

Biokarbon verdikjeden for metallurgisk industri – Forskningsnytt og -behov

Norsk Biokullnettverk Fagseminar om biokarbon i Norsk prosessindustri
21 jan 2021, Arendal/e-seminar

Øyvind Skreiberg, Sjeforsker / Dr. ing.

SINTEF Energi AS

Oversikt

Kompetansebyggende prosjekter:

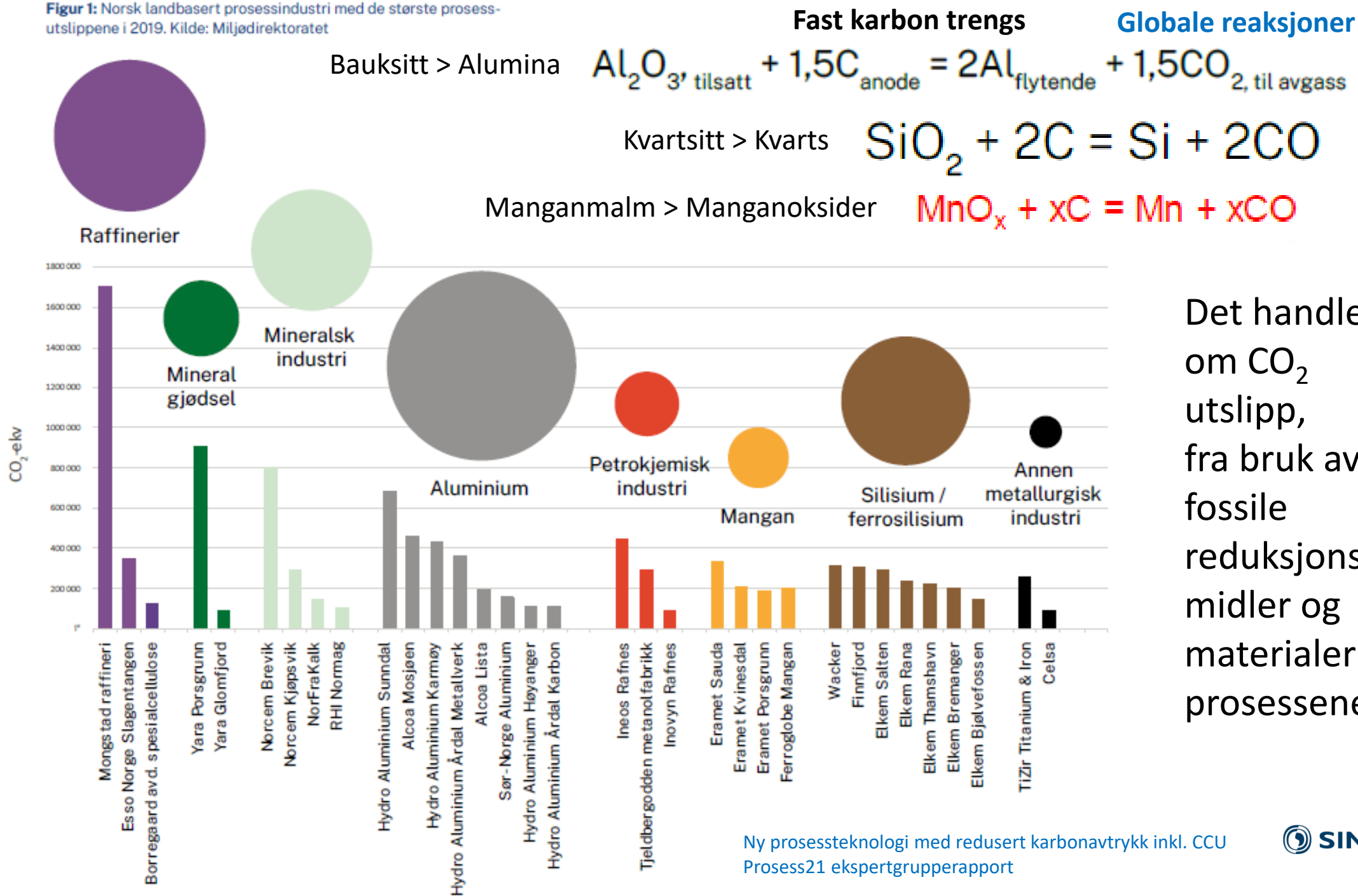
[KPN BioCarbUp](#) (2019-22)

[KPN BioCarb+](#) (2014-17)

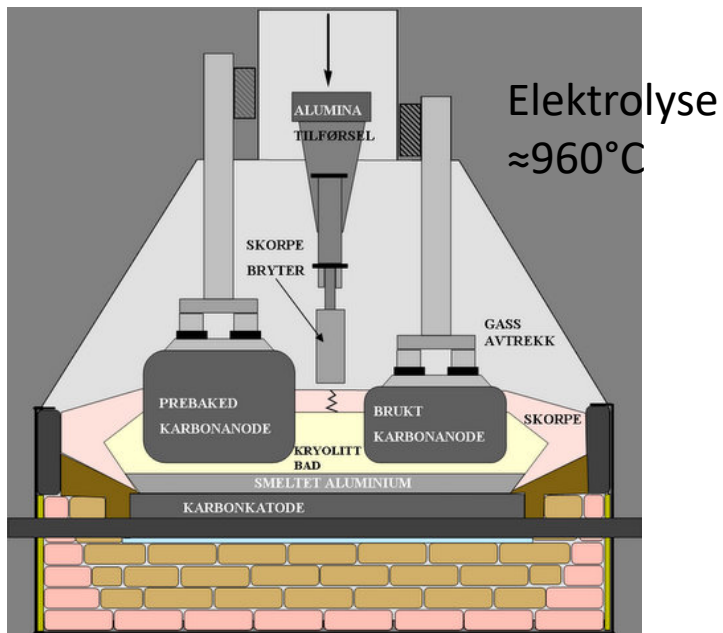
[KPN Reduced CO2](#) (2018-22)

- Behov i metallurgisk industri - for **erstatning av dagens fossile reduksjonsmidler og materialer** (som er tilgjengelige, rimelige, har gode egenskaper, og dagens prosesser er tilpasset dem)
- Forskning gjennom hele verdikjeden, på biokarbon (som har "andre" egenskaper):
 - ressurser (ref. Simen Gjølsjø og Helmer Belbo, deltar i KPN BioCarbUp)
 - **produksjon og oppgradering** (ref. Lorenzo Riva, samarbeid med BioCarbUp)
 - sluttbruk
 - bærekraft og verdikjeder
- Forskning i industrien (ref. Marit Dolmen, Elkem, deltar i KPN BioCarbUp)
- Forskning i resten av Norden/Verden
- Ytterligere forskningsbehov og initiativer for å dekke industriens behov
- Konklusjoner

