

Fjernelse af sand i tang/ålegræs

Delundersøgelse i Bio Power projektet

Tyge Kjær

Roskilde Universitet

Den 24. marts 2025.

1. Introduktion

Sand udgør et stort problem ved anvendelse af tang og ålegræs. Det er særlig kritisk, hvis tang/ålegræs skal anvendes i biogas- eller pyrolyseanlæg. Sand kan også være et problem ved andre biomasser, men dog i langt mindre grad.¹

Undersøgelser viser, at håndopsamlet 100 kg tang/ålegræs, indsamlet på opvækstområdet, typisk vil være sammensat med følgende fordeling: 64 kg tangmateriale, 18 kg sand og 18 kg andet, svarende til en procentfordeling på 64% tangmateriale, 18% sand og 18% askestoffer.²

Fordelingen er helt anderledes, hvis tangmaterialet indsamles på stranden. Her er procenterne 48% tangmaterialet, 40% sand og 12% askestoffer (se The Monster, forsøg 3). Det betyder, at 64 kg tangmateriale efter denne procentsammensætning vil være ledsaget af i alt **53 kg sand**. Tilsvarende mønster findes ved de to andre afprøvede indsamlingsmetoder.

Der findes også positive resultater, nemlig ved opvarmning af tangmaterialet (se forsøg nr. 7). Ved opvarmning slipper sandet, og tangmateriales procentandel nærmer sig procenten for tangmateriale, der er håndindsamlet på opvækstområdet. Standarden er som nævnt på 64%; opvarmningsforsøgene viser, at tangmaterialet udgør **62%, 63% og 55%**, som er forholdsvis tæt på tangmaterialets procentandel i det håndindsamlede tangmateriale.

2. Sandproblemet

Der er flere forskellige typer af negative effekter af for meget sand i den biomasse, der tilføres et biogas- eller et pyrolyseanlæg, som gør det påkrævet at finde en løsning på sandproblemet. Effekterne kan sammenfattes i følgende:

- Biogas/Pyrolyse: Sand er slibende: Slitage på rør, ventiler, reaktorer, mv., som øger vedligeholdelsesomkostningerne.

¹) Sand kan også forekomme f.eks. i kvæggylle, hvis sand er brugt som 'strøelse'. Forsøg her har vist, at især de store partikler (over 1 mm) kan fjernes ved sedimentering; se: **Demonstration af teknologier til foirbehandling halm og fjernelse af sand**. Slutrapport. Henrik B. Møller et al; Århus Universitet, 2020.

²) jf. **Udvikling af strandrensning – test af tangindsamlingsmateriel 2013**; Anders Fredenslund, Roskilde Universitet, oktober 2013; samt **Sandrensning på stranden**. Forsøg i Køge Bugt; Notat 4, Tyge Kjær, Bio Power februar 2025.



Power Bio



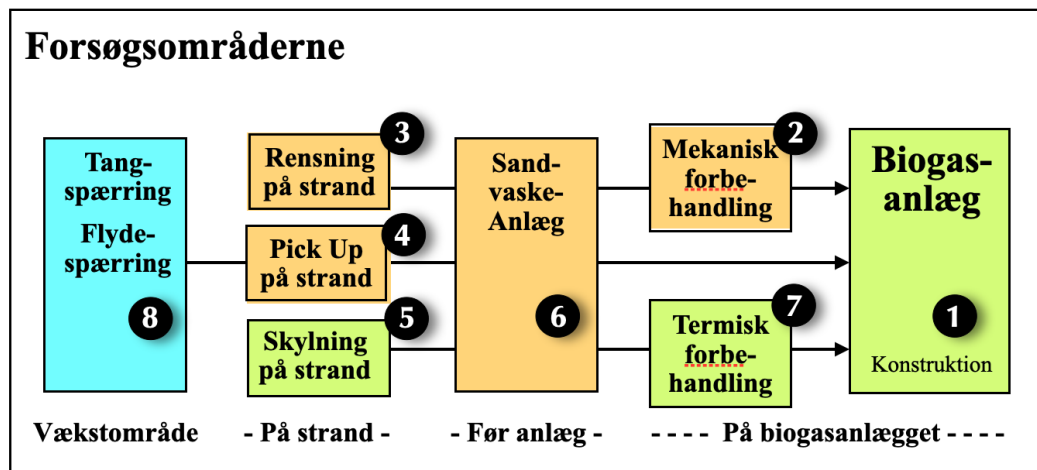
- Biogas/Pyrolyse: Tilstopning, som kan medføre blokeringer i bl.a. indfødnig og intern rørtransport, o.lign.
- Biogas/Pyrolyse: Sand bidrager ikke til processerne, men tager plads op for biomassen og derved nedsætter effektiviteten (kapacitetsudnyttelsen) ved anvendelse af biomassen.
- Biogas: De fleste biogasanlæg kan maksimalt køre med et tørstofindhold på 12% af hensyn til viskositeten. Da sand ved omrøring kan fungere som 'hastighedsfortykkende', betyder det, at viskositeten stiger/omrøringen bliver sværere med sandet, som så vil kræve endnu lavere tørstofniveau og dermed et reduceret gasudbytte.
- Pyrolyse: Et for højt sandniveau kan have konsekvenser for udbytte og kvaliteten af biochar, bioolie eller syngas.

