

**Kvantifiering av kväve-  
fixering via baljväxter  
i fält**

**- förslag till ny modell i  
rådgivningsprogrammet STANK**

*Bodil E. Frankow-Lindberg*



Rapport • 5

Institutionen för ekologi och växtproduktionslära

Uppsala 2003

**Rapport • nr 5**

Institutionen för ekologi  
och växtproduktionslära  
SLU  
Box 7043  
750 07 UPPSALA

Uppsala 2003

ISSN 1404-2339

Ansvarig utgivare: Paula Persson

**Kvantifiering av kvävefixering  
via baljväxter i fält**

-  
förslag till ny modell i rådgivnings-  
programmet STANK

Bodil E. Frankow-Lindberg

Institutionen för ekologi och växtproduktionslära  
Sveriges lantbruksuniversitet  
Uppsala 2003

Ämnesord: baljväxter, kvävefixering

## **Förord**

Projektet initierades och finansierades av Jordbruksverket och diskussioner om innehåll och utformning har förts med Janne Linder vid detsamma. Givande diskussioner har också förts med Henning Högh-Jensen (KVL), Ib S. Kristensen och Karen Søgaard (DIAS).

## Sammanfattning och slutsatser

- I en blandning av gräs och klöver kommer gräset att ta upp merparten av det tillgängliga oorganiska kvävet.
- I en blandning av gräs och klöver försörjs klöveren i huvudsak av fixerat kväve om inte grödan har fått extremt höga kvävegivor. Därmed är skördad mängd kväve i klöveren ett bra mått på fixeringen. I försök uppmäts ungefär samma mängd fixerad kväve per kg klöver oavsett gödslingsnivå. Se tabell 1.
- Kvävegödsling till en klöver/gräsvall stimulerar gräsens tillväxt. Därmed reduceras mängden klöver och kvävefixeringen. Reduktionen av kvävefixeringen vid kvävegödsling i en klöver/gräsvall beror framför allt på att klövermängden minskar och inte på att klöveren tar upp tillfört kväve.
- Kväve i skördad klöver är bara en del av det fixerade kvävet. För att kunna beräkna totala kvävefixeringen måste kväve i rot och stubb, kväve överfört till gräs under jord eller via betande djur och immobiliserat kväve också räknas in. Detta kan göras med den danska modell som presenteras på sid 6. Schabloner anpassade för svenska förhållanden finns framtagna i tabell 3.
- En kontroll av rimligheten för en beräknad kvävefixering kan göras genom att beräkna kväveeffektiviteten med formeln; skördat kväve/(handelsgödselkväve + fixerat kväve). I försök med uppmätt kvävefixering ligger den beräknade kväveeffektiviteten i genomsnitt på ca. 70%. Det är alltid en svårighet att uppskatta klöverandelen. Om det vid en kontroll av rimligheten visar sig att vallen har betydligt högre eller lägre värde än 70% bör man överväga att justera uppskattningen av andelen klöver.
- I en gröngödslingsvall måste den skörd som skulle kunna ha bärgats från fältet uppskattas. Kvävefixeringen minskar när all grönmassa återförs eftersom frigjort kväve fungerar som en gödsling. Kväveeffektiviteten i en gröngödslingsgröda går inte att beräkna eftersom inget kväve skördas från fältet det året.
- Skörden från en betesvall blir aldrig uppmätt. För att kunna beräkna fixeringen måste schablonskördar användas. Betesvallen gödglas av de betande djuren och en situation liknande den i en gröngödslingsvall uppstår.

# Innehållsförteckning

<b>Bakgrund</b>	<b>6</b>
<b>Den danska modellen för kvantifiering av kvävefixering</b>	<b>6</b>
<b>Andra publicerade modeller för kvantifiering av kvävefixering</b>	<b>7</b>
<b>Metoder att mäta kvävefixering i fält</b>	<b>8</b>
<b>Variabler som ingår i den danska modellen</b>	<b>10</b>
<i>Mängd och andel fixerat kväve</i>	<i>10</i>
<i>Kvävehalt i baljväxten</i>	<i>14</i>
<i>Överföring av kväve från baljväxt till samodlingsväxt via jord</i>	<i>14</i>
<i>Överföring av kväve via betande djur</i>	<i>15</i>
<i>Kväve deponerat i markprofilen</i>	<i>15</i>
<i>Grüngödsling</i>	<i>16</i>
<b>Förslag till parametrar</b>	<b>16</b>
<b>Beräkningar enligt den danska modellen</b>	<b>18</b>
<b>Beräkningar av kväveeffektivitet och markbalanser</b>	<b>20</b>
<b>Luckor i vår kunskap</b>	<b>21</b>
<b>Referenser</b>	<b>22</b>

## Bakgrund

Den kvävefixeringsmodell som hittills använts i Jordbruksverkets kalkylprogram för miljöinriktad växtnäringsrådgivning (STANK) har visat sig ge inkonsistenta resultat, speciellt vid små skördar och låga klöverandelar. Man har därför varit intresserad av alternativa beräkningssätt, och har speciellt riktat intresset mot en i Danmark framtagen modell (Høgh-Jensen m fl, 1998). I detta arbete ges förslag på en parametrisering av den danska modellen för svenska förhållanden.

En litteraturgenomgång har gjorts i syfte att i) fastställa de mest relevanta metoderna för att mäta kvävefixering i fält, ii) studera olika modeller för att kvantifiera kvävefixering i fält och iii) samla in värden på parametrar relevanta för svenska förhållanden. Vad gäller den tredje punkten så har arbetet koncentrerats till vallbaljväxter eftersom få nya arbeten har tillkommit med avseende på trindsäd sedan Høgh-Jensen m fl (1998) publicerade sina parameterförslag. Genomgången är baserad på en litteratursökning i ISI Citation Database, och jag har i första hand valt ut arbeten som genomförts i Europa. Inom områden där inga europeiska referenser har funnits har jag använt referenser från Nya Zeeland. Då rödklöver är den i Sverige mest använda vallbaljväxten har jag speciellt intresserat mig för att få fram de fåtaliga uppgifter om denna art som finns publicerade.

