



hepia

Haute école du paysage,  
d'ingénierie  
et d'architecture de Genève

# Deep Blue Hydrogen

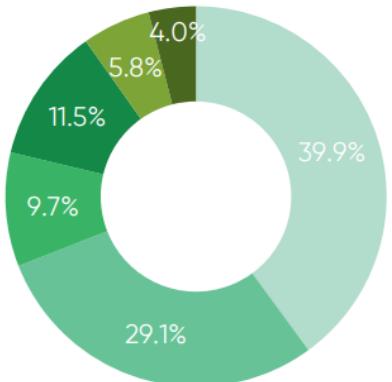
Vom Wachstum von Seepflanzen zur Energieerzeugung

09.2025

Willkommen



# Kontext



- LNG / GNL
- Nordsee / Mer du Nord
- Russland / Russie
- Nordafrika / Afrique du Nord
- Grossbritannien / la Grande-Bretagne
- Kaspische Region / Région caspienne

<sup>1)</sup> Aufgrund der Veränderungen an den europäischen Gashandelsmärkten, auf denen die schweizerischen Gasversorger ihre Gasmengen kontrahieren, ist eine belastbare länderspezifische Darstellung nicht mehr möglich.

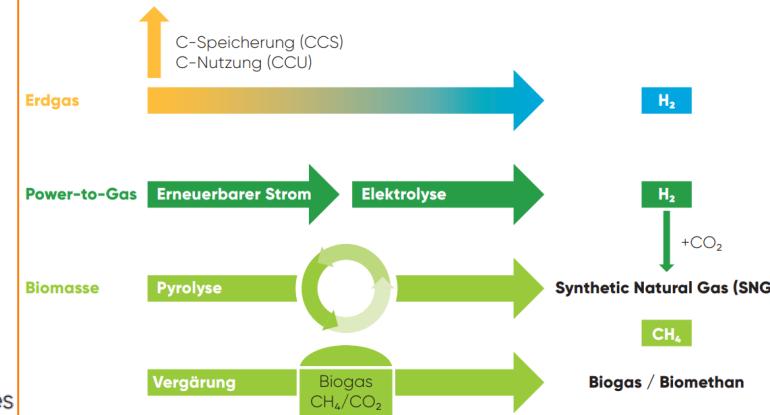
<sup>1)</sup> En raison des changements sur les marchés européens du gaz, sur lesquels l'industrie gazière suisse contracte ses volumes de gaz, il n'est plus possible d'établir une vue d'ensemble représentative et fiable pour chaque pays.

Quelle: European Gas Flow dashboard, entsog, 5.4.2024

Source: European Gas Flow dashboard, entsog, 5.4.2024

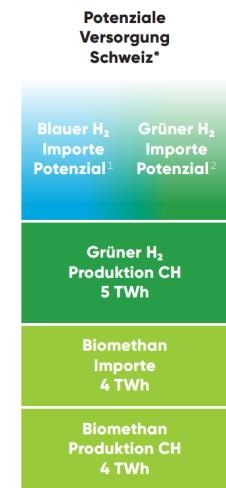
## Formen von erneuerbarem bzw. klimaneutralem Gas und ihr Potenzial

### Produktionspfade für erneuerbare Gase



### \* Studien:

- Hanser Consulting AG (2018): Erneuerbare Gasstrategie für die Schweiz
- WSL Berichte, Heft 57 (2017): Biomassepotenziale der Schweiz für die energetische Nutzung
- EMPA/PSI (2019): Potenzialanalyse Power-to-Gas in der Schweiz



<sup>1</sup> abhängig von den Erdgasreserven

<sup>2</sup> abhängig von der Entwicklung der erneuerbaren Stromproduktion in Europa und angrenzenden Regionen

