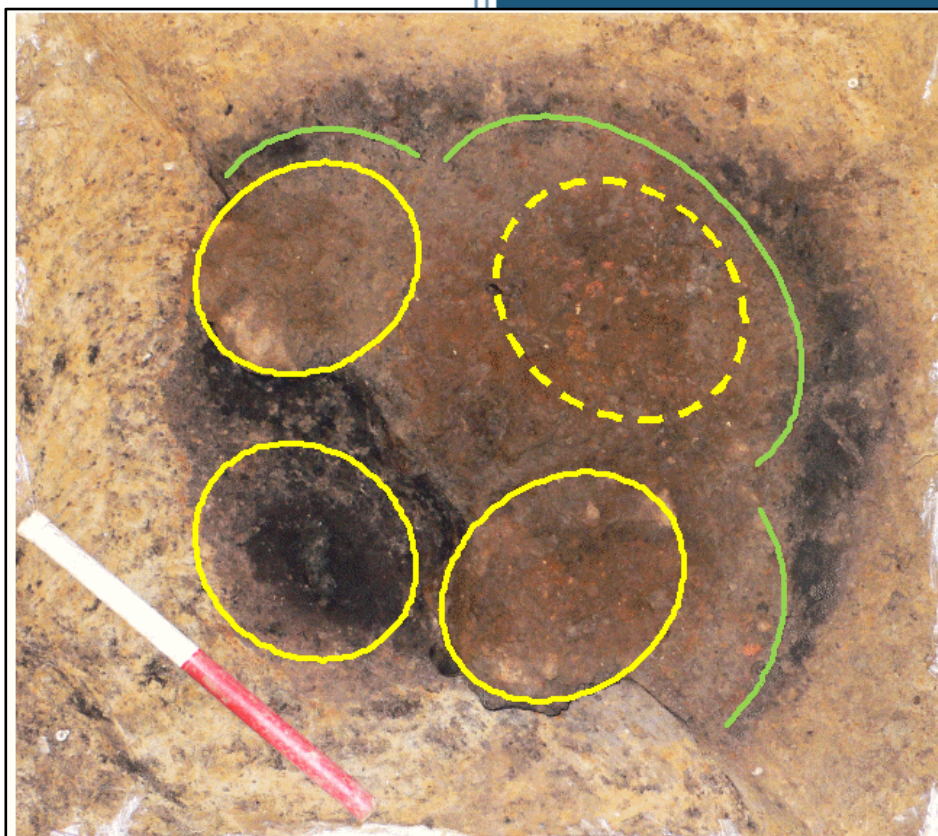




april 2014

# Jernudvindingsovnene fra Flødebøtte (HAM 5331)



Arne Jouttijärvi

*Heimdal*-archaeometry

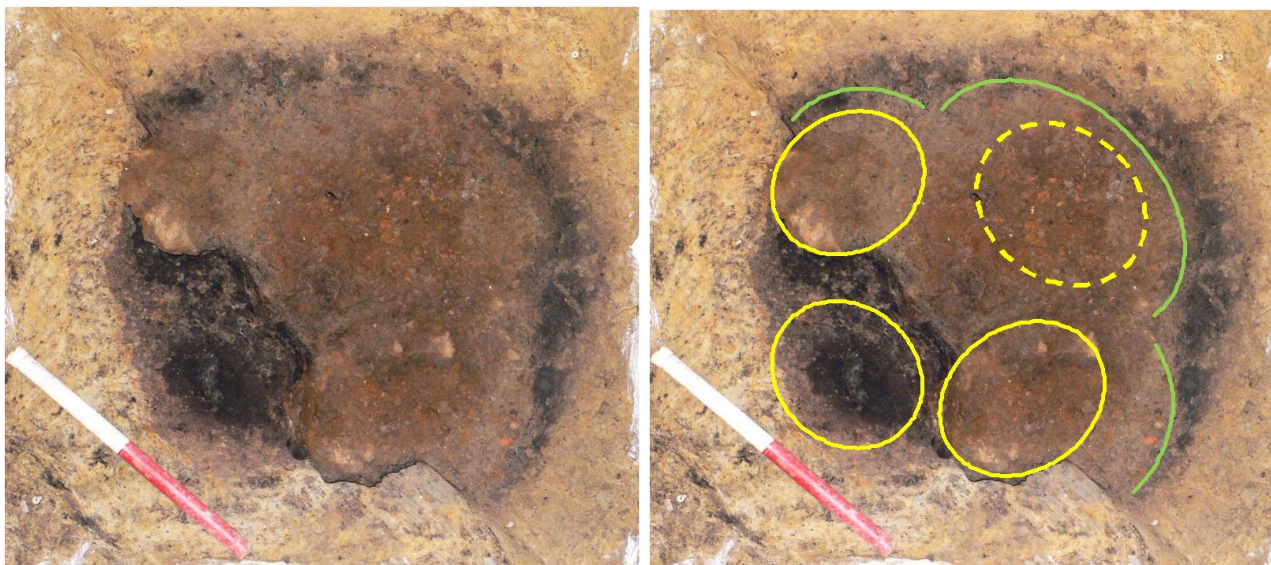
Report 14-4

## KONKLUSION

Umiddelbart havde det udgravede anlæg en stor lighed med det nederste af slaggegruben fra en ovn af Drenghed-type. Der viste sig dog at være væsentlige forskelle fra denne ovntype.

Det mest bemærkelsesværdige var, at slaggen i anlægget var tydeligt opdelt i tre, eller sandsynligvis fire uafhængige dele (figur 1). Slaggen, som er markeret med stiplede linje i figur 1 er ikke sikker, da denne del af anlægget ikke blev udgravet. Det er dog tydeligt, at man også her støder på slagge under overfladen. Hver af slaggerne er en selvstændig enhed, og de har tilsyneladende ikke haft forbindelse med hinanden. Slaggen x66 (figur 2, nederst til venstre på figur 1), som lå i den udgravede halvdel af anlægget, er den eneste, som blev fjernet fra sin oprindelige placering. Den vejer ca. 4,6 kg.

Omkring slaggerne, oven på laget af trækul, ligger et lag med en rustbrun farve. Afgrensningen af såvel dette lag som trækulslaget har et svagt kløverformet omrids (figur 1), som understreger opdelingen i områder med individuelle slagge.