## Den danska modellen för kvantifiering av kvävefixering

I Høgh-Jensen m fl (1998) föreslås en generell modell för beräkning av kvävefixering i fält. Modellen har följande utseende:

$$N_{\text{fix}} = t_{\text{Sbaljväxt}} * N\text{-halt} * (1 + P_{\text{rot+stubb}} + P_{\text{överföring-jord}} + P_{\text{överföring-djur}} + P_{\text{immobiliserat}}) * P_{\text{fix}} \quad (1)$$

Där

$N_{\text{fix}}$  = mängden fixerat kväve ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

$t_{\text{Sbaljväxt}}$  = mängden skördad baljväxt ( $\text{kg torrsbstans ha}^{-1}$ )

$N\text{-halt}$  = kvävekoncentrationen i den skördade baljväxten ( $\text{kg N (kg torrsbstans)}^{-1}$ )

$P_{\text{rot+stubb}}$  = kväve i baljväxtens rot och stubb, proportion av den mängd som finns i skottet ovan stubbhöjd

$P_{\text{överföring-jord}}$  = baljväxtkväve som överförts under jord till en samodlingskomponent, proportion av den mängd som finns i skottet ovan stubbhöjd  
 $P_{\text{överföring-djur}}$  = baljväxtkväve som överförts ovan jord till en samodlingskomponent (via betande djur), proportion av den mängd som finns i skottet ovan stubbhöjd  
 $P_{\text{immobiliserat}}$  = baljväxtkväve som immobiliserats i markens organiska substans, proportion av den mängd som finns i skottet ovan stubbhöjd  
 $P_{\text{fix}}$  = andel fixerat kväve i baljväxtens skördade ovanjordiska biomassa

I ovan nämnda rapport finns förslag till parametrisering av modellen. Dessa värden ses för närvarande över av danskarna själva då nya data har framkommit sedan rapporten skrevs. I ett senare avsnitt ges ett förslag på parametrar för svenska förhållanden. Värden för ärter och åkerböna har dock tagits direkt från det danska förslaget. De föreslagna värdena för slätter- och betesvall, samt vall till gröngödsling är däremot framför allt baserade på litteraturgenomgången, men har delvis modifierats något för att passa svenska förhållanden.

## Andra publicerade modeller för kvävefixering

Förutom de danska modellerna har jag funnit två modeller för beräkning av kvävefixering i slättervallar under europeiska förhållanden, den ena för vitklöver/gräsvallar i Skottland (Watson & Goss, 1997) och den andra för rödklöver/gräsvallar i Finland (Väisänen m fl, 2000).

I modellen utvecklad i Skottland har man utnyttjat publicerade data från experiment där man använt  $^{15}\text{N}$ -tekniker för att beräkna den totala mängden fixerat kväve (ovan- + underjordisk biomassa). Härvid användes en omräkningsfaktor på 1.5 vilken multiplicerades med skördad mängd fixerat kväve. Man antog att 23% av det fixerade kvävet överfördes till gräskomponenten.

Den totala mängden fixerat kväve beräknades sålunda:

$$\text{Total fixerat N (A)} = 1.23 \times (1.5x \text{ (i experiment skördat fixerat N)}) \quad (2)$$

Därefter beräknades meravkastningen från en klöver/gräsvall som

$$\text{Meravkastning i en klöver/gräsvall (B)} = \text{Totalt skördad mängd biomassa från en klöver/gräsvall} - \text{totalt skördad mängd från en ogödslad gräsvall} \quad (3)$$

I en del experiment ingick inte renbestånd av gräs och då skattades denna siffra med utgångspunkt från andra fältförsök.

Slutligen genomfördes en regressionsanalys med B som oberoende variabel och A som den beroende variabeln, varvid följande ekvation erhöles:

$$A = y + 0.067B \quad (4)$$

Ekvationen validerades därefter. Denna modell är enkel och kräver endast uppgifter om avkastning från med kväve gödslade renbestånd av gräs för att beräkna den totala kvävefixeringen i en given situation. De enda värden man måste samla in från en gård är tillförlitliga siffror av den totalt skördade mängden biomassa från en blandvall.

Modellen från Finland är empirisk och bygger på en regressionsanalys av data insamlade på 10 finländska gårdar. De data som registrerats är kvävefixering uppmätt med  $^{15}\text{N}$ -metod, botanisk sammansättning och mineralkväve i jordprofilen på våren. Den erhållna regressionen har följande utseende:

$$\text{Skördat fixerat kväve} = 0.02 \times \text{skördad klövermängd} - 0.268 \times \text{mineralkväve i jordprofilen ned till 20 cm} \quad (5)$$

Modellen är användbar i t ex fältstudier där man vill uppskatta mängden fixerat kväve utan att behöva använda dyra isotoper, men torde ha begränsat användningsområde för mer generella beräkningar av kvävefixering på gårdsnivå.

## Metoder för att mäta kvävefixering i fält

Alla metoder som används för att mäta kvävefixering i fält bygger på en rad antagande som inte alltid går att uppfylla (t ex Marriott & Haystead, 1993). Det råder enighet om att ingen metod är invändningsfri, men att tillgängliga metoder är mer eller mindre bra. Nedan beskrivs de vanligaste metoderna mycket kortfattat, för utförligare beskrivningar hänvisas till speciallitteratur inom området.

Differensmetoden. Med denna metod skattas kvävefixeringen utifrån kväveavkastningen från bestånd av en baljväxt odlad med eller utan gräs

och renbestånd av gräs eller någon annan icke-fixerande referensgröda. I de arbeten där denna metod har jämförts med isotoputspädningsmetoder finner man att differensmetoden både har underskattat den uppmätta kvävefixeringen (t ex McNeill & Wood, 1990a), och har överskattat densamma (t ex Nesheim & Øyen, 1994).

Acetylenreduktionsmetoden. Denna metod bygger på att enzymet nitrogenas reducerar såväl  $N_2$  som  $C_2H_2$ . Metoden lämpar sig bäst för kvalitativa studier, det vill säga hur olika omgivningsfaktorer påverkar kvävefixeringshastigheten vid mättillfället. Metoden är svår att tillämpa i fält, vilket begränsar dess användning under realistiska förhållanden, och den begränsas också av ev. störningar av  $C_2H_2$  på nitrogenasets aktivitet.