De nævnte effekter – slitage, tilstopning, reduceret effektivitet, stigende viskositet og produktkvalitet – viser, at det er vigtigt at finde en løsning på sandproblemerne, hvis tang/ålegræs skal anvendes. I denne undersøgelse er der fokus på anvendelsen af tang i et biogas- eller pyrolyseanlæg. Problemstillingen vil også gøre sig gældende ved andre anvendelser af tang/ålegræs, især hvis der er en sandbelastet transport fra opvækstområde til opskylsområdet på stranden.

3. Forsøgene

I forbindelse med anvendelsen af tang/ålegræs på biogaaanlægget i Solrød er der gennemført en række forsøg, hvor der har været arbejdet med hele kæden fra opvækstområdet, i indstrømnings- og opskylsområderne til forbehandling på biogasanlægget. De samlede aktiviteter kan illustreres med nedenstående figur:

Figur 1: Forskellige forsøg og undersøgelser af mulighed for fjernelse eller undgåelse af sand i tang og ålegræs. (Numrene svarer til bilaget, hvor de enkelte forsøg er gennemgået).



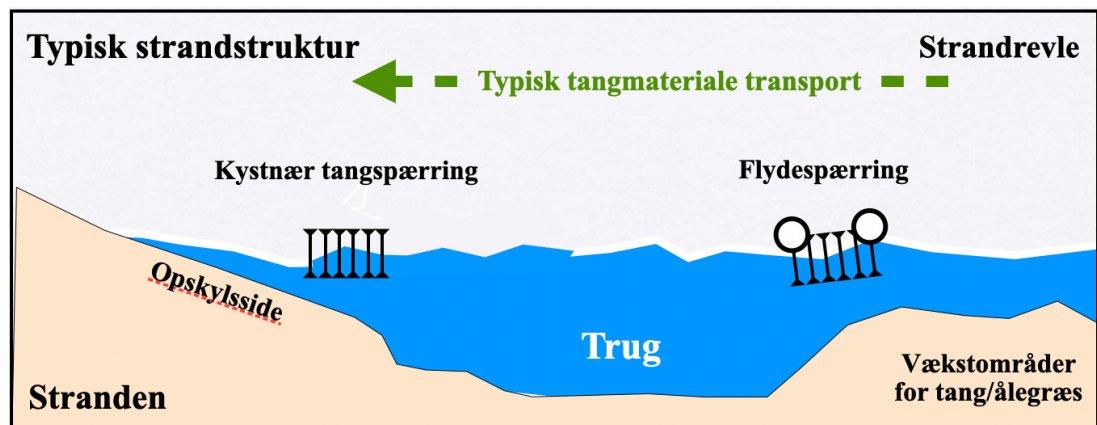
Figuren viser, at forsøg og udvikling har fundet sted i alle led, dels på selve biogasanlægget, dels som input til anlægget, og dels i indsamlingen af tang/ålegræs på stranden. Der findes sand på tang/ålegræs i opvæksten, men der er tale om langt mindre sand end den sandmængde, som yderligere fæstes på tang/ålegræs gennem transporten fra opvækstområdet frem til opskyllet på stranden. De enkelte forsøgsaktiviteter er nærmere gennemgået i bilagene.

