

8 oktober 2003

# Ekonomipriset 2003

Kungl. Vetenskapsakademien har beslutat att Sveriges Riksbanks pris i ekonomisk vetenskap till Alfred Nobels minne år 2003 skall delas mellan

## ROBERT F. ENGLE

New York University, USA

"för metoder att analysera ekonomiska tidsserier med tidsvarierande volatilitet (ARCH)" och

## CLIVE W. J. GRANGER

University of California at San Diego, USA

"för metoder att analysera ekonomiska tidsserier med samvarierande trender (kointegration)".

## Statistiska metoder för ekonomiska tidsserier

Forskare inom ekonomiska vetenskaper använder data i form av tidsserier, dvs. kronologiska serier av data, för att estimeras samband och testa hypoteser hämtade från ekonomisk teori. Tidsserierna visar utvecklingen av BNP, priser, räntor, aktiekurser, etc. Årets pristagare utvecklade under 1980-talet nya statistiska metoder som hanterar två centrala egenskaper hos många tidsserier: *tidsvarierande volatilitet*, respektive *icke-stationaritet*.

På finansiella marknader har slumpmässiga svängningar över tiden – volatilitet – stor betydelse, eftersom värdet på aktier, optioner och andra värdepapper beror på deras risk. Svängningarna kan variera kraftigt över tiden – lugna perioder med små svängningar avlöser mer turbulenta perioder med större fluktuationer. Trots att volatiliteten alltså varierar över tiden arbetade forskare länge, i brist på alternativ, med statistiska metoder som förutsätter konstant volatilitet. Därför blev upptäckten som Robert Engle gjorde ett stort genombrott. Han fann att begreppet *autoregressiv betingad heteroskedasticitet (ARCH)* väl fångar egenskaper hos många tidsserier och utvecklade metoder som gör det möjligt att statistiskt modellera tidsvarierande volatilitet. Hans ARCH-modeller har blivit omistliga redskap inte bara bland forskare utan också för analytiker på finansiella marknader, som använder dem vid riskbedömningar och prissättning av finansiella instrument.

De flesta makroekonomiska variabler växer med en slumpmässig trend, så att en tillfällig störning i, säg, BNP dröjer sig

kvar på lång sikt. Sådana tidsserier kallas *icke-stationära*, till skillnad från de stationära som inte växer över tiden, utan rör sig kring ett givet värde. Clive Granger visade tidigt att statistiska metoder för stationära tidsserier kunde ge helt missvisande slutsatser vid analys av icke-stationära data. Hans stora upptäckt var att specifika kombinationer av icke-stationära tidsserier kan uppträda stationärt och därmed tillåta statistiska slutsatser. Granger kallade detta *kointegration*. Han utvecklade metoder som visat sig särskilt viktiga i system där den kortsiktiga dynamiken påverkas av stora slumpmässiga störningar, samtidigt som de långsiktiga variationerna begränsas av ekonomiska jämviktsrelationer, t.ex. sambandet mellan förmögenhet och konsumtion, växelkurser och prisnivåer eller korta och långa räntor.

ROBERT F. ENGLE, född 1942 (60 år) i Syracuse, NY, USA (amerikansk medborgare). Doktorexamen från Cornell University 1969. Michael Armellino Professor in the Management of Financial Services, New York University, NY, USA.  
[www.stern.nyu.edu/~rengle/](http://www.stern.nyu.edu/~rengle/)

CLIVE W. J. GRANGER, född 1934 (69 år) i Swansea, Wales (brittisk medborgare). Doktorexamen från University of Nottingham 1959. Professor emeritus i nationalekonomi vid University of California at San Diego, USA.  
<http://econ.ucsd.edu/~cgranger/>

Prissumma: 10 miljoner svenska kronor, delas lika mellan pristagarna

Mer information: [www.kva.se](http://www.kva.se) och [www.nobel.se](http://www.nobel.se)