Isotoputspädning av  $^{15}N$ . Denna metod utgår ifrån att de olika kvävekällor som en fixerande växt kan utnyttja skiljer sig åt med avseende på kvävet (N) isotopiska sammansättning. Genom att jämföra koncentrationen av  $^{15}N$  (upptag från marken) i en fixerande baljväxt med koncentrationen i en referensväxt kan man beräkna hur mycket kväve som den fixerande växten tagit upp från atmosfären. Metoden kan praktiseras på två olika sätt, vilka sinsemellan ger något olika resultat (Høgh-Jensen & Schjoerring, 1994). Vanligast är att man tillför  $^{15}N$  till marken (anrikning); i den andra varianten förlitar man sig på de naturliga skillnader som föreligger i  $^{15}N$  halt mellan jord och atmosfär. Anrikningsmetoden ställer mindre krav på analysmetodens känslighet för  $^{15}N$  jämfört med när man förlitar sig på den naturliga förekomsten. Metoder baserade på  $^{15}N$  teknik anses allmänt vara de som ger de bästa uppskattningarna av mängden fixerat kväve över en viss tidsperiod, samt också av andelen kväve som fixerats. Felkällor är de fall när i) baljväxt och referensväxt tar upp olika proportioner av mark-N och gödselmedels-N och ii) kväve överförs från baljväxt till samodlingskomponent under mätperioden. Som referensväxt har antingen gräs i renbestånd eller gräs i blandbestånd använts; även detta påverkar resultatet. Det bör noteras att gräs i blandbestånd utnyttjar en större jordvolym i fält än vad röd- och vitklöver gör (Boller & Nösberger, 1988).

Gemensamt för alla nu nämnda metoder är att man vanligtvis bara samlar in uppgifter om kvävehalt och kvävemängd i ovanjordiskt material skördat över en viss stubbhöjd. För en beräkning av den totala mängden fixerat kväve behövs även uppgifter om biomassaproduktion och kvävehalt i stubb och rotsystem, vilket är uppgifter som sällan samlats in. För vitklöver har ibland en faktor om 1.7 (Jørgensen & Ledgard, 1997) använts för att räkna om skördade mängder till totalt producerad biomassa.

Isotopmärkning med  $^{15}\text{N}$  av atmosfär. Denna metod ger ett direkt mått på upptaget av atmosfäriskt kväve, men har på grund av de tekniska problemen använts i mycket få studier, och det finns hittills inte några publikationer där den använts i en realistisk jordbrukssituation.

I det följande har endast arbeten som utförts med metoder baserade på isotoputspädning av  $^{15}\text{N}$  använts för skattning av olika parametrar.

## Variabler som ingår i den danska modellen

### *Mängd och andel fixerat kväve*

Två faktorer framstår som de mest avgörande med avseende på hur mycket kväve som fixeras per arealenhet (Tab. 1). Dessa är:

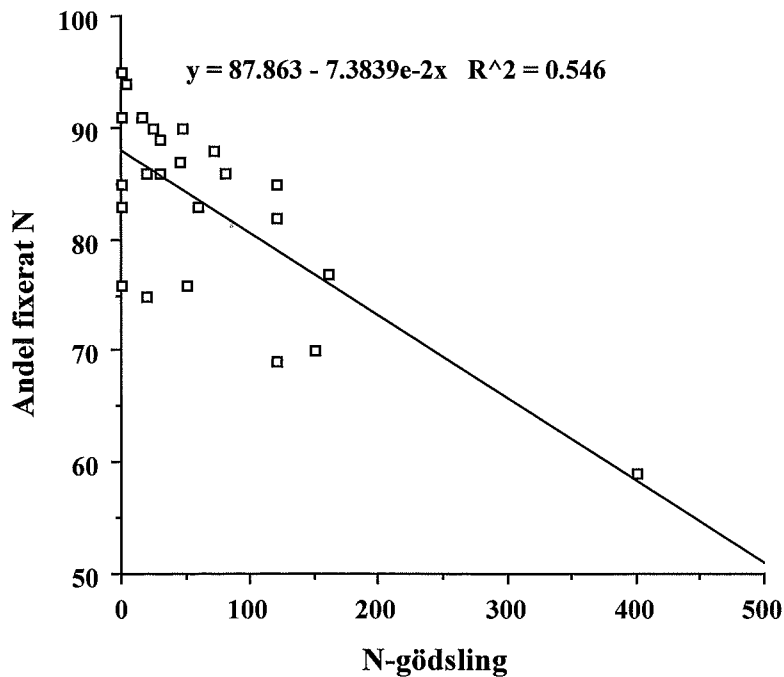
- \*baljväxters biomassaproduktion och
- \*halten mineraliskt kväve i markprofilen

Det råder samstämmighet i litteraturen om att biomassaproduktionen är den mest avgörande faktorn. En stigande mängd mineraliskt kväve i markprofilen påverkar mängden fixerat kväve framför allt genom att denna leder till minskad baljväxtproduktion (i blandbestånd). Andel fixerat kväve sjunker också något (Fig. 1).

Andra faktorer att ta hänsyn till är förfruktseffekter och växtföljd, eftersom mängden skörderester och kvävehalt i dessa påverkar mängden mineraliskt kväve i markprofilen. Bakgrunden till de i Tabell 1 redovisade försöken har i de fall den finns dokumenterad varierat åtskilligt. Försöken i Danmark har företrädesvis legat på relativt lätta jordar med litet kväveinnehåll, medan försöken i Schweiz legat på mycket bördiga jordar där vall ingått i växtföljden. Detta reflekteras i hur stor andel av det i baljväxten förekommande kvävet som har fixerats.

En annan faktor som kan tänkas ha betydelse är sortval av baljväxt. De få studier som finns redovisade antyder dock att den största effekten av sort på kvävefixering beror av sortens totala biomassaproduktion (Ledgard m fl 1990 och 1996, Boller & Nösberger, 1994). Likaså är det troligt att olika samodlingskomponenter framför allt påverkar mängden fixerat kväve via dess effekter på baljväxtens biomassaproduktion, dvs hur konkurrenskraftiga de är.

Trots stora variationer i total biomassaproduktion och mängd fixerat kväve per ytenhet är mängden fixerat kväve per kg baljväxt markant stabil i de slätterförsök som redovisas i Tabell 1a. Som kontrast kan nämnas att vid motsvarande beräkningar som tar sin utgångspunkt i



**Figur 1.** Relation mellan andel fixerat kväve i den ovanjordiska biomassan av en baljväxt och tillförd mängd mineraliskt kväve (alla värden är hämtade från Tab. 1a)

mängd fixerat kväve bestämd med differensmetoden, minskar mängden fixerat kväve per kg baljväxt från 31 till 15 när kvävegödslingen ökar från 0 till 300 kg ha<sup>-1</sup> (data hämtade från Gustavsson, 1988). Samma tendens kan också iakttagas i beräkningar utförda av Kristensen & Kristensen (1992). Detta talar för att differensmetoden ger mindre tillförlitliga resultat än metoder baserade på <sup>15</sup>N tekniker. I betesförsök (Tab. 1b) sjunker däremot mängden fixerat kväve per kg baljväxt när kvävegödsel tillförs, något som kan antas bero på de mycket stora mängder kväve som då kommer att återföras.

