

Biometri

Biometriske undersøgelser til udvikling af produktionsmodeller

Af Finn Vanman Jørgensen, Christian Nørgaard Nielsen og Hanne N. Rasmussen, Skov og Landskab

Klippemetoder i nobilis III

De to foregående artikler i denne serie har præsenteret klippemetodernes indflydelse på henholdsvis træernes vækst og opbygning samt udviklingen af forskellige grentyper. Denne artikel vil beskæftige sig med, hvordan vores undersøgelser af grenene kan bruges i udviklingen af produktions- og analyse-modeller for nobilis klippegrønt.

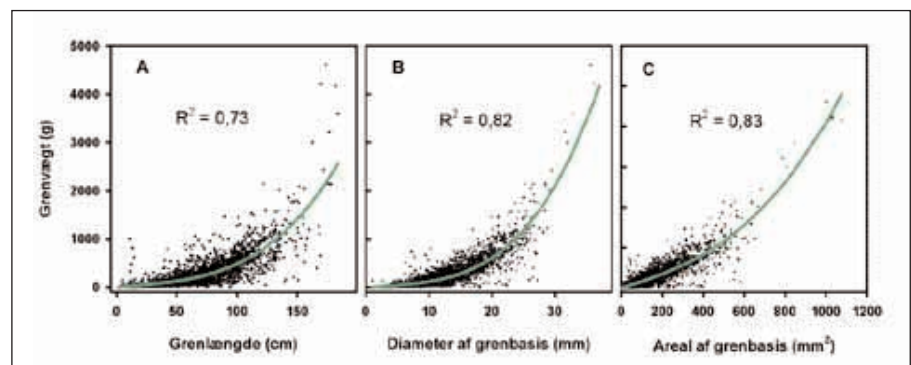
Det langsigtede formål med projektet er at forsyne praktikerne med et værktøj, der kan bruges til at forudsige årets produktion af salgbar grene og/eller at analysere effekten af forskellige behandlinger på udbyttet. Sådanne modeller skal være enkle at bruge, og de skal derfor være så generelle som mulig, men må på den anden side ikke være så forenklede, at de medfører systematiske fejl. Systematiske forskelle kan umiddelbart forventes at forekomme mellem provenienser, forskellige grentyper ligesom lokaliteten også forventes at kunne spille en rolle.

Hvad kan vi anvende af let målbare parametre for grenvægten?

Der er en række niveauer, man kan tage udgangspunkt i, når produktionen i en bevoksning skal forudsiges. En model kan bygge på det højeste niveau, hvor modellen

udvikles ud fra kendskabet til produktionen i hele bevoksninger. Modellen kan suppleres med oplysninger om stamtal og gennemsnitlige tal for træhøjde med mere. Dette mere overordnede niveau giver ikke meget kendskab til de underliggende årsager til, at produktionen nu blev, som den faktisk gjorde. For at øge informationsniveauet kan man gå et skridt videre, og lave registreringer på træniveau. Her får man som regel betydeligt mere information til en modeludvikling. I pyntegrøntproduktion er det den enkelte

gren, der er den interessante enhed. Derfor har vi valgt at begynde analysearbejdet med at beskrive de helt grundlæggende sammenhænge på grenniveau. Salgbare grene bliver karakteriseret ud fra en række egenskaber, hvor parametrene dækningsgrad, farve, bøjelighed, afstand mellem kryds og længde er med til at bestemme, om grenen er salgbar. Når først grenen er defineret som salgbar, er det dog vægten, der er den væsentligste egenskab. Grenene bliver som bekendt handlet i kilo, og pris-



Figur 1. Frisk grenvægt som funktion af A) grenlængde, B) diameter af grenbasis og C) areal af grenbasis. Alle undersøgte grene er med i dette plot. R^2 er forklarings-koefficienten. Jo tættere den er på 1, jo bedre sammenhæng er der mellem de to faktorer, som bliver sammenlignet.

forskellene er kun rigtigt markante i sorteringsreglementets yderpunkter. Vi er derfor interesseret i at kunne analysere og forudsige (prediktere) grenenes vægt.

Spørgsmålet er, hvilke karakterer (parametre) skal vi måle, for at kunne prediktere grenens vægt? Som beskrevet i første artikel har vi målt vægt, længde og gren-diameter på et stort antal grene (4.600 stk.), som spænder i størrelse fra helt små enårige mellemgrene til 5 år gamle kransgrene.