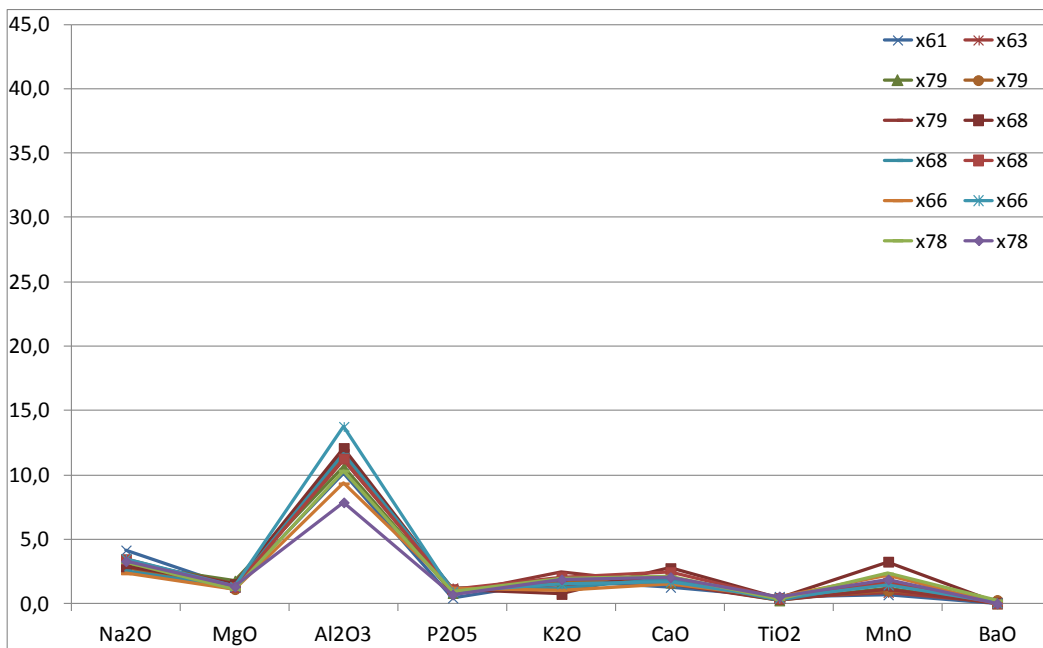
**Figur 1**

Laget under slaggerne bestod af meget fint trækuls-smulder. Der blev ikke fundet større stykker trækul eller andet materiale i jordprøverne fra dette lag. Lagets ensartethed tyder på, at det er bevidst påført for at danne en form for bund i ovnen.

Til trods for at slaggerne er adskilte, er de næsten identiske i sammensætning (figur 3). Det tyder på, at de alle stammer fra den samme proces. Slaggenes sammensætning viser endvidere, at de med overvejende sandsynlighed er resultatet af jernudvinding (figur 4).

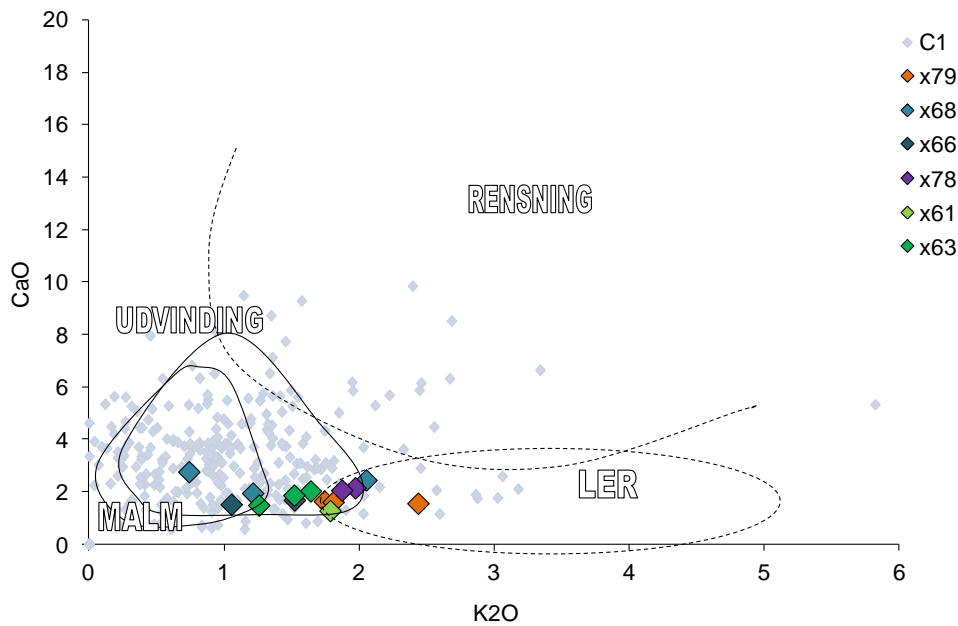


**Figur 2: Slaggen HAM5331 x 66**



**Figur 3**





Figur 4

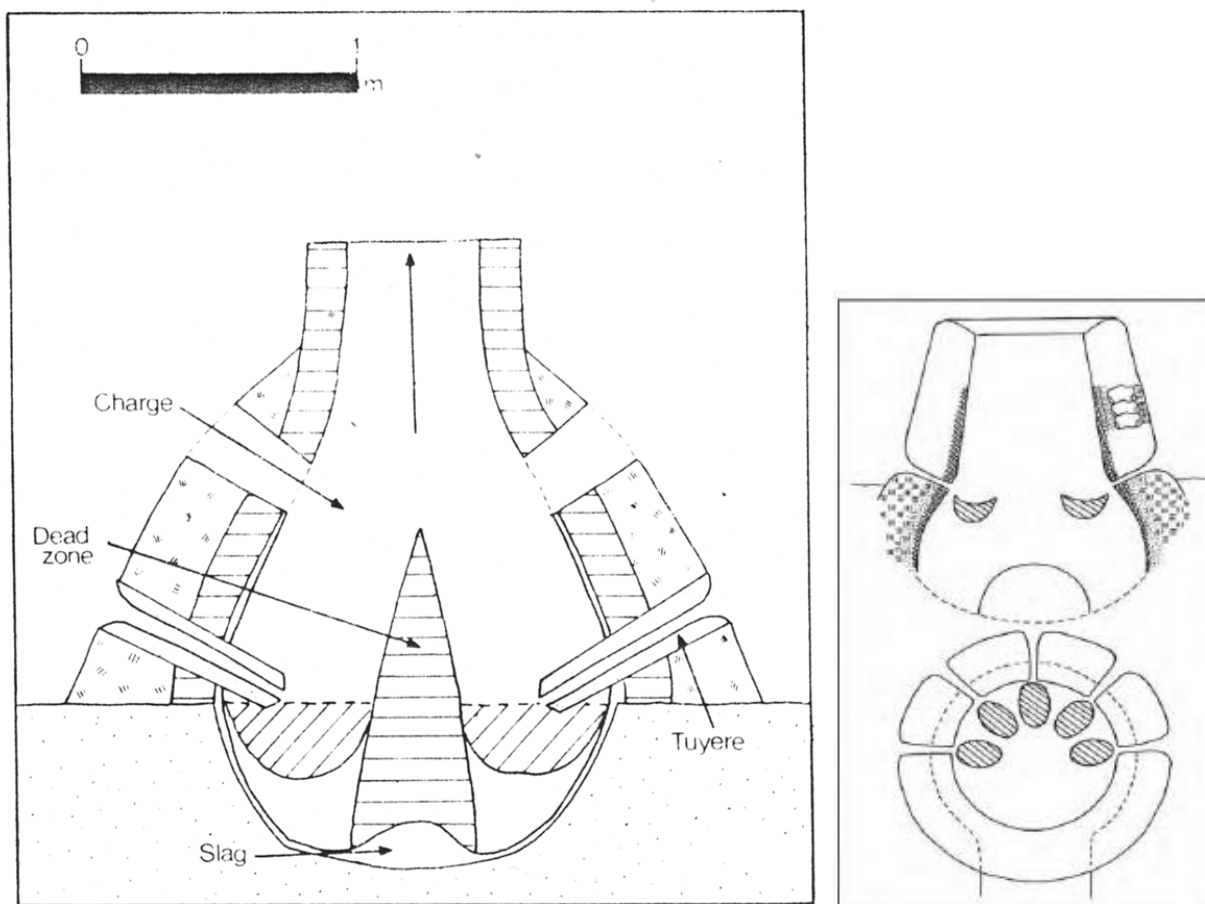
Da slaggerne synes at ligge in situ, må konklusionen være, at anlægget udgør bunden af en jernudvindingsovn. Der er dog tale om en ovntype, som ikke hidtil er identificeret i Danmark. Det mest sandsynlige er, at der er tale om en ovn af såkaldt Burgenland-type, som primært kendes fra Østrig, men som også er fundet i enkelte eksemplarer i bl. a. England og Sverige. Figur 5 viser to forskellige rekonstruktioner af ovne fundet ved Laxton i England.

