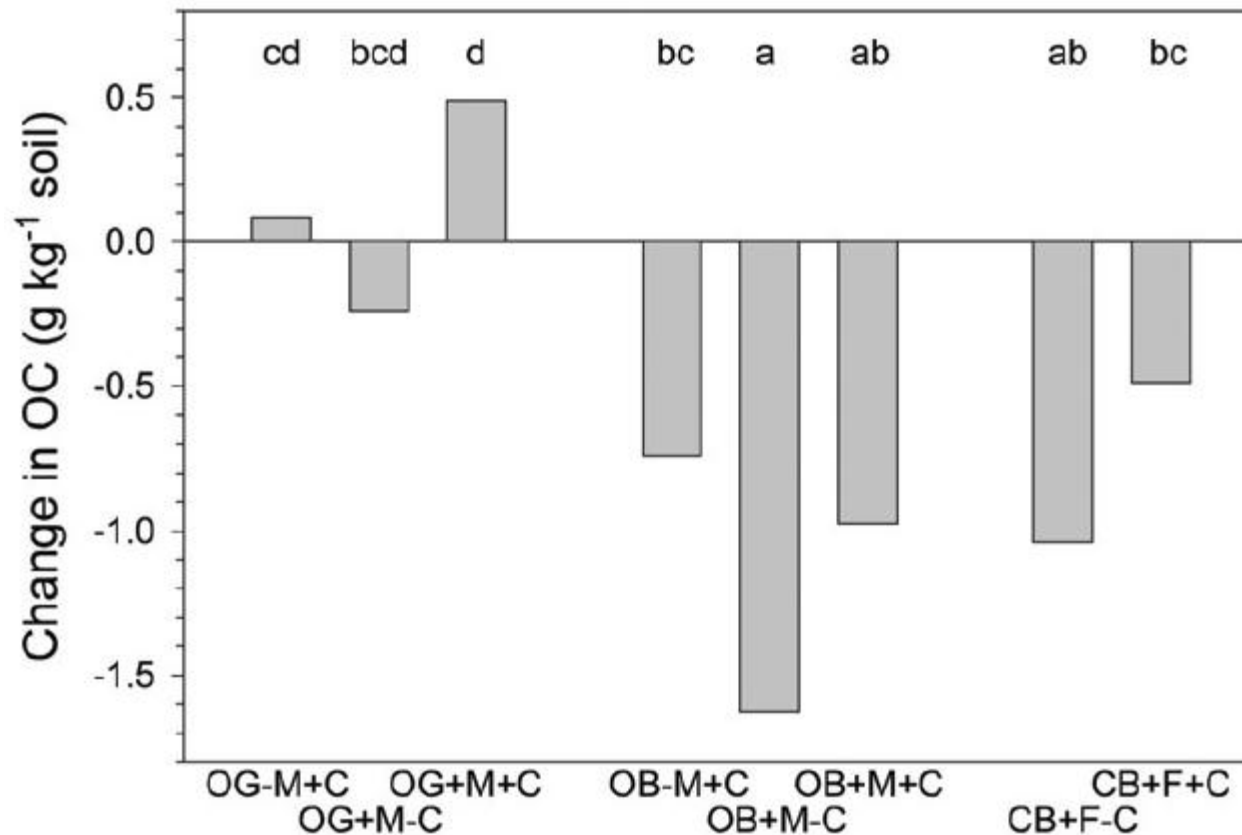
Jordkvalitet og lattergas i vinterhvede på Foulum i 2008

Dyrkningssystem	Relativ luft diffusivitet (%)	Jord respiration ton CO ₂ -C/ha	N ₂ O emissioner kg N ₂ O-N/ha
C4/MG/UE	4,7 ^a	1,8 ^a	0,9 ^a
O4/MG/UE	7,1 ^b	2,3 ^b	0,7 ^a
O4/UG/ME	5,9 ^{ab}	2,5 ^b	0,7 ^a
O4/MG/ME	6,0 ^{ab}	2,9 ^c	0,8 ^a
O2/MG/ME	5,8 ^{ab}	2,4 ^b	0,6 ^a

Værdier med samme bogstav inden for samme række er ikke signifikant forskellige ($P < 0.05$)

Vinterhvede var placeret efter kartofler, som udviser behandlingsforskelle. Forskelle repræsenterer derfor langsigtede ændringer i jordfrugtbarhed.