Metode til udvikling af analysemodel

Vi forsøgte først at finde ud af, hvilken parameter der var bedst til at forudsige grenvægten med. I den sammenhæng har vi set bort fra bredden af grenene. Fra forsøg med andre nåletræer er det vist, at der er en meget dårlig sammenhæng mellem grenvægt og bredden af grenen. Samtidig er det svært at måle bredden præcist, fordi grenenes form let kan ændres i bredden, mens længden og grendiameteren er meget mere stabile variable. Indledningsvis plottede vi værdier for grenenes vægt mod henholdsvis grenenes længde, diameter ved grenbasis samt grundflade ved grenbasis (figur 1). Det fremgår her, at der for små grene er en nærmest lineær sammenhæng mellem vægt og længde, mens vægten stiger kraftigt – næsten eksponentielt – for større grene. Samtidig er det tydeligt, at der er stor variation i denne sammenhæng, og det betyder, at grenformen varierer betydeligt mellem grenene. Hvis grenvægten plottes mod diameter af grenbasis, bliver spredningen af observationerne mindre (figur 1B). Kurven stiger nu knapt så stejlt, og det betyder, at det er lettere at finde en funktion, der kan beskrive sammenhængen. Umiddelbart var grenvægten som funktion af grenens grundflade det bedste udgangspunkt for udvikling af en analysemodel. Her var variationen mindst, og sammenhængen var næsten lineær for alle grene med areal af grenbasis under 500 mm², hvilket svarer til grene med en vægt under 1.000 g. Derfor blev det resterende arbejde baseret på disse to variable.

Ud fra plottene i figur 1 blev det besluttet at teste nedenstående 6 matematiske funktioner til udvikling af en prognosemodel. Alle 6 modeller er modifikationer af den rette linie:

- I) $Y = a + bx$
- II) $Y = a + bxc$
- III) $Y = bxc$
- IV) $Y = ax + bxc$
- V) $Y = a + bx + cxd$
- VI) $Y = a + bx + c\log(x)$

Først testede vi alle seks modeller for at finde en såkaldt "global model", som omfattede samtlige grene fra alle lokaliteter og behandlinger. Derefter udviklede vi – igen med afprøvning af alle seks modeltyper –

separate modeller for følgende undergrupper af grenene: lokalitet, grentype, behandling samt grentype-specifikke modeller for de enkelte lokaliteter.

De udviklede modeller blev sammenlignet for at finde den model, der havde den bedste tilpasning med hensyn til følgende statistiske mål, der er nærmere forklaret i faktaboksen: forklarings-koefficient (R²), gennemsnitlig fejl (RMSE) og restvariation (residualer).

Samtidig blev modellens tilpasning til de observerede data testet indenfor 3 størrelsesområder af grene defineret ud fra grenbasis: små grene: 0–90 mm², medium: 90–270 mm² og store: 270–700 mm². For at teste for systematiske fejl på de enkelte modeller blev der udført variansanalyser på residualerne og testet for effekter fra bevoksning, grentype og behandling.

Endelig blev de valgte modeller testet på et uafhængigt datasæt bestående af nobilis grene fra en klippebevoksning i Kajbjerg Skov på Fyn. En models gyldighed kan aldrig

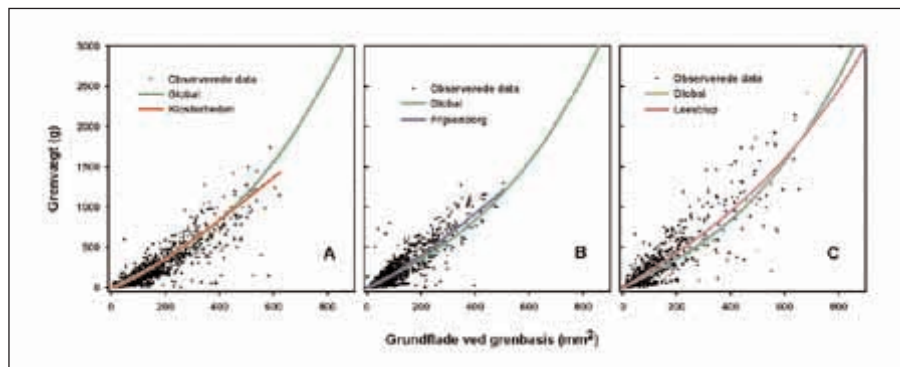
bevises 100 %, men den generelle brugbarhed kan bekræftes (valideres) ved at undersøge, hvor godt modellen passer på et nyt og helt uafhængigt datasæt.