Kontaktpersoner: Katarina Werner, informationsassistent, tel. 08-673 95 29, [katarina@kva.se](mailto:katarina@kva.se) och Eva Krutmeijer, informationschef, tel. 08-673 95 95, 0709-84 66 38, [evak@kva.se](mailto:evak@kva.se)



KUNGL.  
 VETENSKAPSAKADEMIEN  
 THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES

P.O. Box 50005, SE-104 05 Stockholm, Sweden  
 Phone: +46 8 673 95 00, Fax: +46 8 15 56 70  
 E-mail: [info@kva.se](mailto:info@kva.se), Web site: [www.kva.se](http://www.kva.se)

Lilla Frescativägen 4A  
 Underground: Universitetet  
 Bus 40: Universitetet norra



# Ekonomipriset 2003

## Statistiska metoder för ekonomiska tidsserier

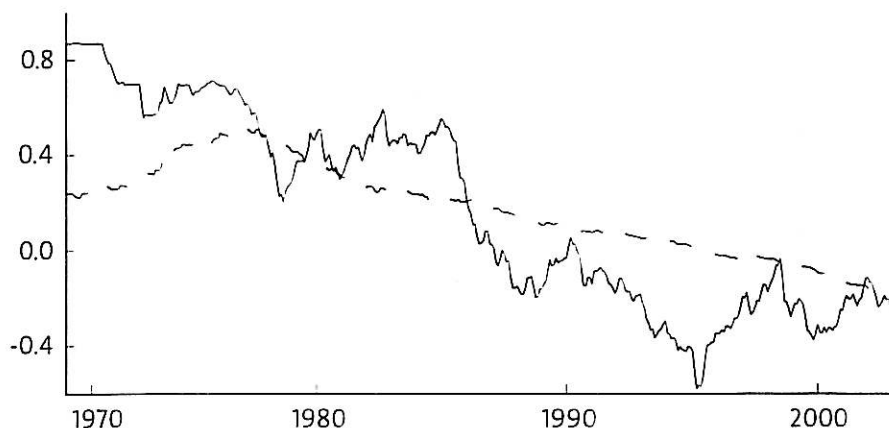
Forskare använder ofta data i form av tidsserier – kronologiskt ordnade observationer – för makroekonomiska variabler när de skattar samband, gör prognoser och testar hypoteser hämtade från ekonomisk teori. Konsumtionen i ett samhälle kan t.ex. bero på total arbetsinkomst och förmögenhet, realräntor, åldersfördelning i befolkningen, osv. I enklast tänkbara läroboksexempel har vi ett statistiskt, linjärt samband med endast två variabler:

$$y_t = \alpha + \beta x_t + e_t.$$

Ekvationen säger att variabeln  $y_t$  (exempelvis konsumtionen i kvartal  $t$ ) beror på variabeln  $x_t$  (exempelvis inkomsten i samma period). Den sista termen – slump termen  $e_t$  – uttrycker den variation i  $y_t$  som modellen inte kan förklara. Med hjälp av tidsserier för variablerna  $y_t$  och  $x_t$  kan parametrarna  $\alpha$  och  $\beta$  skattas med statistiska metoder (regressionsanalys). Giltiga slutsatser förutsätter att metoderna är anpassade efter seriernas specifika egenskaper. Årets ekonomipristagare har utvecklat metoder som fångar två centrala egenskaper hos många tidsserier: *icke-stationaritet*, respektive *tidsvarierande volatilitet*.

## ICKE-STATIONARITET, GEMENSAMMA TRENDER OCH KOINTEGRATION

Många makroekonomiska tidsserier är icke-stationära: en variabel som BNP följer sålunda en långsiktig trend, där tillfälliga störningar påverkar dess långsiktiga nivå. Till skillnad från stationära tidsserier visar de ingen tydlig tendens att återvända mot ett konstant värde eller en given bana. *Figur 1* visar två exempel på sådana serier. Den taggiga kurvan, med stora kortsiktiga svängningar, visar växelkursen mellan japanska yen och amerikanska dollar för varje månad sedan 1970. Den jämnare kurvan visar konsumentprisnivån i Japan i förhållande till den i USA under samma tid.



