An aerial night view of a city, likely Stockholm, with a glowing orange path winding through the urban landscape. A large, illuminated stadium-like structure is visible in the foreground. The sky is dark with a crescent moon in the upper left corner.

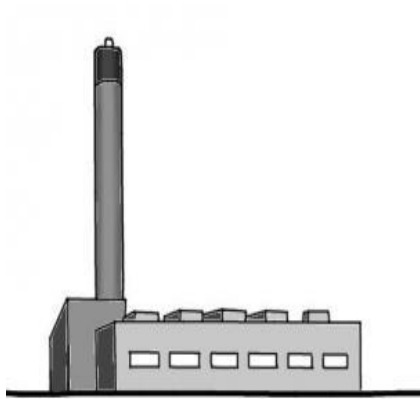
# Kan avancerade analysmetoder vara nyckeln till återvinning?

Jenny Rissler

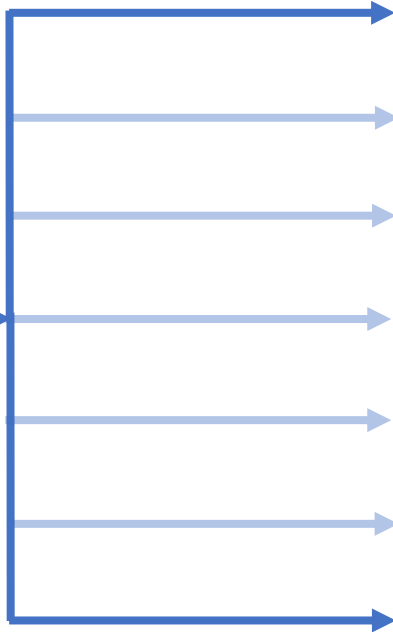
*Associate Professor (Lektor&Docent) LU  
Researcher at RISE*

**Exempel**

# Sekundär användning av stålslagg



1-1,5 Mton  
Metallurgisk slagg  
per år (Sverige 2010)

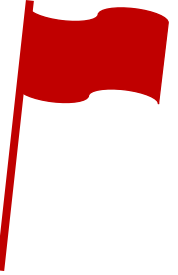


Sekundär användning för  
- Markkonstruktionsarbete  
- Asfalt

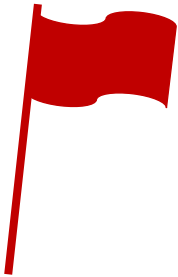


Sekundär användning vid  
produktion av mineralull

Kemisk form av Cr?



Redox tillstånd av Mn?





# Sekundär användning av stålslagg

- *Markkonstruktion*

## Utmaning

- Slaggen innehåller typiskt ~2-3 % Cr, vilket kan laka och förorena vatten och mark
- Cr(VI) är vattenlösligt och mycket toxiskt!
- Våtkemiska metoder för att bestämma Cr(VI) kan
  - *förändra oxidationstillståndet under de många provberedningsstegen och*
  - *kräver malning (all rumslig upplösning försvinner).*

## Lösning

- Röntgenabsorptionsspektroskopi (XAS)
  - *information om oxidationstillstånd i komplexa matriser*
  - *information om variation i kemisk form i slaggstenen*



# Sekundär användning av stålslagg

- Mineralull

## Utmaning

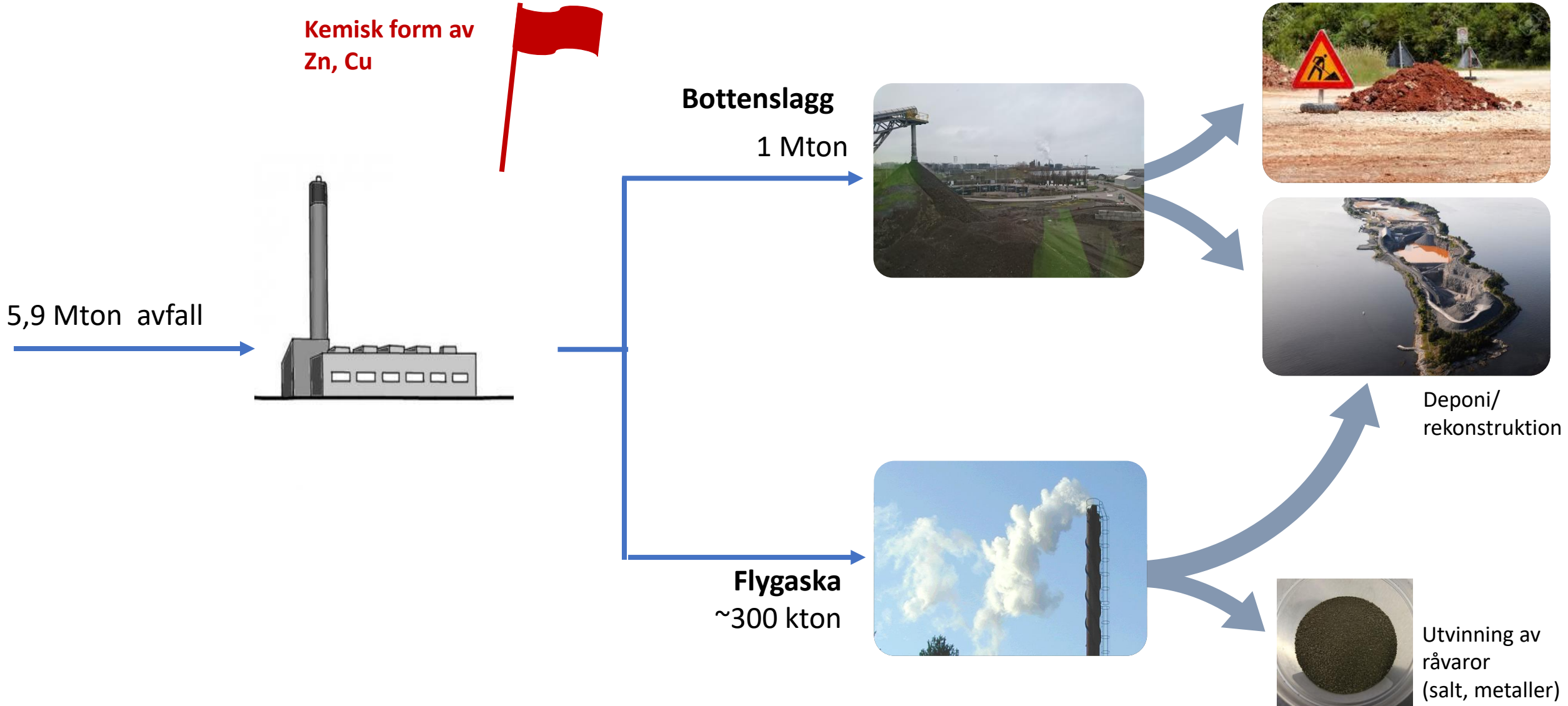
- Stenull/mineralull är en produkt från smältning och fibrering av konventionella basalt- eller diabasstenar.
  - *Redoxjämvikten av  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$  styr smältningen och kristalliseringen av bergarterna*
- Stålslagg är en sekundär råvara som skulle kunna användas som tillsats vid produktion av stenull
  - *Mn-innehållet i slaggen påverkar redoxjämvikten av Fe → direkt påverkan på stenullen.*
- Undersökningar om hur  $Mn^{2+}/3+$  påverkar Fe-redoxjämvikterna behövs!

## Lösning

- Röntgenabsorptionsspektroskopi (XAS) är en metod som kan ge information om redox tillstånd i amorfa material och komplexa matriser



# Sekundär användning av aska från avfallsförbränning





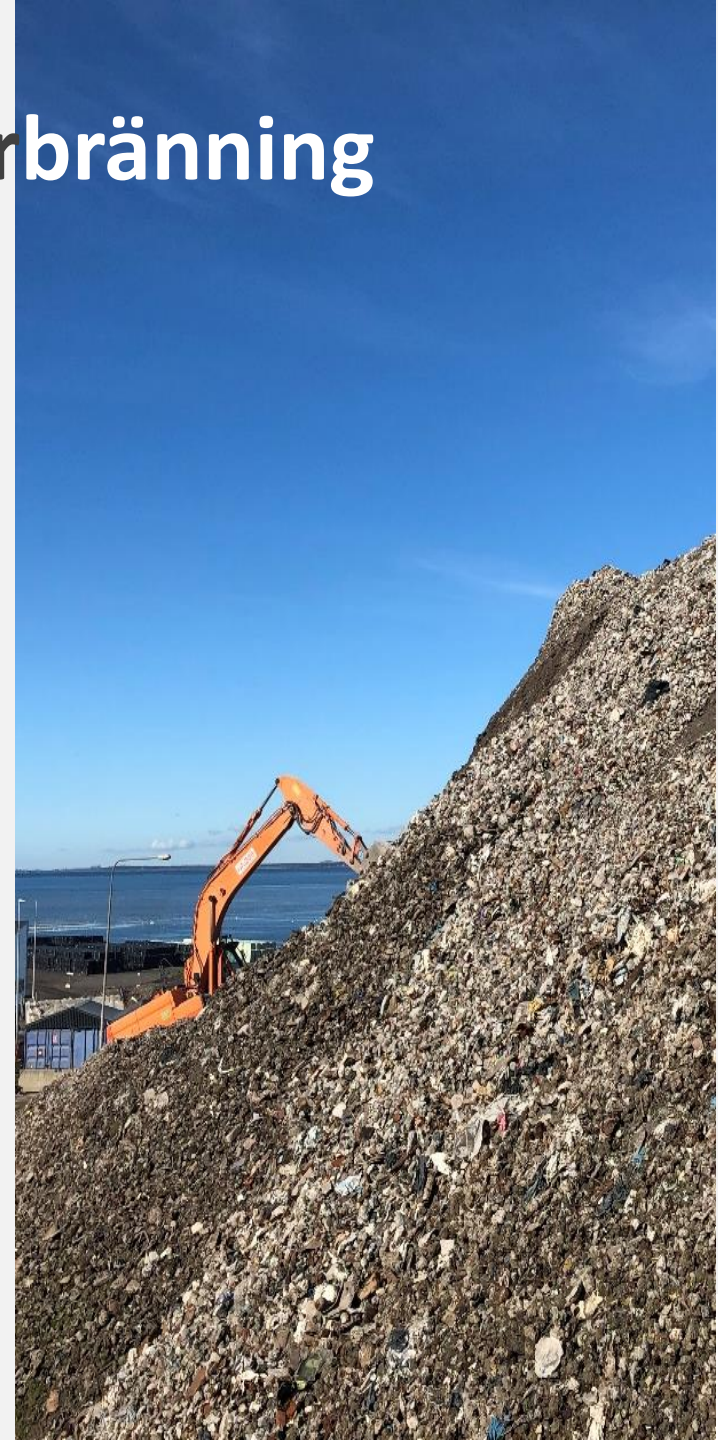
# Sekundär användning av aska från avfallsförbränning