Udvikling af bevoksnings- og gren-specifikke modeller?

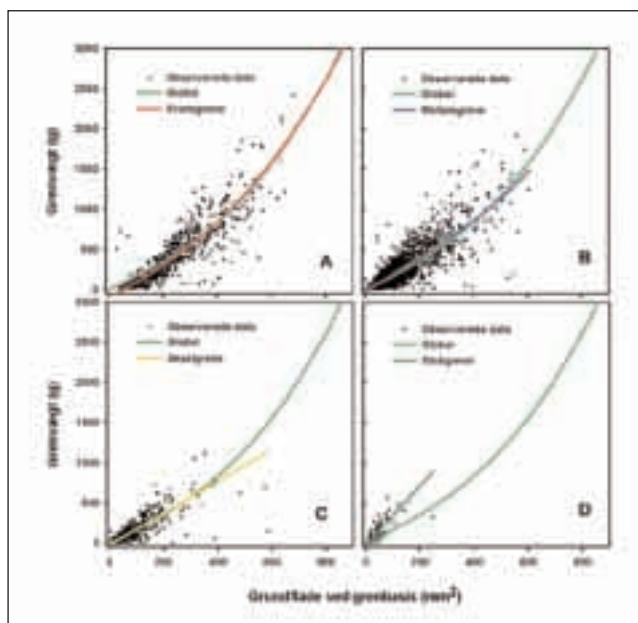
Vores erfaring fra træproduktionen er, at lokalitetstilpassede modeller ofte er bedre end generelle modeller. Vi har derfor testet den "globale" model overfor en række specifikke modeller, som i teorien skulle være mere præcise.

a) Bevoksningsspecifikke modeller?

Den globale model kan siges at være en slags "gennemsnit" af alle lokaliteter og grentyper, men der blev ikke opnået nogen mærkbar forbedring af prognosens sikkerhed ved at lave separate modeller. Kun for Klosterheden og Frijsenborg blev en specifik model sammenlagt vurderet som bedre end



Figur 2. Den globale models tilpasning til data fra de enkelte bevoksninger i forhold til modeller udviklet til de enkelte bevoksninger: A) Klosterheden, B) Frijsenborg og C) Leestrup.



Figur 3. Den globale models tilpasning til data i forhold til modeller udviklet for de enkelte grentyper: A) kransgrene, B) mellemgrene, C) akselgrene og D) stabgrene.

STATISTISKE BEGREBER

R²

Er et udtryk for, hvor meget af variationen i de observerede værdier, der kan forklares med den valgte funktion, og er dermed en størrelse, som beskriver, hvor god funktionen er. R² kan variere fra -1 til +1. Ved værdier tæt på 0 er der ingen sammenhæng, mens sammenhængen mellem de undersøgte variabler øges, jo nærmere R² kommer på -1 eller +1. En positiv R² beskriver en positiv sammenhæng, mens det omvendte gælder for en negativ R² værdi.

Residualer

Residualer er forskellen mellem de observerede (målte) værdier og de værdier, der beregnes (predikteres) ved hjælp af funktionen. Hvis for eksempel en gren fra datamaterialet med et basalt areal på 100 mm² har en vægt på 250 g, og modellen beregner vægten til 200 g, så er residualen på 250 - 200 = 50 g. For hver gren, der indgår i modeludviklingen, vil der være en målt og en beregnet værdi, og dermed også en residual værdi. Når residualerne plottes i forhold til de predikterede værdier, kan man vurdere, hvor god modellen er til at forudsige grenvægten i forskellige størrelsesklasser.

RMSE (gennemsnitlig fejl)

Residualerne kan være både positive og negative, og for at få et samlet udtryk for modellens fejlestimering kan man ikke umiddelbart tage gennemsnittet af alle residualerne. Derfor anvender man ofte RMSE, som er en slags gennemsnit af residualerne, men regnet ud på en anden måde. Det fremkommer ved at gange hver residual med sig selv, og bagefter lægge resultaterne sammen. Til sidst finder man kvadratroden af denne sum.