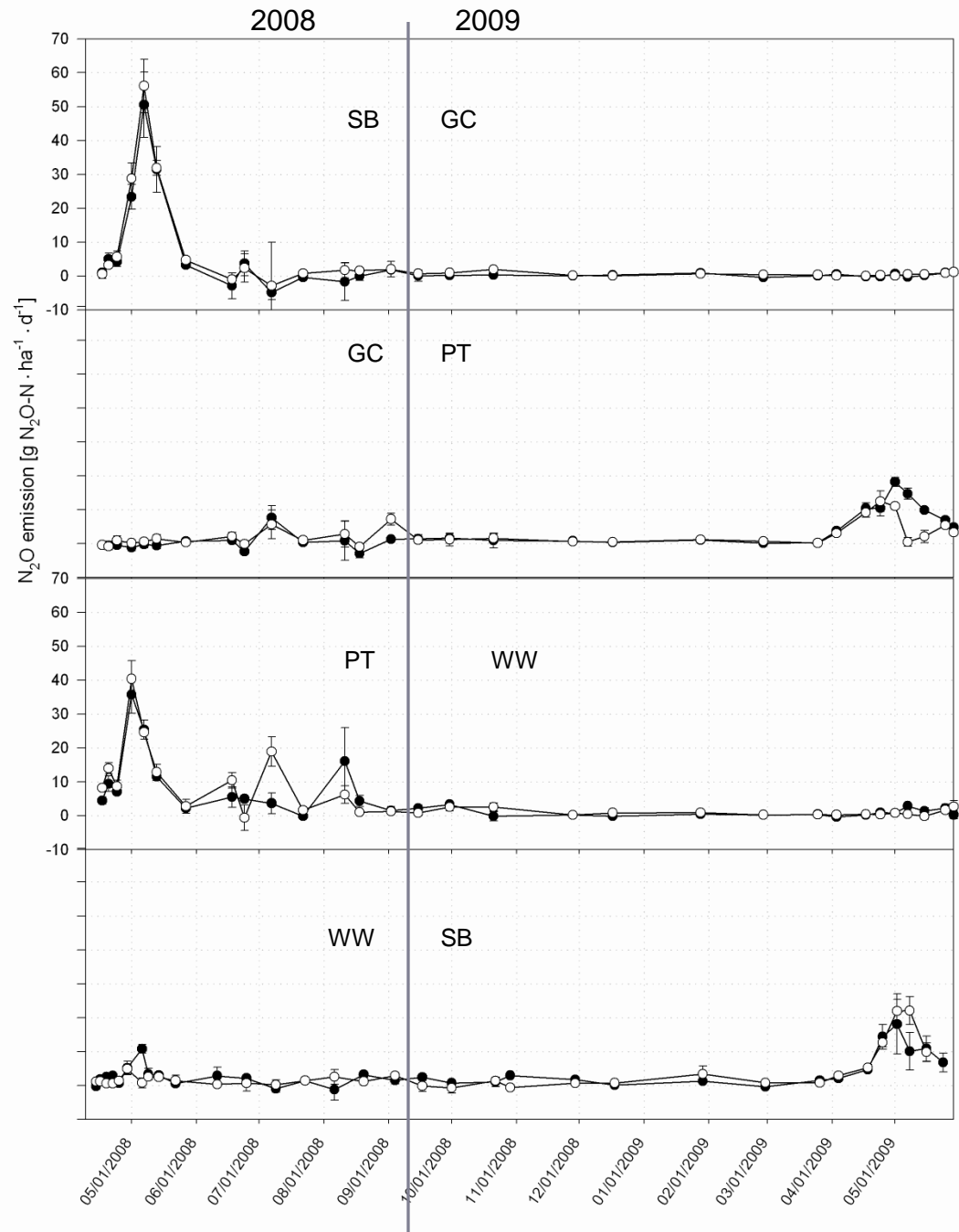
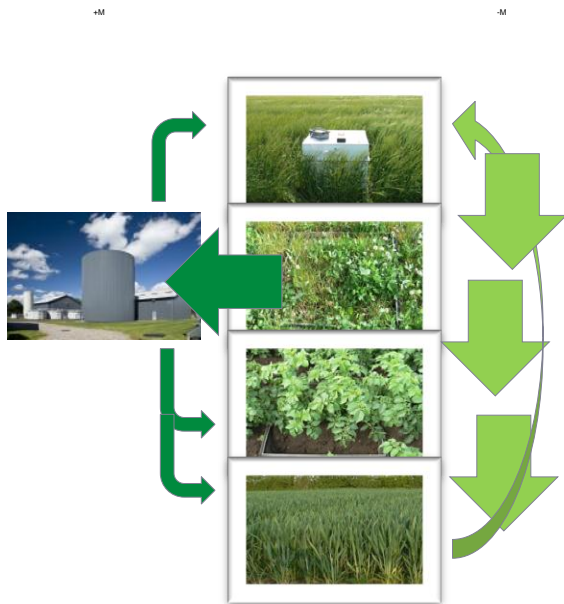
Ændringer i jordkulstof i forsøget på Flakkebjerg (1996-2008)