Quelle: VSG

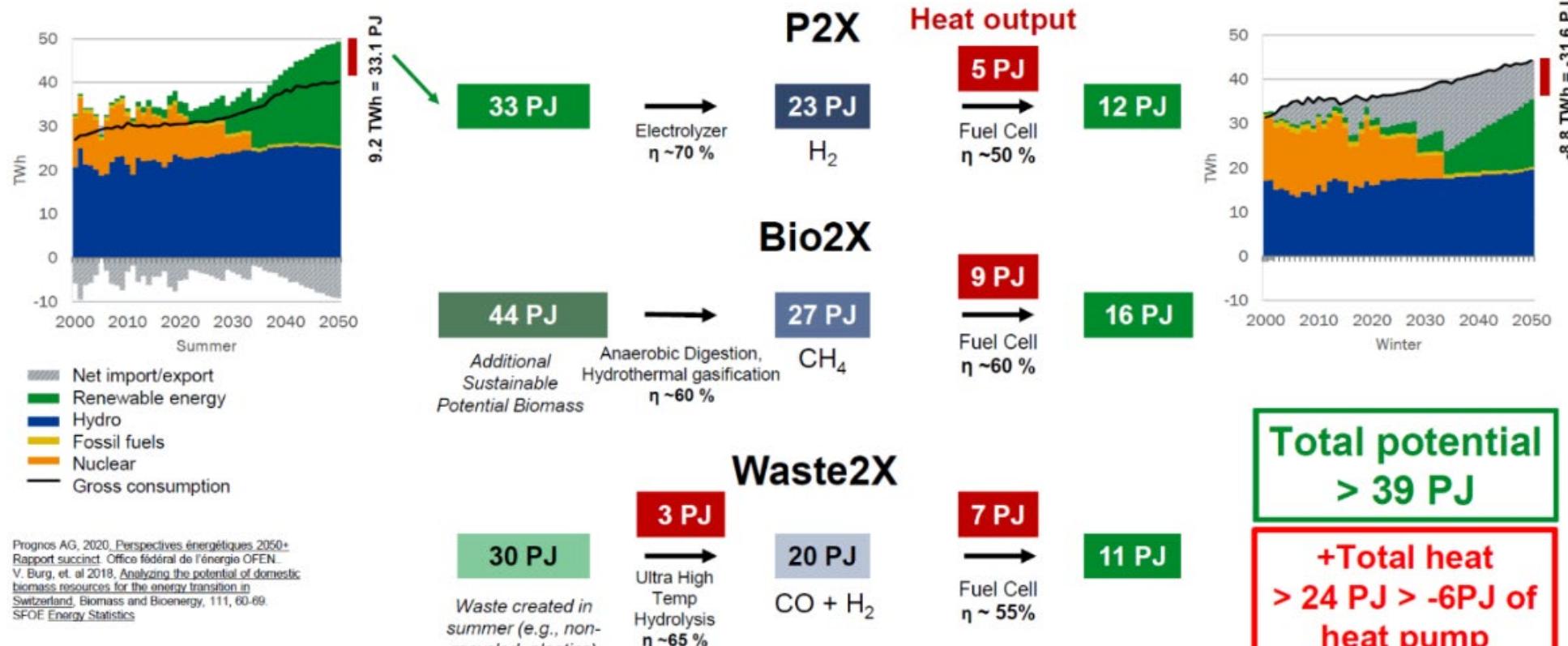
# Kontext

EPFL ETH zürich

PAUL SCHerrer INSTITUT  
PSI

Empa

## Summer/winter electricity balance, scenario ZERO basis



27.10.2023 | 6

# Ergebnisse

# Anbauen von Makrophyten:

## Genehmigung, Bau und Einrichtung der Plattform

### Bewilligungsprozess und Einsprachen

- Erste administrative Ablehnung durch die Kantone Waadt und Neuenburg
- Einsprache der Neuenburger Fischervereinigung
- Aufwändiges Bewilligungsverfahren im Kanton Neuenburg (Zustimmung der Fischervereinigung, Nachweis des «Nicht-Bau»-Charakters, Baubewilligung, Konzession und Stellungnahmen mehrerer Dienststellen erforderlich)
- Bewilligung schliesslich durch das Amt für Umwelt (DGE) des Kantons Waadt für die Installation in Morges erteilt, nach einer Koordination zwischen mehreren Akteuren

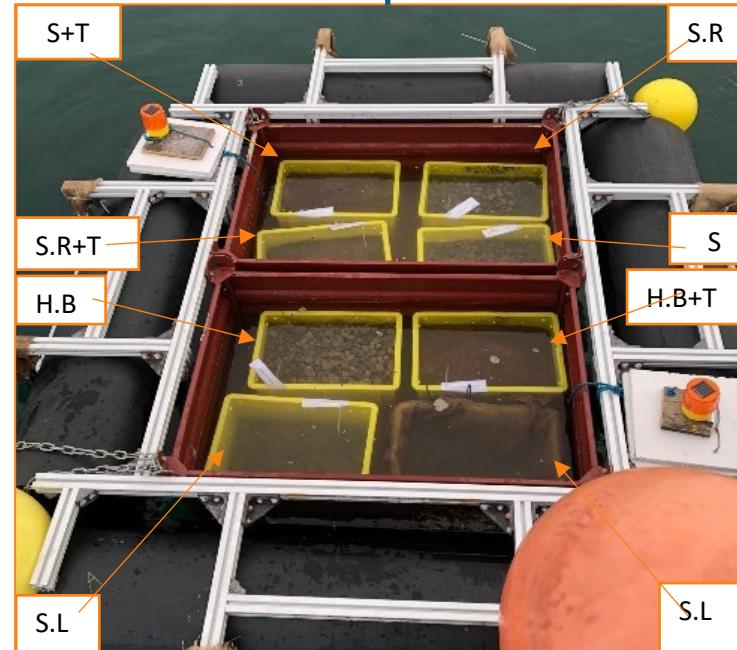


# Anbauen von Makrophyten:

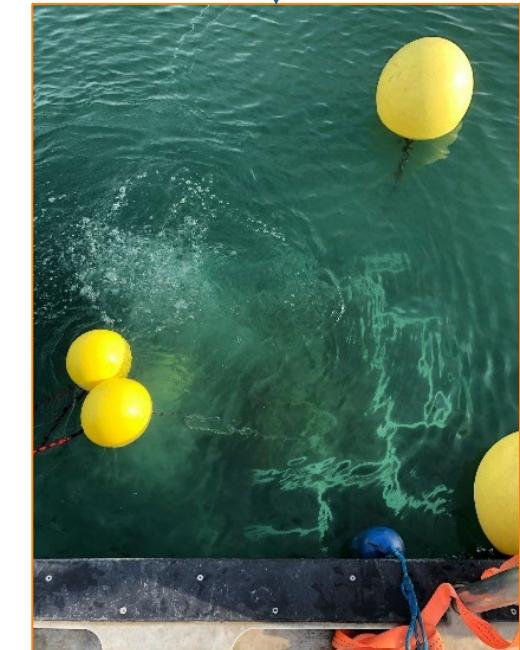
## Einrichtung der Pflanzbecken für Makrophyten



Vorbereitung der  
Polypropylen-Erntekisten



Platzierung der Erntekisten auf  
der Plattform



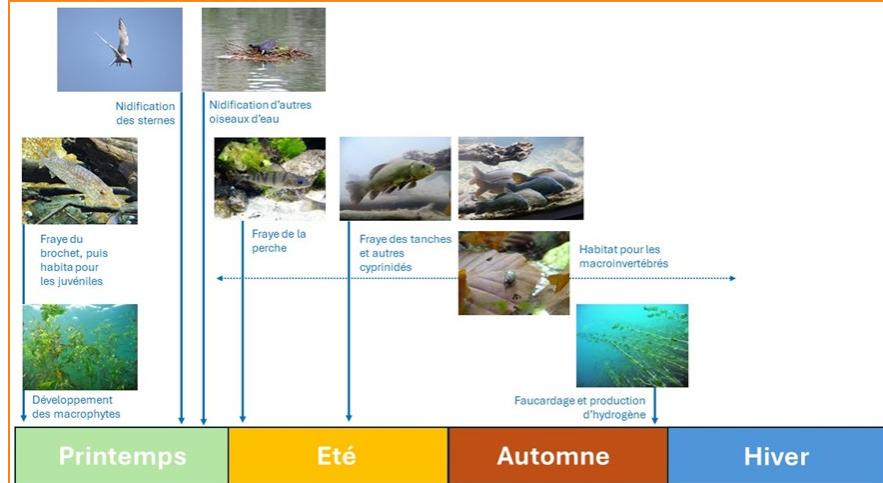
Eintauchen der Plattform

# Kultivierung von Makrophyten: Kultivierung von Makrophyten



- Stabile Verankerung der Substrate und Pflanzbecken trotz widriger Wetterbedingungen.
- Erfolgreiche Wiederaufnahme des Wachstums der Stecklinge, trotz anfänglicher Verzögerung im Vergleich zu bereits vorhandenen Pflanzen.
- Vier geeignete Substrattypen identifiziert, keiner davon stellte einen limitierenden Faktor dar.
- Deutliche Fischpräsenz zwischen den kultivierten Makrophyten beobachtet.
- Durchwachsenes Laichkraut (*Potamogeton perfoliatus*) lässt sich leicht kultivieren und bildet dichte Bestände und Unterwasservegetation.