Det karakteristiske ved ovne af denne type er, at de har en diameter, som er større end ca 70 cm., ofte mere end 1 m. Normalt regner man med, at det er muligt, at blæse luft ca 25 cm ind i et ovnrøm, noget som også er eftervist ved forsøg. Ved ovne med en diameter på under ca 50 cm og flere lufthuller, vil forbrændingszonerne dermed nå sammen, og hele ovnens tværsnit vil derfor være aktivt i processen.

Ved større ovne vil luften fra de enkelte huller ikke mødes, og der vil derfor dannes adskilte forbrændingszoner. Ovnene kommer derfor til at fungere som om der var tale om flere ovne bygget sammen, én for hvert lufthul. Der vil derfor dannes flere adskilte lopper og flere adskilte slagger, én for hvert lufthul. Mellem de enkelte forbrændingszoner vil der dannes en "død" zone, hvor der ikke vil ske en forbrænding og dermed ikke nogen særlig bevægelse i materialet. Atmosfæren vil dog være stort set lige så reducerende i denne del af ovnen som i forbrændingszonerne, og eventuel malm, som måtte ligge i dette område vil også blive reduceret. Det vil dog ikke kunne danne en sammenhængende luppe.

I ovnen fra Flødebøtte var områder mellem slaggerne, og over disse fyldt med klumper af et rustbrunt materiale, som formodedes at kunne være myremalm. Analyse af i alt 14 stykker af denne type materiale fra forskellige lag, viste dog, at ingen af dem havde et indhold af jernoxid, som var højere end slaggens. Der synes i stedet at være tale om ler og sand kittet sammen af rust. Det er derfor sandsynligt, at der er tale om delvist reduceret malm fra den

døde zone i ovnen, som senere er korroderet og har fanget omgivende materiale i korrosionsprodukterne.



**Figur 5**

Det er påfaldende, at ovntypen, bortset fra i Burgenland, kun forekommer i få eksemplarer. Det virker usandsynligt, at en udvindingstradition ikke skulle være mere udbredt i de områder, hvor den forekommer, og det kan tænkes, at fraværet af andre ovne af denne type i f. eks. Danmark, primært skyldes at man ikke hidtil har været opmærksom på muligheden af en sådan ovntype. I de fleste tilfælde kan andre fund af lignende ovne nemt være blevet tolket som rester af slaggegrubeovne, som det også umiddelbart blev antaget om ovnen fra Flødebøtte.

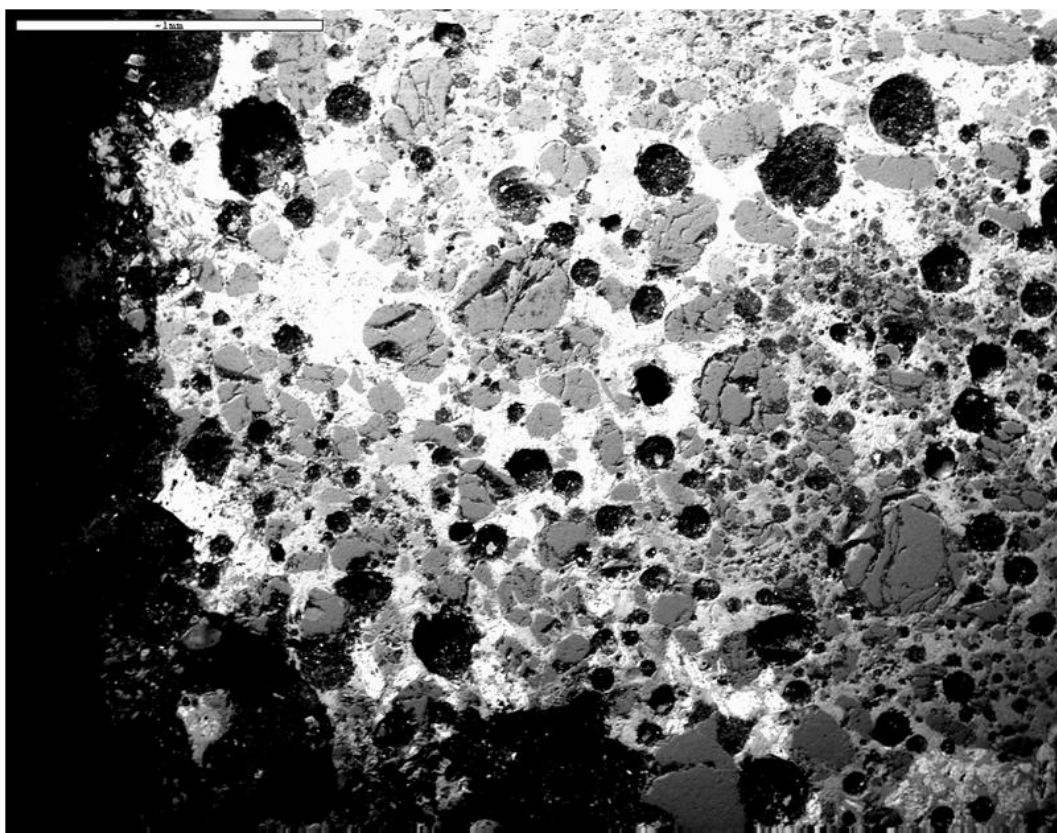
Der findes dog fund af slagger, som kan stamme fra lignende jernudvindingsovne, således fra Bjergene ved Holbæk, fra Stude (SVM1366-2) og fra Smørumovre. Ved alle tre lokaliteter er der fundet flere slagger, som i form og størrelse minder om slaggerne fra Flødebøtte. Deres vægt er dog lidt større, typisk omkring 5-6 kg. I ingen af tilfældene fandtes sikre spor efter selve ovnen, men på grund af slaggenes størrelse (20-27 cm i diameter) er de blevet tolket som produkter af en relativt lille ovn, som formodes at være en variation af Espevej-ovnen. Det skal dog understreges, at de slagger, som kendes fra udgravede Espevej-ovne ikke ligner

slagge fra de tre lokaliteter eller fra Flødebøtte. Derfor kan det ikke udelukkes, at også jernudvindingen ved Bjergene, Stude og Smørum er foregået i ovne af Burgenland- eller Flødebøtte-typen.

Tre af de fire slagge i ovnen blev analyseret, og er næsten identiske i sammensætning. De fire slagge vil da også være produktet af den samme malm, da der er tale om fire udvindinger foregående i samme ovnskakt. Den påfyldte malm vil fordele sig til de fire forbrændingszoner efterhånden som trækullet over dem synker sammen. Én af slagge (x65) havde dog et tydeligt højere indhold af jernoxid end de øvrige, hvilket må skyldes at forbrændingen ikke her har været så kraftig. Det kan være resultatet af en svagere blæst, eventuelt fordi bælgen her ikke har fungeret så godt som de øvrige.

I to af slaggeprøverne fandtes stykker af brændt, forslaget ler, som må stamme fra selve ovnen. Leret er hårdt brændt, men det kan ses, at det har et meget højt indhold af sandkorn (figur 6), som i prøve x65 er revnede på grund af den kraftige ophedning. Til bygning af ovnen må være anvendt et ler, som enten er blevet kraftigt magret med sand, eller som blev udvalgt fordi det fra naturen var meget mager. Sandet forhindrer et meget kraftigt svind af leret når det brændes, og vil derfor modvirke dannelsen af revner. Det har til gengæld kun en ringe indflydelse på lerets smeltetemperatur.