## Utmaning

- Den kemiska formen av metaller i aska är viktig för sekundär användning av askan
  - *Som tillsats till produkter som ersätter jungfrueliga material*
  - *Som en resurs av metaller och salter (t.ex. Zn)*
- De låga koncentrationerna av metallerna i den komplexa askmatrisen gör det svårt att bestämma deras kemiska form

## Lösning

- Röntgenabsorptionsspektroskopi (XAS)
- Högupplösta kemiska kartor och XANES (nXRF + nXANES)



## Gemensam nämnare:

- Sekundär användning av restprodukter/avfall
- Kemisk form av metaller som förekommer i/under några % är avgörande för sekundär användning
  - *Läkning till miljö*
  - *Slutproduktens egenskaper*
  - *Klassning av avfall*
  - *Utvinning av metaller*
- Komplex sammansättning av matrisen
- Kristallina och amorfa faser
- *Stora massor → kräver representativ provtagning!*





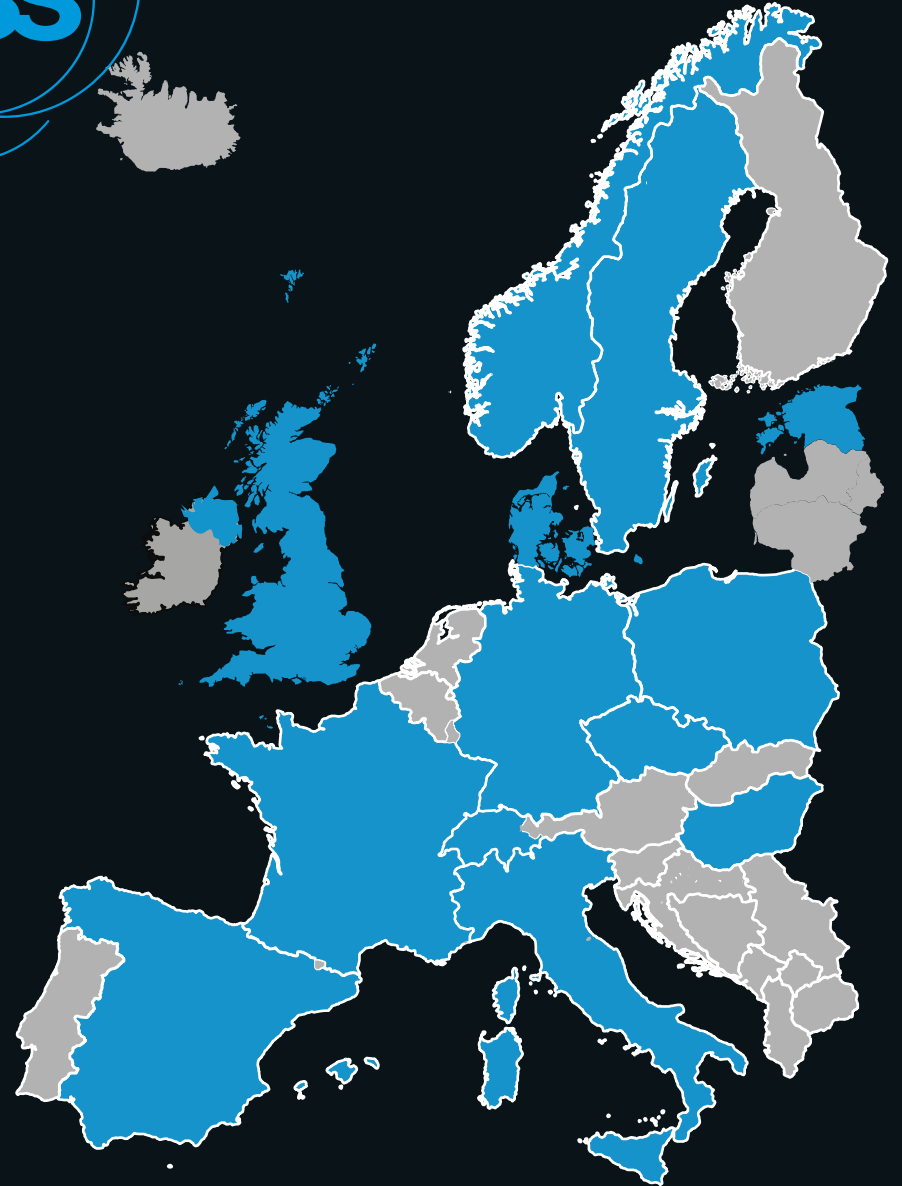
# Om MAX IV och tekniker (crash course)

# MAX IV & ESS

- Två stora forskningsanläggningar
- Byggs i Lund
- Partikelacceleratorer
- För forskning och utveckling



MAXIV





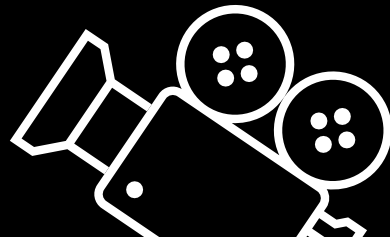
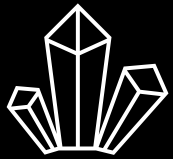
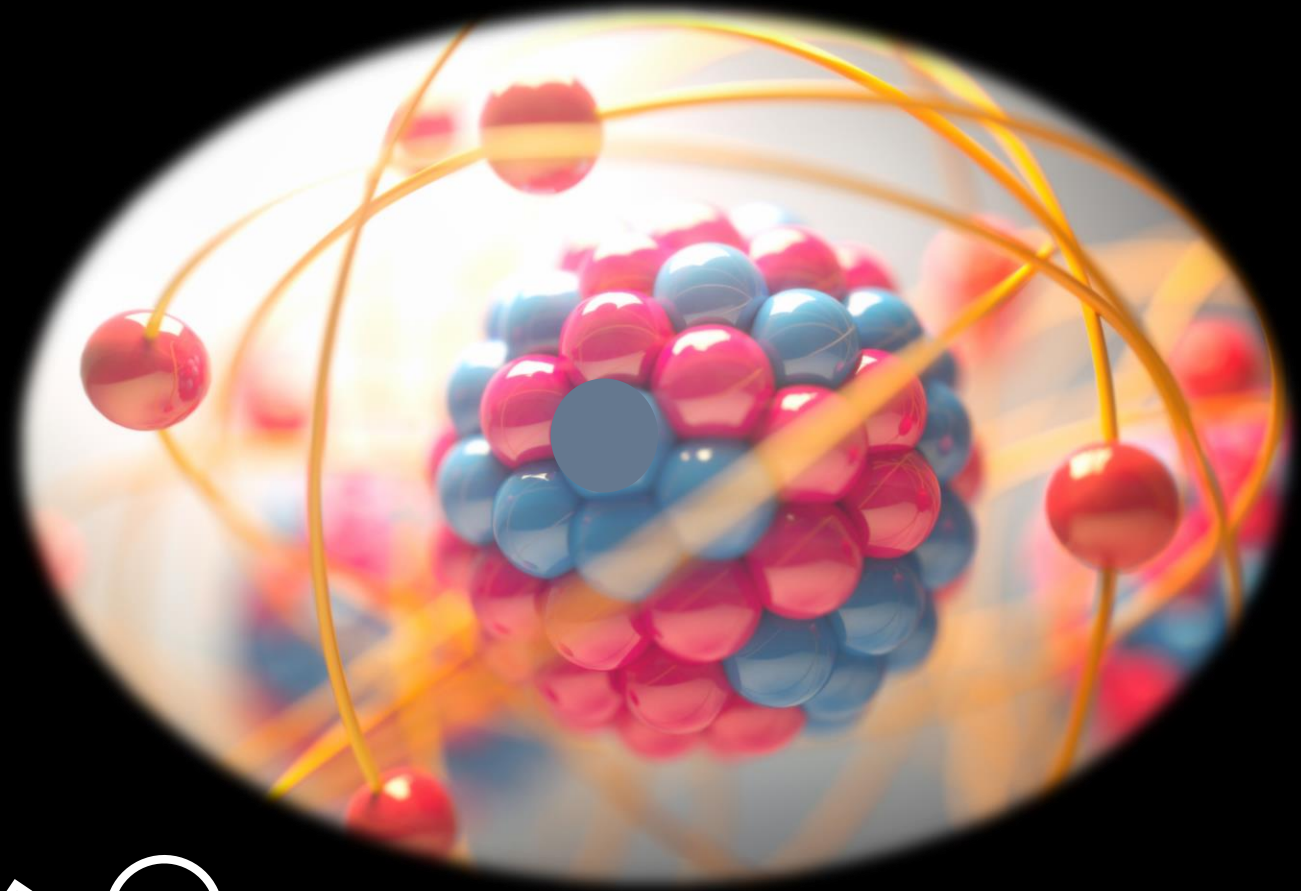


En ljuskälla med speciella egenskaper!





Istället för ljus - neutroner!