# Ökologisches Kompensationspotenzial und Lebensraumschaffung



Angesichts der starken Einsprachen in natürlichen Seen werden die Plattformen nicht in grossem Massstab eingesetzt. Sie bleiben jedoch relevant für ökologische Kompensationsprojekte in künstlichen Seen. Das Maison de la Rivière (MDLR) wird daher seine Bemühungen auf diese Ausrichtung konzentrieren.



**Wasserspiegelschwankungszonen:** In Speicherstaufen fehlt die Vegetation vollständig, was zu einem erheblichen Verlust an Biodiversität führt.

**Makrophyten:** Erfassung der vorhandenen Arten, Auswahl einheimischer, nicht bedrohter Arten, Entnahme von Stecklingen und Wiederauspflanzung in die Pflanzbecken.

**Wirbellose Tiere:** Die Makrophytenbestände fördern die Entwicklung aquatischer und terrestrischer Wirbelloser, die als Nahrungsgrundlage für zahlreiche Arten dienen.

**Fische:** Die Makrophytenbestände dienen verschiedenen Fischarten (Schleien, Hechten, Barschen) als Lebensraum sowie als Jagd- und Laichgebiet.

**Vögel:** Schwimmplattformen können als Nistflächen dienen und bestimmten Arten (z. B. Flusseeschwalben, Beispiel Verbois) als Rückzugsort.

# Aufbereitung der Makrophyten vor der Vergasung:



Vor

Nach

- Häcksler: Verstopfung des Systems durch zu feuchten Makrophyten, Material unbrauchbar.
- Faseraufschlussgerät: Effiziente Umwandlung in kompakte Masse, jedoch zu hoher Feuchtigkeitsgehalt für die Vergasung.
- Faseraufschlussgerät + Schneckenpresse: Bildung einer faserigen, feuchten Paste, unzureichende Trennung (wenig Wasser extrahiert).
- Futtermischwagen + Schneckenpresse: Zerkleinerung und Fest-Flüssig-Trennung, Feuchtigkeitsgehalt weiterhin zu hoch.
- Futtermischwagen + Schneckenpresse (2 Durchgänge): Versuch zur Reduktion der Feuchtigkeit, bleibt unzureichend.
- Futtermischwagen + Schneckenpresse + manuelles Trocknen: Manuelles Trocknen an der Luft erforderlich, um den idealen Feuchtigkeitsgehalt zu erreichen.

# Behandlung der Makrophyten vor der Vergasung: Ausgewähltes Verfahren



Lieferung der Makrophyten



Durchlauf in einer Mischanlage



Fertigprodukt



Manuelle Trocknung



Durchlauf in einer Schneckenpresse

# Vergasungsprozess:



# Vergasungsversuche: Die Makrophyten

Makrophyten Nr.1



Makrophyten Nr.2



Abfälle	Verbrauch (Tonnen/Tag)	Feuchtigkeitsgehalt (%)	Produktion (kg/h)	Vergasungsgrad %	H2 (Mol-%)	CO (Mol-%)	CO2 (Mol-%)	CH4 (Mol-%)	N2 (Mol-%)
Makrophyten Nr. 1		20%			32,0	35,50	23,69	6,86	1,95
Makrophyten Nr. 2	1.93	7,5%	37.76	47	20,4	35,1	8,9	6,8	28,8

# Verfügbarkeit der Makrophyten: Mähen in natürlichen Seen

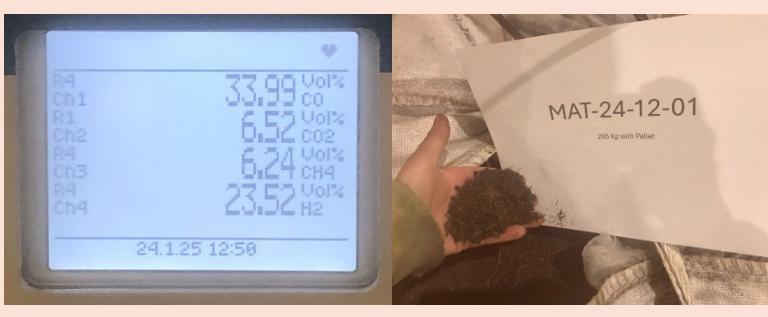


Genève: 1000m <sup>3</sup>	Tannay: 0 m <sup>3</sup>	Coppet: 0 m <sup>3</sup>	Founex: nd	Crans: 6 m <sup>3</sup>	Nyon: 8 m <sup>3</sup>	Prangins: 21 m <sup>3</sup>
Gland: 0 m <sup>3</sup>	Morges: 256 m <sup>3</sup>	Lausanne: 152 m <sup>3</sup>	Pully: 10 m <sup>3</sup>	Paudex: nd	Lutry: 8 m <sup>3</sup>	Cully: 6 m <sup>3</sup>
Vevey: 26 m <sup>3</sup>	La Tour-de-Peilz: 2 m <sup>3</sup>	Montreux: nd	Villeneuve: nd	Port-Valais: 120 m <sup>3</sup>	Yverdon-les-Bains: 60 m <sup>3</sup>	Grandson: 80 m <sup>3</sup>
Concise: 2 m <sup>3</sup>	Vaumarcus: 6 m <sup>3</sup>	St-Aubin-Sauges: 30 m <sup>3</sup>	Bevaix: 10 m <sup>3</sup>	Cortaillod: 25 m <sup>3</sup>	Auvernier: 18 m <sup>3</sup>	Neuchâtel: nd
St-Blaise: nd	Epagnier: 527 m <sup>3</sup>	Cudrefin: 5 m <sup>3</sup>	Portalban: 0 m <sup>3</sup>	Gleterens: nd	Chevroux: 0 m <sup>3</sup>	Estavayer-le-Lac: 20 m <sup>3</sup>
Cheyres-Châbles: 100 m <sup>3</sup>	Yvonnand: 0 m <sup>3</sup>	Le Landeron: 12 m <sup>3</sup>	Neuveville: 36 m <sup>3</sup>	Bienne: 250 m <sup>3</sup>	Morgen: 9 m <sup>3</sup>	Lüscherz: 6 m <sup>3</sup>