Tabell 1a. Fältstudier av baljväxtfixerat kväve uppmätt via <sup>15</sup>N metoder, slåttervall. Alla värden hänför sig till baljväxtens ovanjordiska biomassa.

Art	Kvävetill försel kg N per ha	Skördad biomassa, kg ts per ha	Klöver, kg ts per ha (% av ts)	Mängd fixerat N kg per ha	Totalt N upptag i baljväxt kg per ha	Mängd fixerat N, g per kg baljväxt	Andel fixerat N % av tot. N i baljväxt	Kvävehalt i baljväxt % av ts	Referens samt redovisade bakgrundsdata
Rödkläver	0	8773	6332 (72)	169	185	28	91	2.9	Nesheim & Øyen, 1994 Första+andraårsvall x två platser Förfrukt: vall
	80	9958	4130 (41)	101	117	24	86	2.8	
	160	10263	3315 (30)	65	85	21	77	2.7	
Rödkläver	0, vall 1	8150	4401 (54)	90	158	20	57	3.6	Väisänen, Nykänen & Granstedt, 2000 Ekologiska gårdar
	0, vall 2	11787	5776 (49)	114	200	20	57	3.5	
	0, vall 3	10509	5570 (53)	100	192	18	52	3.5	
Röd + vitkläver	20	9249	5073 (55)	144	168	28	86	3.3	Høgh-Jensen & Schjoerring, 1994 Förstaårsvall, Stallgödsel 5 år, 0.23%N i marken
	400	12212	2709 (22)	54	92	20	59	3.4	
Rödkläver	0	16400	13284 (81)	340	400	26	85	3.0	Boller & Nösberger, 1987 Förstaårsvall x två försök Förfrukt: vall resp. potatis
	120	15900	10812 (68)	275	324	25	85	3.0	
Rödkläver	120	-	-	-	-	-	82	-	Boller & Nösberger, 1988 Förstaårsvall Förfrukt: vall
Rödkläver	0	16209	7550 (47)	180	217	24	83	2.9	Boller & Nösberger, 1994
	50	18000	4620 (26)	100	132	22	76	2.9	
Vitkläver	0	13400	9514 (71)	276	363	29	76	3.8	Boller & Nösberger, 1987 Förstaårsvall x två försök Förfrukt: vall resp. potatis
	150	13500	7020 (52)	188	269	27	70	3.8	
Vitkläver	120	-	-	-	-	-	69	-	Boller & Nösberger, 1988
Vitkläver	30	9680	4760 (49)	163	190	34	86	4.0	McNeill & Wood, 1990a Andraårsvall
Vitkläver	3	5064	2532 (50)	83	88	33	94	3.5	Høgh-Jensen & Schjoerring, 1997 Första+andra+tredjeårsvall Stallgödsel 7 år, 0.12%N i marken
	24	5628	2195 (39)	71	84	32	90	3.8	
	48	6281	2261 (36)	68	75	30	90	3.3	
	72	6315	2147 (34)	60	68	28	88	3.2	
Vitkläver	0	-	-	51	54	-	95	-	Laidlaw, Christie & Withers, 1990 Förstaårsvall
	15	-	-	57	63	-	91	-	
	30	-	-	42	47	-	89	-	
	45	-	-	35	40	-	87	-	
	60	-	-	39	47	-	83	-	
Lusern	20	12860	12860 (100)	281	375	22	75	2.9	Wivstad, Mårtensson & Ljunggren, 1987 Förstaårsvall, 0.25%N i marken

Tabell 1b. Fältstudier av baljväxtfixerat kväve uppmätt via <sup>15</sup>N metoder, betesvall. Alla värden hänför sig till baljväxtens ovanjordiska biomassa

Art	Kvävetill försel kg N per ha	Skördad biomassa, kg ts per ha	Klöver, kg ts per ha (% av ts)	Mängd fixerat N kg per ha	Totalt N upptag i baljväxt kg per ha	Mängd fixerat N, g per kg baljväxt	Andel fixerat N % av tot. N i baljväxt	Kvävehalt i baljväxt % av ts	Referens samt redovisade bakgrundsdata
Vitklöver	0	12 831	3 602 (28)	111	182	31	58	5.1	Ledgard m fl 1996 (färbete)
	390	16 014	2 974 (19)	47	143	16	33	4.8	
Vitklöver	1	14 495	7 105 (49)	251	351	35	72	4.9	Ledgard m fl 1990 (mjölkkobete)
Vitklöver	0	16 380	2 494 (15)	91	116	36	77	4.6	Ledgard m fl 2001 (mjölkkobete) 0.51%N i marken, medeltal för fem år L = låg beläggingsgrad H = hög beläggingsgrad
	200	18 450	1 964 (11)	58	93	30	64	4.7	
	400L	20 580	997 (5)	23	48	23	48	4.7	
	400H	20 480	1 425 (7)	31	66	22	43	4.7	

### *Kvävehalt i baljväxten*

Kvävehalten i vallgrödor beror av skördetidpunkten; för baljväxternas del gäller detta speciellt för rödklöver och lusern. Tidig skörd ger höga halter och sen skörd ger låga halter. Det är därför rimligt att inkludera skördeintensitet vid uppskattning av kvävehalten. Hur stor andel av bladen som hamnar i den skördade biomassen har också betydelse. Även här har skördeintensiteten betydelse, eftersom långa skördeintervall kan resultera i att blad vissnar och faller av plantan innan skörd. Dessa faktorer kan antas ha varierat mellan de i Tabell 1 redovisade försöken.

### *Överföring av kväve från baljväxt till samodlingsväxt via jord*

Överföring av fixerat kväve från en baljväxt till en samodlad växt via jord är ett område som i begränsad omfattning har bearbetats experimentellt. De flesta publicerade arbeten har använt sig av isotoputspädningsmetoden; i de allra senaste har man märkt blad via indränkning i en lösning med  $^{15}\text{N}$ . I ett kärnförsök (McNeill & Wood, 1990b) uppmättes ingen överföring, men i fältsituationer har det generellt skett en överföring. De mängder som överförs i de olika studierna varierar, men genomgående är att cirka dubbelt så mycket kväve överförs från vitklöver som från rödklöver till ett samodlat gräs. Andelen överfört kväve av i samodlingsväxten totalt befintligt kväve i den ovanjordiska biomassen har utgjort mellan 10 och 35% för rödklöver, och mellan 25 och 50 % för vitklöver. Generellt har överföringen varit minst i förstaårsvallen.