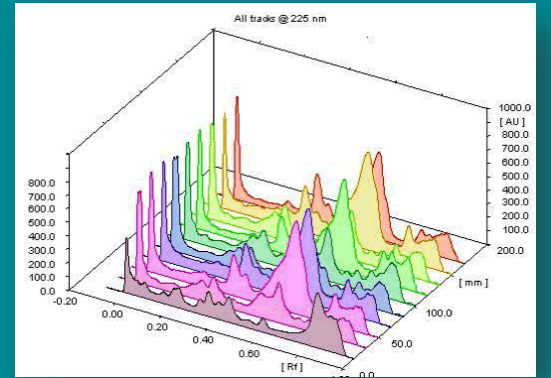
MAXIV

The image features the word "MAXIV" in a light gray, stylized, sans-serif font. The letters are composed of thick, rounded strokes. A vibrant orange swoosh, consisting of two curved lines, arches over the letters "A", "X", and "I", starting from the left side of the "A" and ending on the right side of the "I". The entire logo is centered horizontally against a solid black background.



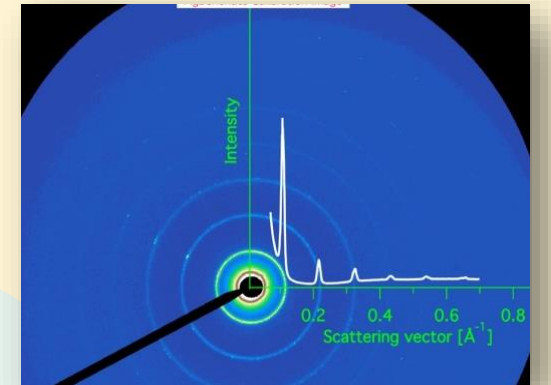
# Spektroskopi

XPS, XAS (EXAFS, XANES), XES (RIXS...)



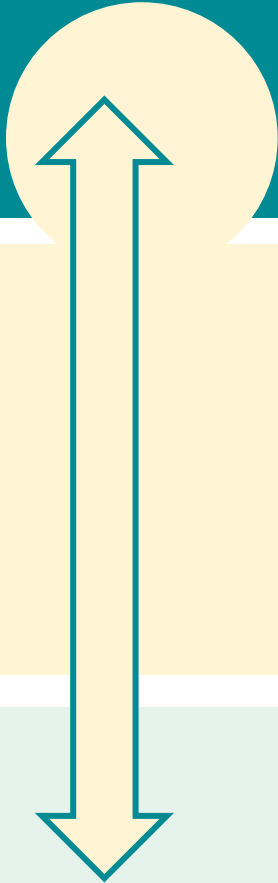
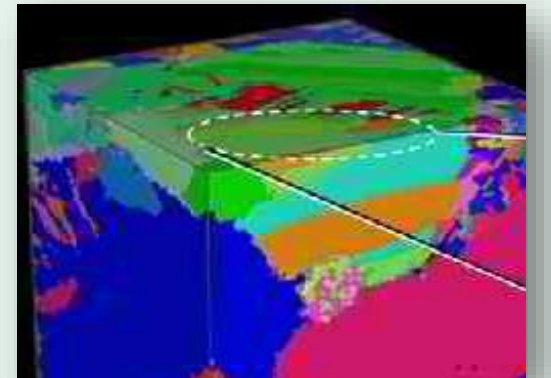
## Spridning

XRD, MX, SAXS/WAXS, ...



## Avbildning

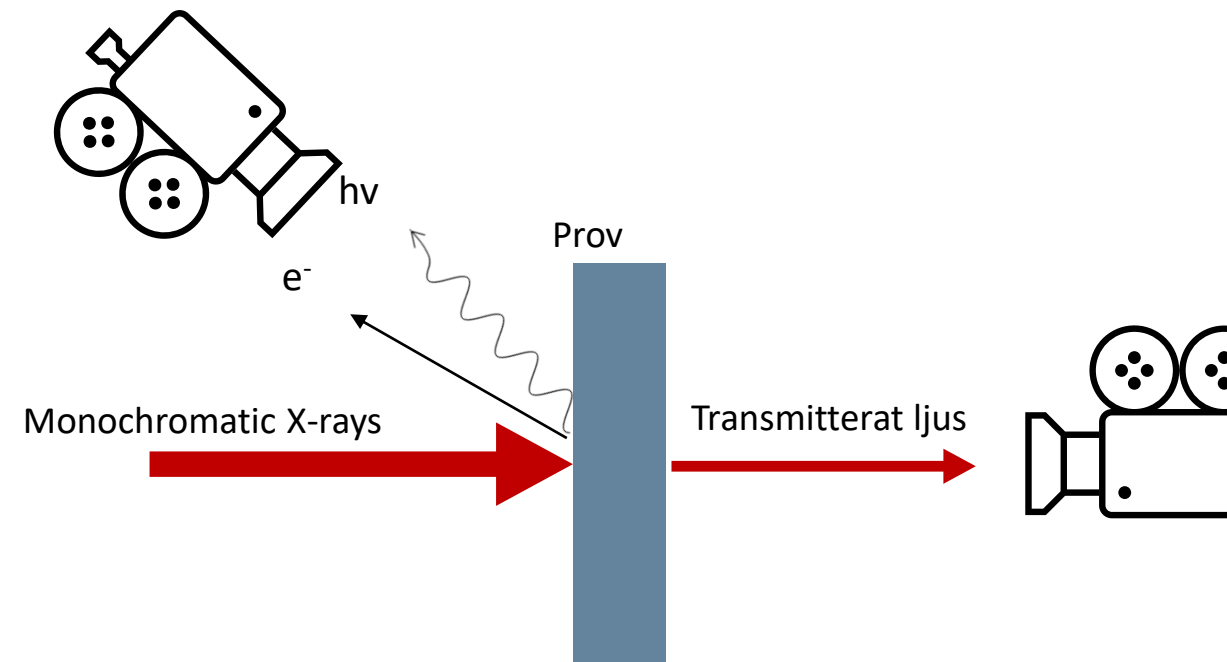
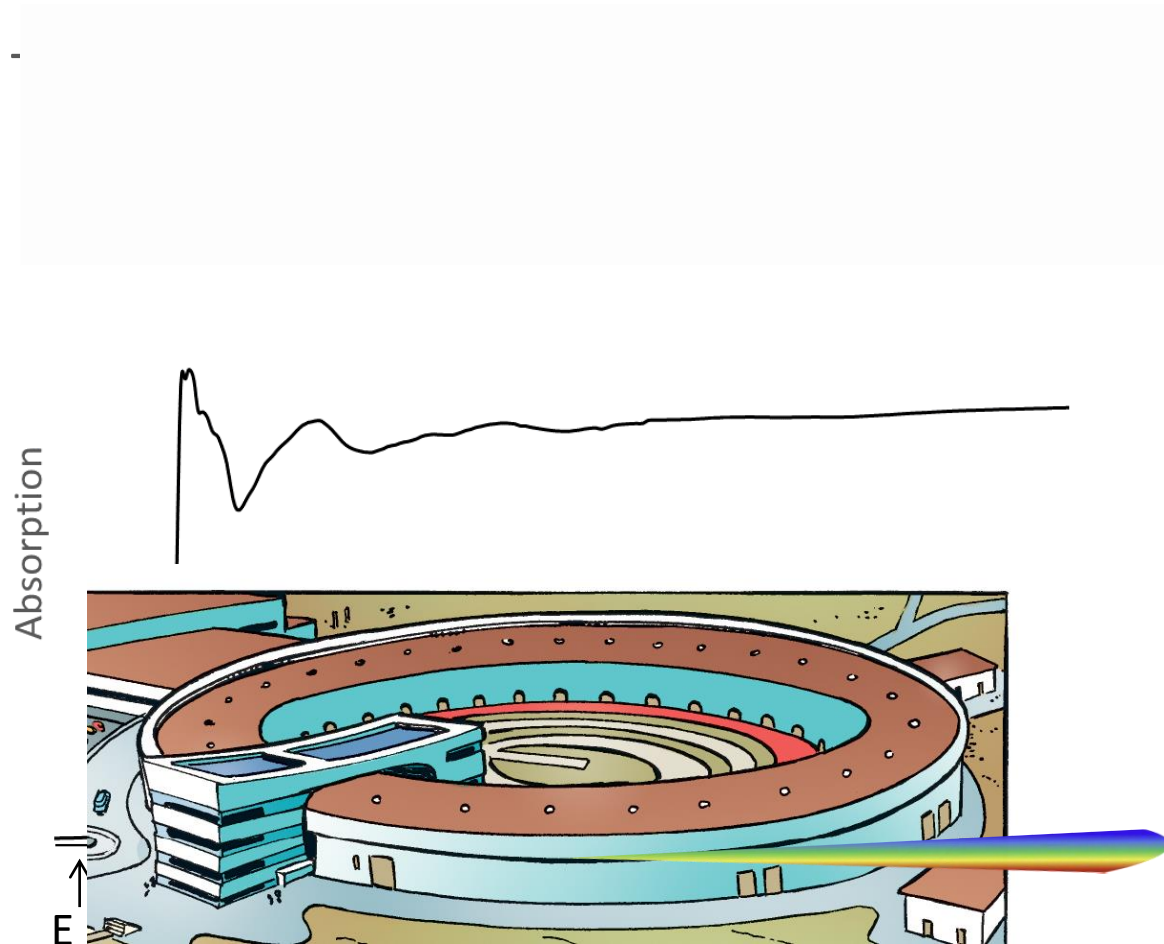
3-D, 2-D, Chemical mapping, XRD