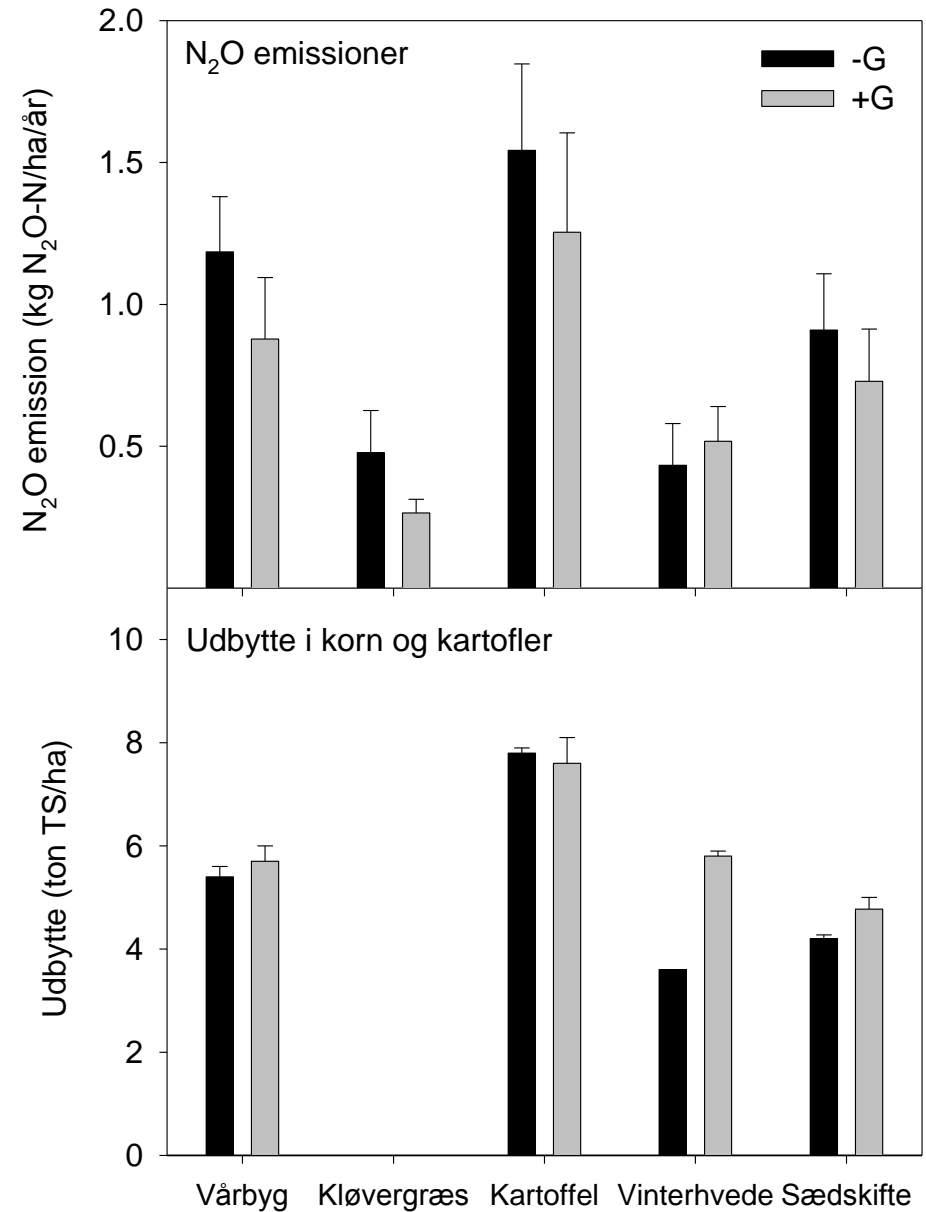
Lattergas på Foulum

Sædskifte O2/ME