Figur 1: Norsk landbasert prosessindustri med de største prosess-utslippene i 2019. Kilde: Miljødirektoratet

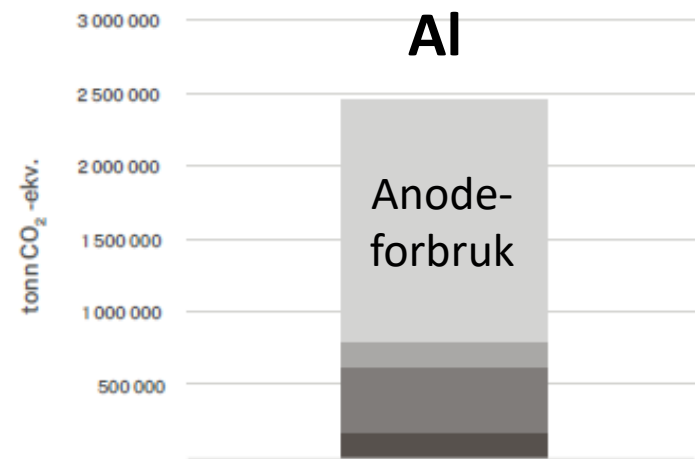


Det handler om CO₂ utslipp, fra bruk av fossile reduksjonsmidler og materialer i prosessene



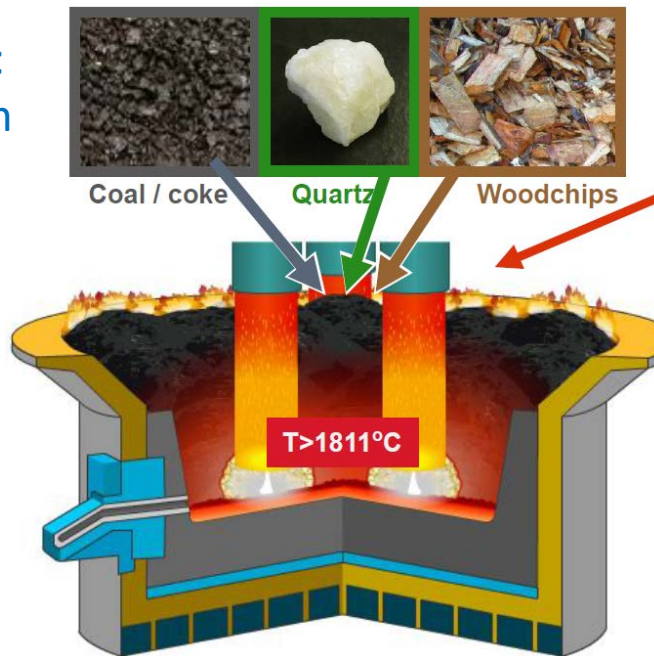
Figur 15: Utslippskilder fra norsk aluminiumsindustri.

Kilde: Miljødirektoratet

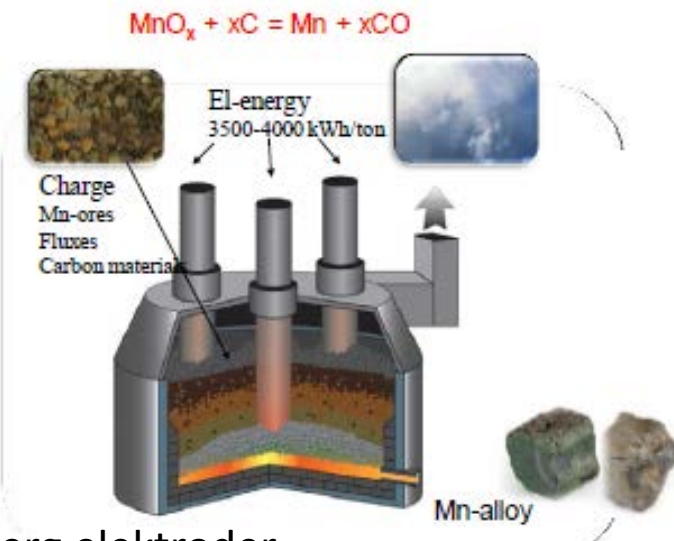


- Elektrolyse - anodeforbruk
- Anodeproduksjon
- Elektrolyse - PFK-utslipp
- Annen forbrenning

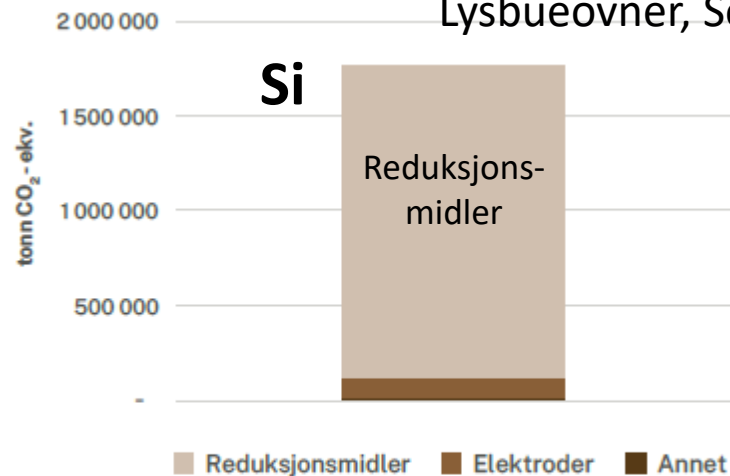
Kilde:
Elkem



Figur 22: Elektrisk smelteovn for produksjon av manganlegeringer. Kilde: Olsen, S.E., Olsen, S., Tangstad, M. and Lindstad, T., 2007. Production of manganese ferroalloys. Tapir Academic Press.