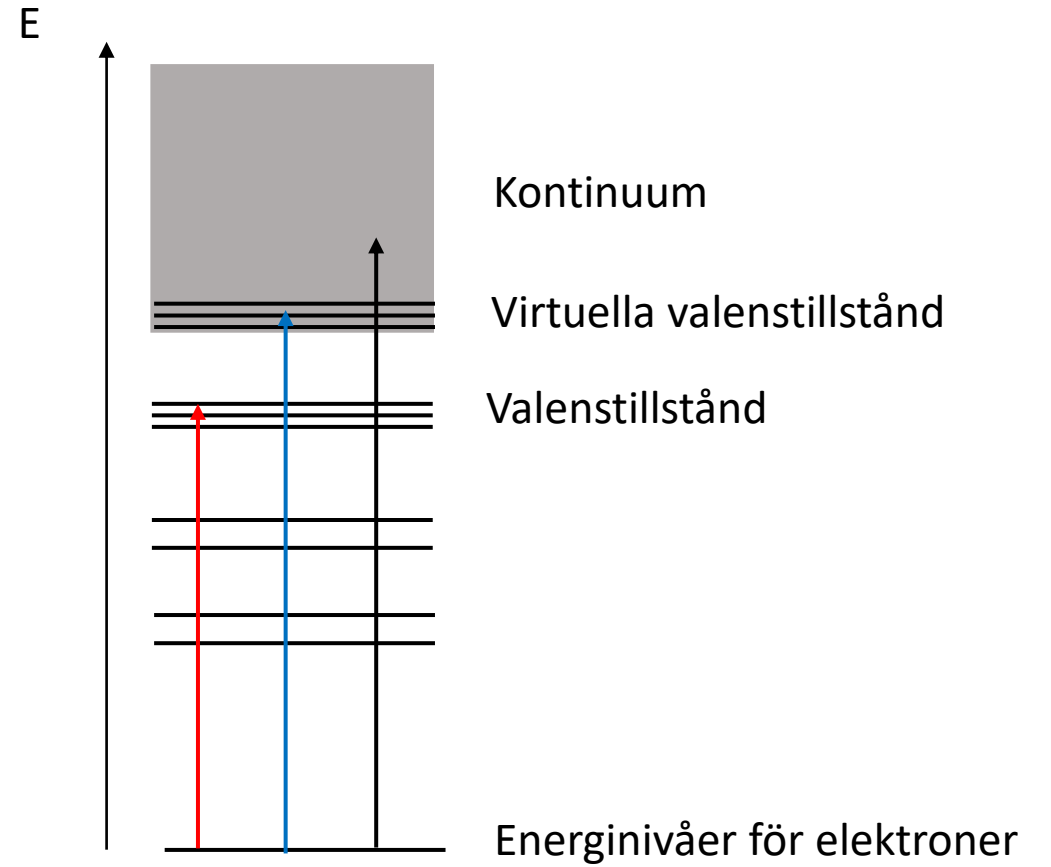
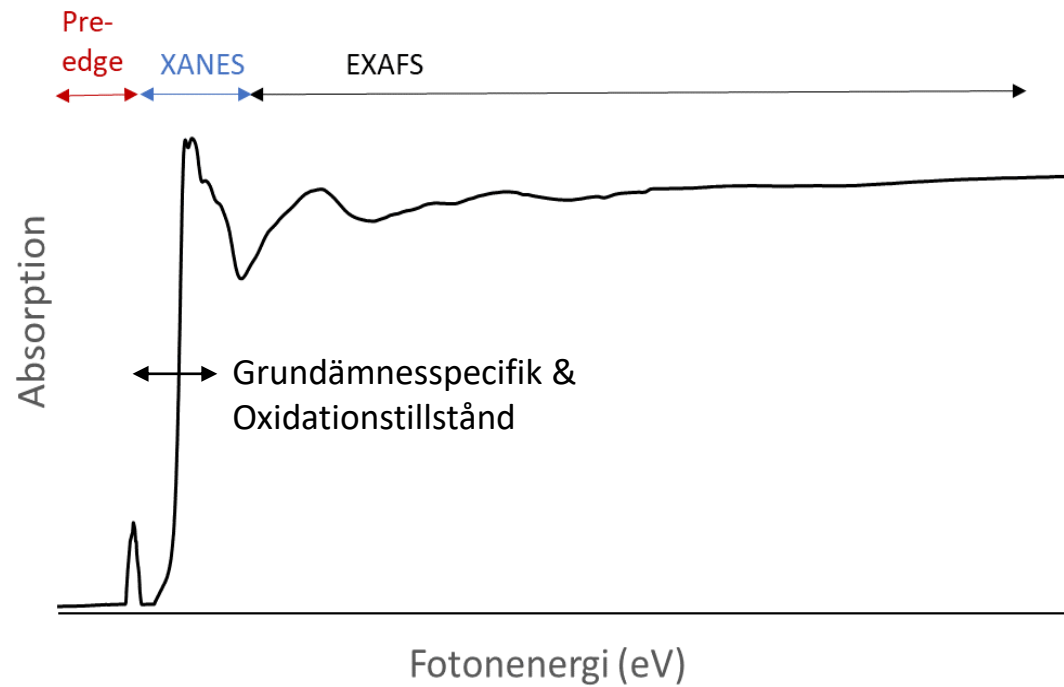
# X-ray Absorption Spectroscopy

