

---

# Aufbau einer Bioraffinerie auf Basis Holz unter spezieller Berücksichtigung von Buchenholz

## Inhalt

1. Einleitung .....	2
2. Aufbau einer Zellstofffabrik in der Schweiz .....	2
2.1. Fasermarkt weltweit .....	2
2.2. Stand der Technik Zellstoffherstellung .....	3
2.3. Konzept Schweiz .....	5
2.4. Vorgehen/Entwicklungsbedarf .....	8
2.5. Ökonomische Betrachtung einer konventionellen Zellstofffabrik (Sulfatverfahren) .....	8
3. Bioraffinerie .....	9
3.1. Biotreibstoffe – Stand heute und Entwicklungstendenzen .....	13
4. Zusammenfassung .....	14
5. Literaturverzeichnis .....	15

# 1. Einleitung

Mit der Schliessung der Borregaard Schweiz AG verliert die Schweiz nach 127 Jahren ihren einzigen Zellstoffproduzenten. Das Werk produzierte Zellstoff nach dem alten Calciumbisulfit-Verfahren. Weltweit gibt es nur noch wenige Werke, die nach dem gleichen Verfahren arbeiten. Bis 2000 bestand das Sortenprogramm ausschliesslich aus Papierzellstoffen, danach wurden nach einer Grossinvestition mehr und mehr Spezialzellstoffe hergestellt. Die zu Grunde liegende Idee war den Massenmarkt Papierzellstoff zu verlassen und das wirtschaftliche Überleben im Nischenmarkt Zellstoffe für die chemische Weiterverarbeitung zu sichern. Das Produktportfolio war auf die Bereiche Celluloseether, -ester und Viskosefasern ausgerichtet. Im letzten Jahr der Produktion wurden fast ausschliesslich Zellstoffe für den Viskosefasermarkt hergestellt. Sie wurden hauptsächlich nach Asien geliefert. Mit dem Zusammenbruch dieser Märkte im Laufe der aktuellen Finanzkrise wurde dem Werk die Basis entzogen. Der Schliessungsentscheid folgte der Entwicklung auf den asiatischen Märkten.

Neben der Produktion von Zellstoffen wurden noch Ethanol, Hefe und Ligninsulfonat vermarktet. Die Ausnutzung der Holzsubstanz kommt dem modernen Ansatz der Bioraffinerie schon nahe. Allerdings musste wegen des Verkaufs der Lignosulfonate der Energiebedarf extern mittels Schweröl, Strom oder den Dampfverbund mit der Kebab gedeckt werden. Kostensteigerungen und erwartete weitere Steigerung der Energiekosten haben nicht unwesentlich zum Schliessungsentscheid beigetragen.

Es stellt sich nun die Frage, wie unter Berücksichtigung des vermehrt nachwachsenden Buchenholzes eine neue Fabrik in der Schweiz angesiedelt werden kann. Ist es möglich wiederum eine Zellstofffabrik zu errichten bzw. wie kann eine solche Fabrik aussehen? Daneben soll auch die Entwicklung von Bioraffinerien und der Einsatz von Buchenholz zur Chemikalien- oder Treibstoffherstellung betrachtet werden.

## 2. Aufbau einer Zellstofffabrik in der Schweiz

### 2.1. Fasermarkt weltweit

Weltweit werden zurzeit ca. 334 Mio t Faserstoff produziert. Davon werden etwa 131 Mio t chemisch erzeugt. Dominierend ist das Sulfat Verfahren. Nachdem für den

alkalischen Aufschluss geeignete Bleichverfahren entwickelt wurden, hat das Sulfitverfahren kontinuierlich an Bedeutung verloren. Heute werden nur noch etwa 3.7 % auf Basis Sulfittechnologie erzeugt mit weiter sinkender Tendenz. In Paskov Tchechien wurde das letzte Werk nach dem Sulfitverfahren gebaut. Es entstand in den siebziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts. Alle modernen Werke sind Sulfat-Werke.