Tabel 1. Tilpassede modeller til forudsigelse af gren-tørvægt (y) som funktion af gregrundflade (x). Modellerne er enten udviklet på baggrund af alle grene (global) eller ud fra en undergruppe af grene.

Grenegruppe	Funktion	Estimeret				R ²	RMSE	Residualer		Relative residualer ^a				N
		a	b	c	d			procent	absolut ^b	0-10%	10-50%	50-100%		
Global	$y = ax + bx^2$	0,05	$2,76 \times 10^{-6}$	2,95		0,83	40,2	26,1	46	***	-	-	-	4612
Evolution														
Klosterheden	$y = a + bx + cx^2$	1,97	-61,14	60,87	1,003	0,83	36,6	18,0	42	-	**	-	-	2147
Fribojbjerg	$y = a + bx + cx^2$	2,95	-45,14	44,95	1,004	0,83	37,0	22,0	46	*	0	0	0	1909
Læderup	$y = a + bx + cx^2$	-4,05	0,05	$9,39 \times 10^2$	2,932	0,81	66,2	36,5	62	-	-	**	0	226
Grenstype														
Karregnen	$y = a + bx + cx^2$	-30,42	0,73	$1,6 \times 10^8$	2,58	0,85	70,2	44,3	56	***	**	**	-	717
Kællergnen	$y = a + bx + cx^2$	-10,71	0,05	$3,6 \times 10^{11}$	4,46	0,82	45,1	24,7	135	***	-	0	0	2625
Ådalgren	$y = a + bx + c \log(x)$	0,71	0,00	-2,16		0,84	30,7	9,7	46	**	**	***	**	1148
Sleb	$y = a + bx + c \log(x)$	-6,53	1,50	-1,31		0,63	38,9	20,5	59	**	**	-	-	88
Behandling														
1	$y = a + bx + cx^2$	-3,55	0,76	$4,97 \times 10^2$	3,41	0,84	59,1	32,2	57	*	-	**	-	1734
2	$y = a + bx^2$	1,51	0,17	1,27		0,83	41,9	23,0	46	*	0	0	-	2128
3	$y = bx^2$		0,16	1,24		0,83	25,1	13,0	44	**	**	**	-	751

^a Gennemsnit af absolute residualer i absolutte værdier

^b Gennemsnit af residualerne i procent af de predikterede værdier (absolutte værdier).

^c Relative residualer (se forklaring i metodebilag). Værdier: ** = underskønning, * = overkønning, - og + = 0-10%, ** og *** = 10-50%, *** og **** = >50%.

den globale model, mens den bevoksnings-specifikke model for Leestrup var markant ringere trods af en højere forklarings-koefficient R^2 (se tabel 1).

I figur 2 er de tre bevoksnings grunddata og modeller afbildet sammen med den globale model. Grenene fra Klosterheden var generelt mindre og befinder sig i den del af størrelsesspektret, hvor den globale model er næsten lineær. Modellen for Klosterheden (figur 2A) er derfor optimeret til at være næsten lineær, og det er tvivlsomt, om den vil passe til Klosterhedens grene generelt, for de er væsentligt større end de her målte. Frijsenborgs grene var også relativt mindre, og et tilsvarende forhold gør sig gældende her (figur 2B). Til gengæld dækkede grene fra Leestrup hele størrelsesspektret, og modellen for denne bevoksning fulgte en mere kurvet form, der lå tæt op ad den globale model – også for de store grene (figur 2C). Sammenfattende ses det, at en modeltilpasning på den enkelte lokalitet generelt ikke er tilrådelig. Modellen udviklet til Klosterheden var bedre end den globale, mens det modsatte var tilfældet for Leestrup-modellen.

b) Grentypespecifikke modeller?

Der var generelt statistisk sikre forskelle mellem grentyper – også i residualerne fra den globale model. Modeller udviklet for hver grentype er beskrevet i tabel 1, og illustreret i figur 3. Det fremgår, at samtlige grentype-modeller på nær stabgrens-modellen har en nærmest lineær form for de mindre grene. Kransgren-modellen følger stort set den globale model (figur 3A). Det samme gælder i noget mindre grad for mellemgrene (figur 3B). Akselgrene er gennemsnitligt noget mindre, og denne model beskriver en lineær sammenhæng mellem grenvægt og grengrundflade. Den er sammenfaldende med den globale model for de små grene, men afviger stærkt for eventuelle store grene. Det er tvivlsomt om denne model vil kunne forudsige vægten af meget store akselgrene korrekt (figur 3C). Modellen for stabgrene afveg stærkt fra den globale model. Imidlertid var vores datagrundlag for stab-grene svagt, og det er en skam, da denne grentype – som den eneste – ser ud til at afvige markant fra den globale model. Sammenfattende ses det af tabel 1 og figur 3, at sikkerheden i prognosen ikke blev forbedret gennem grentype-specifikke modeller – tværtimod. Stabgrenene er dog en undtagelse herfra.

