

Bergström & Öberg

Kvalitetskrav på prediktions- modeller för mjölk kontroll - ett diskussionsinlägg



Tomas Öberg

www.tomasoberg.com

Bakgrund

- *Vidgad bas för NO_x-avgifter fr. 1997.*
- *Pågående och avslutade PEMS-projekt, Träteck och Vattenfall. PEMS= "Predictive Emission Monitoring System".*
- *Utvecklingen i USA.*
- *Acceptans förutsätter validering, d v s en beskrivning av modellernas giltighet, prestanda och begränsningar.*

Uppdraget

- *Finansierat av Värmeforsk och Naturvårdsverket.*
- *Utvärdera kvalitetsaspekter i samband med användning av prediktionsmodeller för beräkning av NO_x-emissioner från pannanläggningar.*
- *Visa hur prediktionsmodeller bör utformas för att motsvara den kravnivå som anges i föreskrifterna för mätning vid de pannor som blir avgiftsskyldiga 1997.*

Målsättning

- *Beskrivning av, och jämförelse med, de amerikanska kraven på PEMS-system.*
- *Visa hur prediktionsmodellerna bör utformas för att motsvara rimliga krav på mätkvalitet och mätsäkerhet.*
- *Visa hur prediktionsmodellens giltighet och tillämpbarhet fortlöpande kan kontrolleras vid praktisk användning.*

PEMS i USA - informationskällor

- *Vetenskapliga och teknisk facklitteratur.*
- *Konferensrapporter.*
- *Federal Register.*
- *Council of Industrial Boiler Owners.*
- *U.S. EPA.*

Modelluppbyggnad - typ av modeller

- *Fundamentala, eller fysikaliska, modeller som approximerar processdynamiken.*

- *Empiriska modeller:*
 - *Regressionsmodeller.*
 - *Neurala nät.*

Modelluppbyggnad - giltighet

- *Validering vid olika driftlägen och pannlast.*
- *Modell som beräknats utifrån data från ett väldefinierat "normalläge" får ett mycket begränsat giltighetsområde och*
- *blir störningskänslig.*

Modelluppbyggnad - validering av givarsignaler

- *Validering av inkommande signaler har identifierats som en viktig punkt för att göra PEMS till ett trovärdigt alternativ för utsläppskontroll.*
- *Givarvalideringen omfattar då inte bara max/min-värden utan även att det normala variationsmönstret bibehålls.*
- *Installerade system innehåller "signal/sensor validation"-komponenter.*

Praktisk erfarenhet - installationer

- *Ett 100-tal installationer i bruk inom olje-, kemisk- och kraftindustri.*
- *Nästan total dominans för gasturbiner och gaseldade pannor.*
- *Lovande resultat har rapporterats från prov i ett koleldat kraftverk.*

Drifterfarenheter - PEMS

- *Generellt sett goda.*
- *Minskat underhålls-/skötselbehov.*
- *Möjlighet till fortlöpande kontroll av bakomliggande mätsystem och givare.*
- *Bättre möjligheter att styra/optimera processen.*

Myndighetskrav - delstatsnivå

- *Prediktionsmodeller har accepterats i Alabama, Arkansas, California, Colorado, Louisiana, Pennsylvania och Texas. Installationer finns i fler delstater men rättsläget framgår inte av granskad litteratur.*
- *Krav på utprovning ansluter till federal nivå, men förefaller endast bestå av utvärdering av prestanda under en begränsad tidsperiod.*

Myndighetskrav - federal nivå

- *Regelverket rörande tillämpning av prediktionsmodeller är ännu ej färdigställt, men ett antal förslag har presenterats.*
- *"Acid-Rain Rules" (40 CFR Part 75)*
- *"Enhanced Monitoring Program" (1993),
numer "Compliance Assurance
Monitoring" (1995).*
- *"Operating Permits Rule Revisions"
(1994).*

Acid-Rain Rules

- *Alternativ till konventionell mätning för topplastenheter.*
- *Back-up system för konventionell mätsystem.*
- *Kraven anger bl.a. att det alternativa "mätsystemet" måste uppvisa minst samma precision, tillförlitlighet och tillgänglighet som ett konventionellt mätsystem.*

Validerings- och prestandakrav enligt 1993 års förslag till ”Enhanced Monitoring Program”

Anläggningsägaren skall demonstrera och validera representativiteten av ett ”parameter monitoring system”.

- 1 *”Predictive relationship” skall etableras genom jämförelse med en referensmetod vid minst tre lastnivåer. Andra processfaktorer av betydelse skall också provas vid tre nivåer som täcker variationsområdena. Erhållna mätdata används sedan för att utveckla prediktionsalgoritmen.*

Validerings- och prestandakrav forts.

- 2 Jämförelse med referensmetod i ett "correlation test" som omfattar minst en serie om 9 st provperioder. Under en provperiod får systemet inte ha några avbrott eller bli föremål för underhåll eller justeringar. Varje provperiod skall omfatta 30-60 minuter. Systemet skall provas inom hela tillämpningsområdet. "Relative accuracy" skall vara mindre eller lika med 20% (inkl. statistisk osäkerhet).*

Vilka lärdomar bör vi dra?