Daneben gab es noch die Organosolv-Verfahren. Organosolv Verfahren wurden als schwefelfreie Variante entwickelt. Man versprach sich dadurch eine vermehrte Nutzung von nicht modifizierten Lignin. Insgesamt wurden zwei Fabriken gemäss diesem Prozess betrieben. Beide Fabriken produzieren heute keinen Organosolv Zellstoff mehr. Die deutsche Fabrik musste Konkurs anmelden, die kanadische Fabrik wurde wieder auf das Magnesiumbisulfit-Verfahren umgestellt. Das Organosolv-Verfahren erfährt heute allerdings wieder eine Renaissance im Zusammenhang mit den Bioraffinerie-Konzepten (Puls & Saake, 2009). Andere Aufschlussverfahren wie ASAM, Milox etc. sind nicht über den Labor- oder Technikumsmassstab hinaus gekommen. Die genannten Verfahren könnten aber als Technologieablösung speziell der Sulfitwerke dienen (Harms, 1998). In der folgenden Tabelle sind die Daten zur Zellstofferzeugung zusammengefasst.

Zellstoff Art	Produktion (Mio t)
Chemisch aufgeschlossen	131.2
Sulfat	117.0
Sulfit	7.0
Halbzellstoff	7.2
Mechanisch	37.8
Auf Basis Jahrespflanzen	18.0
Altpapier Aufbereitung	147.0
Total	334.0

*Tab. 1: Weltweite Faserstoffproduktion (Sixta, 2006)*

## **2.2. Stand der Technik Zellstoffherstellung**

Für die Jahre 2007-2012 wurde ein erheblicher Ausbau der Zellstoffkapazitäten geplant. Insgesamt waren dies 18 Mio t Zellstoff, wovon ca. 15 Mio t als

Kurzfaserzellstoff konzipiert waren. Etwa 50 % sollte in Asien entstehen. Für Europa sind keine Neubauten vorgesehen, lediglich durch Optimierung soll die Kapazität der europäischen Werke um 2 Mio Tonnen steigen. Für Nordamerika zeigt sich ein düsteres Bild. Es sind keine Neuanlagen angekündigt, Altanlagen werden weiterhin stillgelegt. Insgesamt lässt sich der Trend ablesen, neue Werke entstehen vornehmlich in der südlichen Hemisphäre (Asien, Südamerika). Einzig für Russland ist zu erwarten, dass in den nächsten Jahren neue Kapazitäten gebaut werden. Auf Grund seiner Waldreserven könnte sich das Land als Lieferant von Langfaserzellstoffen etablieren.

Die Grösse der letzten gebauten Zellstoffwerke liegt zwischen 550.000 t Designkapazität Langfaser und 1 Mio t Kurzfaser in Uruguay. Die Investitionskosten liegen je nach Region zwischen 1000 und 2000 \$ pro investierter Tonne Zellstoff d.h. für ein Werk sind Investitionskosten von etwa 1.2-1.5 Mia \$ zu erwarten.

Kleinere Werke zu bauen macht wenig Sinn, da die economy of scale einen wirtschaftlichen Betrieb kleiner Werke nicht zulässt.

Die oben genannten Neubauten wurden vor der Wirtschaftskrise angekündigt. Es ist daher zu vermuten, dass die Projekte zurzeit zumindest teilweise auf Eis gelegt wurden. Am globalen Trend ändert dies aber nichts.

v. Heiningen hat in seiner Betrachtung zur Weiterentwicklung von US amerikanischen Sulfat-Werken deutlich gezeigt, dass die Werke die Holzsubstanz wesentlich besser ausnutzen und hochwertige Chemikalien aus dem Rohstoff Holz produzieren müssen (van Heiningen, 2006). Ansonsten haben sie im globalen Wettbewerb – die grössten und modernsten Werke stehen mittlerweile in der südlichen Hemisphäre – keine Chance mehr. Die Betrachtung dürfte etwa gleich für Europa ausfallen.

Daneben zeigt Haibo Mao (Mao, 2007), dass es wirtschaftlich äusserst anspruchsvoll ist, eine existierende Zellstofffabrik um eine Bioethanolproduktion zu erweitern. Er untersucht den Fall Vorhydrolyse von Nadelholz gefolgt von einem Sulfataufschluss. Festgestellt wird, dass nur bei Verwendung bereits bestehender Anlagenteile eine

erfolgreiche Erweiterung möglich ist. Sollten Investitionen für Neuanlagen notwendig sein, ist die Wirtschaftlichkeit zumindest in Frage gestellt.