Det gav ikke nogen yderligere forbedring at udvikle bevoksnings-specifikke grentype-modeller. Derfor er de heller ikke afbildet her.

c) Klippebehandlingsspecifikke modeller?

Det kunne tænkes, at klippebehandlingen havde indflydelse på sammenhængen mellem grenvægt og areal af grenbasis, men vi fik ikke nogen mærkbar forbedring ved at udvikle modeller for hver af de 3 behand-

linger (tabel 1). Dette blev yderligere understreget ved en test af residualerne, hvor under 2 % af restvariationen i den globale model kunne tilskrives behandlingen.

Skal "højde over jorden" med i en prognosemodel?

Vi undersøgte, om der var en effekt af, hvor højt oppe i træet grenen sidder. Det viste sig, at der generelt var en mindre effekt, hvor gennemsnitligt 3–13 % af restvariationen kunne forklares ud fra grenens højde over jorden. Effekten stammer primært fra toppen af træet, og betyder, at vægten af grene helt i toppen af træet bliver forudsagt for lavt ud fra den globale model. Dette forhold gjaldt for mellem- og kransegrene, og var tydeligst for den sidstnævnte gruppe. Vi ser altså, at grenene i de to øverste kranse har en relativt tykkere grenbasis i forhold til grene med samme størrelse længere nede på stammen. Grunden er overvejende, at disse unge grene endnu ikke har erhvervet et optimalt forhold mellem grenbasis og grenvægt; primært fordi de ikke har så mange sidegrene. I praksis synes det derfor ikke tilrådeligt at inddrage denne parameter i en generel analyse og modellering af klippeudbytter.

Hvor stor er den "genetiske effekt" ?

Effekten af bevoksningen er i dette forsøg en kombination af proveniensen og lokaliteten. Det er derfor ikke muligt at udtale sig om, hvor meget de 3 provenienser bidrager til restvariationen i den globale model. Vi kan dog få en klar antydning af genetikkens ringe effekt på disse modeller. Dels var der ikke var nogen synderlig forbedring ved at lave separate modeller for bevoksningsgrene. Dels gennemførte vi en test af niveauforskelle mellem træer i den globale model. Det viste sig, at mellem 4 og 6 % af restvariationen fra den globale model kunne forklares af individforskelle. Alt dette tyder på, at de genetiske forskelle i prognosemodellen er næsten ubetydelige. Bemærk, at dette på ingen måde betyder, at der ikke kan være store genetiske forskelle i grenvægt, længde, diameter og så videre; blot at den genetiske komponent i forholdet mellem vægt og diameter er meget ringe.

Sammenfattende om forholdet mellem grenvægt og grendiameter

Analyserne viser, at man opnår størst mulig analyse- og prediktions-sikkerhed ved at anvende den globale model. Hvis bevoksnings- eller grenspecifikke modeller skal udvikles, kræver det et datagrundlag, der er 2–3 gange så stort, som det vi har indsamlet pr. lokalitet (2.000–3.000 grene). Når den globale model viser så stor en stabilitet og overlegenhed, skyldes det frem for alt, at den beskriver sammenhængen mellem parametre, som hænger meget tæt sammen – er korrelerende. Dette skyldes den stærke biologiske og logiske sammenhæng mellem vægt og grendiameteren ved basis af grenen. Hovedaksen på en gren tjener primært to formål: 1) som ledningsvæv for vand og næringsstoffer ind og ud af grenen og 2) som mekanisk støtte for grenen med dens sidegrene og nåle. Det er overvejende grenens behov for mekanisk støtte, der bestemmer tykkelsen af grenbasis. Ikke overraskende kan man så konstatere, at større og dermed tungere grene har behov for en tykkere grenbasis. Sammenhængen kompliceres dog af, at grene med samme vægt kan belaste grenbasis forskelligt afhængigt af, hvordan og hvor langt ude på grenens



hovedakse de sidder. Dette forhold er dog åbenbart optimeret så meget i nobilis grenene, at sammenhængen kan beskrives med relativ stor sikkerhed med den globale model.