Lysbueovner, Söderberg elektroder



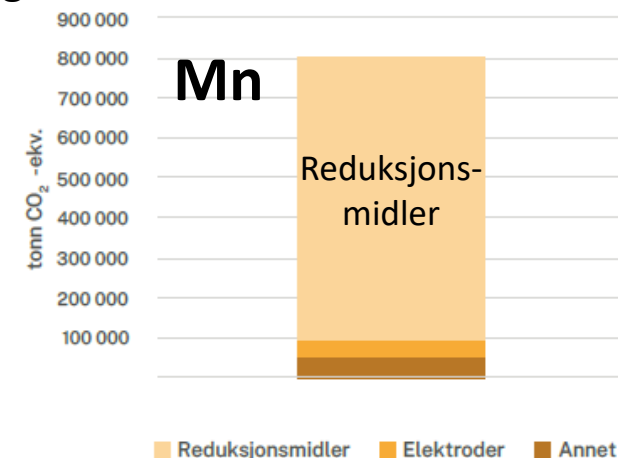
- Reduksjonsmidler
- Elektroder
- Annet

Figur 17: Utslippskilder fra norsk produksjon av silisium og ferrosilisium.

Kilde: Miljødirektoratet

Figur 21: Utslippskilder i manganproduksjon. Kilde: Miljødirektoratet

Kilde: Miljødirektoratet



- Reduksjonsmidler
- Elektroder
- Annet

Ny prosesseteknologi med redusert karbonavtrykk inkl. CCU
Prosess21 ekspertgrupperapport

Behov i metallurgisk industri

For erstatning av dagens fossile
reduksjonsmidler og materialer

- Bærekraftige verdikjeder for erstatning av fossile reduksjonsmidler og materialer
 - Ressursbasen, og diversifisering av denne Kull, Metallurgisk koks
 - Biokarbon **produksjon**, inkludert **utnyttelse av biprodukter** Petroleum koks
 - Biokarbon logistikk, håndtering og HMS Pakkoks
 - Krav til biokarbon/biomaterialer egenskaper i respektive metallurgiske prosesser Kulltjærebek
 - **Oppgradering** av biokarbon for å møte disse kravene
 - Muligheter for å justere på egne prosesser - hva kan aksepteres?
 - Optimalisering av verdikjedene med tanke på energieffektivitet, utslipp inkl. CO₂ og minimering av kostnader
- Diverse metallurgiske prosesser medfører stor variasjon i "krav" til biobaserte reduksjonsmidler og materialer
- Fossile reduksjonsmidler og materialer er referansen!

Fossile reduksjonsmidler og materialer vs. biokarbon - koks

Table 1. Comparison of biomass and charcoal properties to fossil fuel reductants used in ferroalloy production [36–39].

Property	Unit	Wood	Herbaceous Biomass	Industrial Charcoal	Coke
Fixed carbon	%	15–20	15–20	65–85	86–88
Ash content	%	0.1–1.0	1–12	0.4–4	10–12
Compressive strength	kg cm ⁻²	250–400	-	10–80	130–160
Bulk density	kg m ⁻³	100–850 *	80–310	180–350	500–550
Electrical resistance	Ω m	Very high	Very high	High	Low
CO ₂ reactivity	-	High	High	Medium-high	Low-medium

* 100–310 for wood chips and 300–850 for stemwood.

Behov i metallurgisk industri

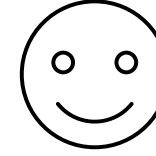
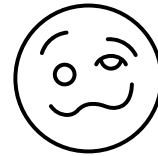
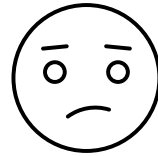
For erstatning av dagens fossile reduksjonsmidler og materialer

Krav til materialene

Reagere der det trengs, med høyest mulig effektivitet, og minst mulig negativ påvirkning på produkt og prosess

Elektrolyse (Al)

Karbotermisk (Mn, Si)



	Al - Anode	Mn	Si
Bruker i dag	Petroleum koks	Metallurgisk koks, antrasitt	Kull, metallurgisk koks
Reaktivitet	Lav (CO ₂ , luft)	Lav (CO ₂)	Høy (SiO)
Fast karbon	Høyt	Høyt	Middels
Flyktighetsinnhold	Lavt	Lavt	Middels
Askeinnhold	Lavt		Middels
Askeelementer	Lavt for Fe, Mn, (K)	Lavt for P, B, alkalier	P, alkalier
Styrke		Høy	Middels
Partikkelstørrelse	> 1 mm	Ikke finstoff, 1-2,5 cm	Ikke finstoff, 1-10 cm
Tetthet	Høy		Middels

(≈ Al-pakkoks)



Si: Bruker trekull og flis i dag. "Standard" trekull kan benyttes. Utfordringen er knyttet primært til optimalisering av verdikjeden

Mn: Reaktivitet og styrke er kritiske faktorer > oppgradering trengs

Al: Mange utfordringer, inkludert for bio-binder for erstatning av kulltjærebeak ved anodebaking > oppgradering av bio-olje/tjære trengs

Behov i metallurgisk industri

For erstatning av dagens fossile
reduksjonsmidler og materialer

Hvordan kan kravene oppfylles?

Maks utnyttelse av biomasse ressursen i et bærekraft perspektiv, og reduksjon av kostnader

Konvertere biokarbon og tjære til materialer som har egenskaper som ligner eller nærmer seg de fossile reduksjonsmidlene og materialene:

- Optimalisere den tradisjonelle atmosfæriske pyrolyse prosessen
- Vesentlig endre eller gå bort fra den tradisjonelle atmosfæriske pyrolyse prosessen
- Utnytte tjære som blir produsert (ikke brenne den sammen med gassen)
- Komprimering av biokarbon (Lorenzo Riva sin presentasjon)
- Fortetting av biokarbon
- Komprimering av biokarbon sammen med det som skal reduseres, i et optimalt forhold

Behov i metallurgisk industri

For erstatning av dagens fossile
reduksjonsmidler og materialer

Lavest mulig pris - biokarbon er kostbart i dag

Tilstrekkelig og forutsigbar kvalitet - må oppfylle et minimum

Leveringssikkerhet - store mengder biokarbon trengs

Ivareta HMS

Gjennomføre alle mulige tiltak som på sikt kan gi netto nullutslipp av klimagasser, inkludert alternative prosesser for å redusere eller fjerne behovet for karbon som reduksjonsmiddel

- Partners and collaborators:
 - 13 partners, 7 research and 6 industry
 - 7 collaborative partners
 - Gabor Varhegyi, Hungary
 - Luleå University, Sweden
 - HTTECH, Norway
 - Mälardalens University, Sweden
 - North West University, South Africa
 - MINTEK, South Africa
 - University of Laval, Canada
- Duration: 4 years, 02.2019-12.2022
- Budget: 25 MNOK
- Type: KPN (80% RCN financed)

Prosjektet samler mange av de viktigste aktørene i Norge, og sentrale internasjonale aktører