På grund af den kraftige brænding kan der ikke i disse stykker ses spor af eventuel magring med organisk materiale.



**Figur 6: ler i prøve fra slagge x65**

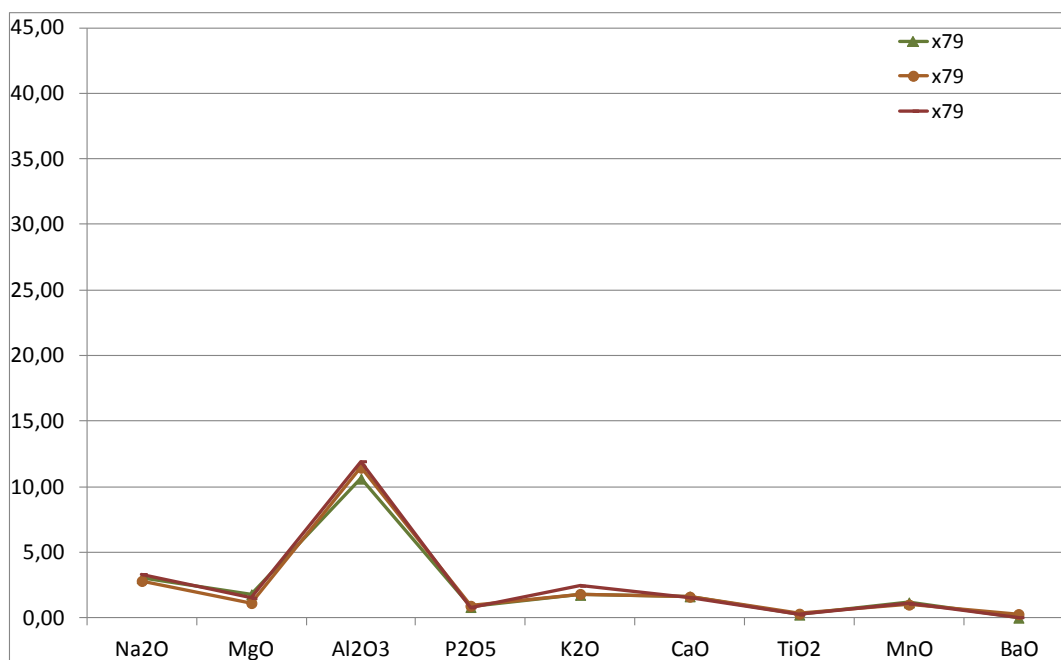
## Slagge x74

Slaggen blev ikke udtaget af præparatet, men der blev udtaget prøver af den til analyse (x79).

Der blev foretaget tre analyser af prøver fra denne slagge:

x79	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	FeO	BaO
sl 1	0,8	0,5	2,7	20,4	0,2	0,5	0,4	0,1	0,3	73,9	0,0
sl 2	0,9	0,4	3,8	26,2	0,3	0,6	0,5	0,1	0,3	66,6	0,1
sl 3	1,0	0,4	3,5	22,5	0,2	0,7	0,5	0,1	0,3	70,6	0,0

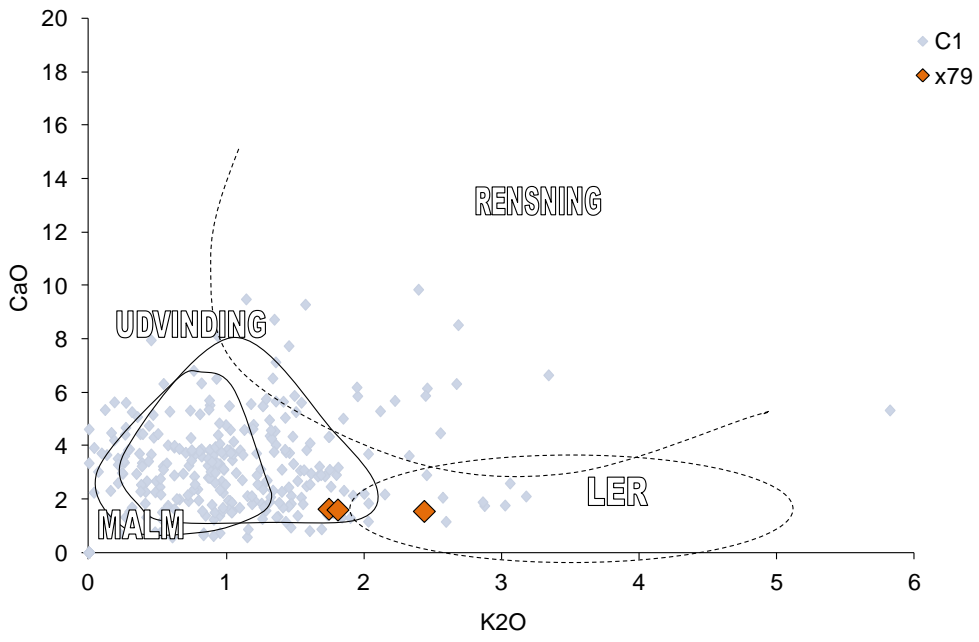
De tre prøver er næsten identiske i sammensætning, hvilket viser, at slaggen er ret homogen (figur 7)



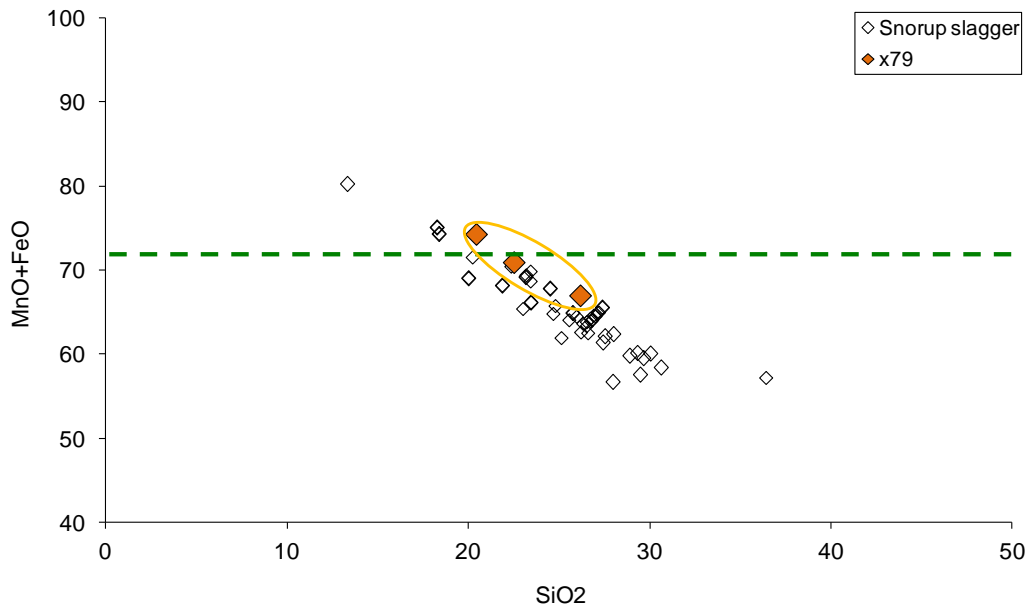
Figur 7

Sammensætningen af slaggen, specielt indholdene af calciumoxid (CaO) og kaliumoxid (K<sub>2</sub>O), svarer til vestjyske slagger stammende fra jernudvinding, og ikke til slagger fra primær smedning (rensning) eller smedning af jern (figur 8). Den kan derfor med stor sikkerhed bestemmes som en udvindingslagge.