# XAS

- Röntgenljus som absorberas av provet mäts



# X-ray Absorption Spectroscopy





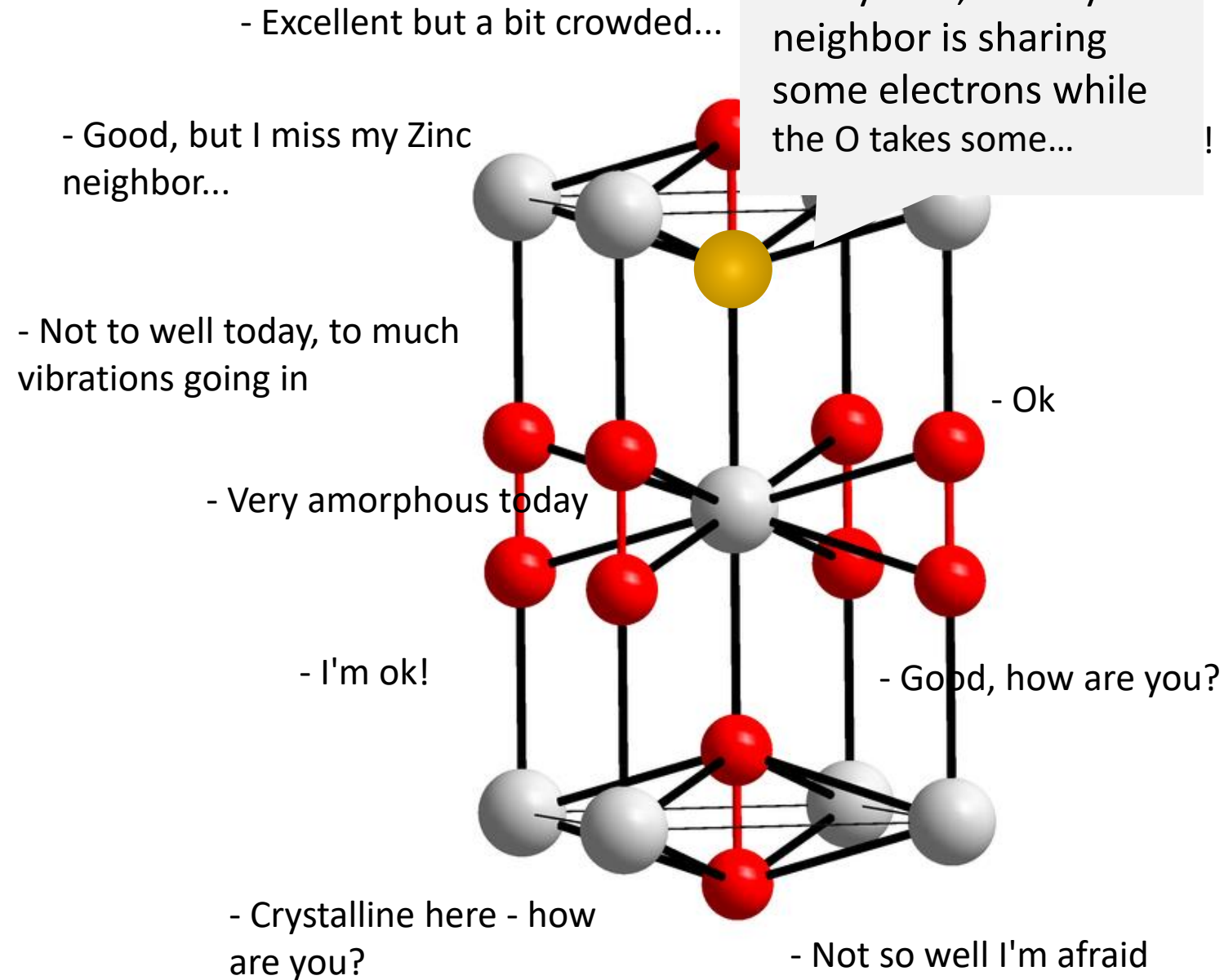
# XAS vs XRD

## XRD:

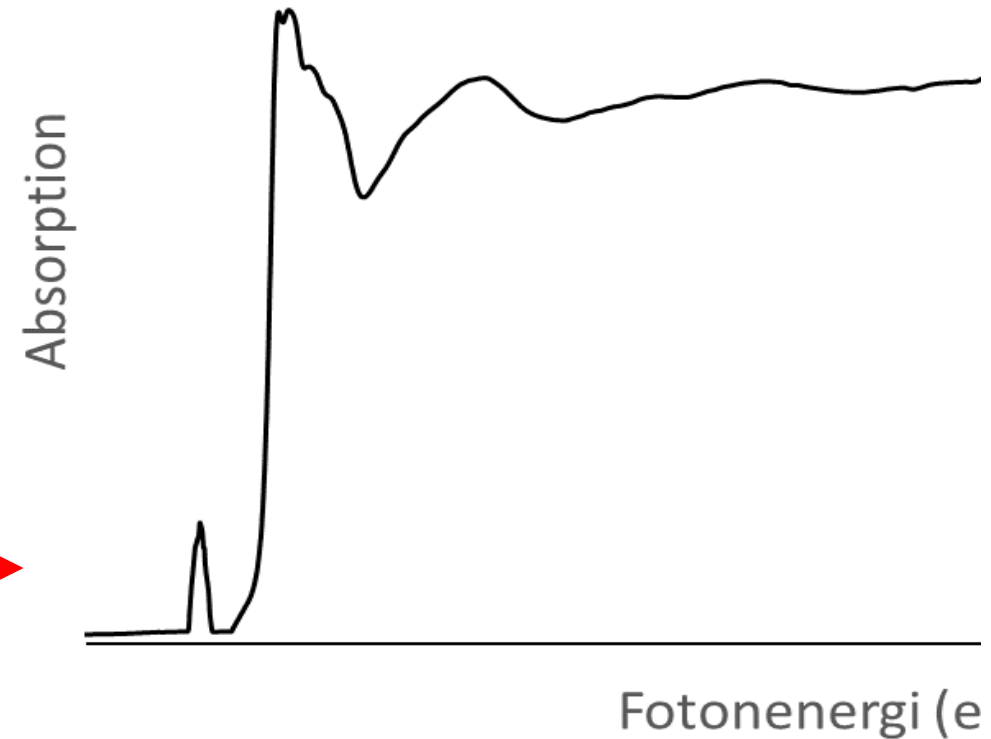
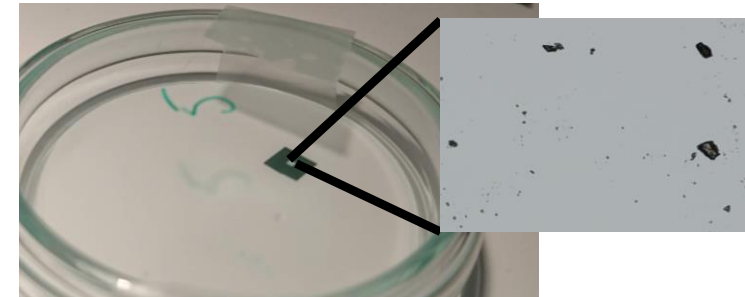
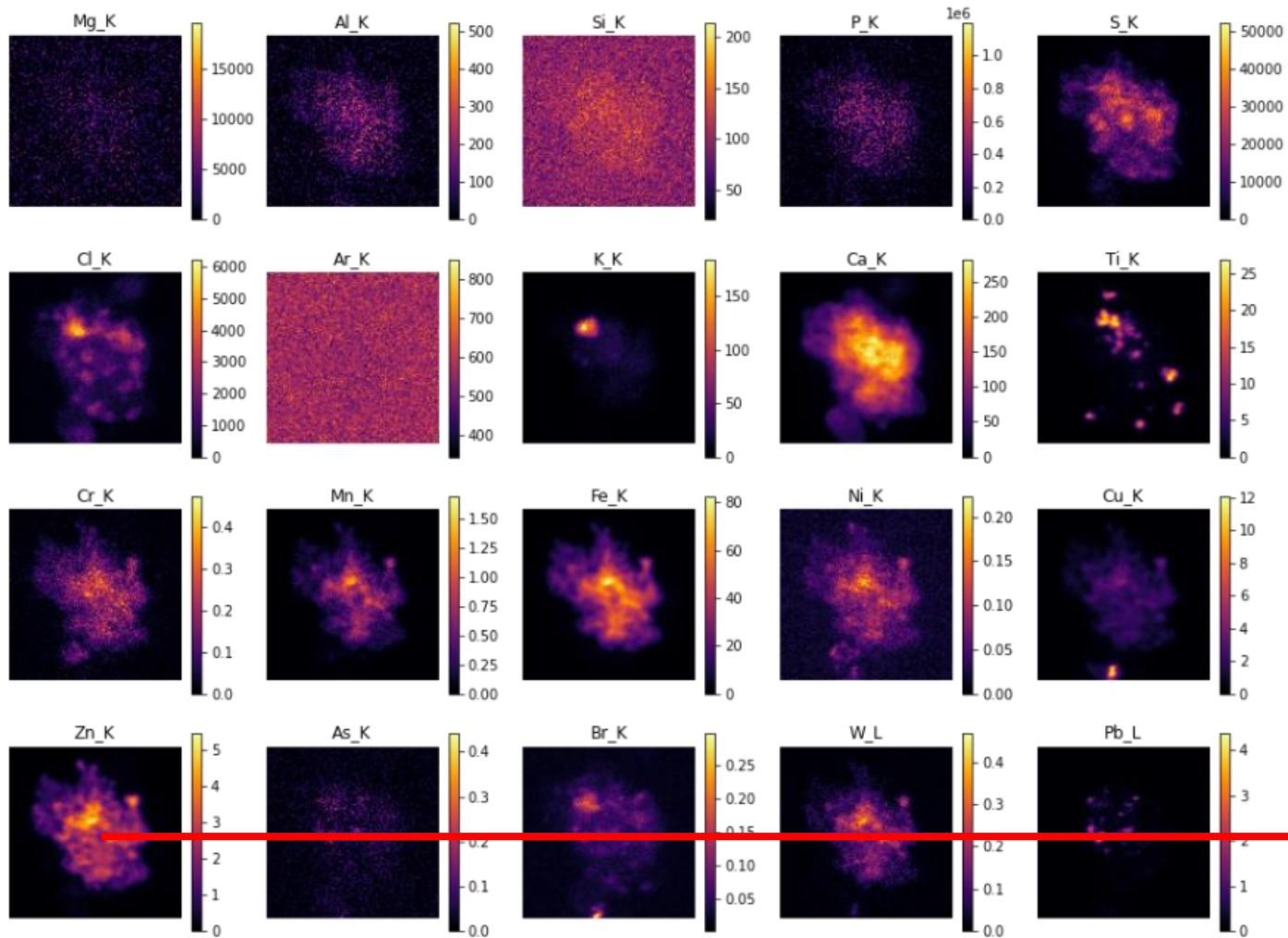
- Hi all, how are you?

## XAS:

- Hello Zinc, how do you feel?



# Kemisk avbildning i 2D (XRF & XANES)



**Tillbaka till exempel**



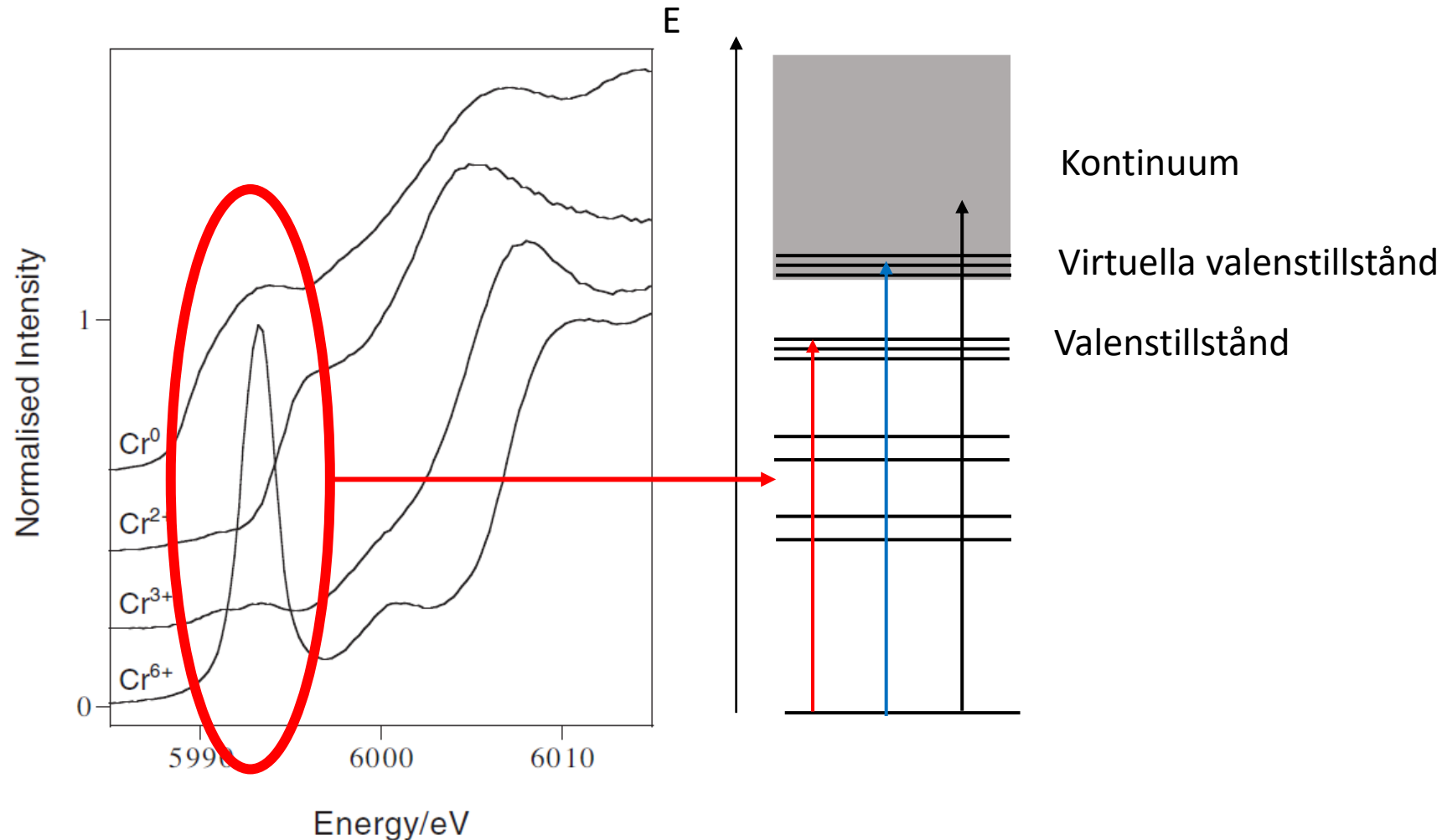
# Sekundär användning av stålslagg

Fråga:  
**Kemisk form av Cr?**

## Styrkor med XAS

- CrVI lättidentifierat i XAS spektrat

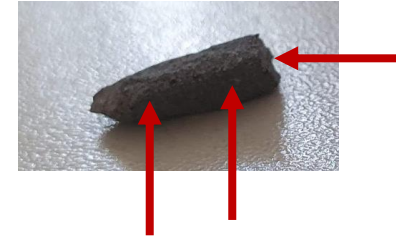
## Markonstruktion



# Sekundär användning av stålslagg

## Styrkor med XAS

- CrVI lättidentifierat i XAS spektrat
- Kräver ingen bearbetning av provet
  - *Mätning på malt prov ger ett medel*
  - *Mätning på obearbetat prov ger information om variation inom prov samt yta/bulk*