Partners:

- SINTEF Energy Research (lead, Skreiberg)
- SINTEF Industry
- Norwegian University of Science and Technology (Dpt. Energy and Process Engineering, Dpt. Materials Science and Engineering)
- Norwegian Institute of Bioeconomy Research
- Hawaii Natural Energy Institute at University of Hawaii at Manoa
- Hungarian Academy of Sciences
- Norsk Biobrensel AS
- Elkem AS, Department Elkem Technology
- Eramet Norway AS
- Hydro Aluminium AS
- Alcoa Norway ANS
- Eyde Cluster

Forskning - BioCarbUp

The **overall objective** of this project is to **optimise the biocarbon value chain for the metallurgical industry** through 1) **Production of biocarbon with sufficient quality** satisfying the end user quality requirements while ensuring optimum utilisation of the by-products, 2) **Optimised sourcing of Norwegian forest resources** for biocarbon production towards the specific metallurgical processes, and 3) **Maximising the energy and cost efficiency** of the biocarbon value chain for metallurgical industry.

Sub-objectives:

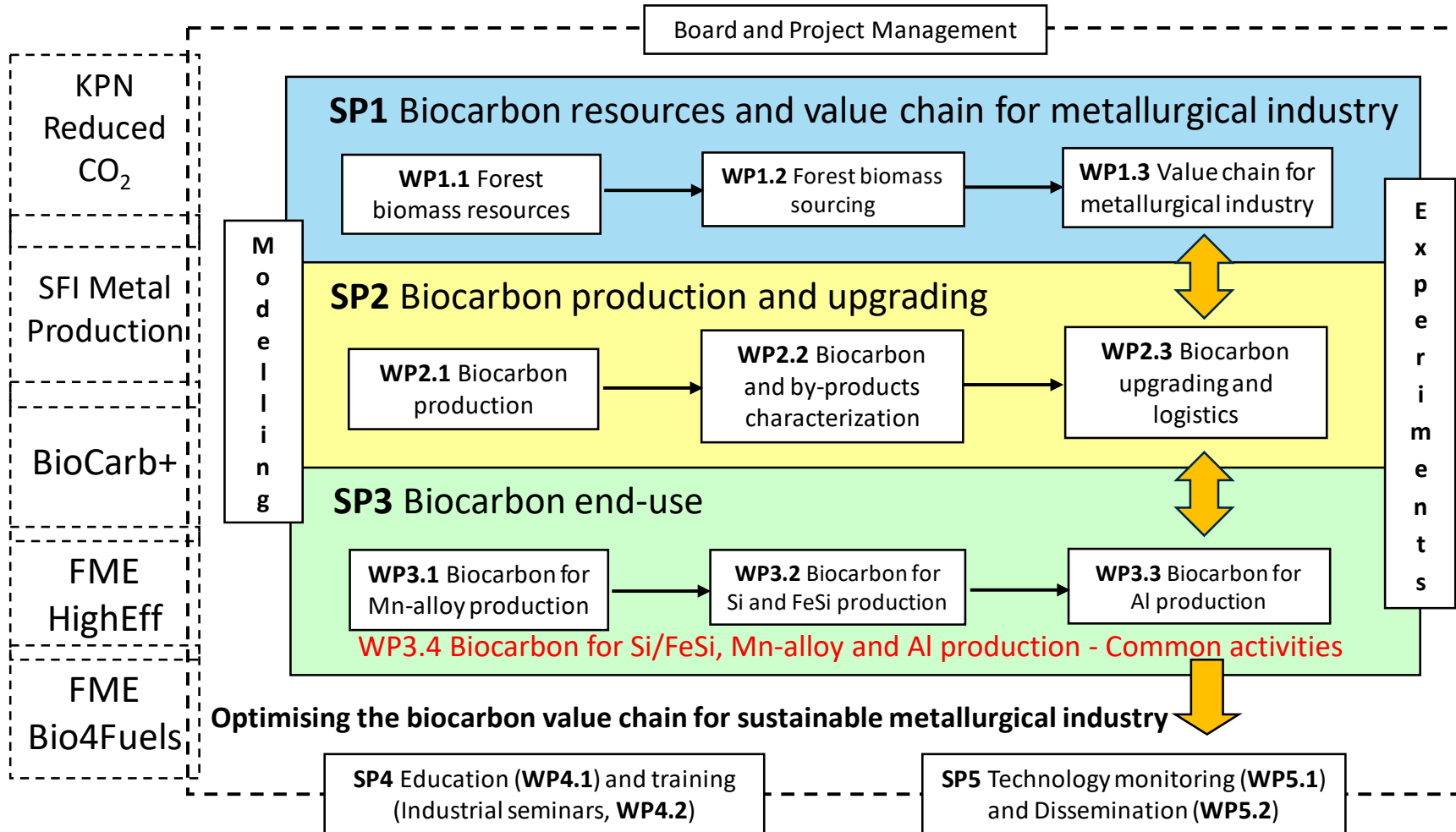
- Identifying **optimum forest resources** for the specific metallurgical processes
- Identifying and **optimizing carbonisation processes and conditions** to produce optimum yields and qualities
- Developing methods for upgrading and **tuning biocarbon quality** to increase its suitability for the specific metallurgical processes, and methods for upgrading the by-product tar to higher value products
- Developing fundamental **knowledge of biocarbon behaviour** in and influence on the specific metallurgical processes and biocarbon impact on product quality
- Increasing expertise throughout the **biocarbon value chain for the metallurgical industry**
- **Educating** highly skilled candidates within this area and training of industry partners
- Monitoring activities and state-of-the-art practice within this area and **disseminating** knowledge to industry partners, and other interested parties where applicable

The anticipated results of the project are **reduced harvesting and logistics costs for woody biomass resources, maximised BC yield and quality** directly in the BC production process or via secondary upgrading and **maximised utilisation** in BC end-use applications, i.e. the metallurgical industry. Additionally, by-products utilisation and higher value products from tar are complementary foci.

Forskning - BioCarbUp

PhD studium: Modelling and CFD simulation of pyrolysis reactors
 NTNU EPT, Boyao Wang
 Veiledere: Terese Løvås, Tian Li

Postdoc studium: Composite agglomerates with biocarbon
 NTNU MSE, Hamideh Kaffash
 Veileder: Merete Tangstad



BioCarbUp management and work break down structure and project links and information flow.