Figur 1: Logaritmen av valutakursindex japanska yen/US dollar samt logaritmen av kvoten mellan konsumentprisindex för Japan och konsumentprisindex för USA. Månadsdata januari 1970 – maj 2003.

## Statistiska fallgropar

Trots att makroekonomiska tidsserier ofta är icke-stationära hade man länge bara tillgång till de standardmetoder som utvecklats för stationära data. Redan 1974 visade **CLIVE GRANGER** (tillsammans med Paul Newbold) hur skattningar av samband mellan icke-stationära variabler kan ge nonsensresultat genom att felaktigt indikera signifikanta samband även mellan helt orelaterade variabler. (I ekvationen ovan uppstår problemet om slump termen  $e_t$  är icke-stationär – standardtest kan då indikera att  $\beta$  är skild från 0, även om det sanna värdet är 0).

De statistiska fallgroparna kan också ge felaktiga slutsatser om samband som faktiskt existerar. I synnerhet kan det vara svårt att särskilja temporära och varaktiga samband mellan icke-stationära tidsserier. Ekonomisk teori förutsäger t ex att en starkare växelkurs borde hänga samman med långsammare prisstegringar på längre sikt, eftersom priser uttryckta i gemensam valuta inte kan avvika alltför mycket från varandra. Det framgår också av Figur 1 att yenen stärkts mot dollarn sett över hela perioden samtidigt som den amerikanska prisnivån stigit i förhållande till den japanska. På kort sikt styrs dock växelkursen så starkt av förväntningar och kapitalrörelser att ett eventuellt långsiktssamband är svårt att skatta med standardmetoder.

Tidigare var en vanlig ansats att tackla problemen med icke-stationära data att specificera statistiska modeller som samband mellan differenser (ökningstakter). I stället för ett samband mellan växelkurs och relativ prisnivå, skulle man kunna skatta ett samband mellan valutadepreciering och relativ inflation. Om ökningstakterna är stationära ger då gängse metoder giltiga slutsatser. Men även om en statistisk modell med enbart differenstermer kan fånga den kortsiktiga dynamiken i processen, har den mindre att säga om variablernas långsiktiga samvariation. Detta är olyckligt eftersom ekonomisk teori ofta formuleras i termer av nivåer, och inte differenser.

Det har därför varit en utmaning för forskarna att finna metoder för icke-stationära data som gör det möjligt att spåra eventuella långsiktiga samband bakom brusets av kortsiktiga fluktuationer. Clive Grangers arbeten har skapat en sådan statistisk analysapparat.

## Grangers bidrag

I några få uppsatser publicerade under 1980-talet utvecklade Granger begrepp och analysmetoder som kan förena kort- och långsiktiga perspektiv. Nyckeln till dessa metoder, och till giltiga statistiska slutsatser, är hans upptäckt att en speciell kombination av två (eller flera) icke-stationära serier kan vara stationär. Ofta ger ekonomisk teori just sådana förutsägelser: om två variabler binds samman av en jämviktsrelation kan de avvika från denna på kort sikt men anpassar sig på längre sikt tillbaka mot jämvikten. Vedertagen teori förutsäger t ex en långsiktig jämviktsväxelkurs där prisnivåerna i gemensam valuta står i paritet till varandra. Granger myntade begreppet kointegration för en stationär kombination av icke-stationära variabler.

Granger visade också att relationer mellan kointegrerade variabler kan uttryckas i en s.k. felkorrigeringsmodell. En sådan modell är inte bara statistiskt meningsfull utan har också en naturlig ekonomisk tolkning. Den säger t ex att dynamiken i valutakursutvecklingen drivs av två krafter: dels en tendens att utjämna avvikelser från jämviktsväxelkursen, dels en kortsiktig dynamik omkring anpassningsbanan mot den långsiktiga jämvikten.