I forhold til almindelige slagger fra slaggegrubeovne, har denne slagge et relativt højt indhold af jernoxid (figur 9). Udvindingsprocessen synes derfor at have været relativt ineffektiv.



Figur 8



Figur 9

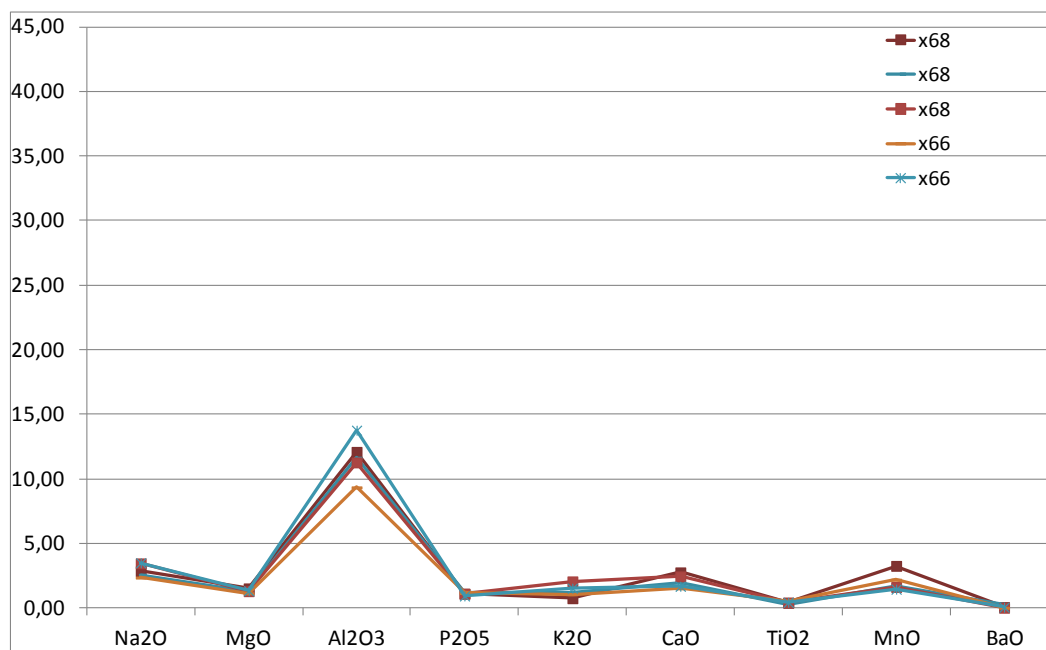


## Slagge x66

Foruden to prøver fra selve slaggen x65, blev der også foretaget analyser af tre slaggefragmenter fundet i lag 3 tæt på x65. Det formodes derfor, at de stammer fra denne.

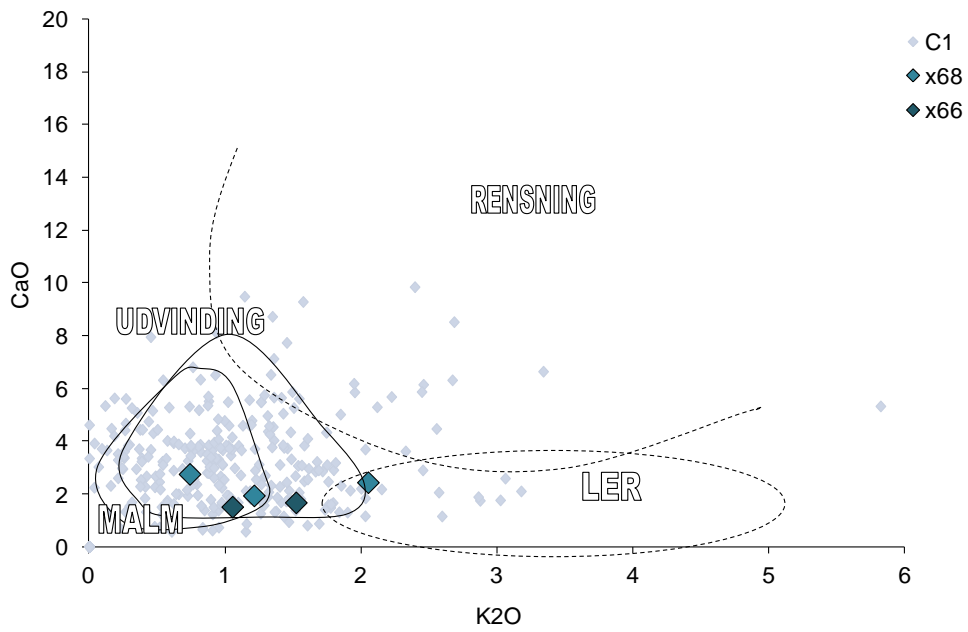
slagge x66	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	FeO	BaO
x68 a	1,0	0,5	4,1	25,5	0,4	0,3	0,9	0,1	1,1	65,8	0,0
x68 b	0,9	0,4	4,0	27,0	0,4	0,4	0,7	0,1	0,6	65,0	0,1
x68 c	1,3	0,5	4,1	28,0	0,4	0,8	0,9	0,2	0,6	63,2	0,0
x66 a	1,2	0,5	4,9	28,4	0,4	0,5	0,8	0,1	0,5	62,3	0,0
x66 b	1,4	0,5	4,6	30,7	0,3	0,7	0,7	0,1	0,4	59,8	0,1

Også i dette tilfælde er slaggerne af næsten identisk sammensætning (figur 10), dog med en vis variation i indholdet af aluminiumoxid (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Noget som sandsynligvis skyldes reaktion med smeltet ler fra ovnvæggen.

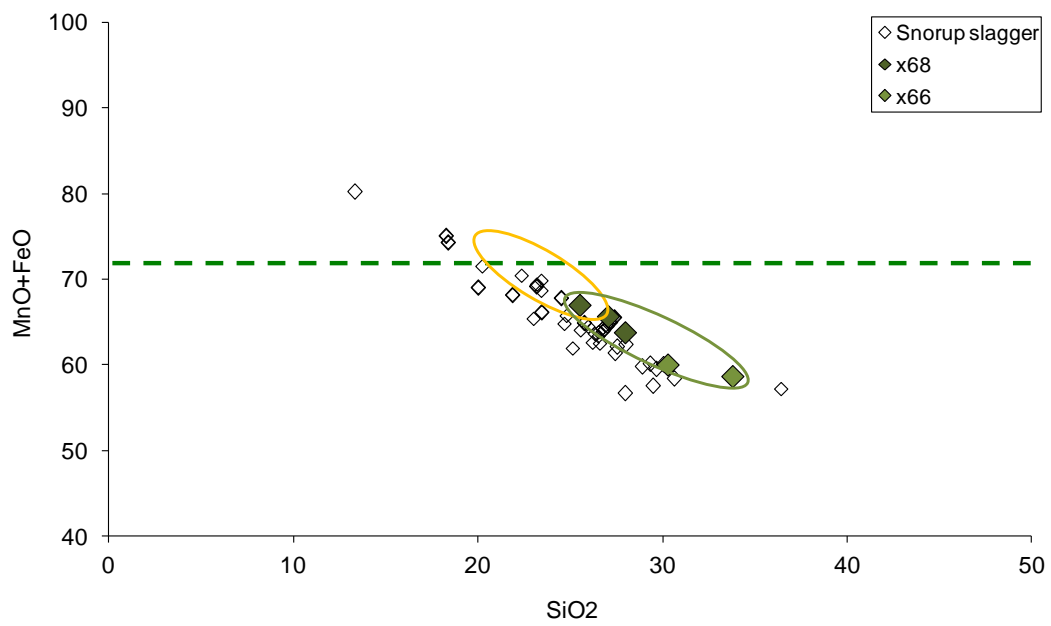


Figur 10

Slaggen stammer tydeligvis fra udvinding, ligesom slaggen fra x74 (figur 11), og de to slagger har da også næsten identiske sammensætninger, når man ser bort fra at slagge x66 har et væsentligt lavere middelinhold af jernoxid. Det må skyldes, at processen på dette sted i ovnen har været mere effektiv. Det er sandsynligt, at en kraftigere lufttilførsel har givet en kraftigere forbrænding og dermed højere temperatur og en mere reducerende atmosfære.