Salgbar andel af grenproduktion

I udviklingen af disse modeller har vi anvendt grene fra et bredt udvalg af størrelser, og har inkluderet alle levende grene for at undersøge, om der var en helt grundlæggende sammenhæng, der kunne beskrive grenvægt i nobilis. I forhold til pyntegrønt er det normalt kun grene på længder mellem 25 og 90 cm og med typisk 3-5 kryds, der er interessante. Vi har derfor også set på, hvordan de udviklede modeller kan bruges i denne sammenhæng. Til det formål tilpassede vi en model ud fra grene af salgbar størrelse (salgbar model) og sammenlignede den med den globale model med hensyn til, hvor godt modellerne forudsagde grenvægten af grene i salgbar størrelse. Det viste sig, at den salgbare model ikke forudsagde grenvægten bedre end den globale model.

For at kunne bruge den globale model til at forudsige, hvor meget vægten af den salgbare del af grenen udgør, er det nødvendigt at justere modellen for forholdet mellem vægten af den salgbare del i forhold til vægten af den totale gren. Denne justering vil vi indarbejde i modellen i det videre projektarbejde.

Konklusion

Som det ses, er det lykkedes at kunne forudsige grenvægten ud fra måling af grenens diameter. Der kunne ikke opnås nogen sikker forbedring ved at udvikle modeller for de enkelte bevoksninger eller grentyper. Det ser derfor ud til, at forholdet mellem grenvægt og grendiameter er styret af helt grundlæggende strukturelle forhold, og det bliver understreget af, at den globale model er udviklet ud fra et stort grenmateriale, som dækker flere provenienser, lokaliteter, grentyper og grenstørrelser. Modellens generelle brugbarhed blev yderligere bestyrket ved valideringen, hvor det viste sig, at modellen forudsagde grenvægten på materialet fra Kajbjerg med samme sikkerhed som på det materiale, der var brugt til at udvikle modellen.

I den foregående artikel og i vor midtvejsrapport for projektet har vi redegjort for en række effekter på grenvægten for henholdsvis niveauerne grenkrans og stammesektion. I projektets sidste fase vil vi give en endelig vurdering af mulighederne for at lave analyse- og produktionsmodeller på bevoksningsniveau.


Kilder

Meilby, H (2000): Modelling the mechanical design of whorl branches in *Picea abies*

(L.) Karst. In: Spatz, H-C & Speck, T (eds.). Plant Biomechanics 2000. Proceedings of the 3rd Plant Biomechanics Conference, Freiburg-Badenweiler, August 27th to September 2nd 2000, Georg Thieme Verlag, Stuttgart. pp. 632-637.

Morgan, J. og M.G.R. Cannell (1988): Support costs of different branch designs: effects of position, number, angle and deflection of laterals. *Tree Physiology* 4: 303-313.





**HJORTHEDE
PLANTESKOLE A/S**

Tukærvej 12, Hjorthede
8850 Bjerringbro
Tlf. 8668 6488 - Fax 8668 6440.

**Juletræer
Pyntegrønt
Læ og landskab
Skovrejsning**

DEG - Laboratoriet

Jordanalyser · Nåleanalyser · Plantesygdomme

DEG-Laboratoriet • Blomstervej 1 • 8381 Tilst • tlf.: 86 24 50 33
Fax: 86 24 50 22 • e-mail: deglab@deg.dk • website: www.deg.dk

SCHAUMANN PORTALTRAKTOR



3-hjuls træk, frihøjde 2,4 m, trinløs justerbar bredde 2,0-3,0 m (udv. dæk)
37 HK dieselmotor, trinløs kørehastighed 0-12 km/h, 5 liftophæng
redskaber som bundklipper, gødningsudlægger og sprøjteskærm kan også leveres

Maskinfabriken SCHAUMANN
v/ Hugo Kaas-Pedersen

Landsvejen 19, DK 3882 Vejstrup, Telefon 62 28 12 18, Fax 62 28 12 68,
e-mail: schau.mann@schau.mann.dk, homepage: www.schau.mann.dk