## Markkonstruktion

## Resultat

- Kemisk form på slaggytan: Cr doped  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  (oxidationstal +3)
- Tre krom former i slaggen – med oxidationstal +3 eller lägre
- Snabbkylning skapar områden med carbonatiserat Cr (oxidationstal 0)
- **Vi ser inte sexvärt Cr i slaggen**

Fråga:

**Kemisk form av Cr?**

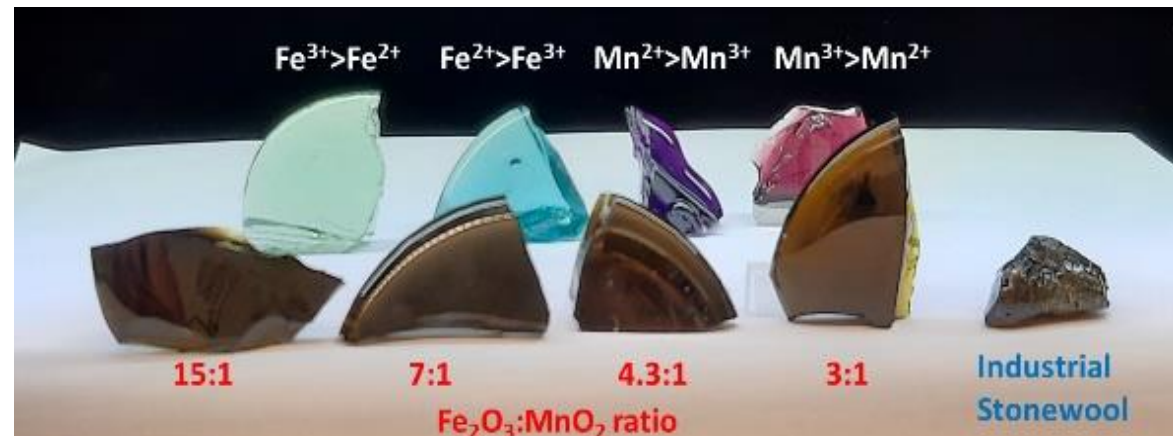


# Sekundär användning av stålslagg

*Mineralull / Stenull*

Fråga:  
Effekten av Mn på  
Fe's redox tillstånd

- Spektra av hög kvalitet vid ingen/liten provberedning
- Mn-innehållet i slaggen påverkar redox jämvikten av Fe, men inte i den utsträckning som man först trott





# Sekundär användning av flygaska från avfallsförbränning

*Zn extraktion*

*För produktion av byggmaterial*

- I vilken kemisk form föreligger Zn, Cu, Pb och Sb i askan?
  - *Variation över tid (batch-to-batch & åldring)*
  - *Mellan anläggningar*
  - *Representativ provtagning*

Fråga:

**Kemisk form av Zn, Cu, Pb & Sb**



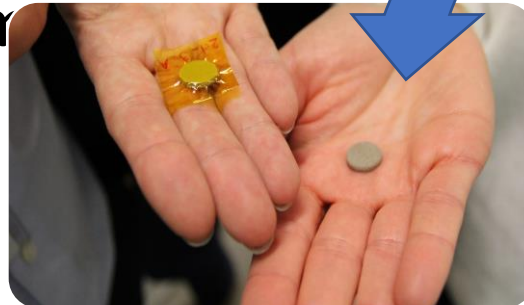


# Sekundär användning av flygaska från avfallsförbränning

*Zn extraktion*

*För produktion av byggmaterial*

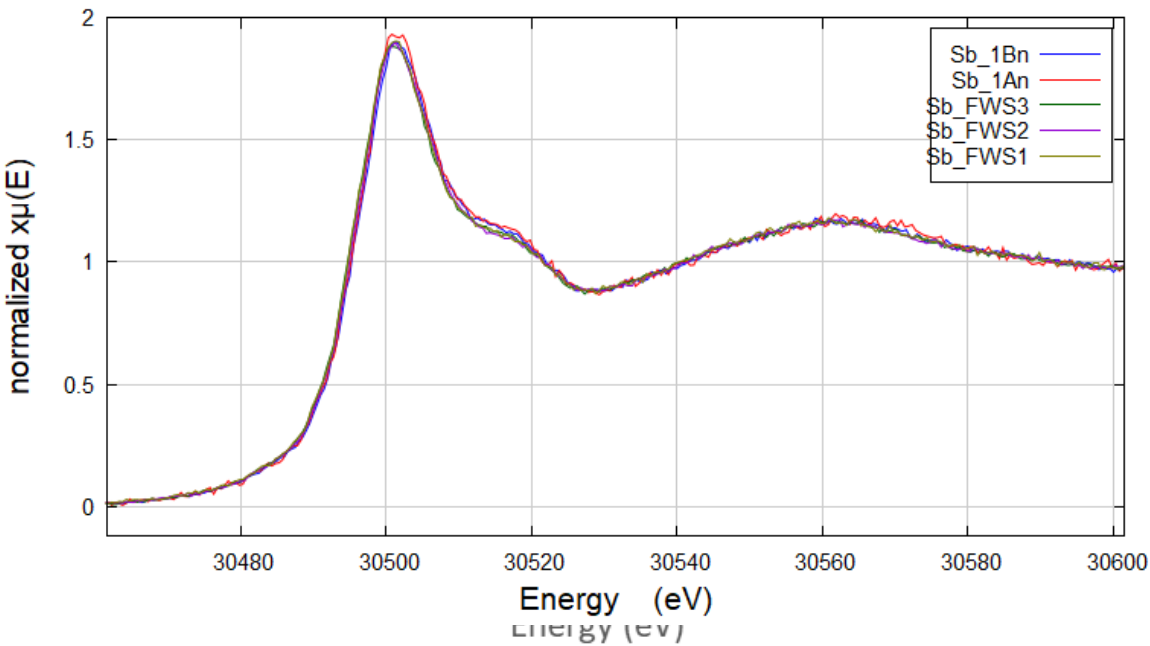
- I vilken kemisk form föreligger Zn, Cu, Pb och Sb i askan?
  - *Variation över tid (batch-to-batch & åldring)*
  - *Mellan anläggningar*
  - *Representativ provtagning*
- Hur ändras den kemiska formen vid olika behandlingsmetoder?



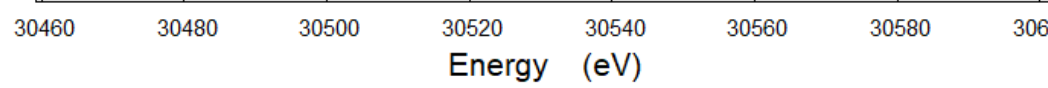
# Resultat

- Ett bibliotek av >50 referenser
- Zn finns i många former i askan där vissa former lätt kan modifieras
- Formerna av Sb och Pb är en mindre komplex blandning och mer stabil

Athena Sb NOV 2022

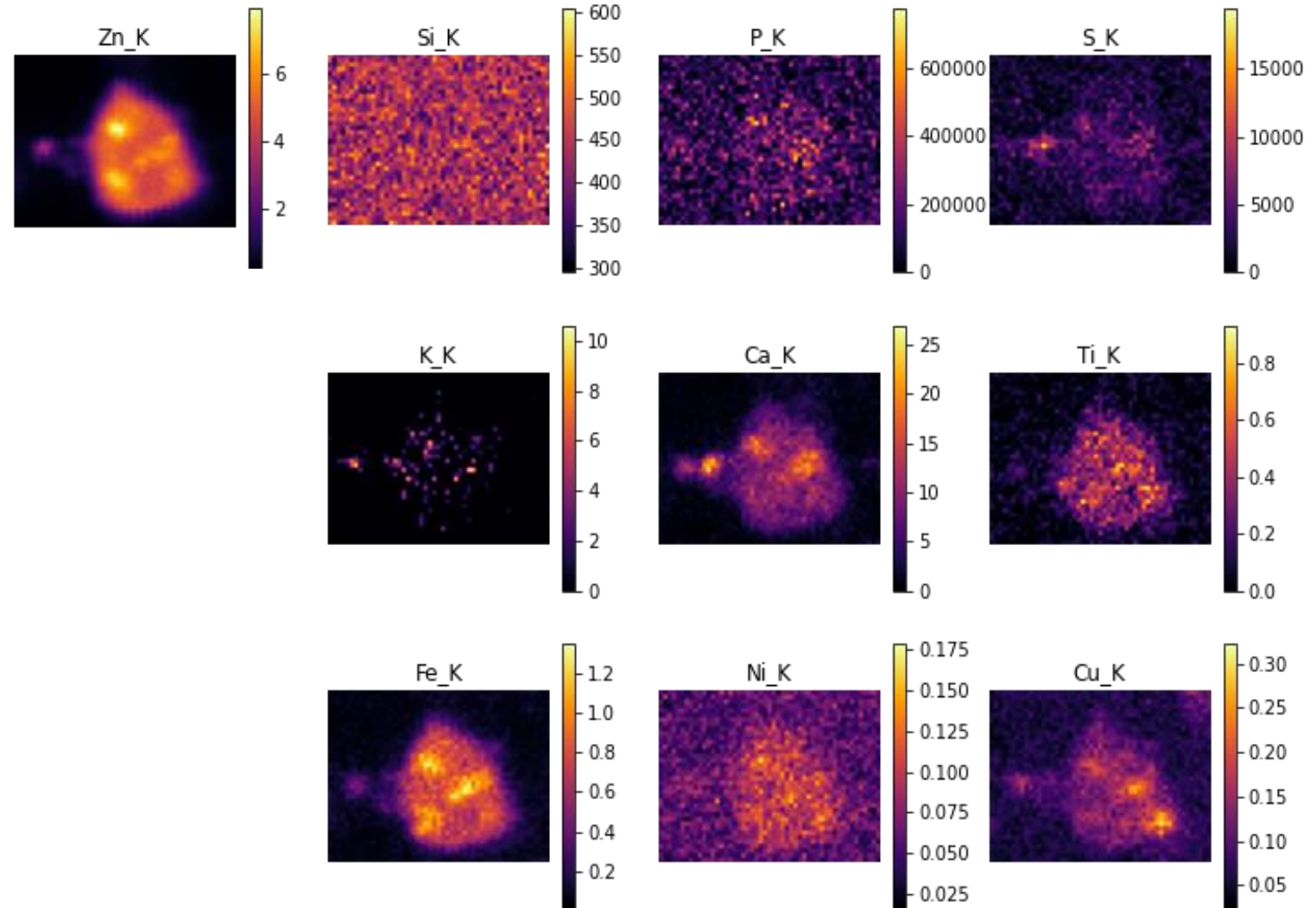


	Aska 1	Aska 2	Aska 3
ZnCl	X%		
ZnAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Y%		
ZnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	...		
ZnS	...		