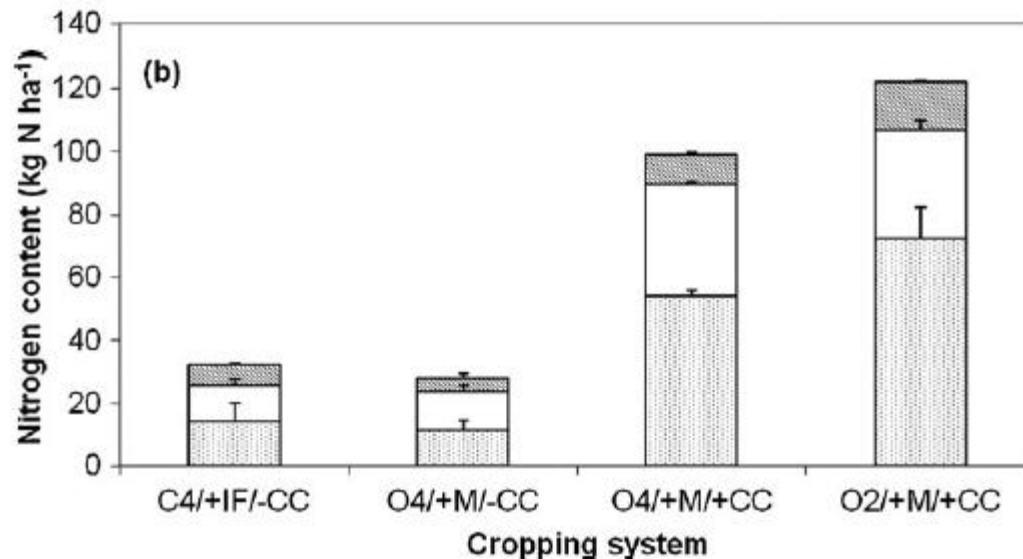
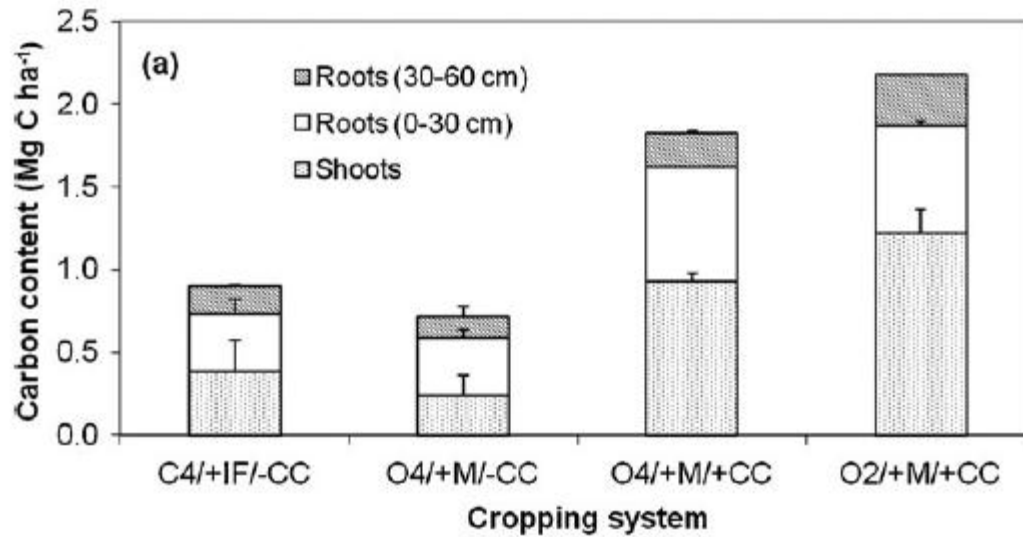
- Med gødning
- Uden gødning