Det sammenfattende resultat er, at især én metode har – som nævnt vist sig virksom, nemlig termisk forbehandling på biogasanlægget. De resterende metoder har enten haft

begrænset virkning (mekanisk forbehandling), haft en negativ virkning med forøget sandmængde (rensning på strand og pick up på strand - »The Monster«) eller vist sig økonomisk urealistisk (sandvaskeanlæg).³

Der bliver tilført sand til tang/ålegræs fra det tidspunkt, materialet forlader opvækstområdet til materialet ender som opskyl på stranden. Løsningen kunne derfor bestå i, at tangen ikke opsamles på stranden som opskyl eller i kystnære vandområde, hvor bølger og tidvand kan bidrage til 'sand-fyldningen'. Denne opsamling kunne bestå i en tangspærring, tæt på kysten, som man undgår sandet fra strandopskyllningen eller længere ud, så man både undergår sand fra kysten og sand fra de kystnære område som illustreret i nedenstående figur.

Figur 2: Reduktion af sandbelastningen ved etablering af kystnær tangspærring eller opvækstnær flydespærring.



Spærringerne etableres ikke permanent, men placeres (og replaceres) efter indstrømningsmønstret for de forskellige tangarter og ålegræs.

4. Bilagene

Slide 1: Sand i tang/ålegræs. Introduktion.

Slide 2: Sand i pyrolyseanlæg

Slide 3: Oversigt samt (1) Konstruktionskrav til biogasanlæg

Slide 4: (2) Forbehandling på anlæg

Slide 5: (3) The monster – testing

Slide 6: (4) Skyllning af tang

Slide 7: (5) Rensning på strand

Slide 8: (6) Sandvaskeanlæg

Slide 9: (7) Opvarmning (termofil biogas temperatur på 50-52°C)

Slide 10: (8) Tangspærring

Slide 11: Billed af tangrenset strand.

Numrene (1), (2) osv. refererer til de forskellige indsatsområder, jvf. oversigten i figur 1,

³⁾ To andre notater handler også om sand, nemlig Notat 4 • *Bio Power. Sandrensning på stranden*. Forsøg i Køge Bugt; den 6. februar 2025, og Notat 8 • *Bio Power. Etablering af tangspærring*, den 18. november 2024.

Sand i tang/ålegræs

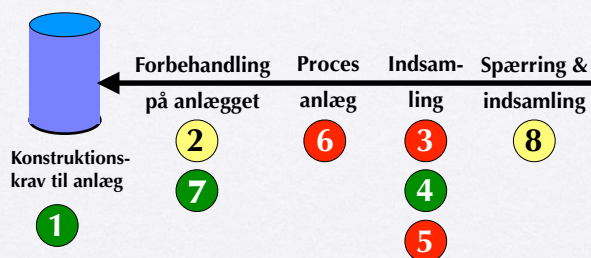
Tyge Kjær, Roskilde Universitet, den 24. marts 2025

Formålet er at give en oversigt over de problemstillinger der er knyttet til sand i biomassen. Der tages udgangspunkt i udvikling og udviklingsforsøg på Solrød Biogas. Baseret på erfaringerne herfra kan man også vurdere krav og muligheder ved anvendelse af tang på pyrolyse-anlæg. Der er nogle ligheder og nogle få forskelle på effekterne af sand i biomassen for de to teknologier - biogas og pyrolyse.

I forbindelse med Solrød Biogas A/S har RUC og Tanggruppen (en arbejdsgruppe i Solrød Kommune) arbejde med en række forsøg i alle led fra vækstområderne for tang/ålegræs til forbehandlingsanlæg.

Reduktion af sand: 8 indsatser Biogas

Se de efterfølgende beskrivelser



Trafiklyset er her anvendt som farvekode; rødt skal man nok ikke gå overfor; gul vent lige lidt, og grøn: så er det afsted. Se de nærmere beskrivelser i det efterfølgende

Problemer med sand:

- **Biogas/Pyrolyse:** Sand er slibende: Slitage på rør, ventiler, reaktorer, mv., som øger vedligeholdelsesomkostningerne.
- **Biogas/Pyrolyse:** Tilstopning, som kan medføre blokeringer i bl.a. indfødning og intern rørtransport o.lign.
- **Biogas/Pyrolyse:** Sand bidrager ikke til processerne, men tager plads op for biomassen og derved nedsætter effektiviteten (kapacitetsudnyttelsen) ved anvendelse af biomassen.
- **Biogas:** De fleste biogasanlæg kan maksimalt køre med et tørstofindhold på 12% af hensyn til viskositeten. Da sand ved omrøring kan fungere som 'hastighedsfortykkende', betyder det, at viskositeten stiger/omrøringen bliver sværere med sandet, som så vil kræve endnu lavere tørstofniveau.
- **Pyrolyse:** Et for højt sandniveau kan have konsekvenser for udbytte og kvaliteten af biochar, bio-olie eller syngas.