Figur 11



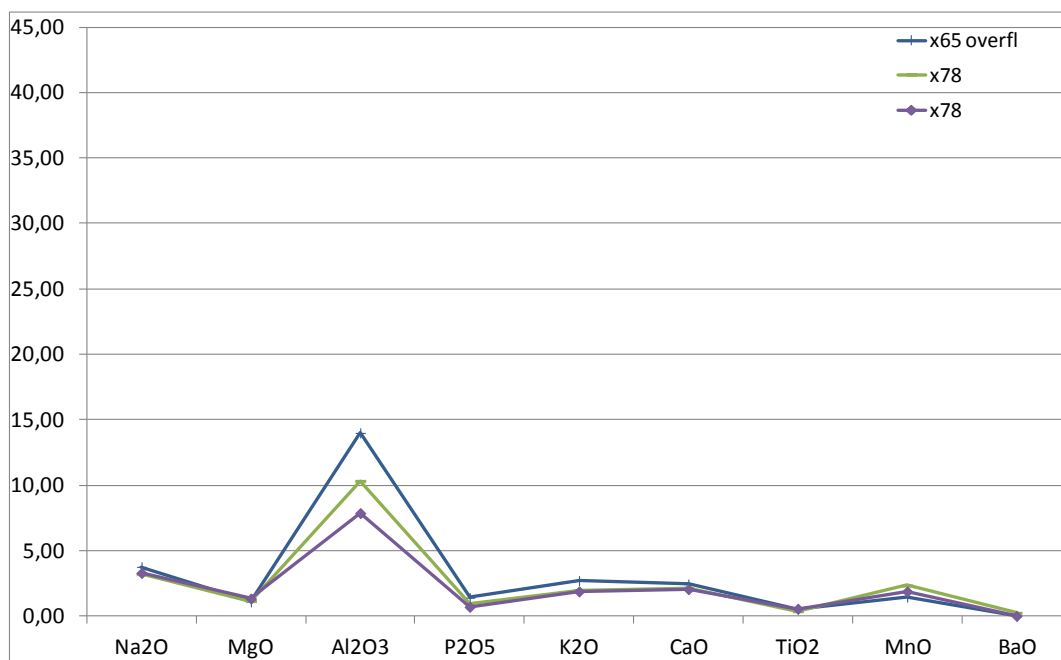
Figur 12

## Slagge x65

Fra denne slagge blev der i to omgange taget prøver. Dels prøve x65 og dels prøve x78

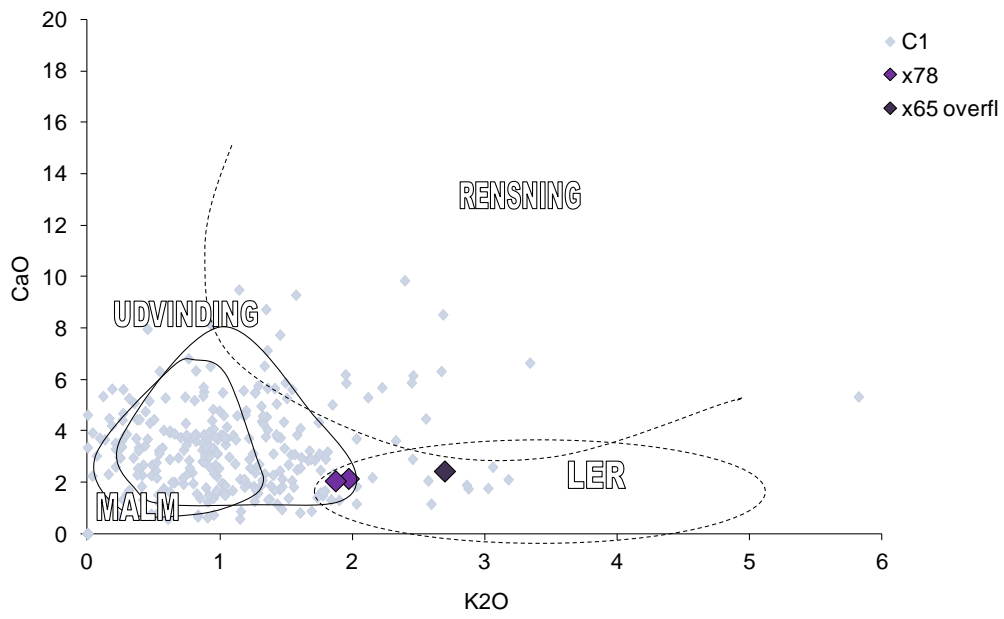
x65	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	FeO	BaO
x78	1,4	0,5	4,4	32,6	0,4	0,8	0,9	0,2	1,0	57,4	0,1
x78	1,1	0,5	2,7	28,0	0,2	0,7	0,7	0,2	0,7	65,1	0,0
x65 slagge	1,5	0,4	5,7	29,7	0,6	1,1	1,0	0,2	0,6	58,7	0,0

Prøve x65 viste sig delvist at bestå af kraftigt brændt ler, og delvist af slagge. At slaggen har reageret med leret viser sig ved et forhøjet indhold af aluminiumoxid (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) (figur 14). Bortset fra dette ligger slaggens sammensætning meget tæt på slaggerne x74 og x66.

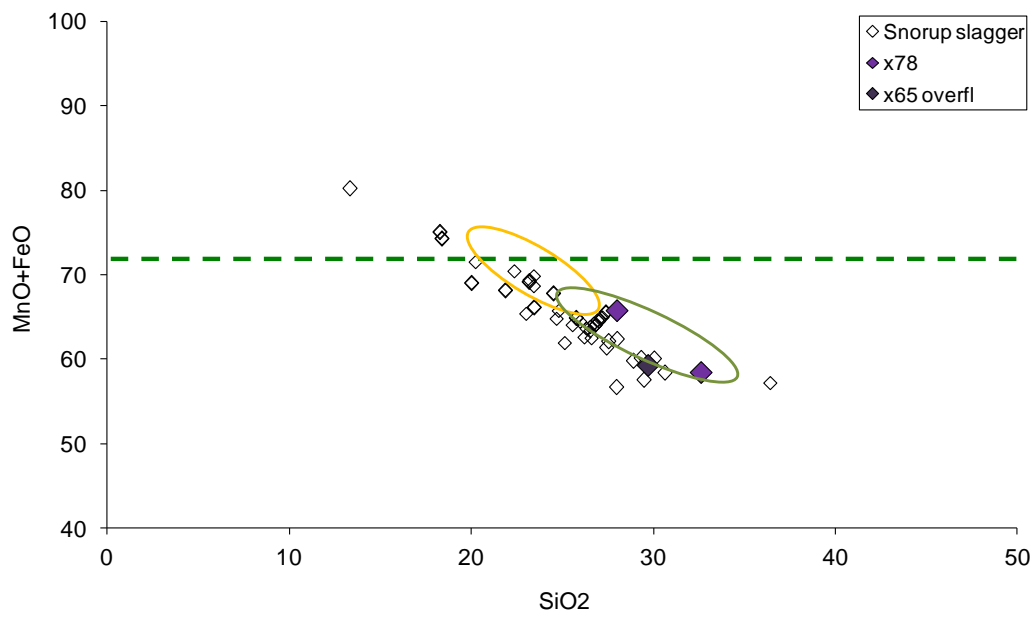


Figur 13

Igen er der tydeligvis tale om slagge fra jernudvinding (figur 15), og indholdet af jernoxid er relativt lavt (figur 16) hvilket tyder på at processer har forløbet ret effektivt.