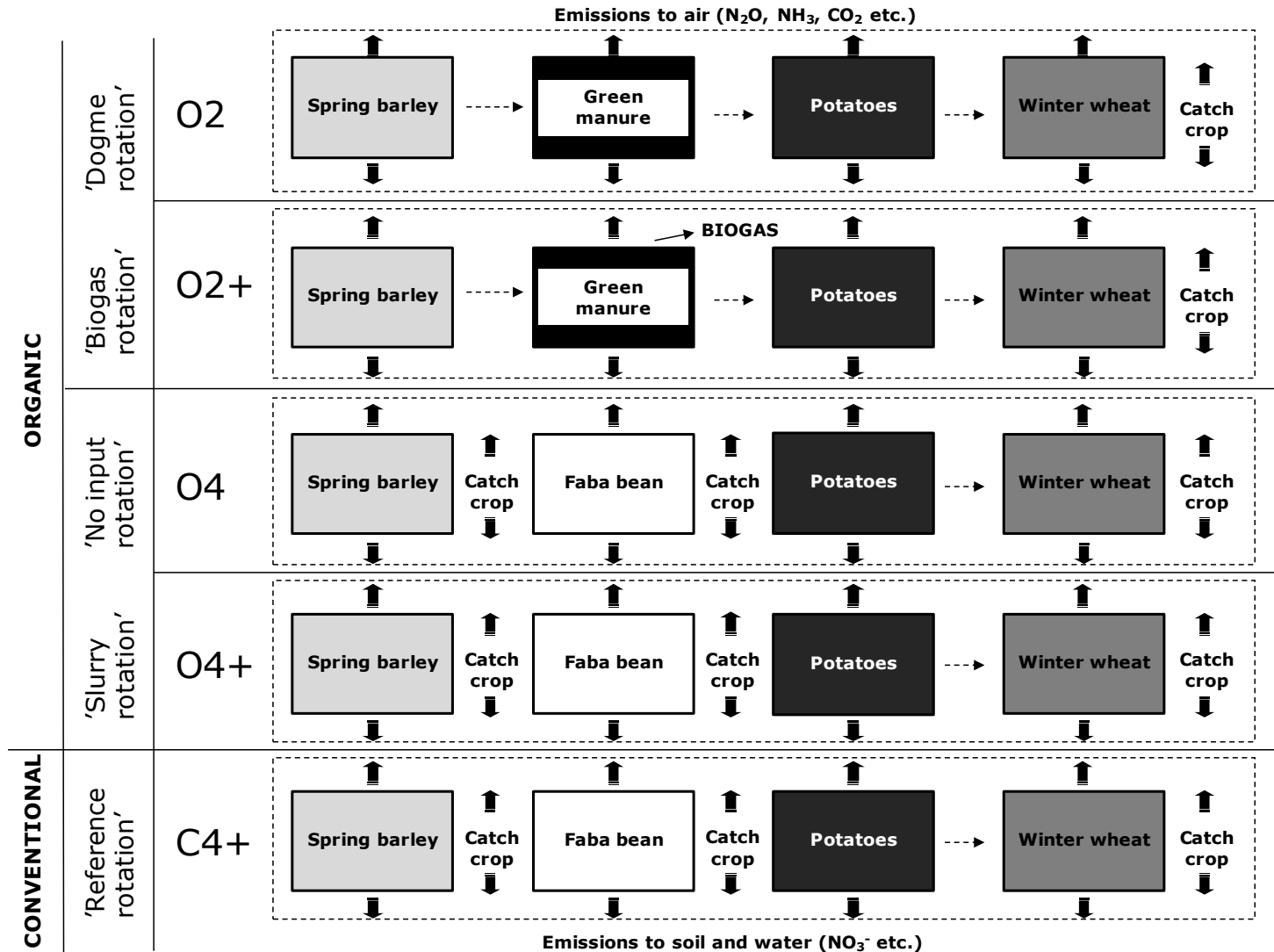
Lattergasemissioner og tørstofudbytter på Foulum 2008 med og uden gødning