För att kointegrationsbegreppet skulle bli praktiskt användbart behövdes dock kraftfulla statistiska metoder för skattningar och hypotestest. Sådana presenterades av Clive Granger och Robert Engle år 1987 i en uppsats som fått oerhört stor betydelse. De anvisar där dels ett

test av hypotesen att ett antal icke-stationära variabler inte är kointegrerade, dels en tvåstegs-metod för skattning av felkorrigeringsmodellen. Förbättrade metoder – som sedermera blivit standard – har senare utvecklats av Søren Johansen.

I senare arbeten har Granger tillsammans med andra forskare utvidgat kointegrationsanalysen i olika avseenden, bl.a. för att hantera serier med säsongsmönster (säsongskointegration) och serier där anpassning mot jämvikt utlöses först när avvikelserna överstiger ett kritiskt värde (tröskelkointegration).

### Tillämpningar

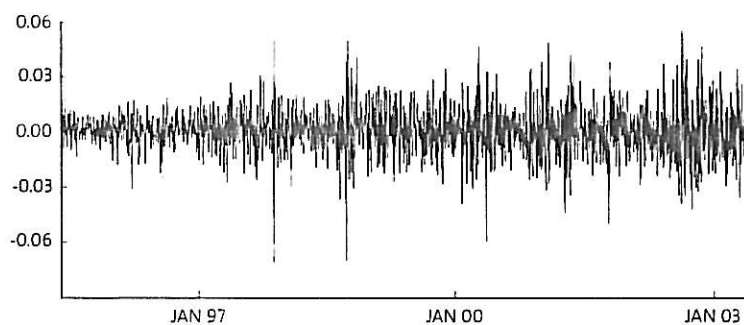
Clive Grangers arbeten har helt ändrat ekonomers förhållningssätt till tidsseriedata. Tester för stationaritet och kointegration genomförs numera regelmässigt för att vägleda den dynamiska specifikationen av ekonometriska modeller. Kointegrationsanalys har visat sig särskilt viktig i system där den kortsiktiga dynamiken påverkas av stora slumpmässiga störningar, samtidigt som de långsiktiga variationerna begränsas av ekonomiska jämviktsrelationer. Ett exempel är sambandet mellan växelkurser och prisnivåer. Andra exempel är sambanden mellan konsumtion och förmögenhet (dessa måste vara konsistenta med varandra på lång sikt, men konsumtionen utvecklas mycket jämnare än förmögenhetsvärdet på kort sikt), utdelningar och aktiekurser (aktiekurser följer utdelningarnas utveckling på lång sikt, men uppvisar betydligt större fluktuationer på kort sikt), samt räntor på olika löptid (där längre och kortare räntor binds samman av förväntningar om framtida korträntor, även om de på kort sikt rör sig i olika riktningar).

## TIDSVARIERANDE VOLATILITET OCH ARCH

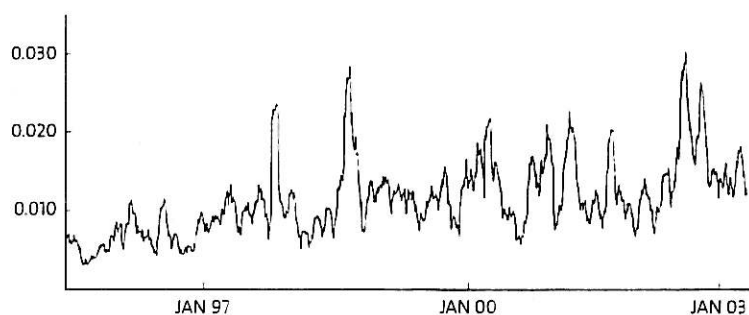
Bedömningen av risker står i centrum för verksamheten på finansiella marknader. Investorer avväger den förväntade avkastningen på en placering mot dess risk. Banker och andra finansiella institutioner vill försäkra sig om att värdet av deras tillgångar med till visshet gränsande sannolikhet inte kommer att understiga en miniminivå som skulle riskera bankens soliditet. För att göra sådana bedömningar behövs mått på volatiliteten i tillgångarnas avkastning. De metoder som **ROBERT ENGLE** utvecklat gör det bland annat möjligt att göra sådana beräkningar på ett bättre sätt än tidigare.