Hovedkonklusion: Så lidt sand som muligt



Sand i pyrolyseanlæg

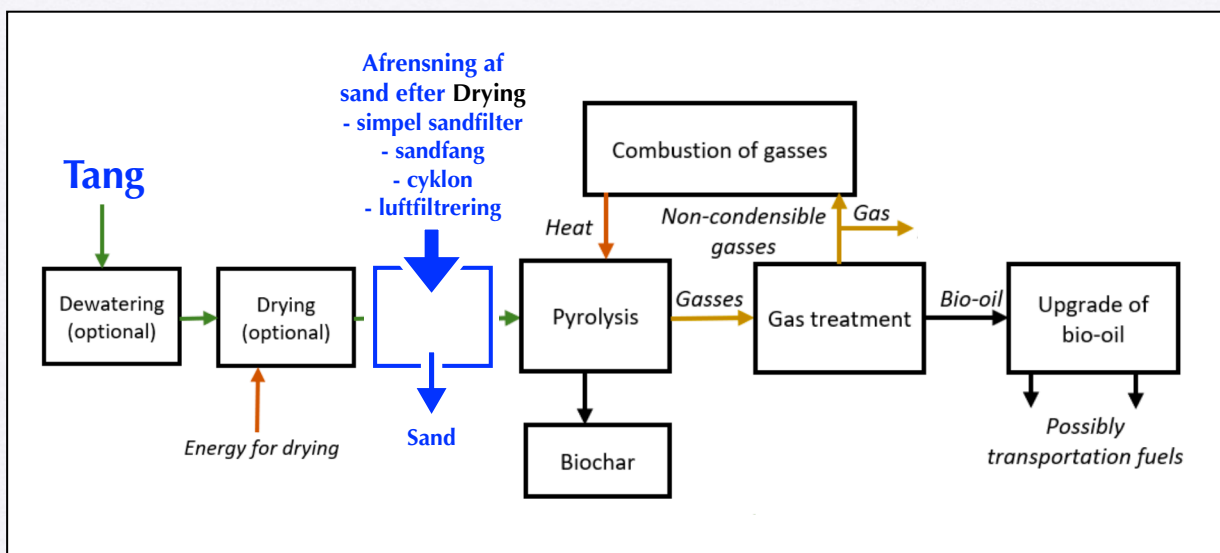
Kombination af to metoder vil i særlig grad kunne løse sandproblemet i forhold til et pyrolyseanlæg. Her tages udgangspunkt i teknologibeskrivelsen af slow pyrolysis i »Renewable Fuels«, Technology Descriptions; Danish Energy Agency, 2024, s. 348-382. Som det fremgår af tegningen indskydes der et 'sandfilter' mellem tørring og pyrolyse.

Erfaringselementer:

- 1 Indbygning af sandfang, sandfilter på Anlægget - se nedenfor på figuren
- 4 Indsamlingsmetoder på stranden
- 7 Opvarmning - allerede indbygget i pyrolyseanlægget

Proces i et pyrolyse anlæg - Slow pyrolysis

Forslaget bygger især på forsøg med opvarmning af tang (se 7), som får sandet til at »slippe« tangen. Se forsøgsbeskrivelsen.



Oversigt - sand i tang

Arbejdet med forskellige tiltag til reduktion af sand i tang i biogasanlæg:

- 1. Konstruktionskrav til biogasanlægget:**
Konstruktionskrav til biogasanlægget
- 2. Forbehandling på anlægget**
Forbehandling på anlæg med lille effekt.
- 3. Indsamling af tang**
Mange maskinforsøg. Her: The Monster
- 4. Skylning af tang**
Skylning af tangmaterialet i havvand
- 5. Rensning på strand**
Tromlerenser - forsøg
- 6. Procesanlæg til afrensning af sand**
Forundersøgelser
- 7. Forbehandling med opvarmning**
Opvarmning af tang til 52-54 °C.
- 8. Reduceret sandbelastning ved tangspærring**
Opvarmning af tang til 52-54 °C