Vad ska vi inte ta efter?

- *Modeller bör byggas på mätdata där driftsinställningarna medvetet har varierats för att få ett brett giltighetsområde.*
- *En-variabel-åt-gången försök är ineffektiva och ger missledande resultat.*
- *Inkommande signaler och prediktionsmodellen bör fortlöpande valideras.*
- *Prestandakraven kommer att bli annorlunda än för konventionella mätsystem.*

PEMS i Sverige - granskningen

- *PEMS-modeller från några fastbränslepannor granskas med avseende på:*
 - *Påverkan av ändrade driftsförhållanden.*
 - *Påverkan av driftsstörningar.*
 - *Påverkan av mätfel.*
- *Modeller och mätdata kommer att hämtas från de andra pågående, eller avslutade, PEMS-projekten.*

Hur långt kan vi nå?

- *Naturvårdsverket anger i förslaget till föreskrifter att "samma krav" skall gälla för beräknade som mätta NO_x-halter.*
- *Är det praktiskt möjligt? Beror på vilken mening vi lägger in i uttrycket: "samma krav". Modellerna kalibreras ju mot mätinstrument som även själva är behäftade med ett mätfel.*
- *Prediktionsfel=mätvärde - prediktion.
Mätfel = Syst. fel + tillfälliga (slump) fel.
Modellen kan givetvis inte bli bättre än mätningen och det förekommer **alltid** ett visst modellfel, dvs
Prediktionsfel=modellfel + mätfel.*

Krav på fasta mätsystem

- *Nedre detektionsgräns (< 2%).*
- *Nollpunktsdrift (< +/- 2%).*
- *Mätvärdesdrift (< +/- 4%).*
- *Interferenser (+/- 4%).*
- *Svarstid (= < 200 s).*

(%-satser avser fullt skalutslag).

Kontroll 1 ggn per år av ackrediterat laboratorium.

Bergström & Öberg

Interkalibreringsresultat

Den empiriska beräknings- modellen: $y=f(x)$

där

- *y , den beroende variabeln, är NO_x -halten.*
- *f är en matematisk funktion beräknad från insamlade mätdata.*
- *x , de oberoende variablerna, är drifts-, anläggnings- och bränslevariabler som ingår i modellen.*

Den matematiska funktionen/- modellen

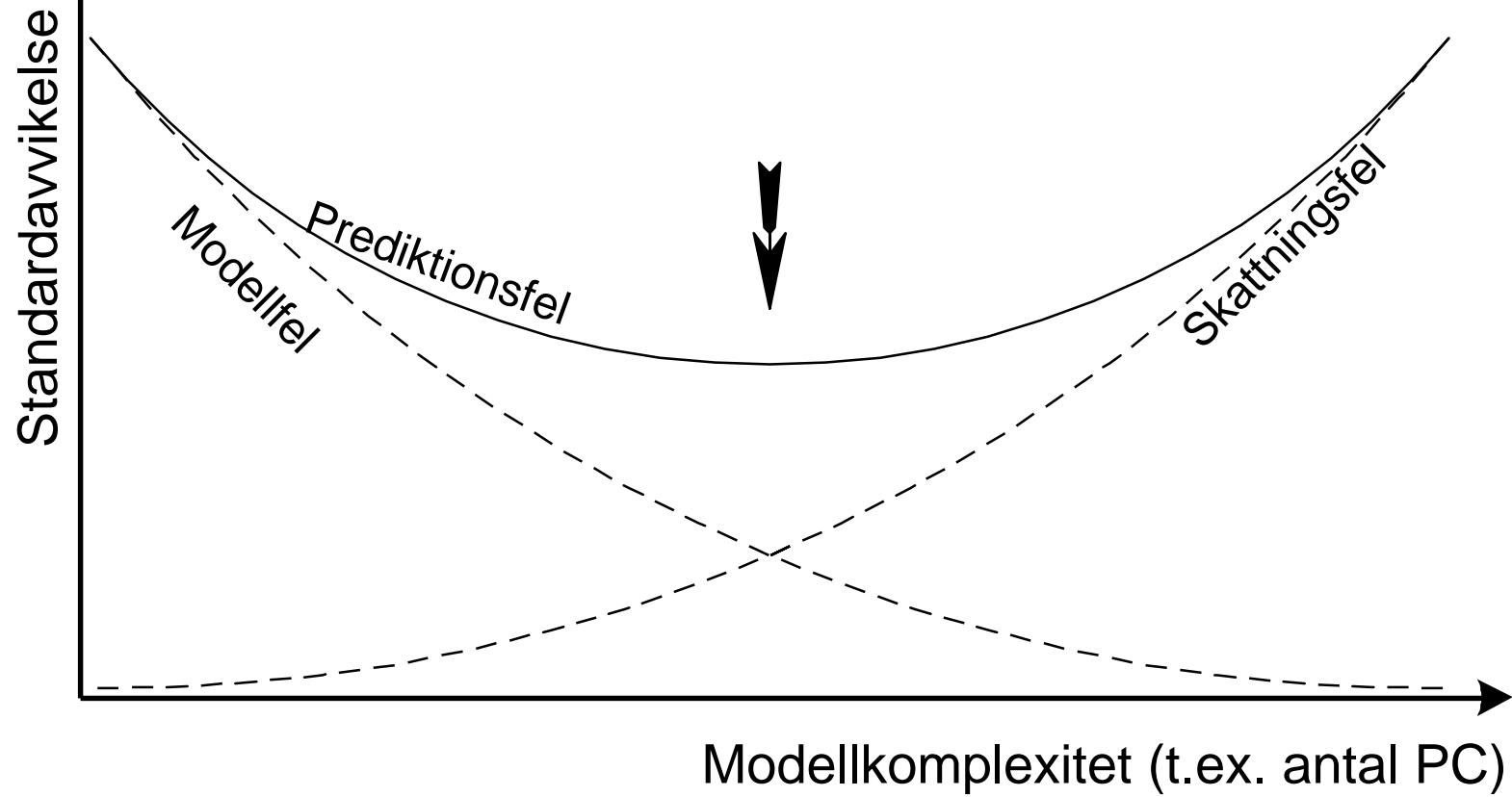
- Statisk eller dynamisk.
- Linjär, enkelt linjärt eller expanderat
polynom: $y = b_0 + b_1 * x_1 + b_2 * x_2 + b_{12} * x_1 * x_2 + b_{11} x_1^2 + b_{22} * x_2^2 + \dots$
Bestämt genom någon regressions-
teknik (MLR, PLSR, osv).
- Icke-linjär, exempelvis neurala nät eller
"locally weighted regression" (LWR).