Överföring via jord inkluderar flera processer som förnedfall (inklusive utvintringsskador), rotomsättning, rotexudering och mineralisering och torde kunna variera avsevärt mellan olika situationer. Skördeintensitet är en påverkande variabel av praktisk betydelse. Längre skördeintervall än vad som krävs för att uppnå det sk produktionsstaket leder till att biomassa (speciellt kväverika blad) vissnar ned på fältet och blir kvar *in situ*; i dessa situationer kommer den totala biomassaproduktionen att underskattas (Warembourg m fl, 1997). Wilman & Mares Martins (1977) fann i en studie utförd i augusti-september att mellan 2 600 och 7 000 kg torrsubstans per hektar vissnade ned under en 45 dagar lång återväxtperiod; de största mängderna förlorades när bestånden kvävegödslades och mer från baljväxterna (röd- och vitklöver) än från gräsen. I en vall med engelskt rajgräs fann Hunt (1983) att 20% av den ovan jord totalt ackumulerade mängden kväve återfanns i nedvissnade blad. Potentiellt verkar det alltså kunna röra sig om ej försumbara mängder kväve som kan deponeras till marken på detta sätt.

**Tabell 2.** Fältstudier över mängden överfört kväve från klöver till gräs som har uppmätts med isotoputspädningsmetoden. Alla värden avser ovanjordisk biomassa

Art	Kvävetillförsel, kg per ha	Mängd överfört N, kg per ha	Andel av i gräset totalt upptaget N, %	Referens	Märkningssätt samt övriga kommentarer
Röd- och vitklöver	20 och 400 3 och 6 skördar	0-32	0-11	Høgh-Jensen & Schjoerring, 1994	Via jord
Röd-klöver	0, vall 1 0, vall 2	17 36	<20	Høgh-Jensen & Schjoerring, 2000	Via blad 8% från gräs till klöver
Röd-klöver	120		12	Boller & Nösberger, 1988	Via jord
Vitklöver	120		27	Boller & Nösberger, 1988	Via jord
Vitklöver	0, vall I 0, vall II	45 75	<60	Høgh-Jensen & Schjoerring, 2000	Via blad 8% från gräs till klöver
Vitklöver	3-72, vall I 3-72, vall II 3-72, vall III	0 <21 <21	4 16 31	Høgh-Jensen & Schjoerring, 1997	Via jord
Vitklöver	0, vall I 0, vall II	19 28	24 38	Jørgensen m fl 1999	Via jord
Vitklöver	0?	10		Vinther, 2000	Via jord
Vitklöver	10	70	27	Ledgard, 1991	Via jord, betesstudie

### *Överföring av kväve via betande djur*

Då kväveutnyttjandet hos idisslare ligger på cirka 20% (mjölkproduktion) kommer cirka 80% av det kväve som finns i en betesvall att återföras via djurens urin och träck. En del kväve förloras (t ex i form av ammoniak), men resten kommer betesvallen tillgodo. Vid riklig tillskottsutfodring av djuren kommer även det i djuret utnyttjade kvävet härifrån betesvallen tillgodo, och nettobortförslsen kan då bli mycket ringa. I en undersökning utförd på Nya Zeeland (mjölkkor utan tillskottsfoder) fann man att 60 kg fixerat kväve per ha och år återfördes via träck och urin ovan jord; detta utgjorde 23% av mängden totalt fixerat kväve (Ledgard, 1991). Totalt fixerades 269 kg ha<sup>-1</sup> N i denna studie. Vid köttproduktion bortförs mycket små mängder kväve, och det mesta återförs.

### *Kväve deponerat i markprofilen*

En del av det fixerade kväve som återfinns i markprofilen immobiliseras i olika former. Det finns mycket få uppgifter i litteraturen om hur stora mängder detta rör sig om. Høgh- Jensen och Schjoerring (2001) har uppmätt mycket stora mängder, motsvarande 1.05 resp. 1.52 gånger de mängder fixerat kväve som återfunnits i den skördade ovanjordiska

biomassan. Då jämförelsematerial saknas bör dessa data bedömas med försiktighet (Høgh-Jensen, personlig kommunikation). En faktor i försöksupplägget som kan ha haft betydelse är de förhållandevis långa skördeintervall som tillämpats i studien (se ovan om okontrollerade bladförluster).

### *Grüngödsling*

Få försök med grüngödsling finns rapporterade i litteraturen. I ett försök utfört i Nya Zeeland jämfördes beräknad (OBS! inte uppmätt) kvävefixering i en vitklöver/gräsvall där all grönmassa bortfördes med beräknad kvävefixering när 80% av grönmassan återfördes (Sears m fl, 1965). Sistnämnda led avsåg att simulera betesgång med djur. Återförsel av grönmassa reducerade den totalt fixerade mängden kväve med cirka 40%. Grönmassan var torkad och finmald och applicerades direkt på marken, troligen var därför förlusterna av kväve små. I bägge led iakttog man en ackumulering av kväve i markprofilen med tiden och halten markkväve var efter sex försöksår 0.142% och 0.185 % när grönmassan avlägsnats respektive förts tillbaka, jämfört med 0.08% när försöket startades. När grönmassa återförs i färskt tillstånd är det troligt att en del kväve förloras till atmosfären. Möjligen ger nu refererade försök en bra kvantifiering av grüngödslingssituation eftersom 20% av biomassan togs bort direkt. Kaske (2000) som använt differensmetoden för att beräkna kvävefixering i vallgrödor som antingen skördats för foderändamål (dvs grönmassan har bortförts från fältet) eller använts för grüngödsling (dvs grönmassan har återförts till fältet) fann att mängden fixerat kväve var mindre i grüngödslingsgrödan jämfört med fodergrödan.

## **Förslag till parametrar**

I Tabell 3 ges förslag på parametrar till den danska modellen (ekvation 1). Parametrarna avser att spegla för svenska förhållanden relevanta situationer. De data som använts finns redovisade i kommentarer i anslutning till tabellen.