Biogasanlæg får typisk sand fra følgende kilder:

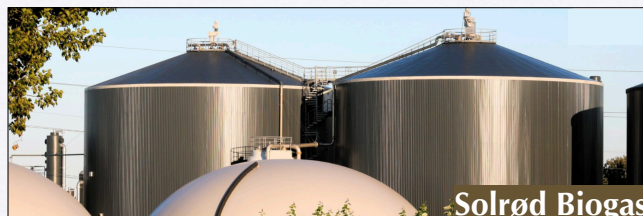
- Gylle, hvor sandet kan komme fra foder, strøelse slitage på beton, m.v. med sand på 1,5% af gyllemængden. Øget problem med den stigende brug af sand som 'sengemateriale' ved kvæg. Forbrug på op til 10 kg stand pr. ko pr. dag.
- Sand i andre råvarer til biogasanlæg, hvor der især kan peges på tangmateriale.

Metode: Sand ved konstruktion

1. Konstruktionskrav

Solrød Biogas A/S

I forbindelse med udbud af byggeopgaven blev der stillet krav til byggekonsortiet, at anlægget skulle kunne tåle en bestemt mængde sand, dels fra tang, men også fra andre råvarer (gylle og pektinrester). Det skulle garanteres, at anlægget skulle kunne tåle en sandmængde på op til ca. 520 tons pr. årsbasis, svarende til en sandmængde på 0,2 til 0,3% af de samlede råvaremængder.



Solrød Biogas

Man kan ikke undgå, at sand akkumuleres i biogasanlægget. Efter 8 års drift har man rensat Solrød Biogas for ophobet sand. Sandet har ophobet sig i bunden af biogasreaktorerne og i de rør, som transporterer den afgassede biomasse. Jo færre afrensning, jo bedre, fordi sandet medfører lavere effektivitet, driftstop og genstartperiode med begrænset produktivitet.

Se: <https://solrodbiogas.dk/sand-fjernes-fra-biogassens-maskineri/>

Sand i et biogasanlæg betyder:

- lavere effektivitet (sand optager pladsen for råvarer)
- belastning og tilstopning af rør, ventiler, mv.
- stigende tørstofniveau og belastning af omrøringen

2. Forbehandling

Aktuelt anvendt: Forbehandling på anlægget

Proces - to formål:

(1) Separering/finddeling

Tang/ålegræs føres til en nedgravet tank (se tegningen), hvor der er væske i bunden. Roterende 'knive' findeler tangmaterialet. Efter findelingen forventes det, at tangmateriale og sand separeres, og at sandet udfældes i et sandfang i bunden af tankanlægget.

(2) Reducere tørstofindholdet

Tang/ålegræs materialet har et tørstofindhold, der typisk er på 26%; men kan svinge mellem 20-45%. For at kunne pumpe det ind i biogasanlægget, sænkes tørstofniveauet med væske fra biogasanlægget.

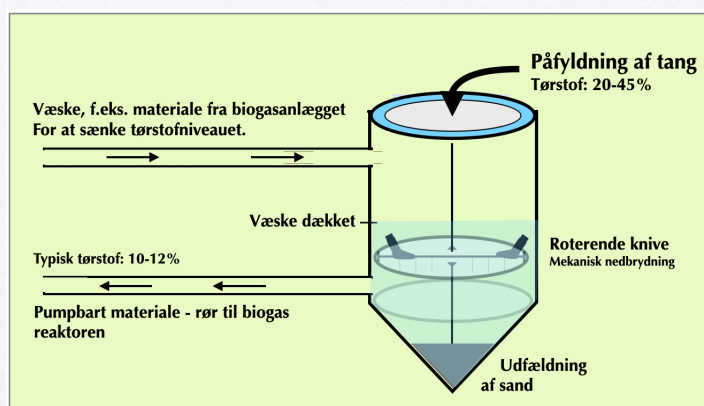
Konklusion: Løbende undersøgelser har vist, at kun meget lidt sand eller slet ingen sand ender i sandfanget. Sandet 'hænger stadig fast på tangmaterialet. Det anden formål, sænket tørstofniveau er fuldt opfyldt.