”Occam’s rakkniv”

- *Valet av modelltyp, uppbyggnad och de driftsvariabler som skall ingå är en del av själva modelleringsprocessen. Det kan därför inte avgöras på förhand genom ett generellt resonemang.*
- *Kan vi välja mellan en ”enkel” eller en ”komplicerad” modell som ger ungefär samma resultat så ska vi givetvis välja den enkla.*

Bergström & Öberg

Prediktionsfel



Driftsvariabler

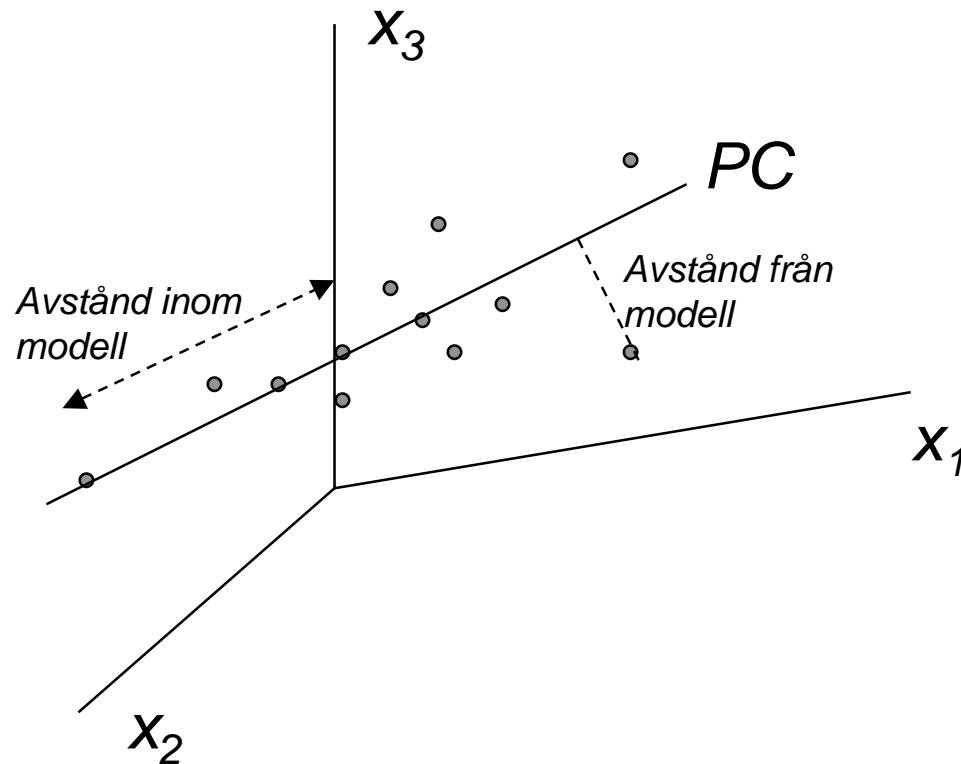
- *Last, syrehalt, temperaturer, luftfördelningar, etc. Urvalet är en del av modelleringsprocessen.*
- *Gränserna för varje variabel var för sig.*
- *Är kombinationen av variabelinställningar inom domänen, "normalt" variationsmönster?*
- *Hur upptäcker/hanterar vi störningar och mätfel?*

Bergström & Öberg

**Kalibreringsområdet beror även
av driftsvariablerna inbördes**

Det "normala" variationsmönstret

Kan beskrivas med en PCA-modell.