*Figur 2* visar avkastningen på en investering i aktieindex för börsen i New York (Standard & Poor 500) för alla börsdagar från maj 1995 till april 2003. Avkastningen uppgick i genomsnitt till 5,3 procent per år. Samtidigt var svängningarna stora med kursrörelser under enstaka dagar på över (plus eller minus) 5 procent. Standardavvikelsen<sup>1</sup> i dagsavkastningen mätt över hela perioden var 1,2 procent. Betraktar vi figuren närmare ser vi dock att volatiliteten varierar över tiden: stora förändringar (uppåt eller nedåt) följs ofta av ytterligare stora förändringar, små förändringar av små förändringar. Detta illustreras tydligare i *Figur 3* som visar standardavvikelsen mätt över de fyra senaste veckorna. Som synes varierade denna påtagligt, från omkring en halv procent under lugna perioder till närmare tre procent under mer turbulenta episoder. En liknande tidsvariation i volatiliteten karakteriserar flertalet finansiella tidsserier.

<sup>1</sup> Standardavvikelsen definieras som kvadratroten ur variansen, vilken anger den genomsnittliga kvadrerade avvikelserna från seriens medelvärde. Variansen för  $T$  observationer av en variabel  $x_t$  med medelvärdet  $\bar{x}$  kan alltså beräknas som  $\sum (x_t - \bar{x})^2 / T$ .



Figur 2: Procentuell daglig avkastning på en investering i Standard & Poor 500 aktieindex, 16 maj 1995 – 29 april 2003.



Figur 3: Standardavvikelse för den procentuella dagliga avkastningen på en investering i Standard & Poor 500 aktieindex, 16 maj 1995 – 29 april 2003, beräknad på data för fyra närmast föregående veckor.

## Engles bidrag

Figuren återger bara beräkningar i efterhand av hur volatiliteten varierat över tiden. Men investerare och finansiella institutioner behöver framåtblickande bedömningar – prognoser – över volatiliteten under kommande dag, vecka och år. I en banbrytande uppsats från 1982 formulerade Robert Engle en modell, som möjliggör sådana bedömningar.

Statistiska modeller för aktieavkastningen förmår bara förklara en bråkdel av variationen från en dag till en annan. Den allra största delen av volatiliteten kommer därför att hamna i slump termen (termen  $e_t$  i ekvationen ovan), modellens prognosfel. I statistiska standardmodeller antas slump termens förväntade varians vara konstant över tiden. Detta fångar uppenbarligen dåligt de stora variationerna i aktieavkastningen i Figur 3.

Engle antog i stället att variansen av slump termen i en viss statistisk modell, i en viss tidsperiod, beror systematiskt på tidigare realiserade slump termer, så att stora (små) slump termer tenderar följas av stora (små) slump termer. Tekniskt uttryckt är slump termen autoregressivt betingat heteroskedastisk. Hans ansats har därför blivit känd under akronymen ARCH (autoregressive conditional heteroskedasticity). I vårt exempel innefattar modellen nu inte bara en prognosekvation för aktieavkastningen, utan också ett antal parametrar som visar hur variansen för prognosekvationens slump term beror på prognosfelen i tidigare perioder. Engle visade hur sådana ARCH-modeller kan skattas, och presenterade ett praktiskt användbart test för hypotesen att slump termens betingade varians är konstant.

I senare forskning har Engle tillsammans med studenter och kollegor utvecklat sin ansats i ett antal olika riktningar. Mest känd är den generaliserade ARCH-modellen (GARCH) presenterad av Tim Bollerslev 1986, där variansen för slump termen i en viss period inte bara beror på tidigare slump termer utan också på variansen i tidigare perioder. Denna utvidgning har visat sig mycket användbar, och GARCH är den modell som oftast tillämpas idag.