Kontrol - Håndindsamlet:

- 64% Tang/ålegræs
- 18% sand
- 18% askestoffer

Naturlig sammensætning. Håndopsamlet tangmateriale

Metode: Sand ved forbehandling



3. The monster - Testing

Forsøg, ikke længere anvendt

Testresultater (% of tørstof):

Tang/ålegræs samlet på stranden:

- 48% Seaweed
- 40% sand
- 12% ash substances

Tang/ålegræs samlet op ude i vandet:

- 49% Seaweed
- 33% sand
- 18% ash substances

Konklusion: Relativt kostbar og effektiviteten for lille. Videre brug blev opgivet, da sandniveauet er betydeligt højere (mellem 33-44%) i forhold til det 'naturlige' niveau på ca. 18%. Det kan delvis måske skyldes, at Monster maskinen 'pisker' sand op fra strand/havbund, dermed øger sandindholdet.

Kontrol - Håndindsamlet:

- 64% Tang/ålegræs
- 18% sand
- 18% askestoffer

Naturlig sammensætning. Håndopsamlet tangmateriale



4. Skylning af tang

Forsøg - nu anvendt i praksis - se Notat 4.

Testresultater (% tørstof):

Tangprøverne - reference (4 tripple tests):

- 39% Seaweed
- 44% sand
- 17% ash substances

Tang samlet ude i vandet:

- 42% Seaweed
- 35% sand
- 23% ash substances

Konklusion: Sandets procentandel falder med 9%. Det er ikke en »super« metode; men da tangen alligevel skal indsamles, er der ingen reelle merudgifter ved denne fremgangsmåde.

Kontrol - Håndindsamlet:

- 64% Tang/ålegræs
- 18% sand
- 18% askestoffer

Naturlig sammensætning. Håndopsamlet tangmateriale



5. Rensning på strand

Forsøg - ikke anvendt. Se Notat 4

Test af mobil tromlerenser

Målsætning: reduceret sandindholdet til 10% Tørstof. Der er ikke lavet analyser af det testede materiale, fordi anlægget ikke virkede efter hensigten:

- Separering af sand og tang ikke god.
- Tangmaterialet blev nedbrudt og sammenklisset med sand.
- Den mobile tromlerenser kræver udlagt køreplader, som giver mange problemer.

Konklusion: Ikke effektiv, og alt for dyret. Endvidere mange praktiske problemer med for mange negative konsekvenser for stranden, strandgæster osv.

Kontrol - Håndindsamlet:

- 64% Tang/ålegræs
- 18% sand
- 18% askestoffer

Naturlig sammensætning. Håndopsamlet tangmateriale



6. Sandvaskeanlæg

Forundersøgelse af et anlæg til separering af tang og sand: et sandvaskeanlæg. Specifikationer:

Kapacitet:

- Behandling pr. dag: 50 tons - 17.300 tons/år
- Anlægsomkostning ca. 9 mio. kr (dagens priser)

Proces:

- Optimal tørstofniveau: 6-12 %
- Nødvendigt at tilføre spulevand.
- Leverandøren har kørt forsøg med tangmateriale fra Solrød Strand med høj udvaskningskvalitet, og konkluderer, at 95-99% af det fraseparerede sand kan anvendes i forskellige fraktioner.

Konklusion: Afrensning af sand er på et meget høj niveau med mulighed for sandfrit tang til biogasanlægget og genanvendelig sand. Anlægs- og driftsomkostninger var imidlertid alt for høje, så projektet blev ikke iværksat.

Kontrol - Håndindsamlet:

- 64% Tang/ålegræs
- 18% sand
- 18% askestoffer

Naturlig sammensætning. Håndopsamlet tangmateriale



7. Opvarmning

Forundersøgelse: Forbehandling af tang med en temperatur, som svarer til procestemperaturen i et termofil biogas anlæg på 50-52°C. Tre forsøg:

Tang/ålegræs samlet i en mile på stranden:

- 56,2% Tang direkte uden forbehandling
- 61,7% Tang efter varmebehandling 50-52°C.

Tang/ålegræs på stranden:

- 41,2% Tang direkte uden forbehandling
- 62,5% Tang efter varmebehandling 50-52°C.