**Tabell 3.** Förslag på parametrar för beräkning av kvävefixering på gårdsnivå

Gröda	N-halt <sup>a)</sup>	P <sub>fix</sub> <sup>b)</sup>	P <sub>rot+stubb</sub> <sup>c)</sup>	P <sub>överföring-iord</sub> <sup>d)</sup>	P <sub>överföring-djur</sub> <sup>e)</sup>	P <sub>immo-biliserat</sub> <sup>f)</sup>	Faktor <sup>g)</sup>
Ärter	0.039	0.70	0.40	-	-	-	0.0382
Åkerböna	0.050	0.70	0.40	-	-	-	0.0382
Lusern, renbestånd	0.036	0.75	0.40	-	-	0.30	0.0459
Rödklöver-gräs, 2 sk, vall 1	0.035	0.80 0.75	0.40	0.03	-	0.30	0.0484 0.0454
Rödklöver-gräs, 2 sk, vall 2 och 3	0.035	0.80 0.75	0.40	0.10	-	0.30	0.0504 0.0473
Rödklöver + gräs, 3 sk, vall 1	0.039	0.80 0.75	0.40	0.03	-	0.30	0.0540 0.0506
Rödklöver + gräs, 3 sk, vall 2 och 3	0.039	0.80 0.75	0.40	0.10	-	0.30	0.0562 0.0527
Vitklöver + gräs, 3 sk, vall 1	0.043	0.80 0.75	0.60	0.05	-	0.30	0.0671 0.0629
Vitklöver + gräs, 3 sk, vall 2 och 3	0.043	0.80 0.75	0.60	0.20	-	0.30	0.0722 0.0677
Bete, vitklöver + gräs, vall 1	0.050	0.70	0.60	0.05	0.20	0.30	0.0753
Bete, vitklöver + gräs, vall 2 och äldre	0.050	0.70	0.60	0.20	0.20	0.30	0.0805
Gröngödsling, vall 1	0.039	0.50	0.40	0.03	-	0.30	0.0337

40%  
reduktion  
i fixering  
med.  
Mehner.

**Kommentarer:**

- De värden som här har valts avses spegla den biomassa som finns ovan stubbhöjd före fältförluster, och är baserade på de fåtaliga försöksdata som finns tillgängliga med avseende på rena baljväxtgrödor (bl a Halling, muntliga uppgifter). Publicerade värden i fodermedelstabeller är lägre, men ska å andra sidan avspegla den konserverade biomassan som hamnar på foderbordet. Betesvallen antas betas med mjölkkor och ej tillföras någon kvävegödsel. Om andra djurslag användes reduceras P<sub>fix</sub> till 0.60. Föreslagna värden har baserats på Ledgard m fl (1990, 1996 och 2001).
- De värden som här har valts för vallgrödorna avses reflektera en situation där vall regelbundet ingår i växtföljden. Vid tillförsel med ca. 200 kg/ha N till slåtterskördade vallgrödor bör P<sub>fix</sub> reduceras till 0.75 (se Fig. 1).
- Det finns mycket få publicerade uppgifter rörande mängden rot + stubb från olika grödor. De värden som här angivits för vallgrödor är en sammanvägning av olika spridda uppgifter (t ex Paustian m fl, 1990; Fagerberg, 1979), vilka dock bekräftas väl av data i Høgh-Jensen & Schjoerring (2001).

- d) Föreslagna värden har baserats på resultat redovisade i Høgh-Jensen & Schjoerring (1997), samt Ledgard (1991).
- e) Data från Ledgard (1991).
- f) Høgh-Jensen (muntliga uppgifter) föreslår 0.2 på sandjordar resp. 0.4 för lerjordar för danska förhållanden.
- g) Den faktor som ska multipliceras med mängden skördad baljväxt ( $t_{\text{baljväxt}}$ ) i ekvation (1) för att erhålla mängden fixerat kväve ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

## Beräkningar enligt den danska modellen

I den danska modellen råder ett regelbundet samband mellan total ovanjordisk baljväxtproduktion och kvävefixering. I Tabell 4 redovisas en standardiserad jämförelse över den totala mängden fixerat kväve per ton skördad ovanjordisk torrs substans hos våra olika vallgrödor. Vid beräkningarna har parametrarna från Tabell 3 använts.

**Tabell 4.** Beräknad kvävefixering hos olika vallbaljväxter

Gröda	Kvävefixering, kg per ton skördad torrs substans
Lusern, 3 sk.	46
Rödklöver/gräs, 2 sk, vall I	48
Rödklöver/gräs, 3 sk, vall I	54
Vitklöver/gräs, 3 sk, vall I	67
Bete, vall I	75
Gröngödsling	34

För att kunna jämföra beräkningar enligt den danska modellen med den befintliga modellen i STANK har några sådana resultat sammanställts i Tabell 5. Vid beräkningarna med den danska modellen har parametrarna från Tabell 3 använts. Relationen mellan avkastningsnivå, baljväxthalt och kvävetillförsel har, där så varit möjligt, baserats på i svenska fältförsök uppmätta resultat.

**Tabell 5.** Beräkningar av kvävefixering enligt ny modell och enligt nuvarande modell i STANK

Gröda	Avkastningsnivå kg ha <sup>-1</sup>	Baljväxthalt % av ts	Kvävenivå kg ha <sup>-1</sup>	Kvävefixering ny modell	Kvävefixering STANK
Lusern	10 000	90	0	413	258
RKL, 2sk, I	8 000	30	100	116	113
RKL, 2sk, II	6 000	10	100	27	39
RKL, 2 sk, I	9 500	30	200	144	110
RKL, 2 sk, II	9 000	5	200	21	56
RKL, 3sk, I	7 500	20	100	81	91
RKL, 3sk, II	7 000	10	100	35	50
RKL, 3 sk, I	8 000	20	200	90	99
RKL, 3 sk, II	7 500	5	200	20	47
VKL, 3sk, I	7 000	30	100	141	125
VKL, 3sk, II	7 000	30	100	132	125
VKL, 3 sk, I	8 000	20	200	116	98
VKL, 3 sk, II	8 000	20	200	108	98
Bete, I	4 500	40	0	136	91
Bete, II	4 500	30	0	109	91
GG, I	6 000	60	0	211	-
GG, II	6 000	50	0	198	-

STANK tar i nuvarande version inte hänsyn till baljväxtart. Jämförelsen visar att det, med undantag för låga klöverhalter, föreligger små skillnader i beräknad kvävefixering mellan STANK och den danska modellen för rödklöver/gräsvallar. När det gäller vitklöver, och särskilt för åkerbete, beräknar den danska modellen högre värden för kvävefixeringen.

Då klöverhalten spelar en stor roll för beräkningarnas resultat, och dessutom är svår att skatta korrekt, har en känslighetsanalys av denna faktor gjorts (Tab. 6). Vid låga klöverhalter beräknar STANK en större kvävefixering än den danska modellen, medan det omvända gäller vid höga klöverhalter. Det finns dock anledning att betrakta de värden för kvävefixering som den danska modellen beräknar för mycket höga klöverhalter i kombination med kvävegödsling med försiktighet, eftersom ett nästan rent klöverbestånd kan antas substituera fixerat kväve med tillfört kväve i större utsträckning (det vill säga  $P_{fix}$  kan antas sjunka) än vad som blir fallet i mer balanserade blandbestånd av klöver och gräs. Data som belyser detta har jag dock inte lyckats att finna i litteraturen. I praktiken torde dock sådana kombinationer vara mycket sällsynta. Som framgår av dessa beräkningar får en felskattning med bara 10 procentenheter en stor konsekvens för den beräknade kvävefixeringen.