Das in dieser Hinsicht am weitesten entwickelte Werk ist in Österreich in der Nähe von Salzburg beheimatet. Neben Zellstoff als Rohstoff für die integrierte Faserproduktion werden am Standort noch Essigsäure, Furfural und Xylit aus der Ablauge gewonnen. Lenzing nutzt dabei ca. 50 Prozent der Holzsubstanz (Harms, 1998). Die Dicklauge wird zur Energiegewinnung genutzt. Als weiteres Beispiel ist ein Zellstoffwerk in Schweden zu nennen. Es handelt sich um das Werk Domsjö Fabriker. Es arbeitet mit dem Natriumsulfit-Aufschluss und produziert neben Zellstoff für die Faserproduktion noch Ethanol. Nach Ankündigungen wird eine Chemrec Anlage zur Vergasung der Ablauge in das Werk integriert. Damit erhält es die Möglichkeit noch zusätzlich ca. 100'000 t Methanol oder Dimethylether zu produzieren.

Andere Zellstoffwerke sind dagegen vollständig auf die Produktion von Zellstoff ausgerichtet und haben keine Herstellung von Nebenprodukten. Wie von van Heiningen beschrieben müssen sich Zellstoffwerke aus wirtschaftlichen Gründen mehr und mehr auf ein komplexeres Portfolio ausrichten. Dies gilt auch für den Fall Schweiz. Nur so liesse sich ein wirtschaftlicher Betrieb in der Schweiz vorstellen.

### **2.3. Konzept Schweiz**

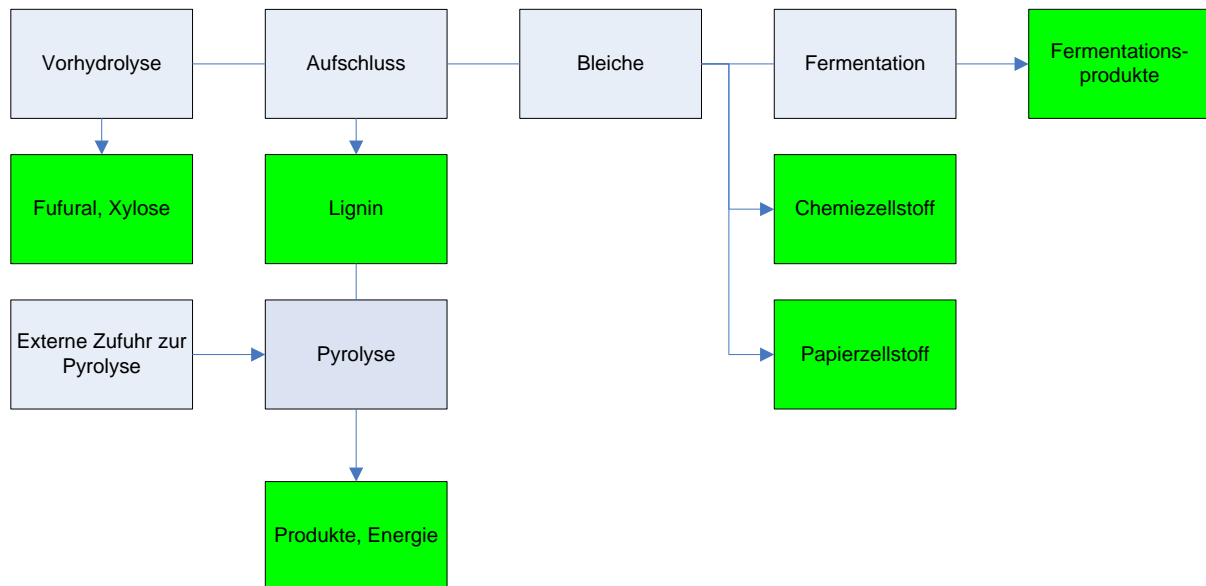
Betrachtet man ein neues Werk für die Schweiz, muss man folgende Voraussetzungen berücksichtigen. Ein modernes Zellstoffwerk müsste eine Kapazität von 650,000 t Papierzellstoff haben. Daneben muss es vermehrt Buchenholz als Rohstoff einsetzen. Ein Papierzellstoffwerk dürfte für die Schweiz zu gross sein. Der Inlandsverbrauch Zellstoff liegt bei ca. 500,000 t pro Jahr. Vor allem ist dabei zu berücksichtigen, dass ein Buchenzellstoff nicht für alle Anwendungen eingesetzt werden kann. Aus Festigkeitsgründen werden Langfaserzellstoffe benötigt. Daneben steht man mit Buchenzellstoff in direkter Konkurrenz zum Eukalyptuszellstoff und damit unter einem erheblichen Kostendruck.