BioCarb+: Enabling the biocarbon value chain for energy,
<http://www.sintef.no/biocarb>

SFI Metal Production,
<https://www.ntnu.edu/metpro>

FME HighEFF: Centre for an Energy Efficient and Competitive Industry for the Future,
<http://www.higheff.no>

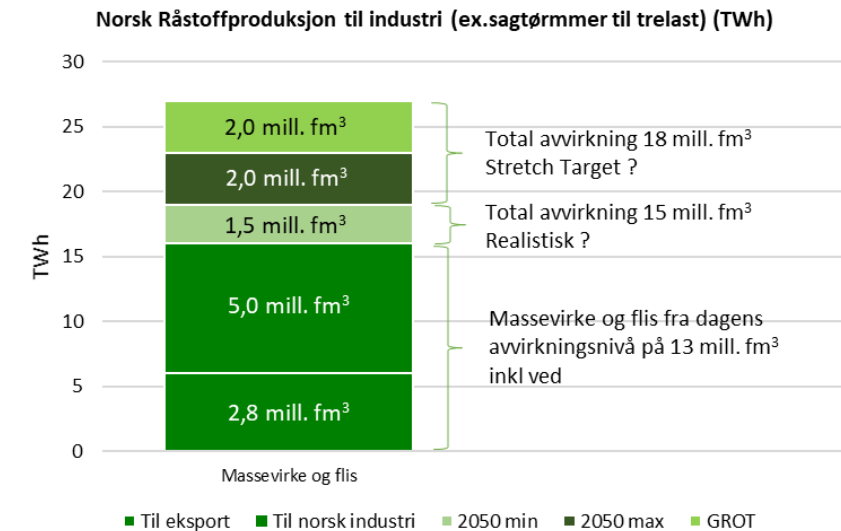
KPN Reduced CO₂ emissions from metal production,
[link](#)

FME Bio4Fuels,
<https://www.nmbu.no/bio4fuels>

SP1: Simen Gjølshjøl, NIBIO
 SP2: Liang Wang, SINTEF Energi
 SP3: Eli Ringdalen, SINTEF Industri

Forskning - Biokarbon ressurser

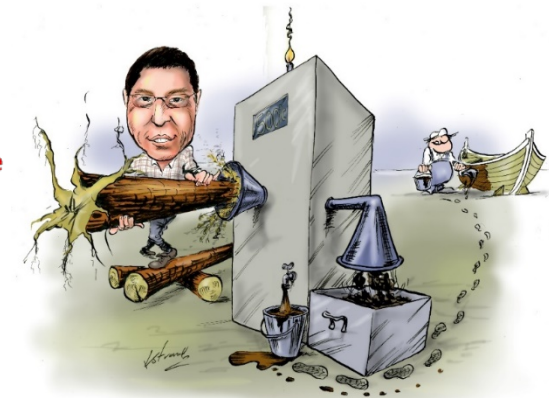
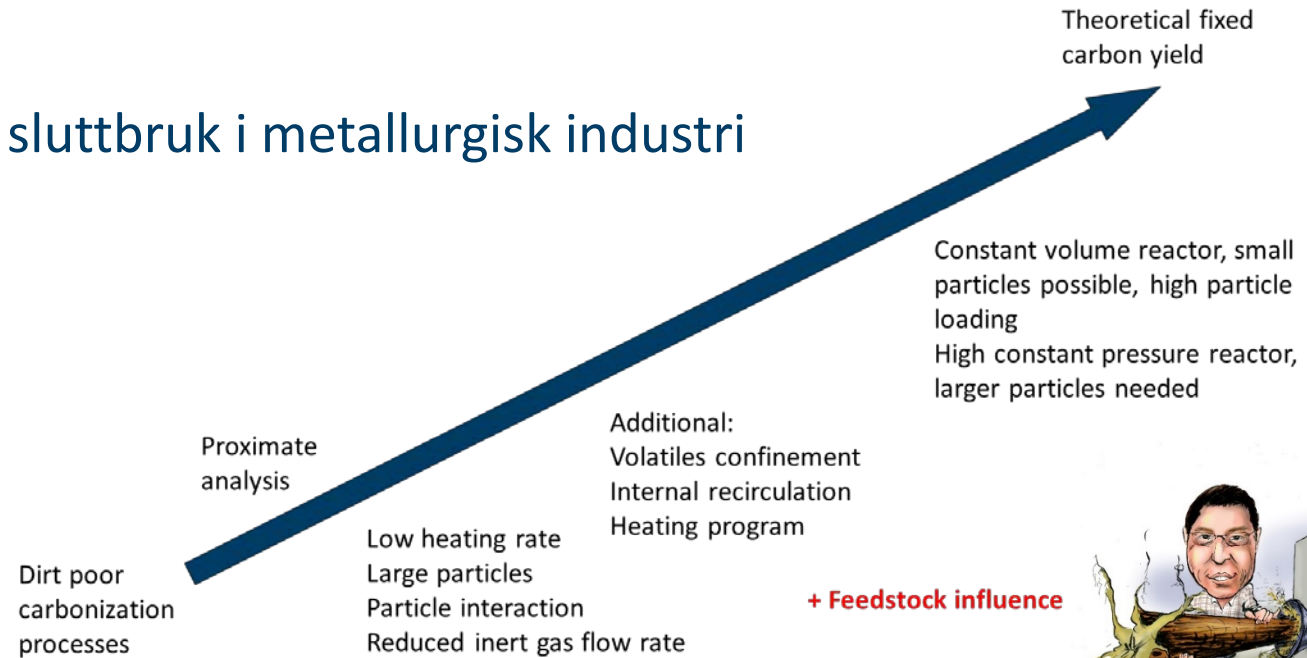
- Ressursbasen
 - Utnyttelse av nasjonale ressurser er ønsket, men ikke et absolutt krav
 - Begrenset ressursbase - mange om beinet - **Har vi nok?**
- Hvor er den?
- Hva består den av?
- Hvilke kvaliteter/egenskaper har den?
- Til hvilken pris er den tilgjengelig?
- Hva kan gjøres for å minimere denne prisen?
- Hva kan gjøres for å fremskaffe biomateriale for biokarbon produksjon som til slutt vil gi tilstrekkelig biokarbon kvalitet for et spesifikt formål?