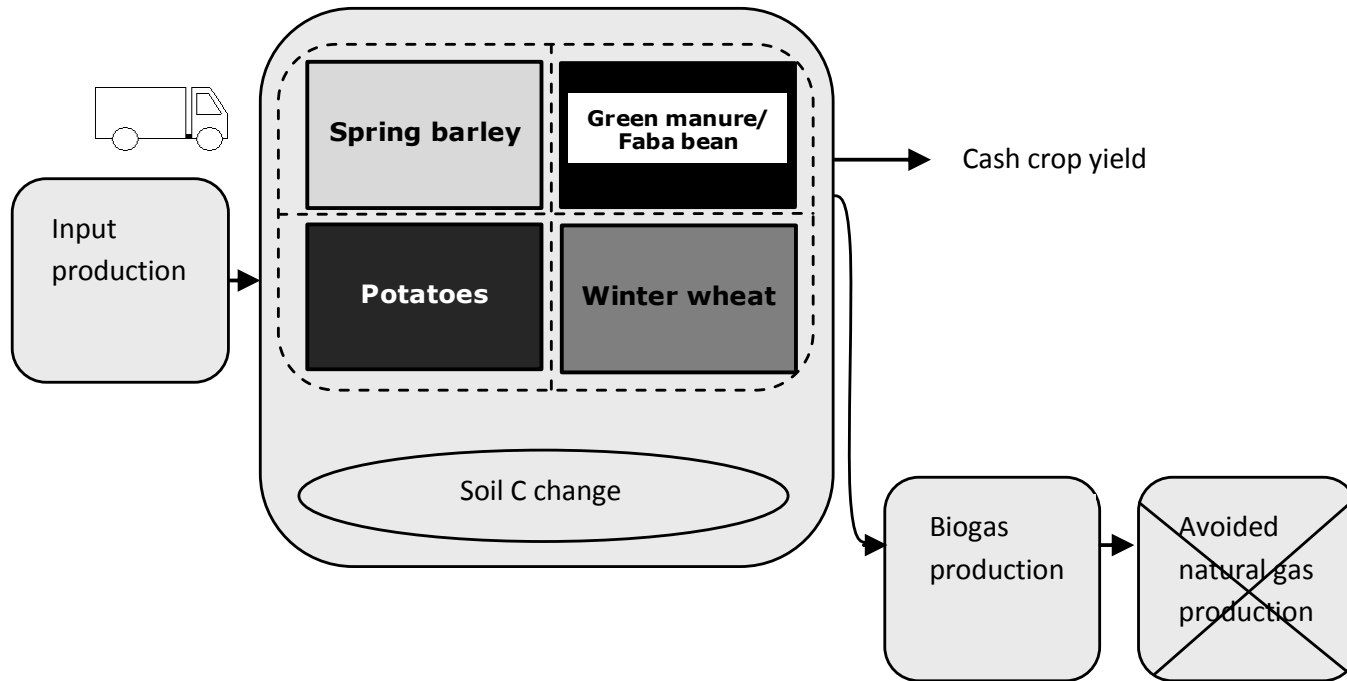
Tørstof og N i rødder og skud af efterafgrøder



