

## **LIBS-SCReeN**

### **Screening van kritieke grondstoffen met behulp van nieuwe LIBS-technieken – van exploratie tot (post)waardering**

#### **Contract - B2/191/ P1/LIBS-SCReeN**

## Context

Kritische grondstoffen (Critical Raw Materials, CRM) zijn economisch en strategisch belangrijk voor essentiële industriële sectoren en toekomstige toepassingen, maar hun levering brengt grote risico's met zich mee. Het voldoen aan de groeiende vraag naar CRM is een van de grootste mondiale uitdagingen in de komende decennia, en de (her)exploitatie van binnenlandse bronnen, waaronder recycling, zal steeds belangrijker worden. In België zijn zink-loodafzettingen bekend sinds de prehistorie en werden ze voornamelijk in de 19e eeuw geëxploiteerd, maar het economisch potentieel van wat overblijft is grotendeels onbekend. Het is bekend dat deze afzettingen CRM's zoals germanium (Ge) en gallium (Ga) bevatten. Van even groot belang bij nieuwe mijnbouw- en veredelingsactiviteiten is de aanwezigheid van elementen die in het milieu kunnen verontreinigen, bijvoorbeeld arseen (As) en cadmium (Cd).

Flexibele, snelle en betrouwbare technieken zijn nodig om onze capaciteit voor CRM-exploratie, exploitatie, recycling en milieueffectbewaking te verbeteren. Traditionele geochemische karakteriseringstechnieken zijn doorgaans tijdrovend, duur en vereisen monsterpreparatie, wat de omvang en representativiteit van datasets beperkt. In dit verband komt Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) naar voren als een voordelig alternatief voor de karakterisering van geologisch materiaal. De techniek is gebaseerd op emissiespectroscopie met behulp van hoogenergetische laserpulsen als excitatiebron. Naast het mogelijk maken van snelle gegevensverzameling met weinig tot geen monsterpreparatie, is een belangrijk voordeel van LIBS de mogelijkheid van gelijktijdige analyses van hoofd-, minder belangrijke en sporenbestanddelen, waaronder lichtere elementen (bijvoorbeeld C, B, Be en Li) die met veel andere technieken moeilijk te detecteren zijn.

Een van de uitdagingen bij het opschalen van de toepassing van LIBS-technieken voor grote screeningsinspanningen is de generatie van grote hoeveelheden complexe spectrale gegevens. Dit vereist aangepaste technologieën voor gegevensverwerking en -analyse en kan enorm profiteren van de evoluerende tools voor Machine Learning (ML) en Artificial Intelligence (AI). Vooral in potentiële toekomstige geautomatiseerde LIBS-analyses zijn geautomatiseerde gegevensextractie- en verwerkingspijplijnen sterk nodig. Protocollen voor screening, elementidentificatie en mineraalklassificatie met behulp van LIBS vormen belangrijke stappen richting standaardisatie, wat een waardevolle bijdrage kan leveren aan de internationale LIBS-gemeenschap.

## Methodologie

Het LIBS-SCReeN-project had tot doel de al bestaande LIBS-technologie in Belgische laboratoria te verbeteren en verder te ontwikkelen en te implementeren om de toepassing van de techniek te testen

gedurende de gehele levenscyclus van CRM, van exploratie van hulpbronnen tot post-veredelingsscenario's van recycling en/of milieuproblemen. De specifieke doelstellingen van het project waren 1) het ontwikkelen en implementeren van wetenschappelijk onderbouwde werkstromen om LIBS te benutten voor elementaire screening op meerdere schalen, 2) het optimaliseren van elementidentificatiewerkstromen van gegevensverzameling tot verwerking om de toepasbaarheid van LIBS voor verschillende afzettingen en milieubehoeften te waarborgen, en 3) het verspreiden en clusteren van lokale activiteiten met de wereldwijde wetenschappelijke LIBS-gemeenschap en EU-projecten om een Belgisch LIBS-expertisecentrum op te richten.