Biobasert
Prosessindustri
Prosess21
Ekspertgrupperapport
[link](#)

Forskning - Biokarbon produksjon og oppgradering

- Produksjonsteknologier - for sluttbruk i metallurgisk industri
- Prosessparametere
 - Temperatur
 - Oppholdstid
 - Oppvarmingshastighet
 - Atmosfære
 - Trykk
- Produkter og produktfordeling - **fast**, flytende, gass
- Karakterisering av biokarbon, pyrolyseolje og gasser
- Prosessintegrering - internt i anlegget eller i samspill med eksisterende prosesser
- Oppgradering - rett kvalitet til rett formål til minst mulig kostnad



Forskning - Biokarbon produksjon og oppgradering

BioCarbUp resultater

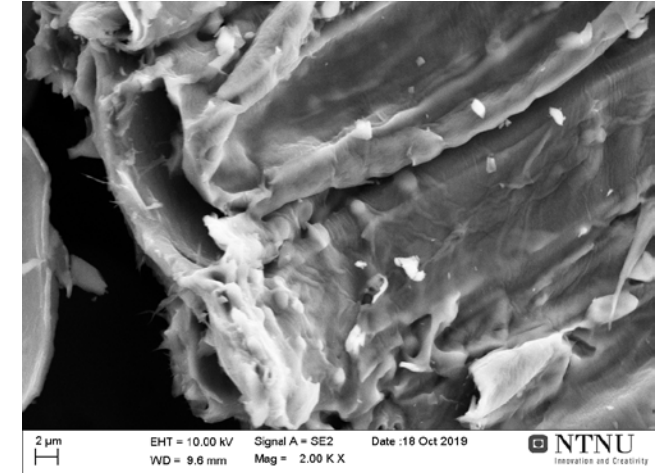
The BioCarbUp PostDoc work within composite agglomerates with biocarbon is progressing well. The PostDoc candidate, [Hamideh Kaffash](#) from Iran, started her work August 2019 at Department of Materials Science and Engineering, NTNU, with Professor [Merete Tangstad](#) as her supervisor.

Some very interesting recent results:

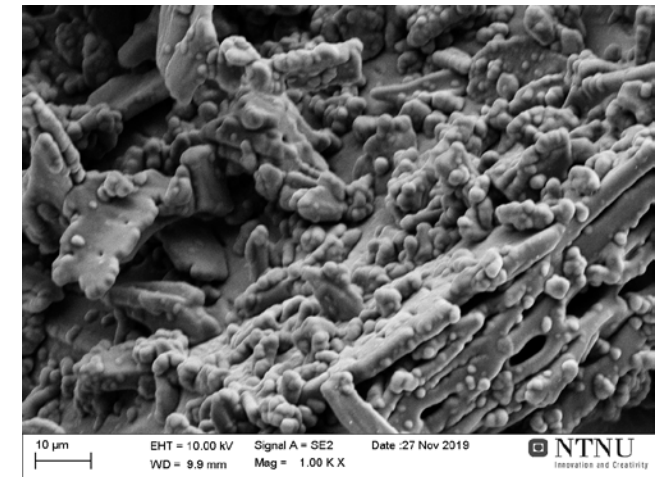
Three types of industrial charcoal have been densified using C from CH₄ and the C deposition was found to be 13-15%. The properties of the charcoals before and after densification by C deposition were investigated, with the following results:

1. Density increased by 3 times
2. Porosity decreased by 28-38%
3. Compressive strength increased by 7-15 times
4. CO₂ reactivity decreased by 28-40%

These are promising results, making charcoal more suitable for use in some metallurgical industries. Below are pictures showing a charcoal surface before and after deposition of C from CH₄.



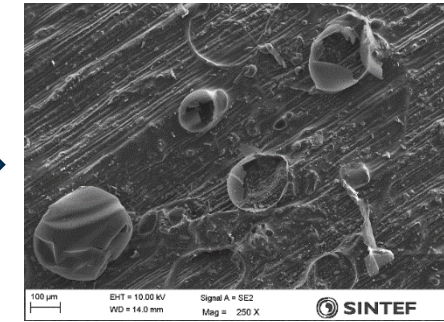
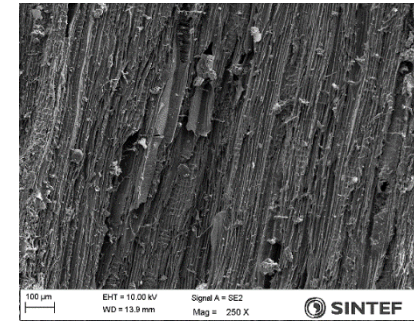
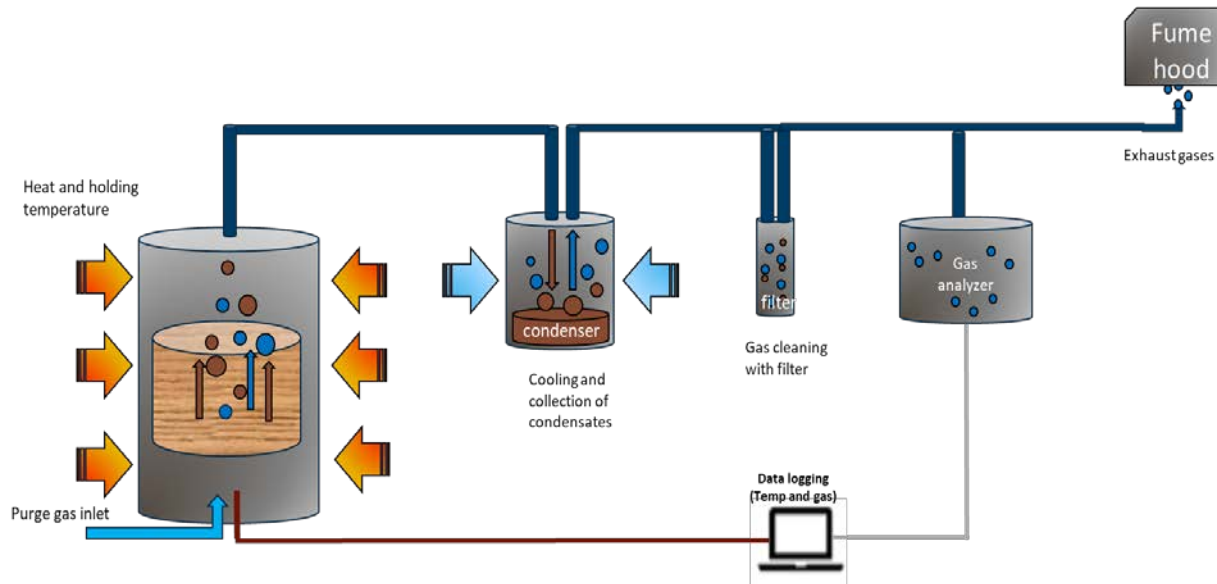
Charcoal before deposition of C from CH₄