Faucharbeiten-Statistiken ERM 2020 – 2023 – 2024	
Jahr	Algenvolumen m3
2020	256
2023	144
2024	96

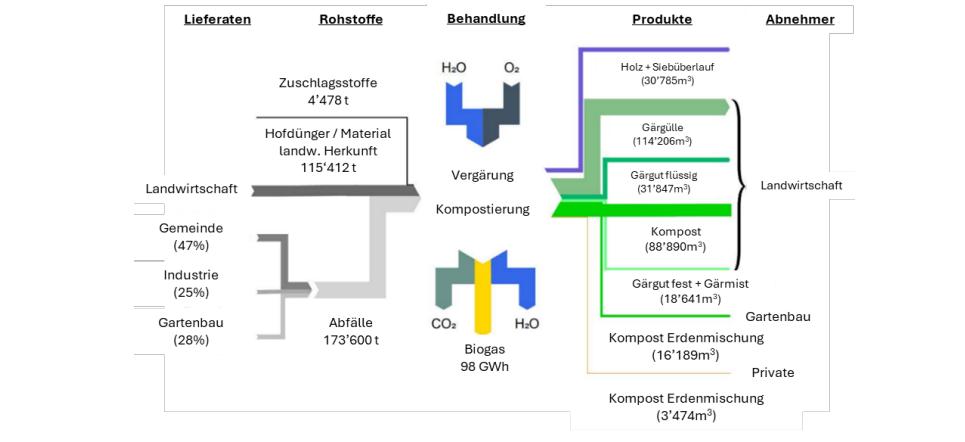
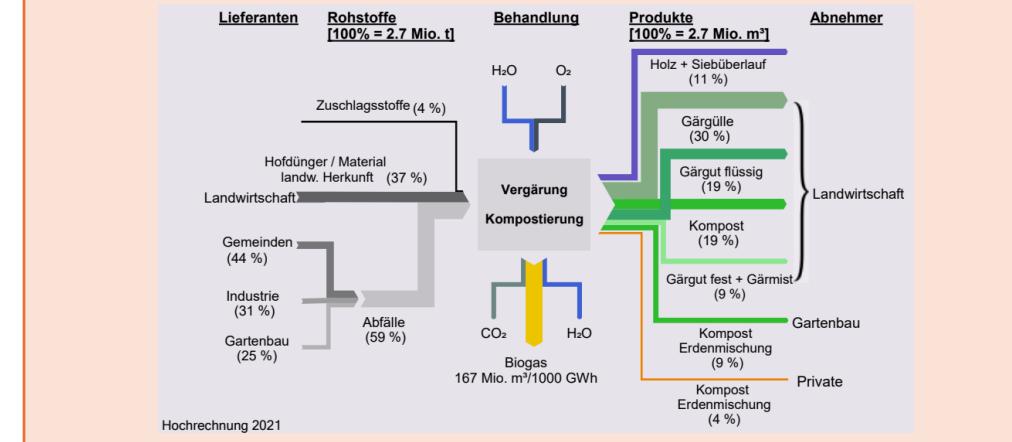
Das insgesamt verfügbare Volumen an feuchten Makrophyten beträgt **2832 m<sup>3</sup>**, was **84 Tonnen** trockenen Makrophyten pro Jahr entspricht und **112 MWh Synthesegas erzeugt**. Neben den sehr geringen Mengen an Makrophyten können die von den Gemeinden geernteten Mengen stark variieren, wie die ERM-Statistiken zeigen. Daher ist es notwendig, auch andere Biomassequellen in Betracht zu ziehen.

# Vergasungsversuche: Kompost, Gärreste, Rückstände aus Kompost und Gärresten (Plastikverschmutzung)

Ecorecyclage: Kompost aus der Siebung	Satom: Gärreste aus der Methanisierung	
<p>Kompost: 10 000 t/Jahr Kunststoffrückstände: 3 000 t/Jahr</p>  	<p>Fester Gärrest: 16 000 t/Jahr Kunststoffrückstände: 3 500 t/Jahr</p> 	<p>Die Vorteile der Vergasung von Kompost oder Gärresten aus der Methanisierung durch die Kompostierungsunternehmen (Ecorecyclage, Satom) wären erheblich. Sie müssten keine Sortierung mehr durchführen und keine Verbrennungskosten mehr tragen. Außerdem müssten sie die Ausbringung auf landwirtschaftliche Flächen nicht mehr subventionieren. Schließlich würde die Vergasung eine zusätzliche Produktion von erneuerbarem Gas ermöglichen und damit sowohl das wirtschaftliche als auch das energetische Interesse der Branche stärken.</p>

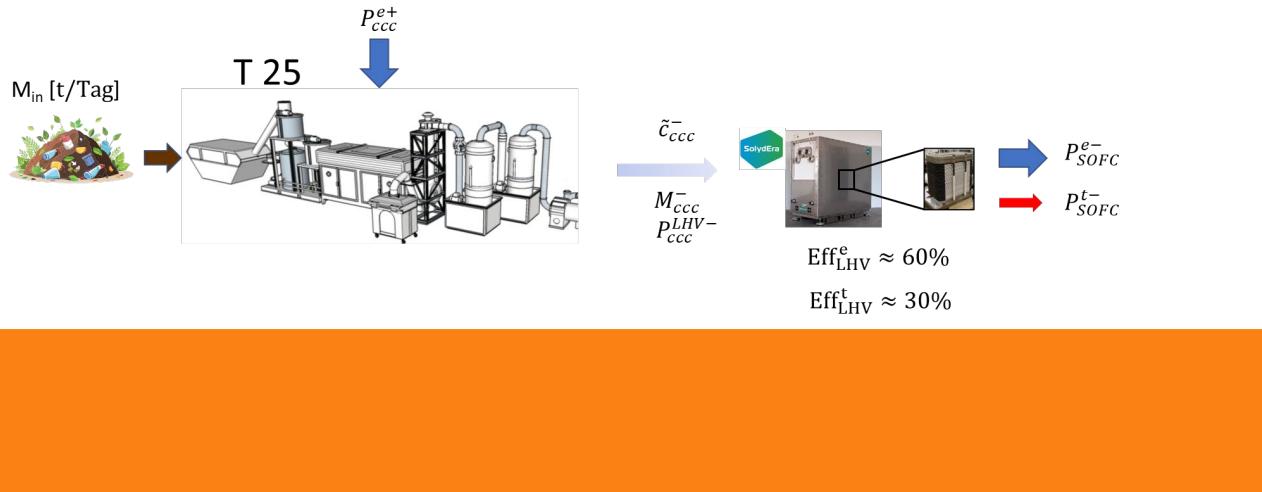
Abfälle	Verbrauch (Tonnen/Tag)	Feuchtigkeitsgehalt (%)	Produktion (kg/h)	Vergasungsgrad %	H2 (Mol-%)	CO (Mol-%)	CO2 (Mol-%)	CH4 (Mol-%)	N2 (Mol-%)
Satom: Fester Gärrest	1.82	20%	36.83	49	34.6	31.5	10	7.7	16.2
Ecorecyclage: Kompost	1.23	40%	23.71	46	42.1	27.8	12.1	6	12