Figur 14



Figur 15



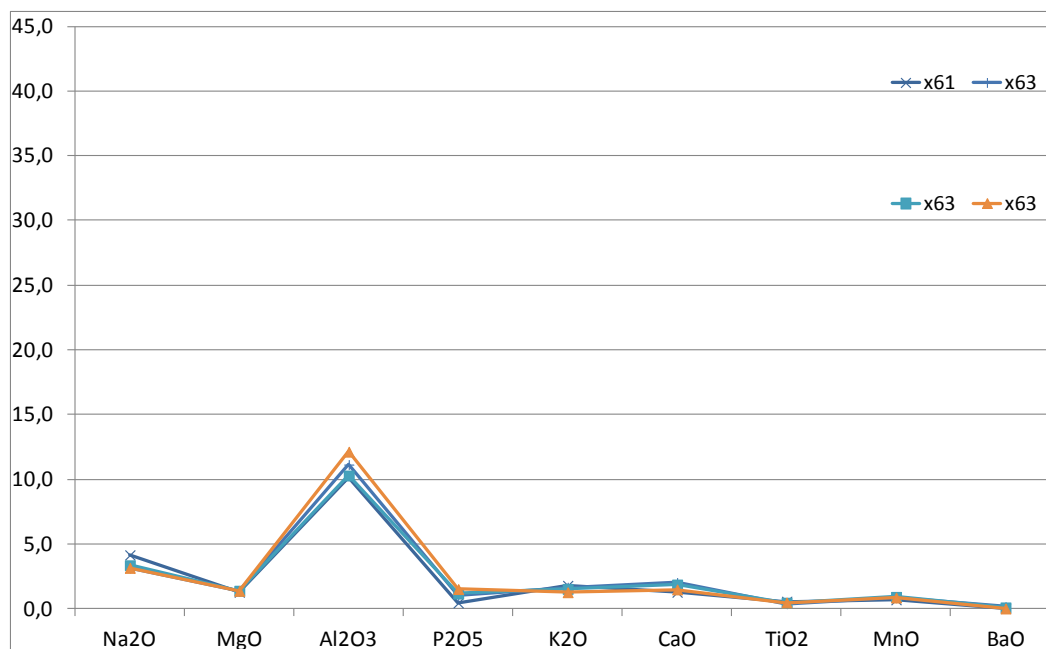
## Slagger fra Niveau 1

I det øverste niveau blev fundet flere slaggefragmenter, som ikke umiddelbart kan henføres til nogen af de underliggende slagge. De blev fundet i lag 3 (x61), som også fortsætter ned i niveau 2 mellem slagge, og i lag 1 (x63).

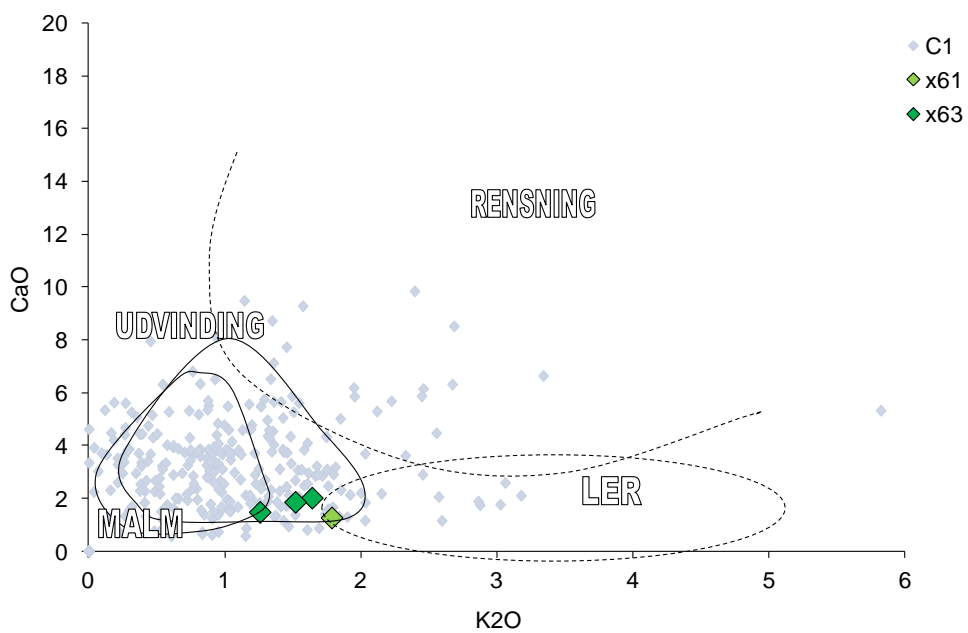
Niveau 1	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	FeO	BaO
x61	1,5	0,5	3,7	29,1	0,2	0,7	0,5	0,2	0,3	63,5	0,0
x63 a	1,1	0,5	3,9	27,3	0,3	0,6	0,7	0,1	0,3	65,0	0,1
x63 b	1,2	0,5	3,7	28,1	0,4	0,5	0,7	0,2	0,3	64,0	0,0
x63 c	1,2	0,5	4,4	28,5	0,6	0,5	0,5	0,2	0,3	63,0	0,0

De fire analyserede slaggefragmenter er næsten identiske i sammensætning (figur 16), og svarer også til de store slagge x74, x66 og x65. Der er derfor tale om fragmenter af slagge fra den samme proces.

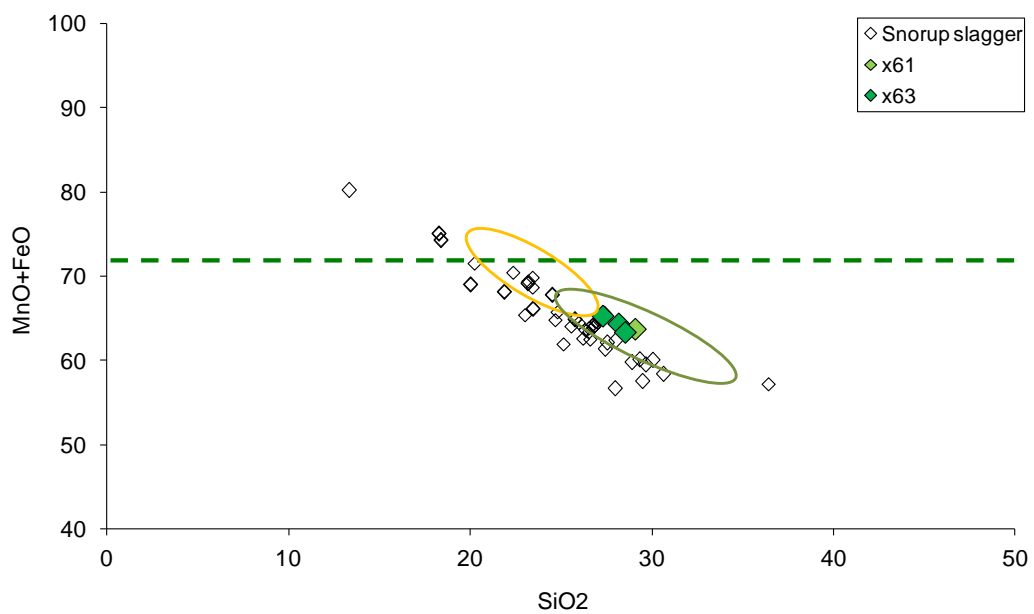
Som forventet svarer derfor også slaggefragmenterne til slagge fra jernudvinding (figur 17). Jernoxidindholdet er relativt lavt, og de er derfor resultatet af en relativt effektiv proces, som det også ses i x66 og x65 (figur 18)