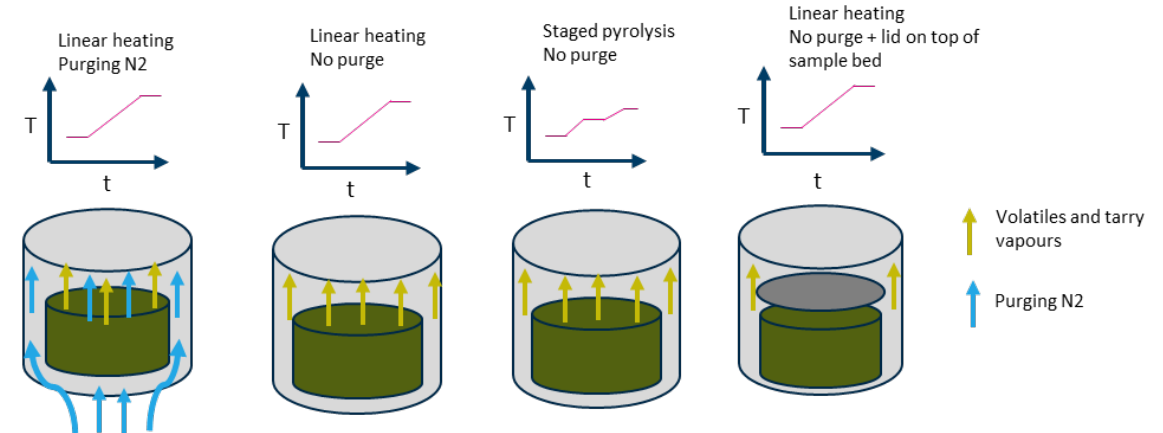
Charcoal after deposition of C from CH₄

Forskning - Biokarbon produksjon og oppgradering

BioCarbUp resultater



SEM by
Liang
Wang



- Increase of **biocarbon** yields and **fixed carbon** yields upon constrained and staged conditions
- Reduced surface area upon constrained and staged conditions
- Higher yields obtained from wood pellets and even higher for steam exploded pellets
- Higher yields from spruce wood chips compared to birch wood chips
- Decrease of yields upon increase of carbonization temperature (but higher fixed carbon content)

Forskning - Biokarbon sluttbruk

- I ulike metallurgiske industrier
 - Si, FeSi, Mn legeringer, Al, Ti, ... Fe
- Krav til biokarbon kvalitet/egenskaper
- Karakterisering av biokarbon for bruk i disse metallurgiske industriene - karakteriserings- og analysemetoder
- Testing av biokarbon under relevante prosessforhold, f.eks. effekt av alkalimetaller på CO₂ reaktivitet
- Oppgradering av biokarbon - for å tilfredsstille prosesskrav
- Kommersiell bruk av biokarbon - genererer viktig erfaring
- Ny prosess teknologi med redusert karbonavtrykk, på sikt



Ny prosess teknologi med
redusert karbonavtrykk
inkl. CCU
Prosess21
ekspertgrupperapport
[link](#)

Forskning - Biokarbon sluttbruk

BioCarbUp resultater

Camilla Sommerseth, Ove Darell, Bjarte Øye, Anne Støre, Stein Rørvik (2020). Charcoal and use of Green Binder for use in Carbon Anodes in the Aluminium Industry. Light Metals 2020, The Minerals, Metals & Materials Series, pp. 1338-1347.

"The green binder was found to be highly detrimental for the anodes' CO₂ reactivity properties. Electrochemical consumption increased for anodes containing both green binder, larch and spruce compared to the reference anode."

Reports:

- Biomaterials as Binder in Anode Manufacturing
- Producing and characterizing bio-binders for anodes in Al production
- Properties of carbon reductants for Al, Si and ferroalloy production
- Comparison of CO₂ Reactivity measures and setups for the metallurgical industry



Forskning - Biokarbon bærekraft og verdikjeder

- Optimalisering av verdikjedene med tanke på energieffektivitet, utslipp inkl. CO₂ og minimering av kostnad

Stort behov, lite gjort/publisert



Forskning i industrien

- De metallurgiske industriene er store, og internasjonale
- Betydelig egen forskningsaktivitet og laboratorier og analyseutstyr
- Prosjekteier også i en rekke forskningsprosjekter (IPN, RFF, Pilot-E) støttet av f.eks. NFR
- Sitter på veldig mye erfaring og kompetanse på bruk av fossile reduksjonsmidler og materialer
- Elkem bruker i dag en del biokarbon og treflis i sine prosesser (Si). 100% biokarbon i Paraguay
- Eramet har testet biokarbon (Mn)
- Al industrien ser på mulighetene, primært bruk av biobasert pakkoks og bek
- Industrien deltar i eller eier "alle" prosjektene
- For mange av prosjektene forblir generert spesifikk kunnskap hos bedriften(e)
- Viktig med deling av prosjektresultater der dette er mulig, typisk fra forskerstyrte og kompetansebyggende prosjekter, for maksimal publisering av resultater