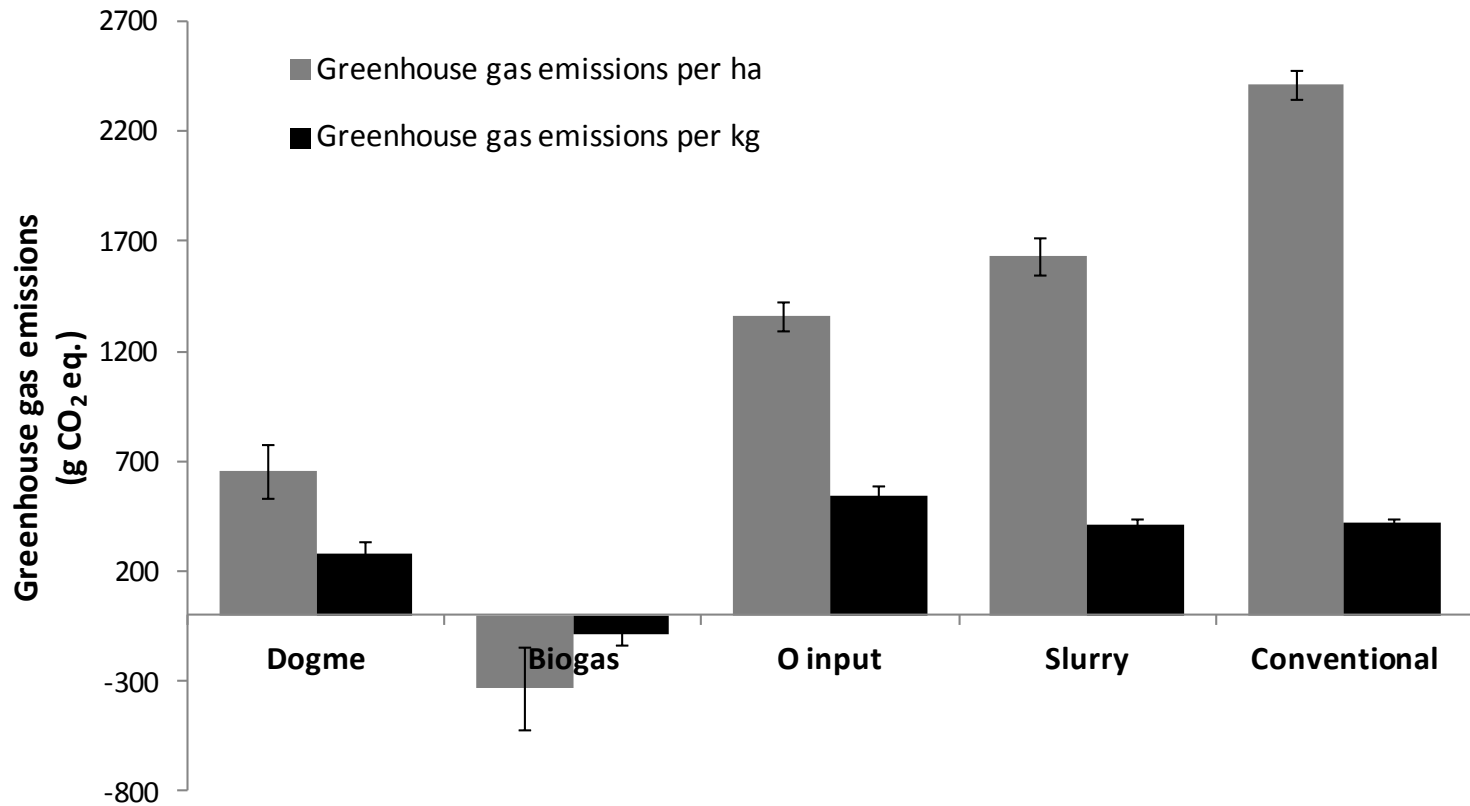
Systemer til livscyklusvurdering



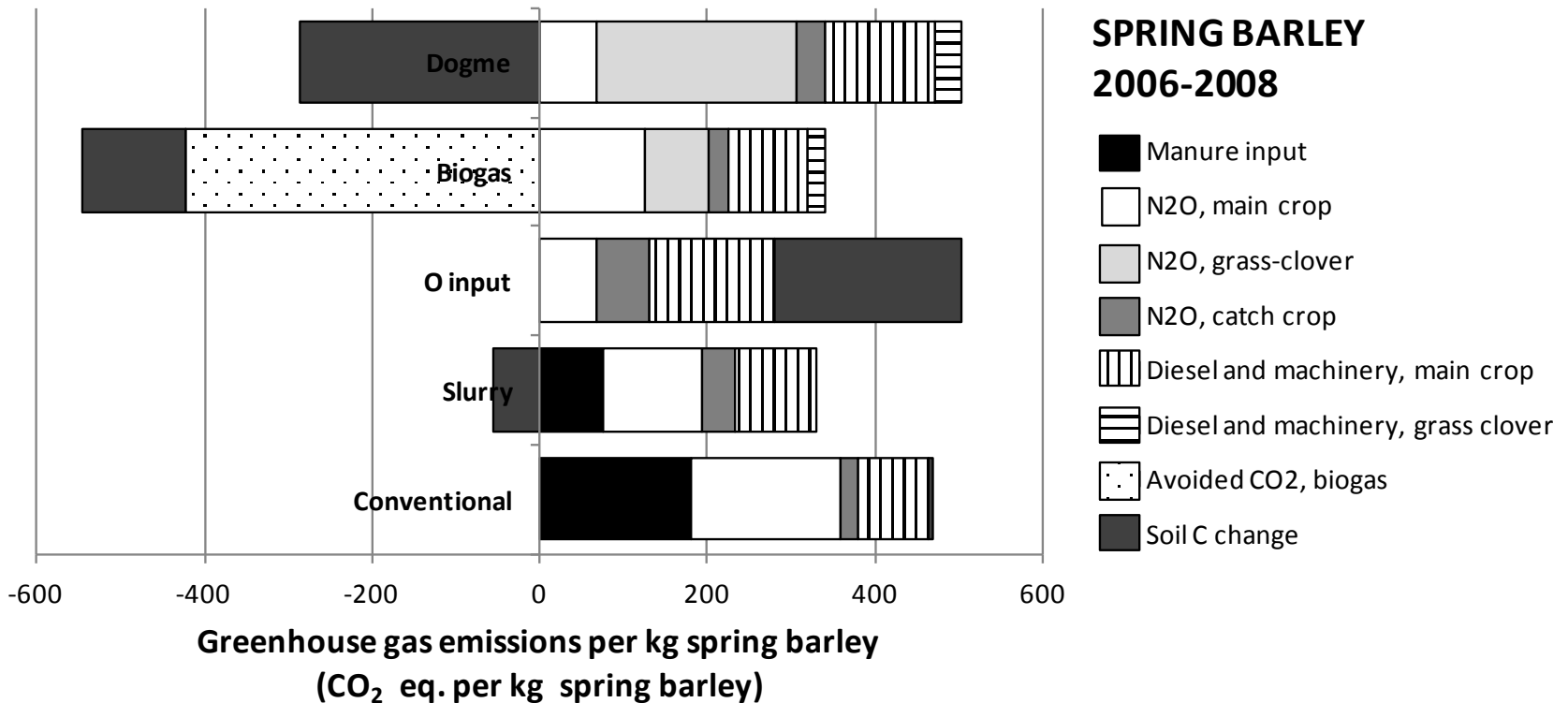
Systembeskrivelse til LCA



Resultater af LCA for hele sædskiftet



Resultater af LCA for vårbyg



Konklusioner

- › Gødskning øger udbytter og jordens kulstoflagring, men kun lille effekt på lattergas
- › Efterafgrøder øger kulstoflagringen og jordkvaliteten, men giver også øget lattergasemission
- › Kløvergræs som grøngødning i et planteavlssædskifte synes at have omtrent samme effekt på kulstoflagring og jordkvalitet end efterafgrøder
- › Efterafgrøder er afgørende for jordkvalitet og kulstoflagring, men der er behov for nye metoder til at sikre lave lattergasudledninger, f.eks. høst af efterafgrøder til brug i biogas