**Tabell 6.** Känslighetsanalys av klöverhaltens betydelse för beräknad kvävefixering

Gröda	Avkastningsnivå kg ha <sup>-1</sup>	Baljäxthalt % av ts	Kvävenivå kg ha <sup>-1</sup>	Kvävefixering ny modell	Kvävefixering STANK
RKL, 2 sk, I	8 000	10	100	39	50
"-	"-	20	"-	77	98
"-	"-	30	"-	116	105
"-	"-	40	"-	155	132
"-	"-	50	"-	194	143
"-	"-	60	"-	232	152
"-	"-	70	"-	271	167
"-	"-	80	"-	310	171
"-	"-	90	"-	348	171
"-	"-	100	"-	387	171

## Beräkningar av kväveeffektivitet och markbalanser

I detta avsnitt har i Tabell 3 föreslagna parametrar använts för att beräkna kväveeffektiviteten i tidigare redovisade försök där kvävefixeringen finns uppmätt. I slåtterförsök är den beräknade kväveeffektiviteten förhållandevis jämn och överstiger generellt inte 80% (Tab. 7). De beräknade markbalanserna för kväve är genomgående positiva, och kvävefixeringen synes bidra med en nettotillförsel till marken med mellan 0 och 257 kg kväve per hektar. I betesförsöken däremot är kväveeffektiviteten genomgående över 100% och markbalanserna negativa. Detta är en spegling av det faktum att merparten av till systemet tillfört kväve återförs via djurens spillning, och alltså kommer att "räknas flera gånger". I en gröngödslingsvall är situationen snarlik.

**Tabell 7.** Kväveeffektivitet och markbalanser för kväve beräknat för i Tabell 1 redovisade försök (försök där alla nödvändiga data funnits tillgängliga)

Art	Kvävetillförsel kg N per ha	Klöverhalt %	Kväveeffektivitet totalt skördat N/ totalt tillfört N %	Markbalans kväve total tillförsel av N - total bortförsel av N	Referens
Rödklöver	0	72	69	93	Nesheim & Øyen, 1994
	80	41	60	110	
	160	30	47	169	
Röd + vitklöver	20	55	74	85	Høgh-Jensen & Schjoerring, 1994
	400	22	68	179	
Rödklöver	0	81	64	257	Boller & Nösberger, 1987
	120	68	60	284	
Vitklöver	0	71	70	188	Boller & Nösberger, 1987
	150	52	67	206	
Vitklöver	30	49	84	57	McNeill & Wood, 1990a
Vitklöver	3	50	77	39	Høgh-Jensen & Schjoerring, 1997
	24	39	84	28	
	48	36	76	48	
	72	34	76	51	
Lusern	20	100	61	238	Wivstad, Mårtensson & Ljunggren, 1987
Vitklöver	0	28	200	-270	Ledgard m fl 1996, färbete
	390	19	112	-74	
Vitklöver	0	15	297	-370	Legard m fl 2001, mjölk Kobete L=låg beläggingsgrad H=hög beläggingsgrad
	200	11	197	-339	
	400L	5	169	-326	
	400H	7	151	-260	

## Luckor i vår kunskap

En styrka med den danska modellen är att den tar hänsyn till alla processer som har betydelse för mängden fixerat kväve. Det blir då också möjligt att identifiera processer som är otillräckligt studerade. Av denna genomgång framgår att det krävs ytterligare uppgifter om framför allt mängden överfört och mängden immobiliserat kväve i markprofilen för att en bättre precision i beräkningen av mängden fixerat kväve ska kunna uppnås. Men bättre data av hur stor andel av biomassan som återfinns i stubb och rötter, samt bättre bestämningar av totalt producerad biomassa vid olika skördeintensitet är också önskvärd. När mer data om dessa variabler föreligger är det enkelt att gå in i modellen och om så behövs justera parametrarna. Ytterst få data föreligger också om hur mycket kväve som fixeras i gröngödslingsgrödor.

Ett stort problem med den föreslagna modellen (och också med nuvarande modell i STANK) är svårigheten att korrekt uppskatta klöverhalten på gårdsnivå. Här kan man fundera på om det skulle gå att utveckla snabbmetoder för bestämning av den botaniska sammansättningen, t ex med NIR, som kan genomföras i samband med en fodermedelsanalys. En fråga som man måste ta ställning till är att i praktiska situationer har man vanligtvis större fältförluster än vad man har i experimentella situationer. Dessa förluster kan tänkas drabba de mer kväverika bladen av en baljväxt, och kan därför tänkas leda till en större överföring av fixerat kväve via jorden. I parametreringen i Tabell 3 har ingen hänsyn tagits till fältförluster utan avser att spegla den biomassamängd som funnits tillgänglig för skörd.

## Referenser

- Boller, BC & Nösberger, J.** 1987. Symbiotically fixed nitrogen from field-grown white and red clover mixed with ryegrasses at low levels of  $^{15}\text{N}$ -fertilization. *Plant and Soil* 104:219-226.
- Boller, BC & Nösberger, J.** 1988. Influence of dissimilarities in temporal and spatial N-uptake patterns on  $^{15}\text{N}$ -based estimates of fixation and transfer of N in ryegrass-clover mixtures. *Plant and Soil* 112:167-175.
- Boller, BC & Nösberger, J.** 1994. Differences in nitrogen fixation among field-grown red clover strains at different levels of  $^{15}\text{N}$  fertilization. *Euphytica* 78:167-174.
- Fagerberg, B.** 1979. Blad- och stjäktillväxt hos vallbaljväxter samt stubbhöjdens betydelse vid vallskörd. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för växtodling, Rapport 73.
- Gustavsson, A-M.** 1988. Kvävegödslingens och klöverhaltens betydelse i vallen. Röbbäcksdalen meddelar nr. 6.
- Hunt, WF.** 1983. Nitrogen cycling through senescent leaves and litter in swards of Ruanui and Nui ryegrass with high and low nitrogen inputs. *New Zealand Journal of Agricultural research* 26:461-471.
- Høgh-Jensen, H & Schjoerring, JK.** 1994. Measurements of biological dinitrogen fixation in grassland: Comparison of the enriched  $^{15}\text{N}$  dilution and the natural  $^{15}\text{N}$  abundance methods at different nitrogen application rates and defoliation frequencies. *Plant and Soil* 166:153-163.
- Høgh-Jensen, H & Schjoerring, JK.** 1997. Interactions between white clover and ryegrass under contrasting nitrogen availability:  $\text{N}_2$  fixation, N fertilizer recovery, N transfer and water use efficiency. *Plant and Soil* 197:187-199.