## Tillämpningar

I sin första ARCH-uppsats använde Engle sin modell för tidsvarierande volatilitet till att studera inflationen. Det visade sig dock tidigt att de viktigaste tillämpningarna fanns inom den finansiella sektorn, vars aktiviteter just syftar till att hantera och prissätta olika slags risker. Modeller för prissättning relaterar därför priser på värdepapper till volatiliteten: den förväntade avkastningen för en enskild aktie beror på samvariationen (kovariansen) mellan avkastningarna på aktien och marknadsportföljen (enligt CAPM, belönad med 1990 års ekonomipris till Sharpe), optionspriser beror på variansen i den underliggande tillgångens avkastning (enligt Black-Scholes formel, belönad med 1997 års ekonomipris till Merton och Scholes), osv. För att fånga upp sådana kopplingar har Engle tillsammans med andra forskare utvecklat modeller (GARCH-M) där den förväntade avkastningen beror på tidsvarierande varianser och kovarianser och därigenom själv blir tidsvarierande.

Hur stor praktisk betydelse har det att volatiliteten varierar över tiden? Om man applicerar en GARCH-modell på aktieavkastningarna i Figur 2 finner man att den betingade volatiliteten, uttryckt som en standardavvikelse, fluktuerat mellan 0,5 och 3 procent under den aktuella perioden. Hur stort kapital riskerar en investerare med en indexportfölj motsvarande Standard & Poor 500 att förlora nästa dag? Vid en prognostiserad standardavvikelse på 0,5 procent kommer hennes förlust, med 99 procents sannolikhet, inte att överstiga 1,2 procent av portföljens värde. Motsvarande maximala kapitalförlust vid 3 procents standardavvikelse är hela 6,7 procent. Dyliga kalkyler av value at risk spelar en central roll i modern riskanalys när banker och andra företag beräknar marknadsrisken i sina värdepappersportföljer. Sedan 1996 föreskriver också internationellt överenskomna regleringar (de s.k. Basel-reglerna) att value at risk bör användas som underlag för bankernas kapitaltäckningskrav. Genom sin användning i dessa och andra sammanhang är ARCH-metoder idag omistliga redskap vid riskbedömningar i den finansiella sektorn.

## LÄSTIPS

### ARCH

Engle, R.F., "GARCH101: The Use of ARCH/GARCH Models in Applied Econometrics", *Journal of Economic Perspectives*, vol. 15, nr 4, höst 2001, s. 157–168.

Poon, S-H., och C.W.J. Granger, "Forecasting Financial Market Volatility", *Journal of Economic Literature*, vol. 41, nr 2, juni 2003, s. 478–539.

### COINTEGRATION

Granger, C.W.J., "Developments in the Study of Cointegrated Variables", *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, vol. 48, 1986, s. 213–228.

Murray, M.P., "A Drunk and her Dog: An Illustration of Cointegration and Error Correction", *The American Statistician*, vol. 48, nr 1, feb. 1994, s. 37–39.

Phillips, P.C.B., "ET Interview: Clive Granger", *Econometric Theory*, vol. 13, 1997, s. 253–304.

---

## PRISTAGARNA

### ROBERT F. ENGLE

New York University  
Salomon Center  
44 West Fourth Street, Suite 9-62  
New York, NY 10012-1126  
USA

[www.stern.nyu.edu/~rengle/](http://www.stern.nyu.edu/~rengle/)

Amerikansk medborgare. Född 1942 (60 år) i Syracuse, NY, USA. Doktorsexamen från Cornell University 1969. Michael Armellino Professor in the Management of Financial Services, New York University, NY, USA.

### CLIVE W. J. GRANGER

Department of Economics  
University of California, San Diego  
9500 Gilman Drive  
La Jolla, CA 92093-0508  
USA

<http://econ.ucsd.edu/~cgranger/>

Brittisk medborgare. Född 1934 (69 år) i Swansea, Wales. Doktorsexamen från University of Nottingham 1959. Professor emeritus i nationalekonomi vid University of California at San Diego, USA.