Das Werk wäre ebenfalls zu gross für die Herstellung von Zellstoffen für die chemische Weiterverarbeitung. Bei gleicher Kapazität des Aufschlusses wie für das vorher genannte Papierzellstoffwerk würde man wegen des Ausbeuteverlustes ca.

500.000 t Zellstoff für die chemische Weiterverarbeitung erhalten. Der Markt umfasst aber weltweit nur ca. 3.4 Millionen Tonnen. Wobei auch für diesen Fall nicht der vollständige Markt für Buchenzellstoffe offen stünde. Celluloseether können nur sehr begrenzt bedient werden. Vor allem die benötigten hohen Viskositäten sind mit dem VH Sulfat Verfahren nicht zugänglich. Buche VH Sulfat Zellstoffe könnten Einsatz finden in den Bereichen Faser und Acetat. Der Fasermarkt ist sehr volatil und auf der Herstellerseite besteht eine erhebliche Konkurrenz aus der südlichen Hemisphäre. Das grösste Chemiezellstoffwerk steht in Südafrika und hat mittlerweile eine Kapazität von 900.000 t Magnesiumbisulfitzellstoff auf Basis Eukalyptus.

Die Mengenbilanz zeigt, dass der Zellstoff weiter umgesetzt werden muss. Denkbar wäre Zellstoff mit Säure oder enzymatisch zu hydrolysieren und anschliessend die Glucose zu Ethanol zu vergären. Wirtschaftlich erfolgversprechend wäre dies unter heutigen Voraussetzungen nicht (van Heiningen, 2006). Unter der Annahme heutiger Zellstoffpreise müsste Ethanol 1.20 CHF kosten um den gleichen Umsatz zu erzielen wie mit Zellstoff. Daraus folgt, dass die Fermentation der Glucoselösung Produkte mit höherer Wertschöpfung erzeugen muss. Ansätze dazu gibt es bereits (Busch, et al., 2006) (Werpy & Petersen, 2004). Gemäss der gleichen Literaturstelle ist die Verwertung von Laubholzvorhydrolysaten zur Gewinnung von Furfural von zunehmender Bedeutung. Dies entspräche dem Konzept der VH-Sulfat Fabrik mit Buchenholz als Rohstoff.

In der folgenden Grafik ist schematisch ein VH Sulfatwerk mit möglichen Produktflüssen dargestellt.



*Abb. 1: Bioraffinerie- schematische Darstellung eines VH Sulfat Werkes mit erweiterter Produkterzeugung.*

Buchenholz wird einer Vorhydrolyse unterzogen. Die gelösten Hemicellulosen können zu Furfural oder Ethanol umgesetzt werden. Lignin wird im Aufschlussprozess herausgelöst und zur Energiegewinnung genutzt. Je nach Effizienz der Pyrolyse kann ein Teil des Lignins vermarktet werden. Je mehr externe Biomasse der Pyrolyse zugeführt wird, desto mehr Lignin kann verkauft werden. Lignin wird bereits heute hauptsächlich im Baubereich eingesetzt. Andere Verwendungsmöglichkeiten werden zurzeit entwickelt (Unkelbach, Schweppe, Schmiedl, Hirth, & Busch, 2008). Daneben kann durch Fischer Tropsch Synthese das entstehende Synthesegas zu Treibstoff umgesetzt werden oder eine Methanolproduktion ist möglich (Landälv, 2006).

Je nach Herstellbedingungen kann der produzierte Zellstoff in die Papierindustrie oder in die chemische Industrie verkauft werden. Dies beeinflusst allerdings die restlichen Produktströme der Fabrik erheblich. So kann z.B. bei Papierzellstoffen keine Vorhydrolyse angewandt werden, da sonst die Festigkeit des Endprodukts nicht mehr für die Papierindustrie ausreicht.

Die andere Möglichkeit ist Cellulose zu Glucose umzuwandeln und diese Lösung zu höherwertigen Chemikalien umzusetzen. Auf dieser Basis wird heute bereits Polylaktid als umweltfreundlicher Kunststoff hergestellt.