- Høgh-Jensen, H, Loges, R, Jensen, ES, Jørgensen, FV & Vinther, FP.** Emprisk model til kvantificering af symbiotisk kvælstoffiksering i bælglplanter. I: Kvælstofudvaskning og -balancer i konventionelle og økologiske produktionssystemer. Forskningscenetr for økologisk Jordbrug, rapport nr. 2: 69-86.
- Høgh-Jensen, H & Schjoerring, JK.** 2000. Below-ground nitrogen transfer between different grassland species: Direct quantification by  $^{15}\text{N}$  leaf feeding compared with indirect dilution of soil  $^{15}\text{N}$ . *Plant and Soil* 227:171-183.
- Høgh-Jensen, H & Schjoerring, JK.** 2001. Rhizodeposition of nitrogen by red clover, white clover and ryegrass leys. *Soil Biology & Biochemistry* 33:439-448.
- Jørgensen, FV & Ledgard, SF.** 1997. Contribution from stolons and roots to estimates of the total amount of  $\text{N}_2$  fixed by white clover (*Trifolium repens* L.) *Annals of Botany* 80:641-648.
- Jørgensen, FV, Jensen, ES & Schjoerring, JK.** 1999. Dinitrogen fixation in white clover grown in pure stand and mixture with ryegrass estimated by the immobilized  $^{15}\text{N}$  isotope dilution method. *Plant and Soil* 208:293-305.
- Kaske, A.** 2000. Leistungen unterschiedlich bewirtschafter Futterleguminosenbestände und deren Auswirkungen auf Ertrag und ausgewählte Kenngrößen des Stickstoffhaushaltes der Folgefrucht Winterweizen. Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung Chritian-Albrechts-Universität zu Kiel, Heft 17.
- Kristensen, ES & Kristensen, IS.** 1992. Analyse av kvælstofoverskud og -effektivitet på økologiske og konventionelle kvægbrug. Statens Husdyrbrugsforsøg, Beretning 710.
- Laidlaw, AS, Christie, P & Withers, JA.** 1990. Comparison between isotope dilution and acetylene reduction methods to estimate  $\text{N}_2$  fixation rate of white clover in grass/clover swards. *Grass and Forage Science* 45:295-301.
- Ledgard, SF.** 1991. Transfer of fixed nitrogen from white clover to associated grasses in swards grazed by dairy cows, estimated using  $^{15}\text{N}$  methods. *Plant and Soil* 131:215-223.
- Ledgard, SF, Brier, GJ & Upsdell, MP.** 1990. Effect of clover cultivar on production and nitrogen fixation in clover-ryegrass swards under dairy cow grazing. *New Zealand Journal of Agricultural research* 33:243-249.
- Ledgard, SF, Sprosen, MS & Steele, KW.** 1996. Nitrogen fixation by nine white clover cultivars in grazed pasture, as affected by nitrogen fertilization. *Plant and Soil* 178:193-203.
- Ledgard, SF, Sprosen, MS, Penno, JW & Rajendram, GS.** 2001. Nitrogen fixation by white clover in pastures grazed by dairy cows:

temporal variation and effects of nitrogen fertilization. *Plant and Soil* 229:177-187.

**Marriott, CA & Haystead, A.** 1993. Nitrogen fixation and transfer. I: Sward measurement handbook. Red. A Davies, RD Baker, SA Grant & AS Laidlaw. British Grassland Society, 2nd edition.

**McNeill, AM & Wood, M.** 1990a.  $^{15}\text{N}$  estimates of nitrogen fixation by white clover (*Trifolium repens* L.) growing in a mixture with ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Plant and Soil*, 128:265-273.

**McNeill, AM & Wood, M.** 1990b. Fixation and transfer of nitrogen by white clover to ryegrass. *Soil Use and Management*, 6:84-86.

**Nesheim, L & Øyen, J.** 1994. Nitrogen fixation by red clover (*Trifolium pratense* L.) grown in mixtures with timothy (*Phleum pratense* L.) at different levels of nitrogen fertilization. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B, Soil and Plant Science*, 44:28-34.

**Paustian, K, Andrén, O, Clarholm, M, Hansson, A-C, Johansson, G, Lagerlöf, J, Lindberg, T, Pettersson, R & Sohlenius, B.** 1990. Carbon and nitrogen budgets of four agro-ecosystems with annual and perennial crops, with and without N fertilization. *Journal of Applied Ecology* 27:60-84.

**Sears, PD, Goodall, VC & Jackman, RH.** 1965. Pasture growth and fertility. VIII. The influence of grasses, white clovers, fertilisers, and the return of herbage clippings on pasture production of an impoverished soil. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 8:270-283.

**Väisanen, J, Nykänen, A & Granstedt, A.** 2000. Estimation of biological nitrogen fixation in Finnish organic grasslands. *Grassland Science in Europe* 5:530-532.

**Watson, CA & Goss, MJ.** 1997. Estimation of  $\text{N}_2$ -fixation by grass-white clover mixtures in cut or grazed swards. *Soil Use and Management* 13:163-167.

**Warembourg, FR, Lafont, F & Fernandez, MP.** 1997. Economy of symbiotically fixed nitrogen in red clover (*Trifolium pratense* L.). *Annals of Botany* 80:515-523.

**Wilman, D & Mares Martins VM.** 1977. Senescence and death of herbage during periods of regrowth in ryegrass and red and white clover, and the effect of applied nitrogen. *Journal of Applied Ecology* 14:615-620.

**Wivstad, M, Mårtensson, A & Ljunggren, HD.** 1987. Field measurements of symbiotic nitrogen fixation in an established lucerne ley using  $^{15}\text{N}$  and acetylene reduction method. *Plant and Soil* 97:93-104.

## Förteckning över tidigare rapporter i serien

1. Lundkvist, A. & Fogelfors, H. 1999. Ogräsreglering på åkermark. 266 pp. Distribution: Jordbruksverket, Jönköping.
2. Fogelfors, H. 2000. Ogräsnyckeln.
3. af Geijersstam, Linda. 2001. Kvävefixering hos baljväxter i svenska jordar vid lågt pH-värde.
4. Bergkvist, G., Ohlander, L. & Rydberg, T. 2002. Insådd av mellangrödor i höstsäd.