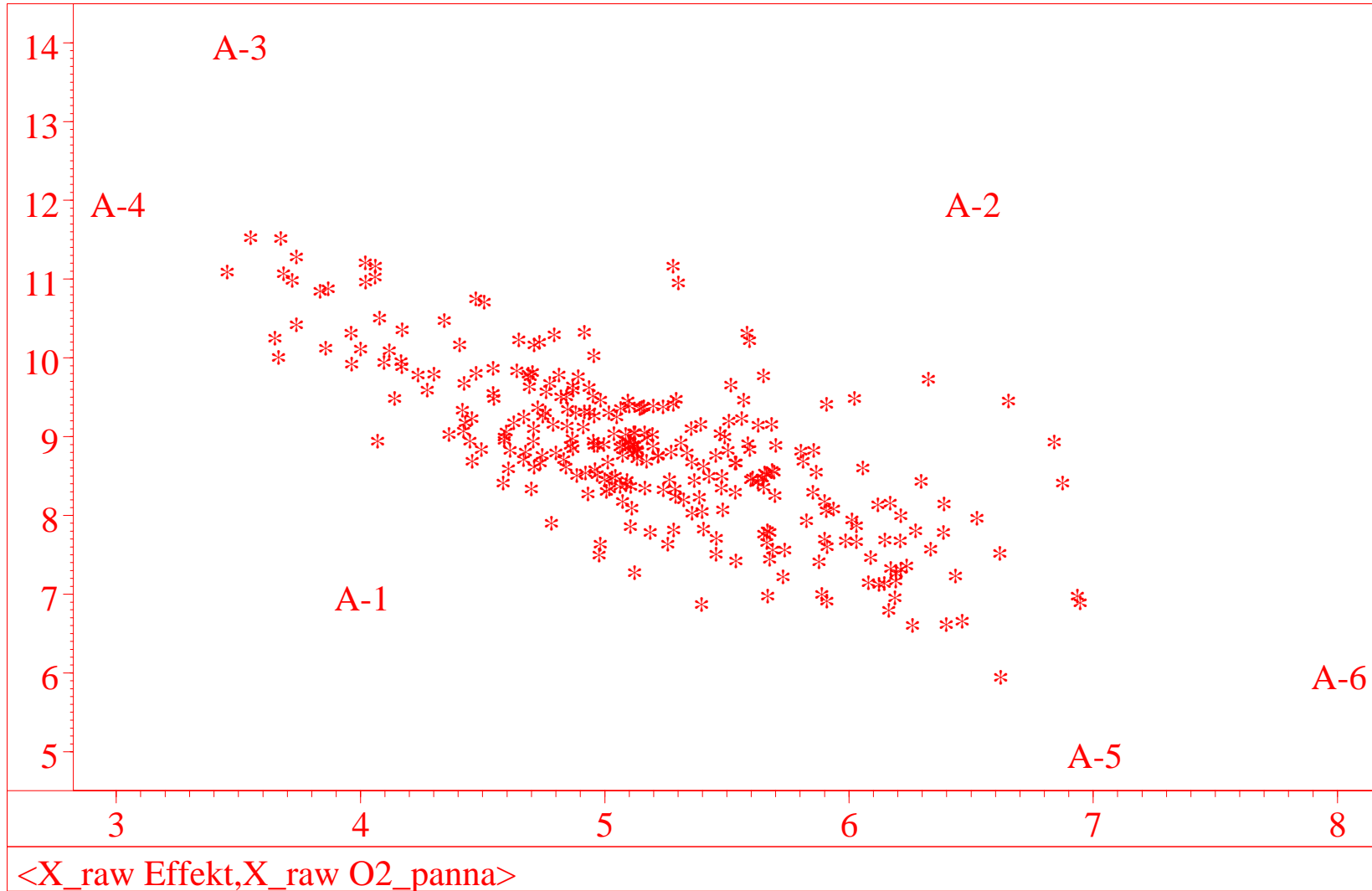
Fortlöpande kontroll av giltighetsområdet