## **2.4. Vorgehen/Entwicklungsbedarf**

Es ist anzumerken, dass die beschriebene VH-Sulfat Fabrik mit den erwähnten Nebenproduktströmen in dieser Form noch nicht verwirklicht wurde. Vor allem die Nutzung des Vorhydrolysats ist bislang nicht realisiert. Hier besteht noch Forschungsbedarf zur Zusammensetzung und Weiterverwendung der Vorhydrolysate. Heutige Fabriken nutzen diesen Teil zur Energieerzeugung. Des Weiteren steht die Nutzung der Cellulose zur Gewinnung von Grundstoffen für die Chemieindustrie noch in den Anfängen. Hier wären noch Marktabklärungen bzw. technische Abklärungen nötig.

Die Pyrolyse der Ablaugen ist zurzeit noch nicht Stand der Technik. Bislang gibt es in Schweden und USA Anlagen im Pilotmassstab. (Larson, Consonni, Katofsky, Lisa, & Frederick, 2006). Die Entwicklung ist aber vielversprechend.

Der nächste Schritt müsste sein, dass eine Projektstudie mit einer Abschätzung der Investitionskosten, Produktionskosten und der Erlössituation erstellt wird.

Für die Betrachtung müsste sowohl Nadel- als auch Laubholz berücksichtigt werden. Daneben müssten sicher zwei Anlagengrößen untersucht werden: Einsatz 1.3 mio t atro Holz oder 700.000 t atro Holz. Dabei ist vor allem die Frage zu beantworten, ob mit dem Bioraffinerie-Konzept kleinere Anlagen wirtschaftlich betrieben werden können.

## **2.5. Ökonomische Betrachtung einer konventionellen Zellstofffabrik (Sulfatverfahren)**

Die Wirtschaftlichkeit steht und fällt mit den Annahmen der Holzkosten und des Zellstoffpreises. In der folgenden Betrachtung wurden folgende Preise zu Grunde gelegt. Für Fichtenholz 180 CHF pro t atro, für Buchenholz 160 CHF atro und für die verschiedenen Zellstoffsorten wurden folgende Preise angenommen: NBSK<sup>1</sup> 699 CHF, BHK<sup>2</sup> 575 CHF, Viskose 700 \$ und Acetat 1200 \$. Weiterhin wurde der Holzmix Buche/Fichte mit jeweils 50% angenommen. Für die Chemiezellstoffvarianten wurde angenommen, dass 100'000 t in den Bereich Acetat geliefert werden können, der Rest wird im Chemiefaserbereich eingesetzt. Damit ergeben sich folgende Wirtschaftszahlen für derartige Fabriken.

---

<sup>1</sup> NBSK Nordic bleached softwood kraft (nordische Langfaser)

<sup>2</sup> BHK Bleached hardwood kraft (Gebleichter Laubholz Zellstoff)



Zellstoffwerk	Kapazität (t)	Umsatz (in Mio CHF)	Holzkosten (in Mio CHF)	Personal <sup>3</sup> (in Mio CHF)	Abschreibung <sup>4</sup> (in Mio CHF)	Zinsen <sup>5</sup> (in Mio CHF)
Papier	650'000	414	221	24	60	120
Papier	350'000	222	119	18	45	90
Chemie	481'000	386	221	24	60	120
Chemie	259'000	245	119	18	45	90

*Tab. 2: Szenarien für Zellstoffwerke zur Herstellung von Papier- und Chemiezellstoffen*

Die wirtschaftliche Betrachtung ist natürlich nur rudimentär. Sie zeigt aber gleichwohl, dass die Holzkosten und der Zellstofferlös massgebliche Faktoren sind. Langfristig ist aber nicht zu erwarten, dass die Holzkosten dramatisch sinken und das Niveau der südlichen Hemisphäre erreichen. Das Gleiche gilt wohl für die Zellstoffpreise. Gemäss Poyry einer renommierten Beratungsfirma im Bereich Zellstoff wird ein Durchschnittspreis von 600\$ für NBSK erwartet.

Im Sommer 2009 lag der Zellstoffverkaufspreis knapp über dem von der Beratungsfirma genannten Preis. Im Februar 2010 ist der Preis auf 830 \$ gestiegen und es gibt zurzeit eine Unterversorgung. Gemäss Branchenaussagen werden grosse Mengen nach China importiert. Dies zeigt wie volatil der Zellstoffmarkt ist und dass langfristige Aussagen über Bedarf und Preis nur schwer zu machen sind. Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass die Zellstoffindustrie sehr kapitalintensiv ist.