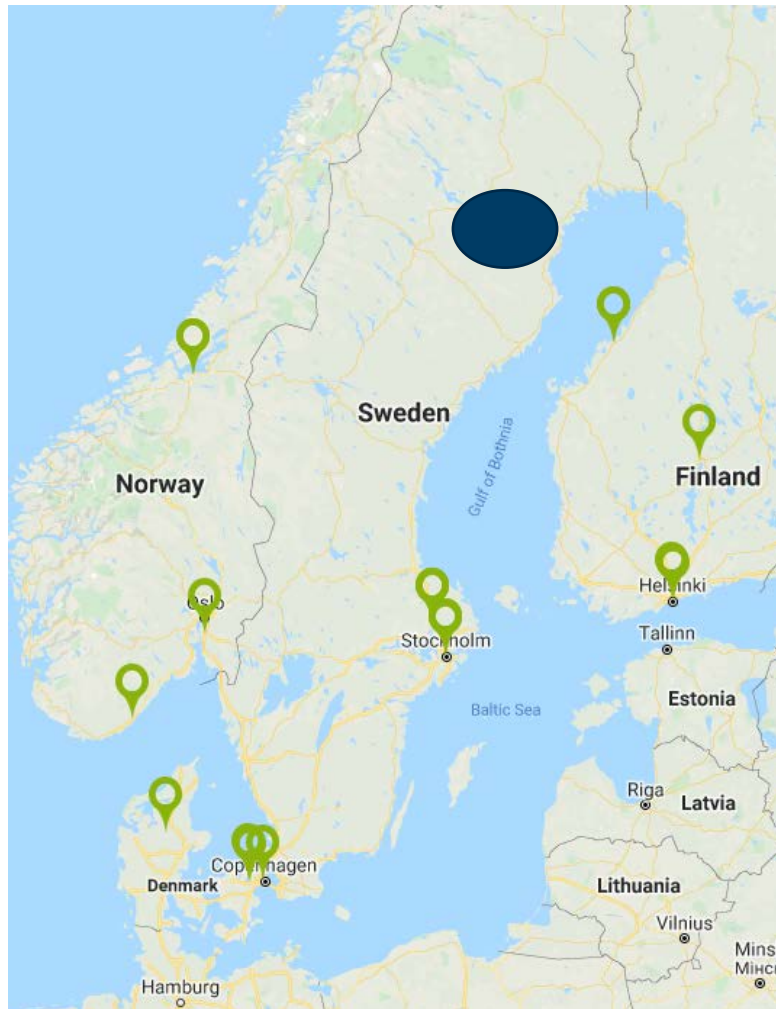
Forskning i resten av Norden/Verden

- I metallurgiske industrier i Sverige (f.eks. SSAB) og Finland - knyttet hovedsakelig til produksjon av jern og stål (kullpulver fyrte masovn (blast furnace)), dvs. andre metallurgiske prosesser sammenlignet med Norge
- Forskningsinstitutter i Sverige (Swerea MEFOS, RISE) og Finland (VTT)
- Universiteter i Sverige (Luleå, Umeå) og Finland (Oulu, Åbo)
Aekjuthon Phounglamcheik, Liang Wang, Henrik Romar, Norbert Kienzl, Markus Broström, Kerstin Ramser, Øyvind Skreiberg, Kentaro Umeki (2020). The Effects of Pyrolysis Conditions and Feedstocks on the Properties and Gasification Reactivity of Charcoal from Woodchips. Energy & Fuels 34(7):8353-8365.
- En del arbeid er publisert på bruk av biokarbon i produksjonen av jern og stål, men lite implementering i praksis
- Mye, men ikke alt, er matnyttig informasjon også for metallurgisk industri i Norge
- Viktig å utnytte dette, og hvis praktisk mulig samarbeide på enkelte områder

Forskning i resten av Norden/Verden



<https://www.nordicbiochar.org/about-us/map/>



Scopus søk (tittel, sammendrag, nøkkelord):
 (biocarbon OR biochar OR biocoal OR charcoal) AND (metallurgy OR metallurgic OR metallurgical) - **NB! Fanger ikke opp alt**

jan 21 vs jan 20:
 Norge: 19 (16)
 Sverige: 9 (9)
 Finland: 4 (4)

Nordic Biochar Network info:
 Kathrin Weber,
 SINTEF Energi



<input type="checkbox"/> United States	(54) >	<input type="checkbox"/> Austria	(10)
<input type="checkbox"/> China	(46) >	<input type="checkbox"/> Japan	(10)
<input type="checkbox"/> Brazil	(35) >	<input checked="" type="checkbox"/> Sweden	(9)
<input type="checkbox"/> France	(30) >	<input type="checkbox"/> Belgium	(7)
<input type="checkbox"/> India	(30) >	<input type="checkbox"/> Indonesia	(7)
<input type="checkbox"/> Germany	(29) >	<input type="checkbox"/> South Africa	(7)
<input type="checkbox"/> Spain	(25) >	<input type="checkbox"/> South Korea	(6)
<input type="checkbox"/> United Kingdom	(22) >	<input type="checkbox"/> Mexico	(5)
<input type="checkbox"/> Australia	(20) >	<input type="checkbox"/> Switzerland	(5)
<input type="checkbox"/> Italy	(20) >	<input type="checkbox"/> Ukraine	(5)
<input type="checkbox"/> Russian Federation	(20) >	<input checked="" type="checkbox"/> Finland	(4)
<input checked="" type="checkbox"/> Norway	(19) >	<input type="checkbox"/> Netherlands	(4)
<input type="checkbox"/> Canada	(14) >	<input type="checkbox"/> Slovakia	(4)
<input type="checkbox"/> Poland	(12) >	<input type="checkbox"/> Taiwan	(4)

Ytterligere forskningsbehov og initiativer for å dekke industriens behov

- Er det nok? Nei, men det er en god start!
- Hvorfor er det ikke nok?
- Dagens tilgjengelige biokarbon er "ikke godt nok" for noen metallurgiske prosesser
- Fordi vi snakker om diverse hele verdikjeder som må etableres og optimaliseres, og som må kunne forsyne den metallurgiske industrien med de nødvendige bærekraftige reduksjonsmidler og biomaterialer over en lang tidshorison - forutsigbarhet er ønskelig, og biokarbon kostnaden må ned!
- Verdikjedene konkurrerer med andre verdikjeder for produksjon av biodrivstoff, kjemikalier, varme, kombinert varme og kraft, og biomaterialer fra bioressurser.

Er det nok til alle?

Dagens metallurgiske prosesser er helt avhengig av bruk av fast karbon i sine prosesser!

Konklusjoner

- Fokus på bruk av biokarbon i metallurgisk industri øker stadig pga. behovet fra å redusere deres klimafotavtrykk, og genererer et stort forsknings- og utviklingsbehov
- En rekke aktører i Norge, Norden og internasjonalt jobber med eller tett inn mot problematikken, og mange flere på tilknyttede områder
- Trondheimsmiljøet med SINTEF, NTNU og RISE-PFI forsker mest i Norge på biokarbon for metallurgisk industri
- Ås miljøet med NIBIO og NMBU er sentrale aktører på ressursiden
- Fremdeles stort behov for mer forsknings- og utviklingsaktivitet, det er ingen teknikker eller teknologier som er opplest og vedtatt som de optimale
- Skrikende mangel på teknikker og teknologier som er kommersielle i Norske verdikjeder, under Norske forhold - kostnader må reduseres, og har vi nok ressurser til alle gode formål?
- Også et behov for å samordne og øke fokuset på biokarbon forskning og utvikling, som kan gjøres gjennom f.eks. eksisterende nettverk og Grønn Plattform initiativer

TAKK FOR OPPMERKSOMHETEN!

SPØRSMÅL?

oyvind.skreiberg@sintef.no



Teknologi for et bedre samfunn