- *Residualer & scores eller leverage.*

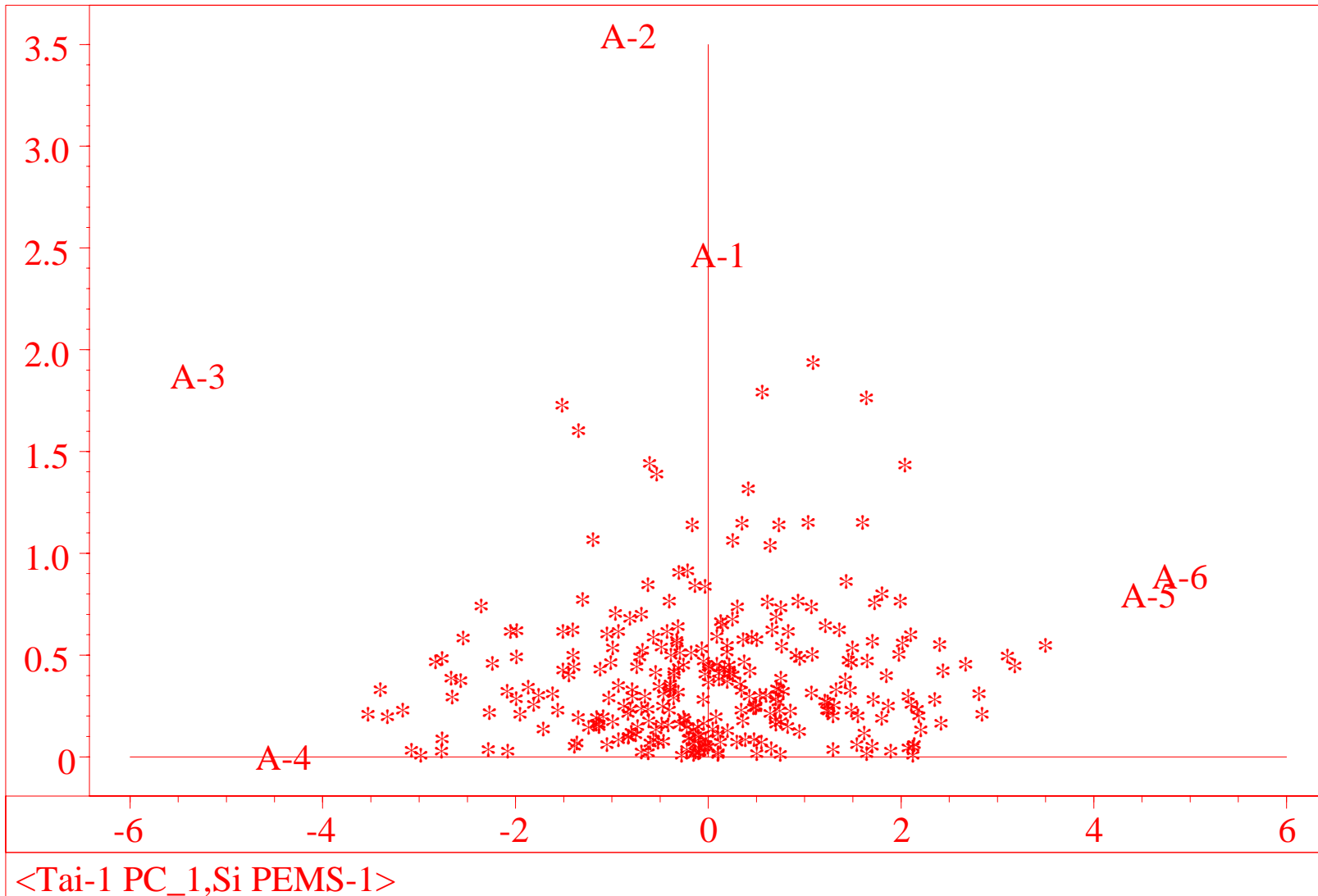
alt.