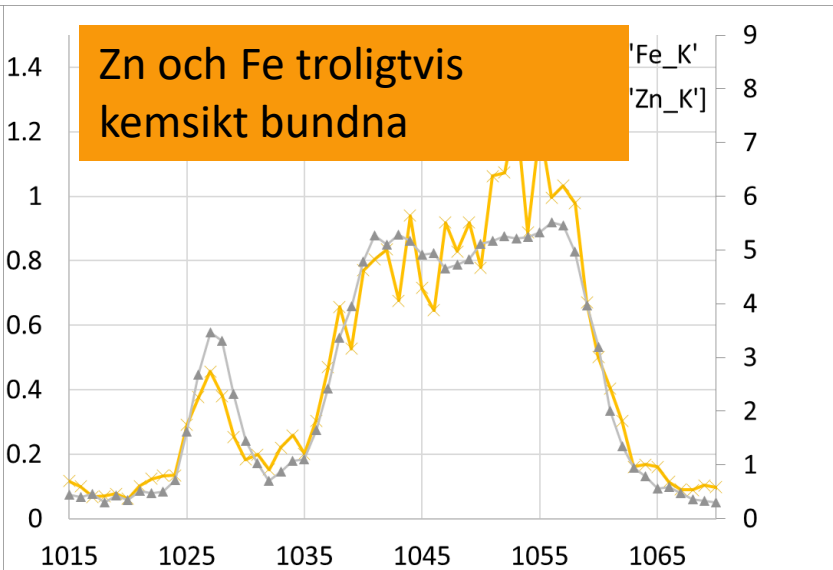
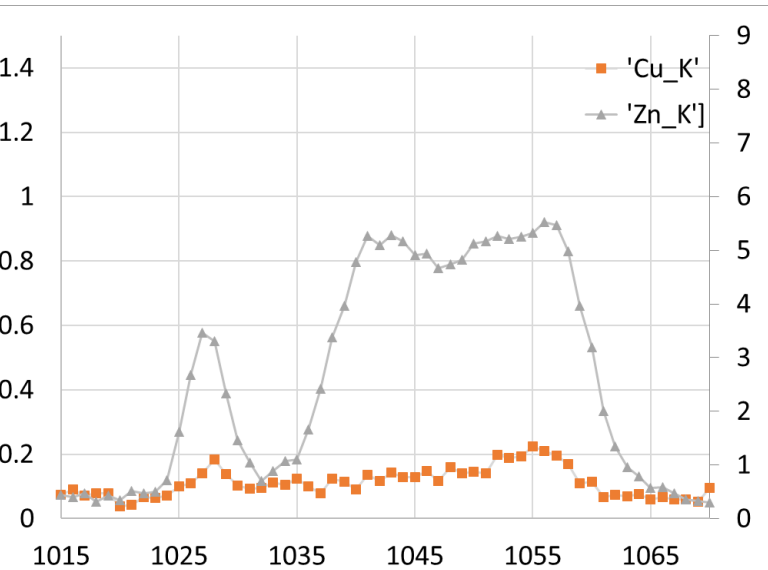
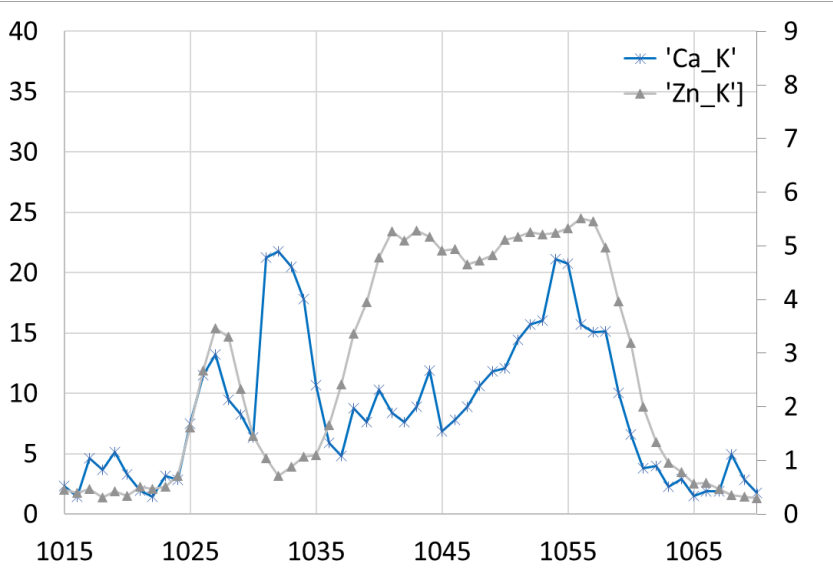
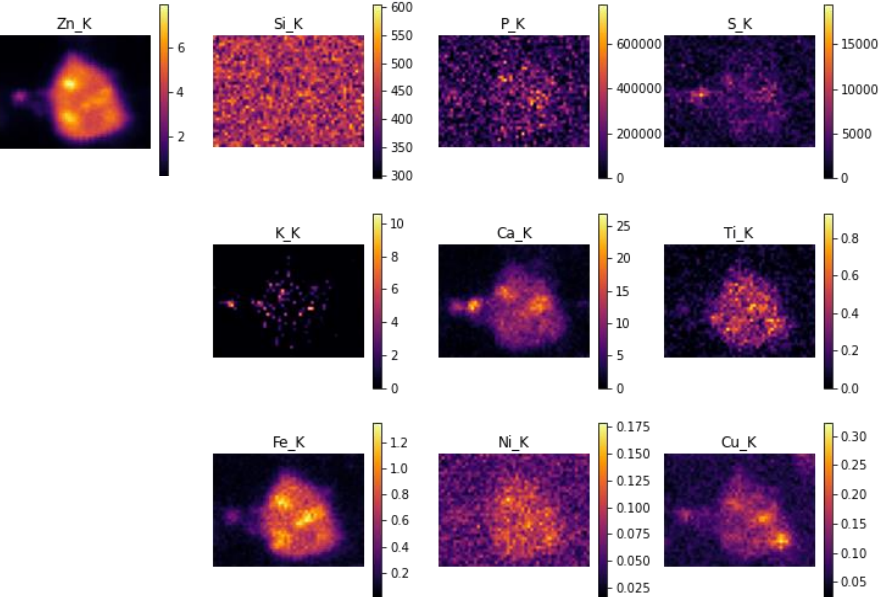
# Högupplöst 2D mappning