# Schätzung der verfügbaren Biomassemengen

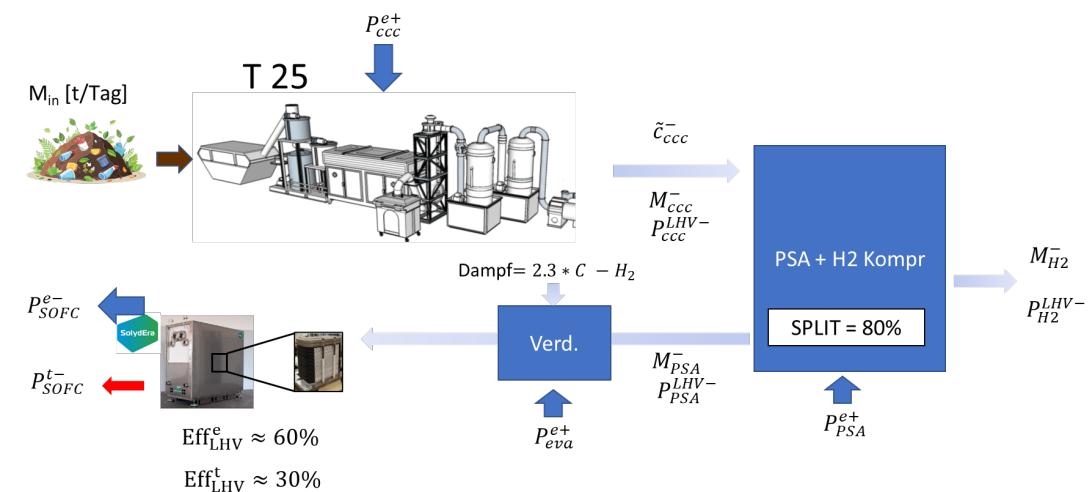
Stoffströme 2021 im Kanton Waadt: Herkunft der biogenen Abfälle und Nutzung der Produkte	Stoffströme 2020 in der Schweiz: Herkunft der biogenen Abfälle und Nutzung der Produkte
 <p>Lieferanten</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Zuschlagsstoffe 4'478 t</li> <li>Hofdünger / Material landw. Herkunft 115'412 t</li> <li>Gemeinde (47%)</li> <li>Industrie (25%)</li> <li>Gartenbau (28%)</li> </ul> <p>Rohstoffe</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>H<sub>2</sub>O</li> <li>O<sub>2</sub></li> <li>CO<sub>2</sub></li> <li>H<sub>2</sub>O</li> </ul> <p>Behandlung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Vergärung</li> <li>Kompostierung</li> </ul> <p>Produkte</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Holz + Siebüberlauf (30'785 m<sup>3</sup>)</li> <li>Gärgülle (114'206 m<sup>3</sup>)</li> <li>Gärgut flüssig (31'847 m<sup>3</sup>)</li> <li>Kompost (88'890 m<sup>3</sup>)</li> <li>Gärgut fest + Gärmist (18'641 m<sup>3</sup>)</li> <li>Kompost Erdenmischung (16'189 m<sup>3</sup>)</li> <li>Kompost Erdenmischung (3'474 m<sup>3</sup>)</li> </ul> <p>Abnehmer</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Landwirtschaft</li> <li>Gartenbau</li> <li>Private</li> </ul> <p>173'600 t</p> <p>98 GWh</p>	 <p>Lieferanten</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Zuschlagsstoffe (4 %)</li> <li>Hofdünger / Material landw. Herkunft (37 %)</li> <li>Gemeinden (44 %)</li> <li>Industrie (31 %)</li> <li>Gartenbau (25 %)</li> </ul> <p>Rohstoffe [100% = 2.7 Mio. t]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>H<sub>2</sub>O</li> <li>O<sub>2</sub></li> <li>CO<sub>2</sub></li> <li>H<sub>2</sub>O</li> </ul> <p>Behandlung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Vergärung</li> <li>Kompostierung</li> </ul> <p>Produkte [100% = 2.7 Mio. m<sup>3</sup>]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Holz + Siebüberlauf (11 %)</li> <li>Gärgülle (30 %)</li> <li>Gärgut flüssig (19 %)</li> <li>Kompost (19 %)</li> <li>Gärgut fest + Gärnist (9 %)</li> <li>Kompost Erdenmischung (9 %)</li> <li>Kompost Erdenmischung (4 %)</li> </ul> <p>Abnehmer</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Landwirtschaft</li> <li>Gartenbau</li> <li>Private</li> </ul> <p>167 Mio. m<sup>3</sup>/1000 GWh</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Gärgut fest: 5'219 tonnen</li> <li>Holz + Siebüberlauf: 4'618 Tonnen</li> <li>Kompost: 44'868 Tonnen</li> <li>Total: <b>54'705 Tonnen</b></li> </ul> <p>Potenzial der Synthesegasproduktion : <b>87.8 GWh</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gärgut fest: 68'040 tonnes</li> <li>Holz + Siebüberlauf: 44'550 tonnes</li> <li>Kompost: 353'160 tonnes</li> <li>Total: <b>465'750 Tonnen</b></li> </ul> <p>Potenzial der Synthesegasproduktion : <b>747.5 GWh</b></p>
<p>Die Produkte der Methanisierung und des Komposts sind verfügbar und können mit unserer Vergasungstechnologie verwertet werden.</p> <p>Wir können eingreifen bei:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Siebrückstände und Holz</li> <li>- auf festen Gärresten und Kompost (insbesondere im Winter, wenn die landwirtschaftliche Nachfrage gering ist)</li> <li>- auf kunststoffverschmutzte Stoffströme (kommunale und industrielle Abfälle) nach der Methanisierung. Durch die Verwertung des Gärrests ist kein Sortieren am Ein- oder Ausgang der Anlage mehr nötig.</li> </ul>	