- *Residualer samt max- och minvärden för samtliga oberoende variabler.*

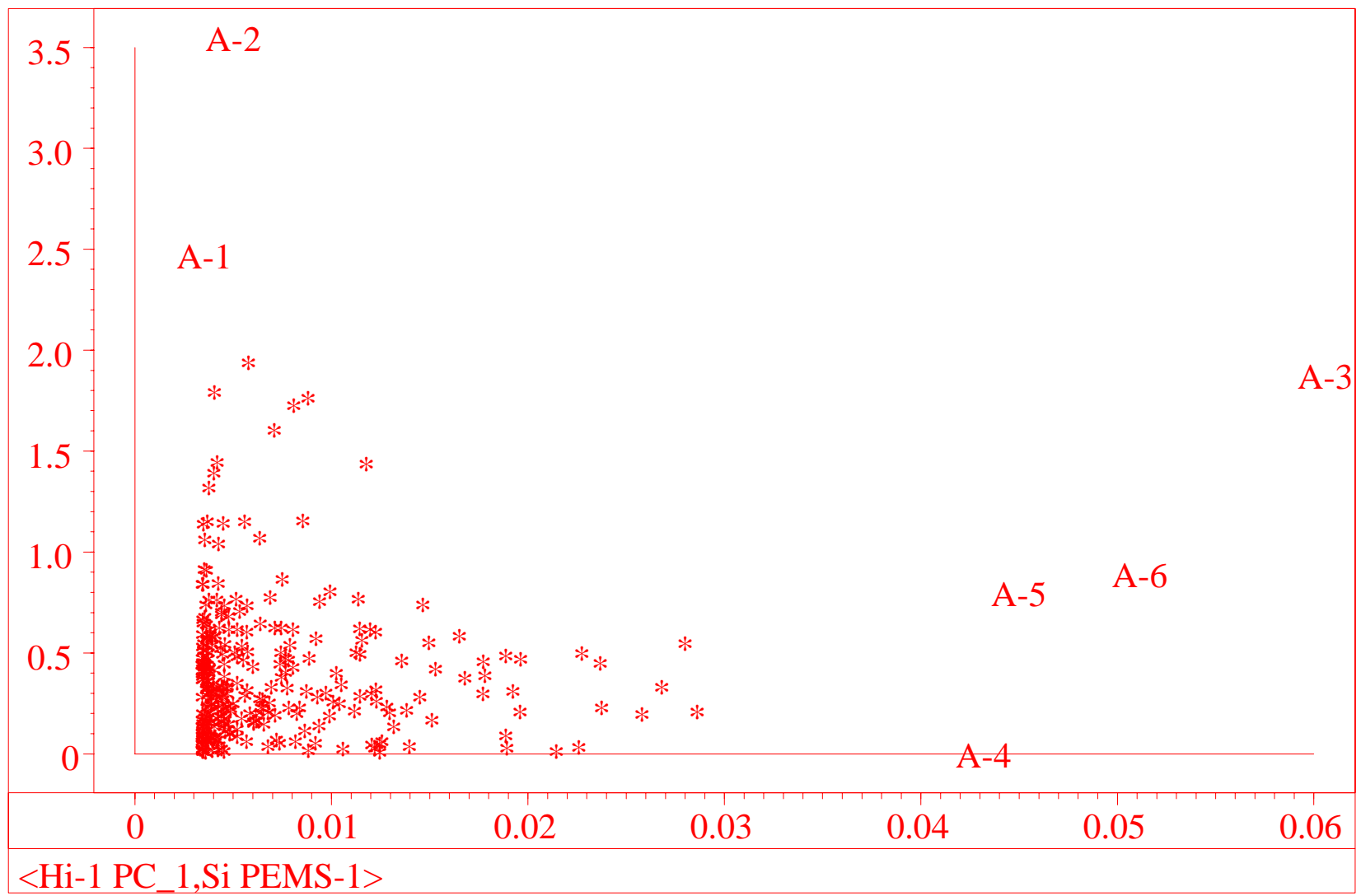
Bergström & Öberg



Bergström & Öberg

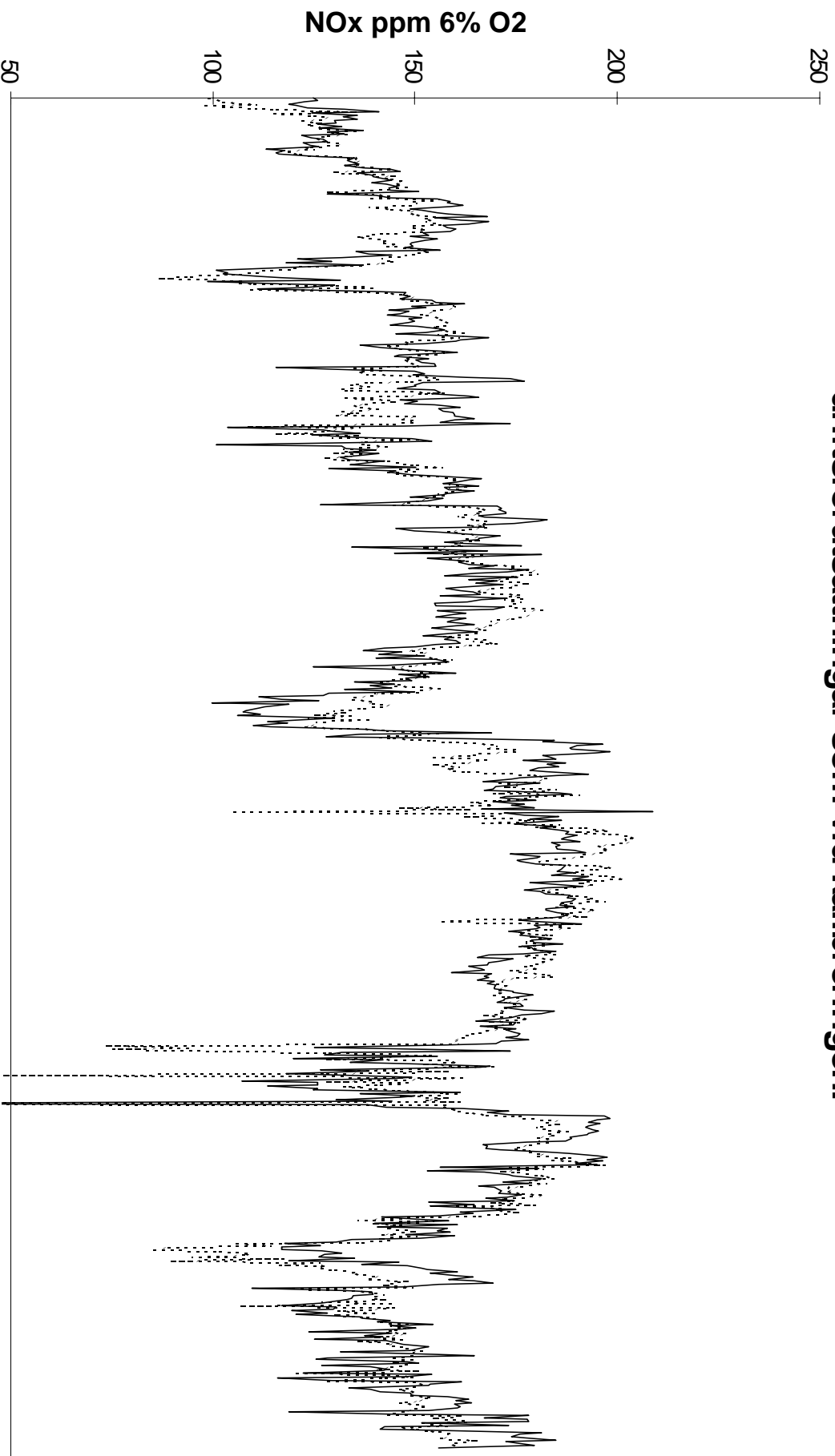


Bergström & Öberg



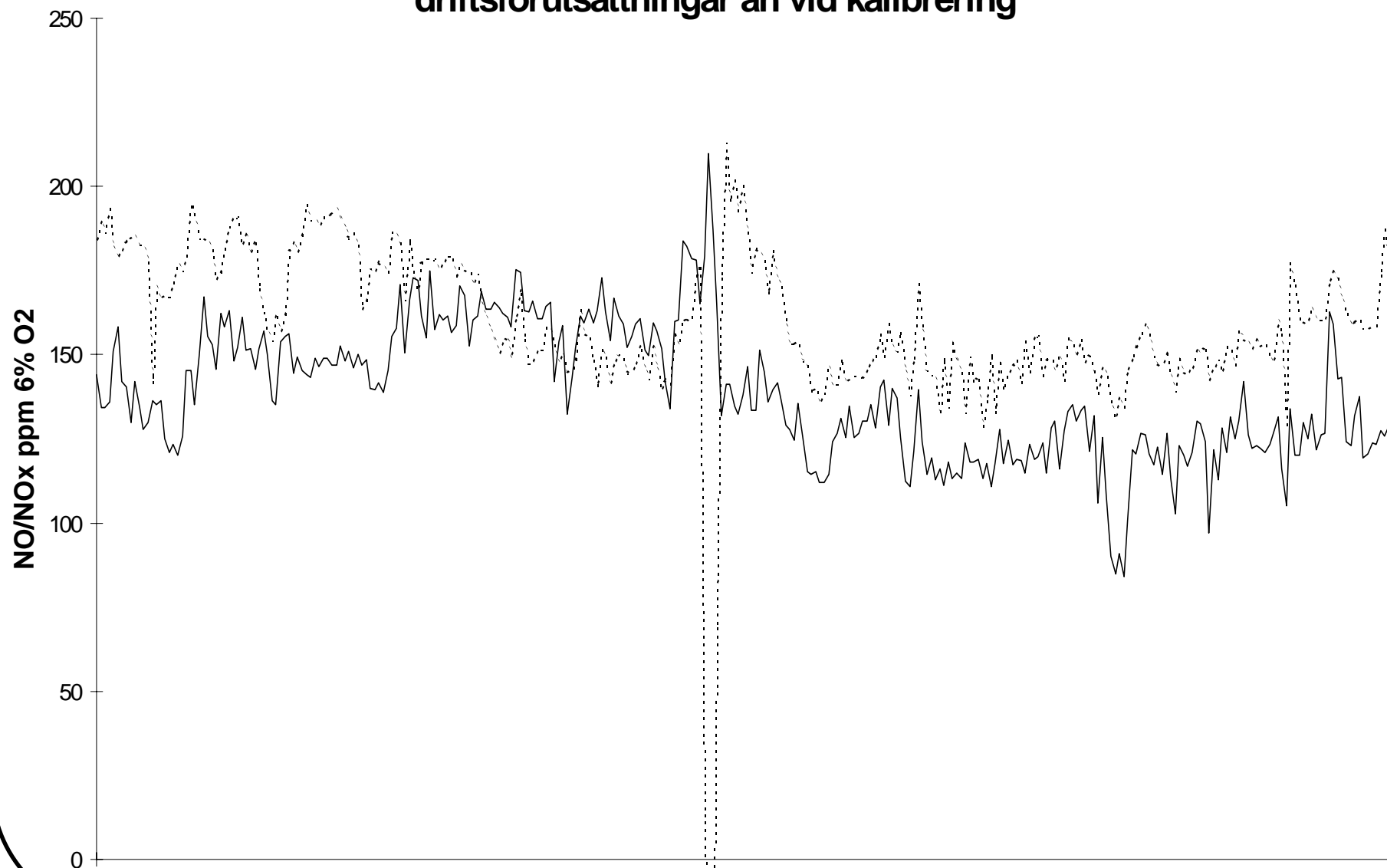
Bergström & Öberg

Jämförelse av PEMS och CEMS, samma driftförsättningar som vid kalibreringen.



Bergström & Öberg

Jämförelse av PEMS och CEMS, andra driftförutsättningar än vid kalibrering



Driftsvariationer

- *Giltighetsområdet kan vidgas genom att "störa"/variera processen när kalibreringsdata samlas in.*
- *Man bör då tillämpa principerna för statistisk experimentell design.*

Känslighet för störningar, mätfel och processdrift

- *Robusta modeller bör givetvis eftersträvas. Hur uppnår vi det?*
 - *Många eller få variabler?*
 - *Signalfiltrering, signalvalidering?*
 - *Neurala nät?*
- *Rekalibrering*
 - *Tveksam till automatik.*

Förändringar i anläggningen

- *Slaggpåslag.*
- *Rostens slitage.*
- *Ändrat värmeupptag i konvektionsdelarna i pannan.*
- *Reparationer.*

Åtgärder för att säkerställa giltighet?