Figur 16



Figur 17



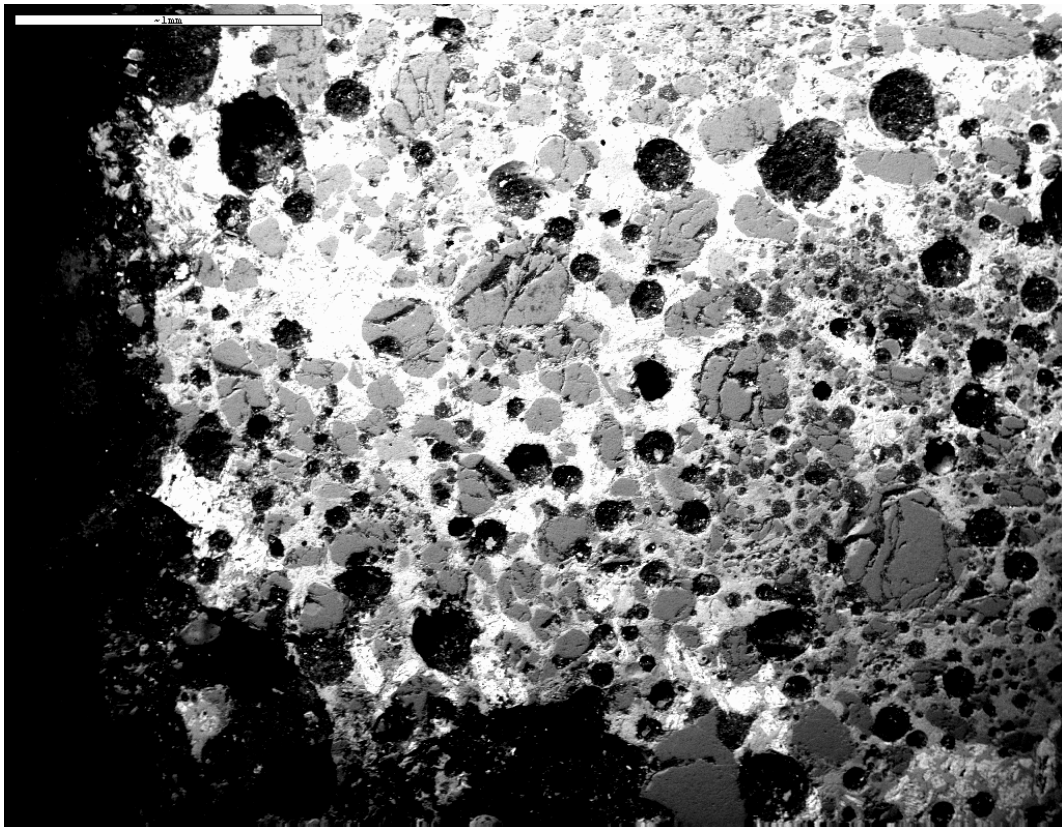
Figur 18

## Ler

To prøver af brændt ler blev undersøgt. Det ene var fastsmeltet i ydersiden på slagge x65 og det andet fundet i en prøve fra lag 1 i niveau 3. leret må formodes at stamme fra væggene i jernudvindingsovnen.

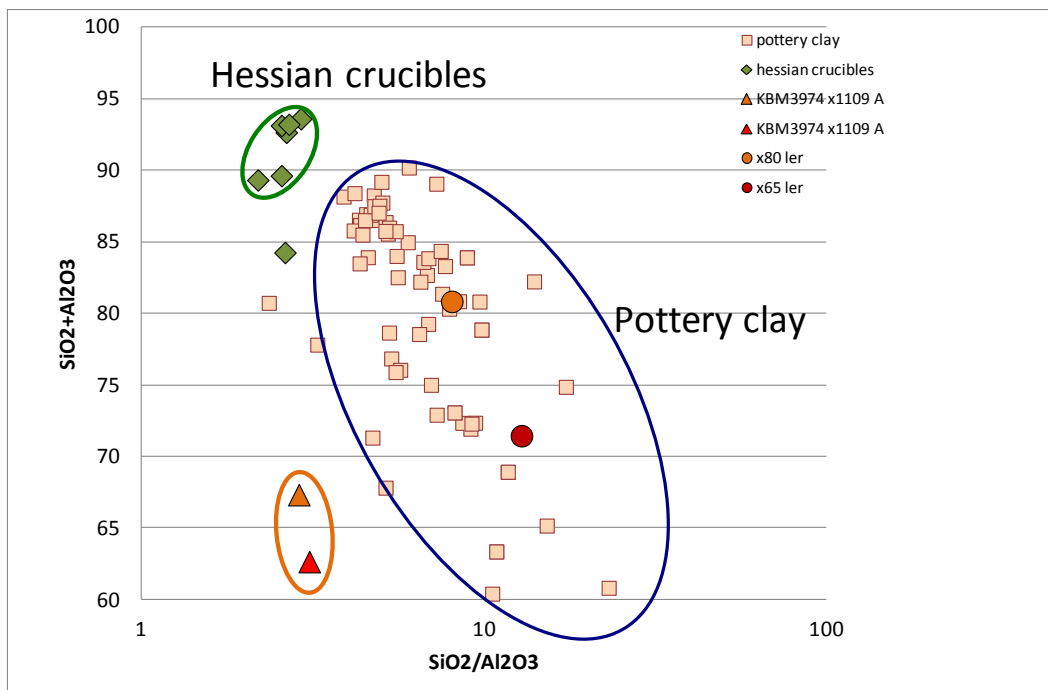
ler	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	FeO	BaO
x65 ler	1,9	0,5	5,2	66,3	0,3	2,0	2,5	0,3	0,5	19,8	0,1
x80 ler	1,9	0,6	10,0	73,5	0,1	1,4	0,5	0,5	0,3	10,5	0,1
x80 ler	1,9	0,5	8,0	70,2	0,2	1,4	0,5	0,4	0,3	15,8	0,0
x80 overfl	0,9	0,6	5,1	25,8	0,9	0,1	0,6	0,2	0,2	65,4	0,0

Begge lerprøver viser, at leret indeholder en stor mængde sandkorn, hvilket også afspejler sig i et højt indhold af siliciumoxid (SiO<sub>2</sub>) i analyserne. Det må betyde, at man ved bygning af ovnen enten har benyttet sig af et ler, som naturligt var meget mager, eller at man har magret den kraftigt ved tilsætning af sand.



Figur 19: ler fra x65

I strukturen af leret fra x65 kan det ses, at sandkornene er revnet på grund af meget kraftig opvarmning (figur 19). Det kan da også ses, at leret mellem sandkornene har været næsten fuldstændigt smeltet. Sandet nedsætter ikke smeltepunktet af leret nævneværdigt, men bevirket at svindet ved brændingen bliver mindre. Når det kraftige svind undgås, nedsættes lerets tendens til at danne revner ved brændingen.



Figur 20