# Bilanz der Vergasungsversuche:

## MODUS: Stromerzeugung



## MODUS: Wasserstoffproduktion



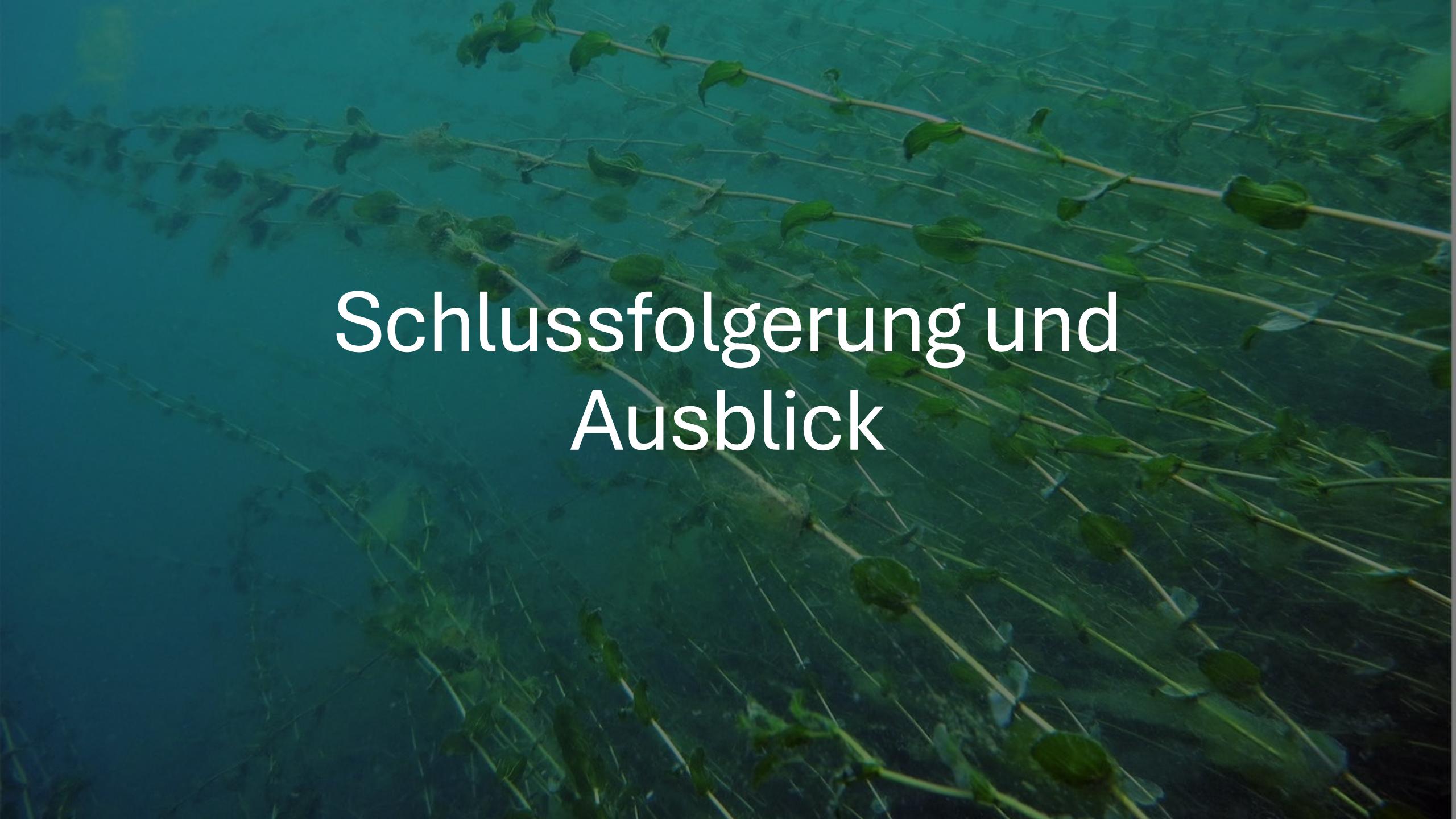
- Hochskalierung von T5 auf T25 (kommerzielles Produkt mit 32 t/Tag)
- Geringe Qualität am Ausgang der CCC:
  - Stromerzeugungsmodus wenig attraktiv (eingespeister Strom = erzeugter Strom)
  - Nur der Kompost von Ecorecyclage erreicht Wirkungsgrade, die mit anderen Wasserstoffproduktionstechnologien vergleichbar sind
- Längere Tests (zur Verringerung des Reststickstoffs), im größeren Maßstab (geringere Verluste) und mit einer Optimierung des Feuchtigkeitsgehalts könnten die Ergebnisse verbessern.

# Vergasungsversuche: erzeugte Biokohle



Die Analysen der festen Rückstände aus der Vergasung zeigen, dass:

- Unter den Betriebsbedingungen der CCC-Anlage ermöglicht der Prozess keine Produktion von Biokohle aus Makrophyten und Kompost.
- Der Rückstand der Makrophyten enthält 12 % Kohlenstoff und 88 % anorganische Substanz, mit einem pH-Wert von 13.
- Der Rückstand des Komposts weist 19 % Kohlenstoff und 81 % anorganische Substanz auf, mit einem pH-Wert von 11.
- Diese Werte zeigen einen hohen pH-Wert und einen geringen Kohlenstoffgehalt, Eigenschaften, die mit denen von Biokohle unvereinbar sind.
- Um Biokohle zu erhalten, müsste man bei der CCC-Technologie Kompost und Algen mit Holz mischen.

A close-up, low-angle shot of aquatic plants growing in clear, shallow water. The plants have long, thin, light-colored stems and small, oval-shaped green leaves. They are densely packed, creating a textured pattern across the frame.