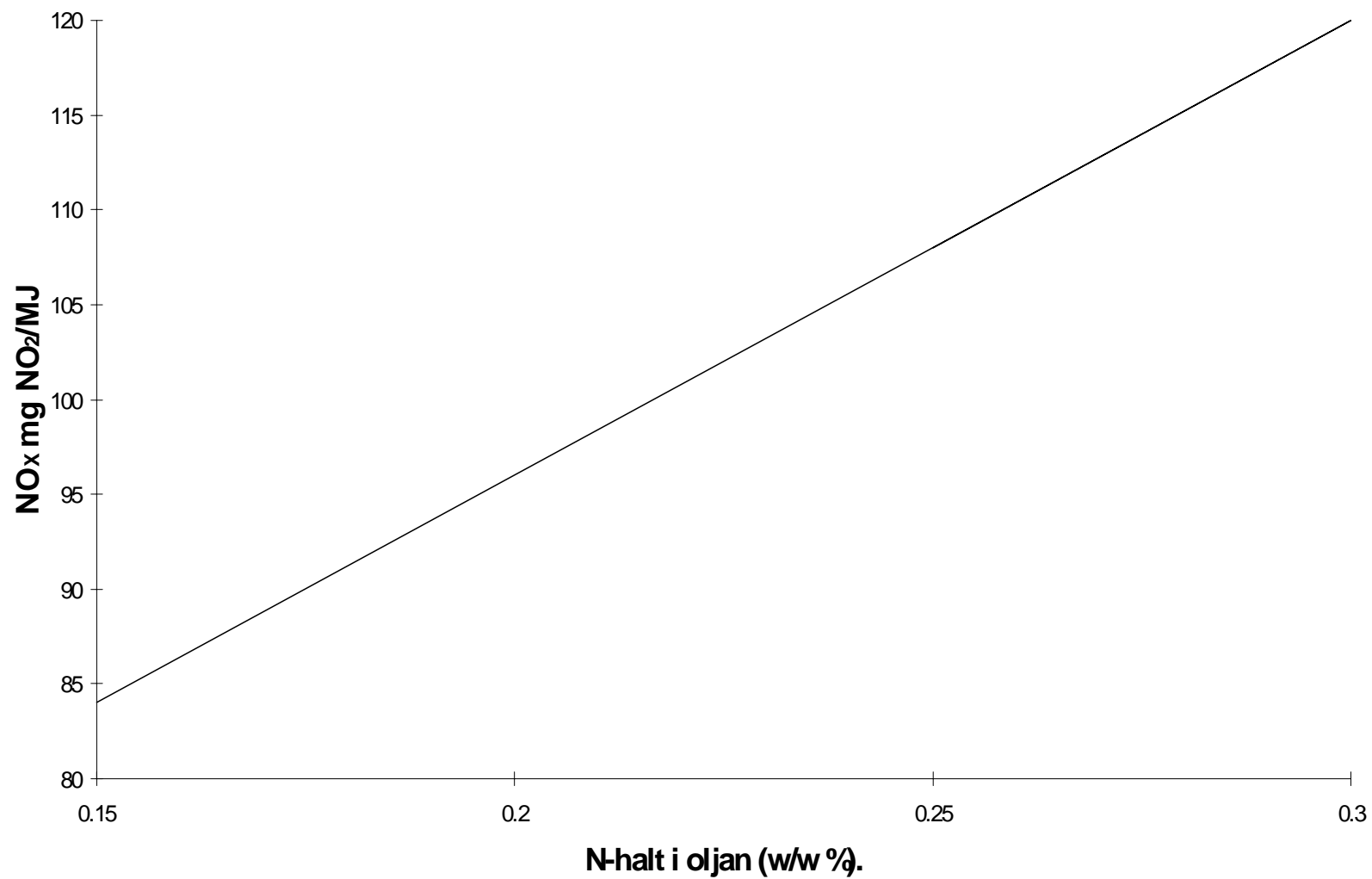
Dokumentation!

Bränslevariationer

- *Kvävehalt.*
- *Fukthalt.*
- *Styckestorlek.*
(spån/flis).

Åtgärder för att säkerställa giltighet?
Dokumentation!

Exempel på garanti för låg- NO_x -brännare.



Validering av den färdiga modellen

- *Utvärderingsperiod som är helt skild från kalibreringen.*
- *Upprepas vid jämna intervall eller då förändring av betydelse görs i anläggningen.*
- *Noggrannhet/riktighet. Överensstämmelse med jämförelsevärdet över en viss tidsperiod. Jfr. systematiskt fel.*
- *Precision. Spridning relativt jämförelsevärdet. Jfr. slumpmässigt fel.*

Summering

- *Krav på jämförelse-/kalibreringsdata.*
- *Val av modelltyp - problemberoende.*
- *Val av ingångsvariabler - d:o.*
- *Giltighetsområde - fortlöpande kontroll.*
- *Robusta modeller, rekalkibrering.*
- *Validering av signaler in.*
- *Krav på prestanda - hur stor avvikelse kan vi godta?*

Synpunkter

*Nu vill jag gärna få Era synpunkter på
dessa tankegångar!*