Tang/ålegræs indsamlet ude i vandet:

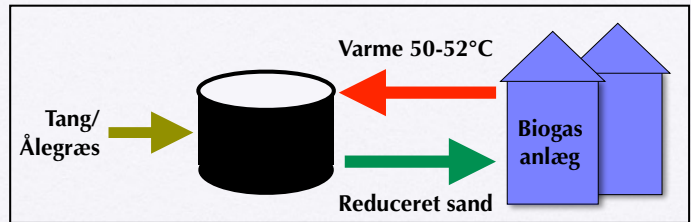
- 47,2% Tang direkte uden forbehandling
- 55,0% Tang efter varmebehandling 50-52°C.

Konklusion: Statistikken viser, at procentandelen for tang/ålegræs bevæger sig tæt op mod standardtallet på **64%**. Effekten er særlig tydeligt for tang/ålegræs fra en mile på stranden og tang/ålegræs fra stranden

Kontrol - Håndindsamlet:

- 64% Tang/ålegræs
- 18% sand
- 18% askestoffer

Naturlig sammensætning. Håndopsamlet tangmateriale



Solrød Biogasanlæg er konstrueret sådan, at anlægget vil kunne tåle op til 520 tons sand på årsbasis uden negative konsekvenser for pumper, ventiler og bundfældning i biogasanlæggets reaktortank (rådnertank). 400 tons af de 520 tons kan reserveres til tang. Ved opvarmning reduceres sandindhold i gennemsnit til 22,3%. I så fald kan anlægget modtage **1.794 tons** tang/ålegræs årligt.



Tang mile

8. Tangspærring

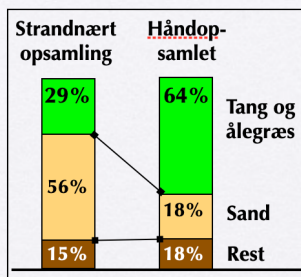
Forslag til forsøg.

Undersøgelser har vist, at tang/ålegræs optager sand i bevægelsen fra opvækststedet til opskyl på stranden. Det kan illustreres med følgende figur:

Et typisk hovedmønster:

Figuren viser to opsamlingsituationer:

- Opsamling i strandkanten 2-4 meter ude med 56% sand.
- Håndopsamling af tang og ålegræs, som spejler det naturlige sandniveau med 18% sand.

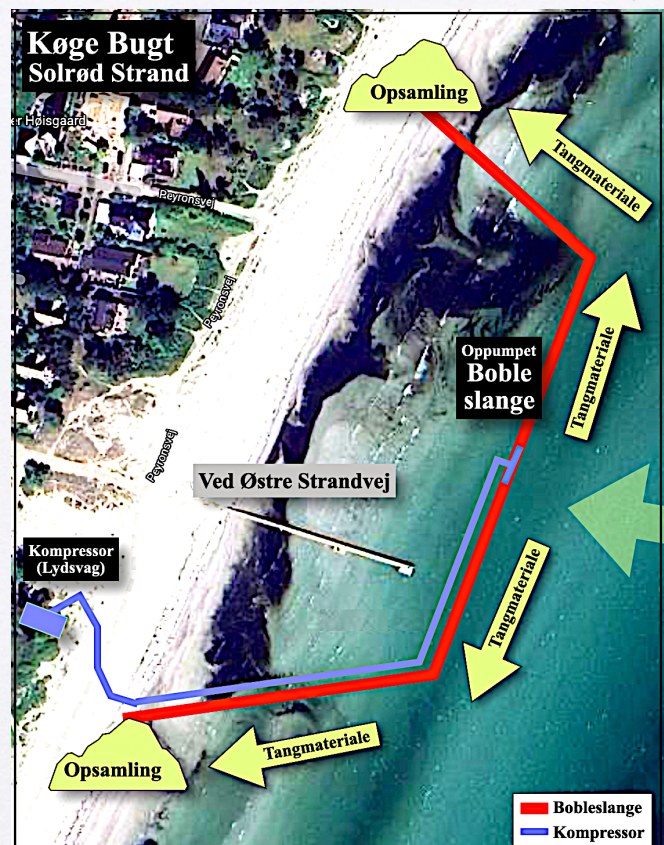


Til undersøgelse: Hvor tæt kan man komme på det »naturlige« sandindhold (altså det niveau, som er opnået ved håndopsamlingen) ved at spærre for tangen inden opskylning på kysten (vanddybden er kun 40 cm 10 meter ude).

Kontrol - Håndindsamlet:

- 64% Tang/ålegræs
- 18% sand
- 18% askestoffer

Naturlig sammensætning. Håndopsamlet tangmateriale



Efter afrensning - samme dag