# Schlussfolgerung und Ausblick

# Die verschiedenen potenziellen Projekte:

Projekte	Herausforderungen	Verfügbare Menge	Vorgeschlagene Lösung
GazVergasung von Holzabfällen – Cottendarf (Kanton Neuenburg)	Ersatz der UVTD Cottendarf und Sicherstellung der Wärmeproduktion für das CADBAR-Netz	Ca. 25'000 m <sup>3</sup> Abbruchholz	Vergasungseinheit mit Flexibilität bei den Einsatzstoffen (Holzabfälle + Makrophyten). Produktion von Synthesegas zur Erzeugung von Methan und/oder Wasserstoff, Strom und Wärme je nach saisonalem Bedarf.
Vergasung von Kompost – Satom Villeneuve	Vorhandensein von Kunststoffen in den Bioabfällen → teure Sortierung für Methanisierung und Kompostierung. Kompost wird für 1 CHF/m <sup>3</sup> verkauft, aber Transport und Ausbringung kosten 9 CHF/m <sup>3</sup> .	10 000 Tonnen Bioabfälle	Installation einer CCC-Anlage zur Vergasung des festen Gärrests und zur Produktion von Synthesegas. Beseitigt die Notwendigkeit der Kunststoffsortierung.
Gazéification du compost – Apxo	Vorhandensein von Kunststoffen in den Bioabfällen → Kosten im Zusammenhang mit der Verbrennung der Siebrückstände. Bedarf an energetischer Verwertung.	1 500 t Siebrückstände in Chavornay + 15 Trockenmethanisierungsanlagen und 6 Kompostieranlagen	Installation einer CCC-Anlage an einem Apxo-Standort zur Vergasung der Siebrückstände, Erzeugung von Synthesegas und Beseitigung der Verbrennungskosten.
Vergasung von Holzabfällen – Gros-de-Vaud	Möchte ein verfügbares Grundstück (1 ha) für die Installation einer Gasanlage nutzen. Zustimmung des Staates und der Gemeinde erforderlich.	25 000 – 30 000 m <sup>3</sup> Holz/Jahr ( $\approx$ 90 CHF/t)	Fläche für eine CCC-Anlage mieten. Rohmaterial liefern, Biokohle verwerten. Energetische Nutzung und Betrieb durch einen Energieversorger.
Vergasung von Holzabfällen – Schmuki SA	Verwertung der Holzschnitzel aus der Kompostierung (8 000–10 000 t/Jahr) und Optimierung ihrer energetischen Nutzung.	8 000 – 10 000 Tonnen Holzschnitzel/Jahr (36–52 CHF/m <sup>3</sup> je nach Zustand)	Installation einer CCC-Anlage im Kanton Waadt, betrieben mit Material von Schmuki SA, zur Verwertung der Holzschnitzel.

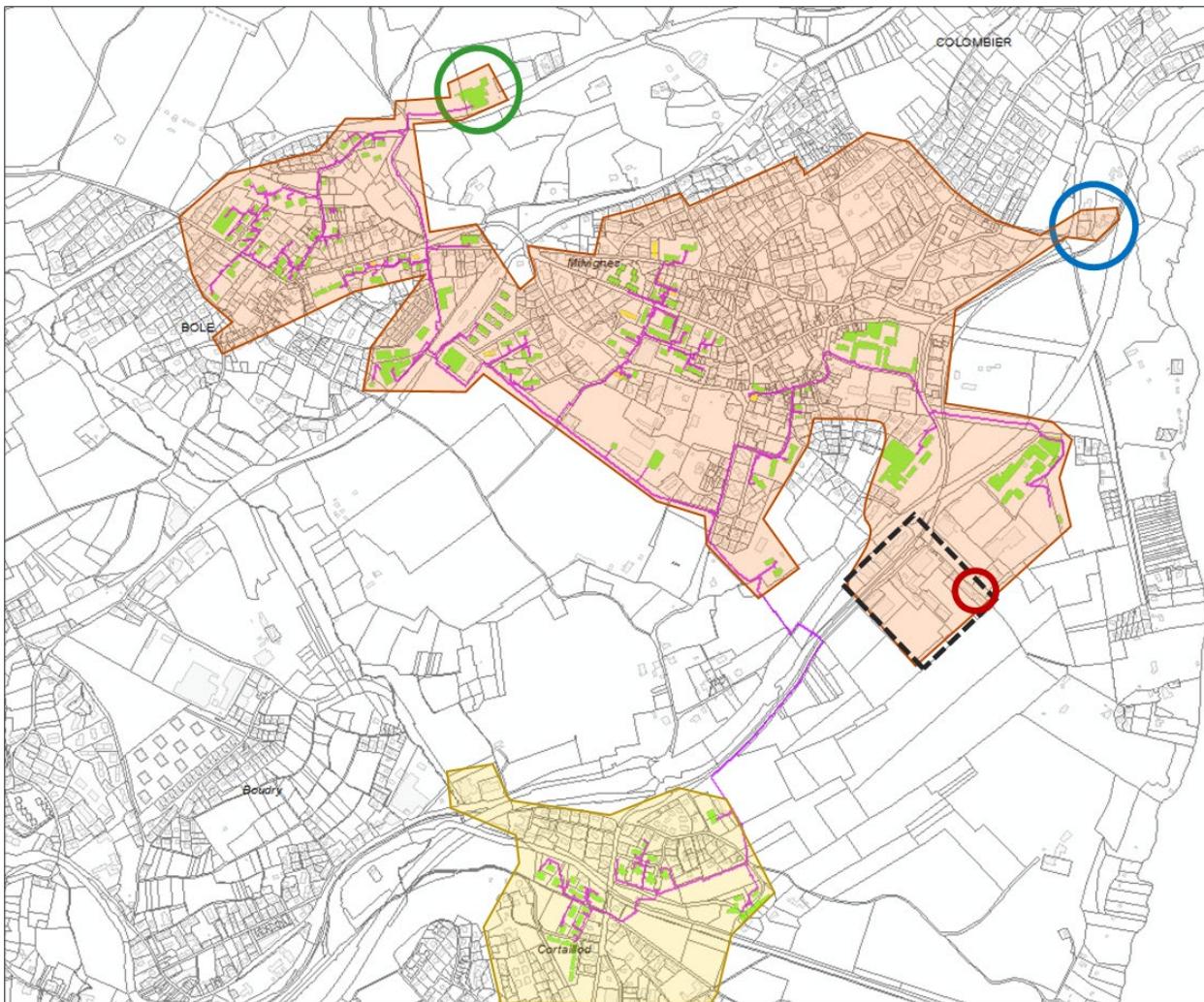
A close-up photograph of aquatic plants growing in water. The plants have long, thin, light-colored stems and small, oval-shaped green leaves. They are densely packed and spread across the frame.