- Visualisering



# Högupplöst 2D mappning

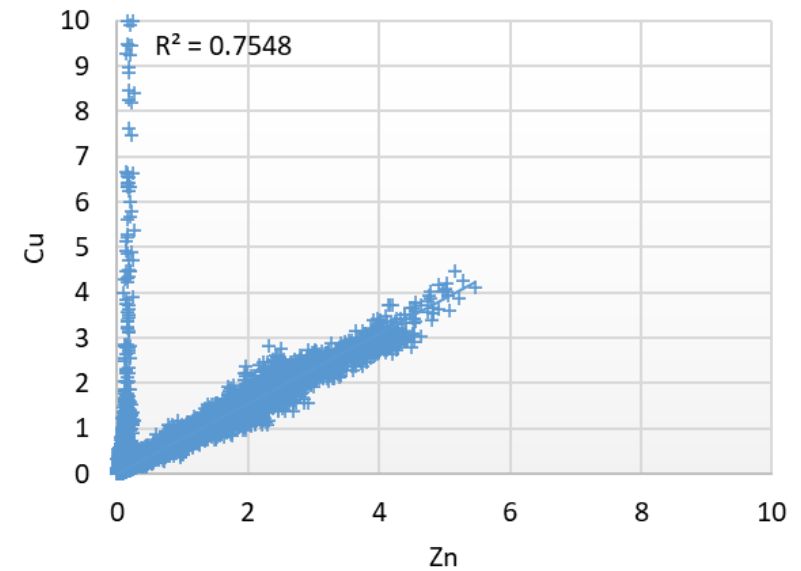
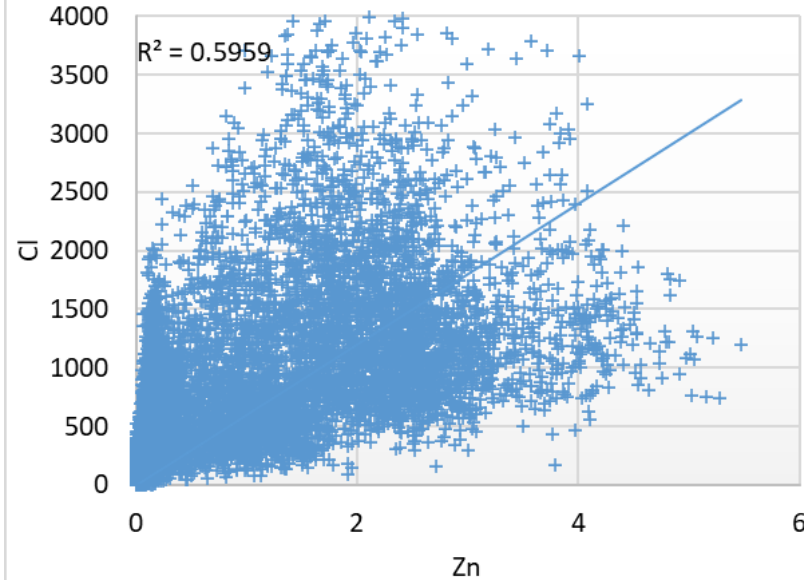
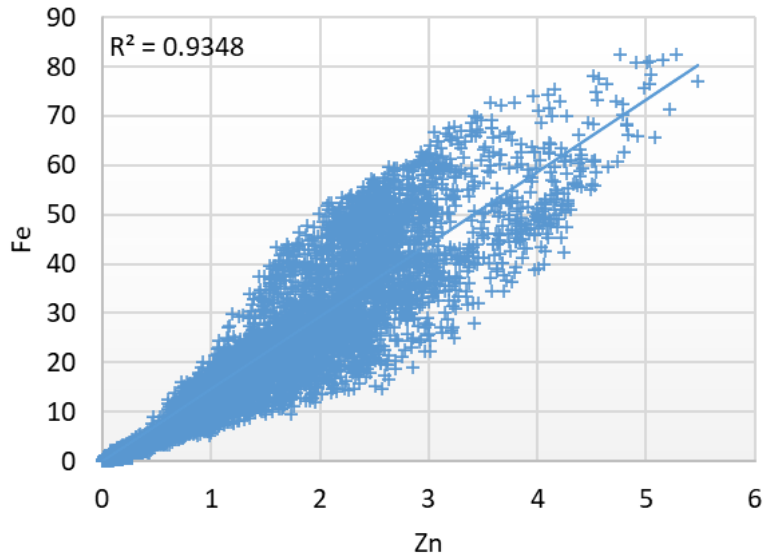
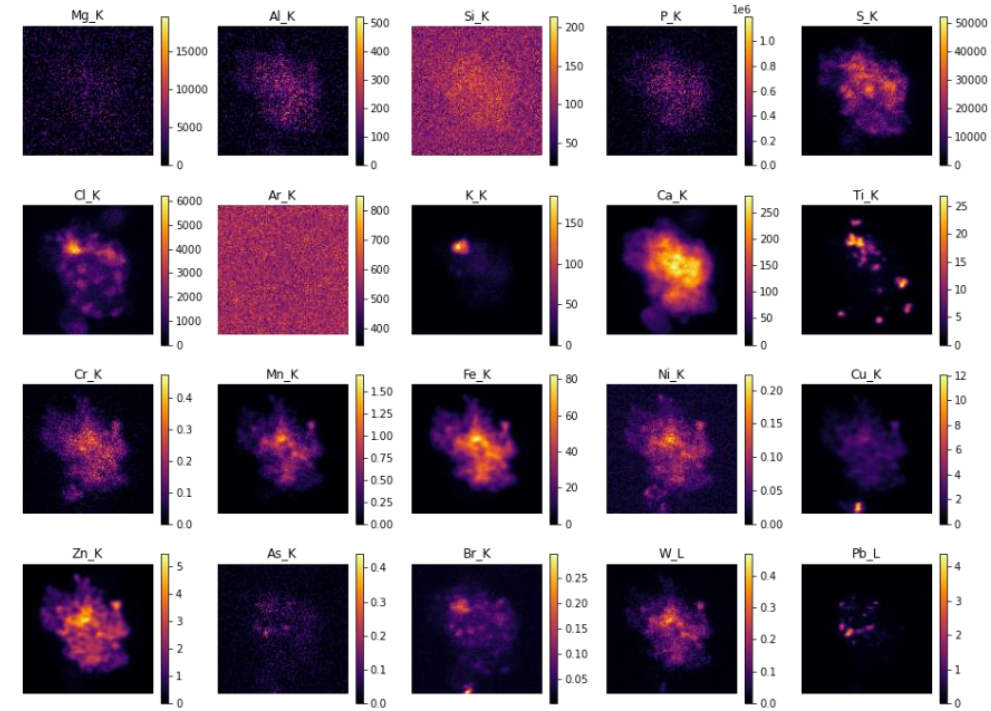
- Visualisering





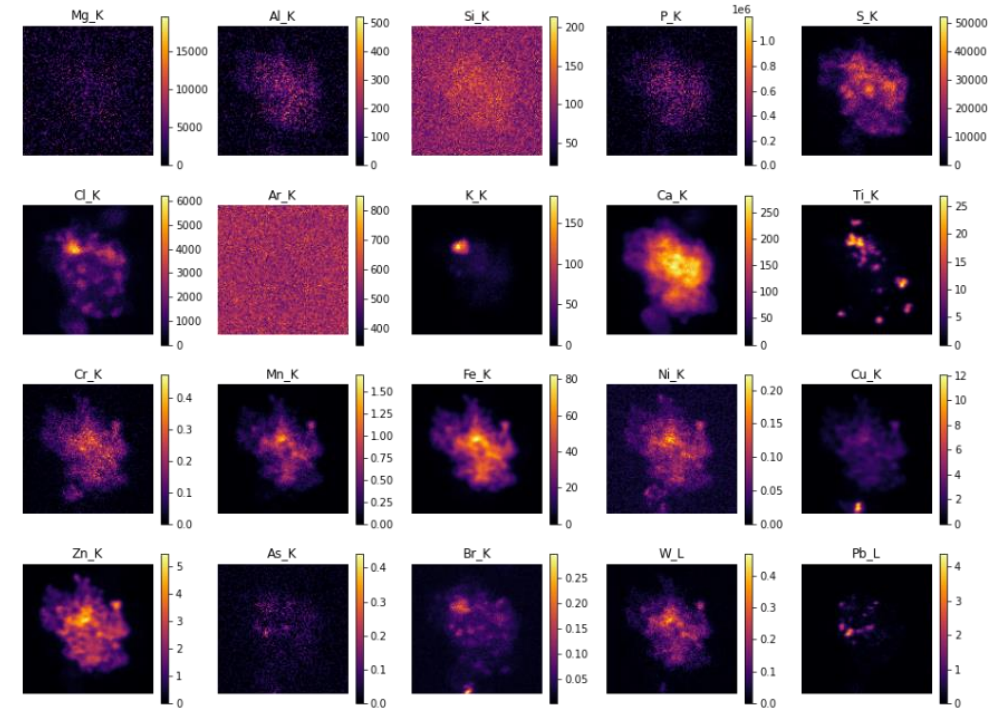
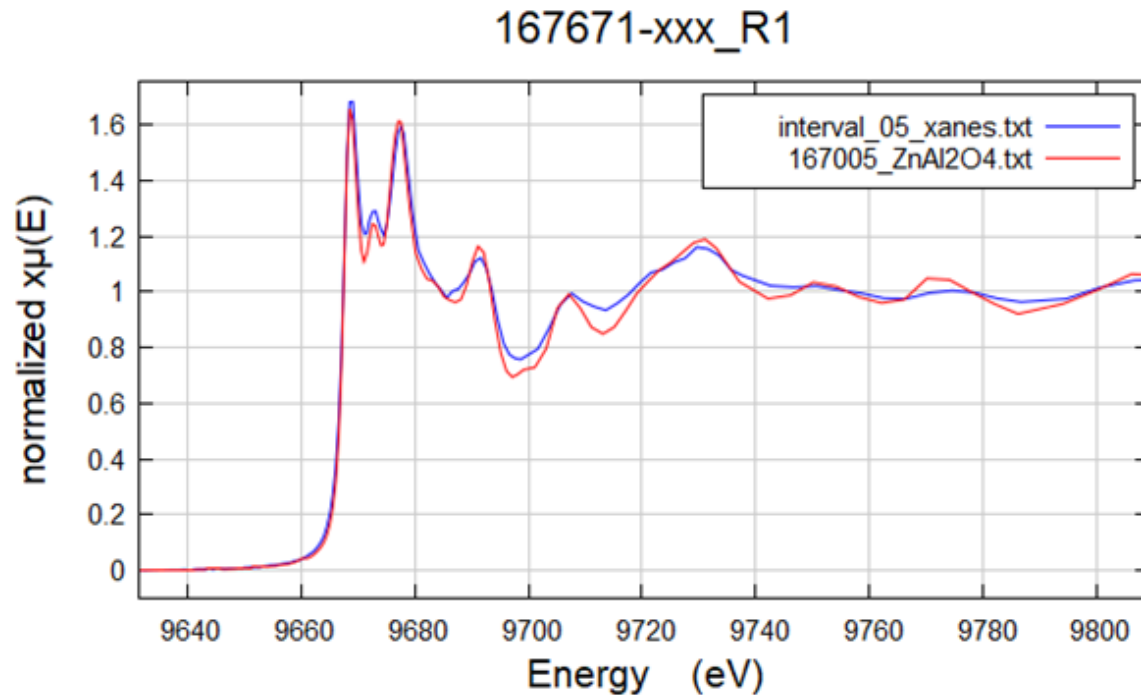
# Högupplöst 2D mappning

- Visualisering
- Korrelationsanalys av nXRF data (167179)



# Högupplöst 2D mappning

- Visualisering
- Korrelationsanalys av nXRF data (167179)
- nXANES på små områden med rena former









A central image of a globe showing the Earth, with a green recycling symbol overlaid. A small green plant with dew drops is growing on the globe's surface.

Tack!

**VINNOVA**  
Sveriges innovationsmyndighet

Avancerade  
analysmetoder är **en**  
nyckel till ökad  
återvinning – *men inte  
den enda!*