## Methodologie

Het project maakte gebruik van twee primaire LIBS-opstellingen: een bij UMONS en een andere bij RBINS-GSB, met een derde opstelling in ontwikkeling bij ULiège. Methodologische benaderingen omvatten:

- **Referentiemonsteranalyse:** Vergelijking van LIBS-elementanalyses met SEM-EDS,  $\mu$ XRF en LA-ICP-MS op 13 referentierockmonsters.
- **Monster- en Kerninventarisatie:** Catalogiseren van historische Zn-Pb-ertsm monsters uit geologische collecties bij projectpartners en samenwerking met UGent voor boorkernmonsters.
- **Screeningbenaderingen:** Implementatie van gerichte en willekeurige screeningmethoden op handmonsters en boorkernen om gebruikersbias en geschiktheid voor automatisering te evalueren.
- **Bodemverontreinigingsscreening:** Uitvoeren van semi-draagbare LIBS-analyses op bodemmonsters van Belgische en Franse locaties om zware metalen verontreiniging te beoordelen.

## Belangrijkste resultaten

1. **Ontwikkeling van LIBS Werkstromen:** Het project ontwikkelde en testte met succes screeningsprotocollen van gegevensverzameling tot LIBS-spectrale verwerking. Honderden rots- en bodemmonsters werden geanalyseerd, waarbij de mogelijkheden van LIBS om CRM en potentiële milieuverontreinigingen te detecteren, werden aangetoond. Twee methodologische benaderingen werden vergeleken: gerichte analyses met minder, meer gecontroleerde metingen en willekeurige, geautomatiseerde analyses met minder gebruikersbias.
2. **Optimalisatie van Elementidentificatie:** LIBS-technieken werden geoptimaliseerd voor verschillende schalen, van handgrote monsters tot volledige kernmonsters. Het project verbeterde de opstellingen bij UMONS, RBINS-GSB en ULiège. Geavanceerde machine learning-modellen werden ontwikkeld om grote hoeveelheden spectrale gegevens te beheren, waardoor differentiatie tussen mineraalfasen en snelle detectie van kritische elementen zoals germanium (Ge) en gallium (Ga), evenals verontreinigingen zoals cadmium (Cd) en arseen (As) mogelijk werd.
3. **Screening Pilots:** In totaal werden 408 monsters gescreend, waaronder een grote verscheidenheid aan mineralogische samenstellingen geassocieerd met Zn-Pb-voorkomens in België. De screeningspilots benadrukten het vermogen van LIBS om gedetailleerde multiscale distributiekaarten van chemische elementen te verstrekken, wat wijst op het potentieel voor zowel CRM-exploratie als milieubewaking. Bodemanalyse van verontreinigde locaties, zoals de Sclaigneaux-brownfield, bevestigden de effectiviteit van LIBS in milieutoepassingen.

4. **Verspreiding en Valorisatie:** Het project nam deel aan uitgebreide communicatie- en verspreidingsactiviteiten, waaronder workshops, conferentiepresentaties en samenwerkingen met internationale onderzoeksinstituten. De oprichting van het Belgisch LIBS-onderzoekscluster ([belibs.naturalsciences.be](http://belibs.naturalsciences.be)) was een belangrijke uitkomst, gericht op het voortzetten van LIBS-onderzoek en het aanbieden van expertise en diensten via de tijdens het project ontwikkelde infrastructuur.
5. **Digitale Aanwezigheid en Publicaties:** Het project onderhield een robuuste digitale aanwezigheid met een toegewijde LinkedIn-pagina en Twitter-profiel, waardoor volgers werden aangetrokken en aanzienlijke betrokkenheid werd gegenereerd. Een reeks educatieve video's op YouTube legde de belangrijkste taken en innovaties van het LIBS-SCReeN-project uit. Daarnaast werden verschillende peer-reviewed publicaties en conferentie-abstracts geproduceerd, wat de bevindingen van het project verder verspreidde.

## Conclusies

Het LIBS-SCReeN-project toonde aan dat LIBS een krachtig hulpmiddel is voor CRM-exploratie en milieubewaking. De ontwikkeling van geoptimaliseerde werkstromen en geavanceerde technieken voor gegevensverwerking, gecombineerd met de oprichting van BELIBS, positioneert België als een leider in LIBS-onderzoek en -toepassing. Toekomstig onderzoek zou zich kunnen richten op verdere verfijning van deze technieken en het verkennen van nieuwe toepassingen in verschillende industriële en milieucontexten. De bevindingen van het project verbeteren de capaciteit om LIBS te gebruiken voor verontreinigingsvrije CRM-exploratie en -exploitatie in diverse omgevingen, waaronder de recyclingindustrie.