Beispielanwendung auf  
dem Standort Cottendorf



# Fernwärmennetz CADBAR

## Herausforderungen für die Netzentwicklung



### Aktuelles Wärmequellen im Wandel:

- **Reduktion oder Stilllegung der KVA Cottendart (~2030)**
- **Gaskessel**

Wärmeproduktion: ~ 25 GWh/Jahr

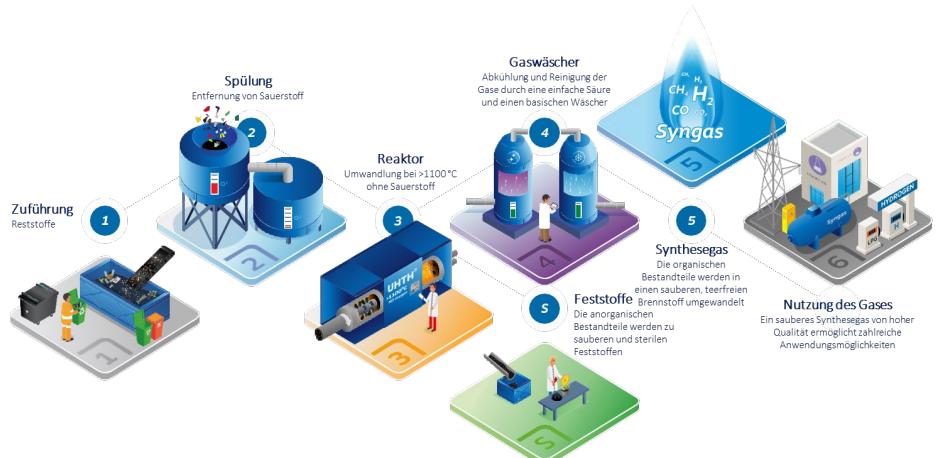
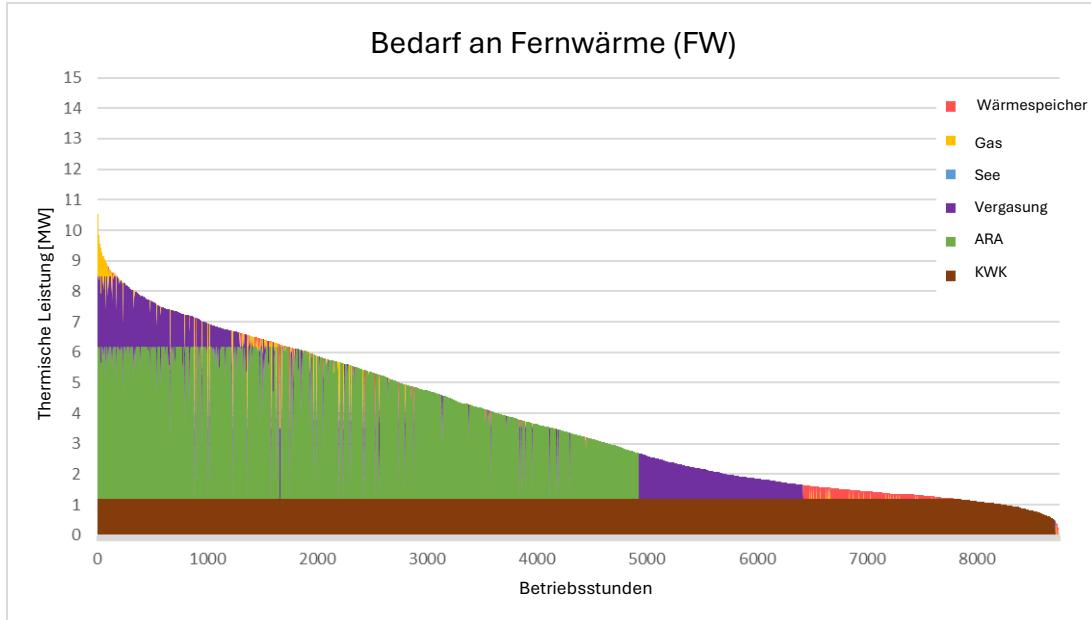
### Zukünftige Wärmequellen (in Planung):

- **Wärmepumpe auf der ARA Colombier-Milvignes 5 bis 7 MW**
- **Vergasung + KWK (Holzabfälle und Makrophyten) in Cottendart 1 MW**
- **Spitzen- und Notversorgung**

Wärmeproduktion: ~ 35 GWh/Jahr

# Zukünftige Wärmequellen

## Vergasungseinheit mit Flexibilität bei den Einsatzstoffen



### Ausgewählte Einsatzstoffe für Cottendorf:

- Holzabfälle: 5 GWh/Jahr
- Makrophyten: 50 MWh/Jahr

### Einnahmequelle:

- Verkauf von Wärme an das Fernwärmennetz im Winter
- Eingespeiste Stromerzeugung (vor allem im Winter)
- Wasserstoffproduktion (Mobilität)

### Nachteile:

- Feste Rückstände nicht als Biokohle verwertbar
- Geringes Interesse an Stromproduktion im Sommer

### Mögliche Optimierung :

- Erhöhung der Synthesegasproduktion durch Zugabe von CO<sub>2</sub>

# Schlussfolgerungen

1. Geringes Potenzial aus der Verwertung von Makrophyten
2. Zusätzliches Potenzial durch Holzabfälle identifiziert
3. Keine Garantie für die Verwertung der festen Rückstände als Biokohle

# Nächste Schritte

Fortsetzung der Planung bis Anfang 2026, um die Wirtschaftlichkeit einer Vergasungsanlage in Cottendorf nachzuweisen.

# Danksagungen : FOGA

Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit



**Viteos SA**

Postfach 3206  
Quai Max-Petitpierre 4  
CH - 2001 Neuchâtel 1



[www.viteos.ch](http://www.viteos.ch)