### 3. Bioraffinerie

Die Idee der Bioraffinerien ist durch die folgenden Treiber in den letzten Jahren forciert worden:

<sup>3</sup> 200 Mitarbeiter für grössere Fabrik und 150 Mitarbeiter für kleinere Fabrik

<sup>4</sup> Abschreibung 1.2 Mia CHF für grössere Fabrik und 900 Mio CHF für kleinere Fabrik über 20 Jahre linear

<sup>5</sup> Investitionsbeträge wie unter Abschreibung Verzinsung 10% pro Jahr

- Umwelt: CO<sub>2</sub> wird als Klimabeeinflussend angesehen – um die Temperaturerhöhung in den nächsten Jahren begrenzen zu können muss auf CO<sub>2</sub> neutrale Energieerzeugung umgestellt werden.
- Ökonomie: Der steigende Verbrauch an Erdöl und die begrenzte Verfügbarkeit führt zu einer Erhöhung des Preises, ausserdem müssen Lösungen für die Zeit nach dem Erdöl gefunden werden.
- Politik: Die zunehmende Abhängigkeit von Erdöllieferungen aus dem politisch instabilen Nahen Osten ist nicht erwünscht.

Alle genannten Probleme können nur durch Bioraffinerien gelöst werden, indem die Produktion von Energie und Chemikalien auf nachwachsende Rohstoffe umgestellt wird.

Eine Bioraffinerie wird von der US-amerikanischen National Renewable Energy Laboratory (NREL) folgendermassen definiert: (Kamm, Produktion von Plattformchemikalien und Synthesegas aus Biomasse, 2007) „Eine Bioraffinerie ist eine Einheit, die Biomassekonversionsprozesse und Anlagen zur Produktion von Kraftstoffen, Energie und Chemikalien aus Biomasse kombiniert. Das Konzept der Bioraffinerie ist an das Konzept der heutigen Erdölraffinerien angelehnt, die aus Erdöl eine Vielzahl an Kraftstoffen und Produkten produzieren. Industrielle Bioraffinerien wurden als der vielversprechendste Weg zum Aufbau einer neuen einheimischen Industrie auf Biobasis ausgemacht.“

Allgemein angenommen wird, dass bis zum Jahr 2025 ca. 30% der Rohstoffe auf der Basis von Biomasse hergestellt werden können. Allerdings ist bis zur Umsetzung dieses Weges noch ein weiter Weg zurück zu legen. Voraussetzung ist die Entwicklung neuer Bioraffinerie Plattformen (Kamm, Produktion von Plattformchemikalien und Synthesegas aus Biomasse, 2007):

- Lignocellulose-Feedstock(LCF)- Bioraffinerie [LCF-Vorbehandlung (effiziente Trennung des Lignocellulose- Rohstoffs in Lignin, Cellulose und Hemicellulose)],
- die Weiterentwicklung von thermischen, chemischen und mechanischen Prozessen [z.B. in Form neuer Aufschlussmethoden, Vergasung (Synthesegas) und Verflüssigung von Biomasse],

- Bislang gibt es noch keine Bioraffinerien, die auf Basis Holz arbeiten (Stöcker, 2008). Einzig die angesprochenen Zellstoffwerke gehen in die Richtung Bioraffinerie mit einer hohen stofflichen Ausnutzung der Holzsubstanz. Ansonsten sind die Arbeiten noch nicht über den Pilotmassstab hinausgekommen.

The diagram illustrates the integrated process of producing ethanol from wood chips. The process begins with wood chips being loaded into a silo and then pre-steamed. The pre-steamed chips enter an extractor, which produces delignified cellulose and a black liquor stream. The black liquor is sent to a flash tank, which separates alcohol (recycled to the extractor) from a stream that goes to a belt filter. The belt filter also receives acid water and sends material to a dryer and then to bag and bulk storage. The bag and bulk storage produces lignin (for process reuse) and a stream for water for process reuse. The belt filter also feeds a feed tank, which goes to an alcohol recovery distillation tower. The distillation tower produces furfural, acetic acid (from acetic acid recovery), and a stream to evaporators. The evaporators produce extractives and a stream to a decanter. The decanter separates sugars (sent to sugar recovery, which produces hemicellulose and sugars) from low molecular weight lignin (sent to ethanol production) and a stream to an alcohol recovery washer. The alcohol recovery washer also receives water and sends a stream to the ethanol production stage. The ethanol production stage involves cellulose hydrolysis and glucose fermentation, resulting in ethanol. The ethanol production stage also receives a stream from the alcohol recovery washer and a stream from the bag and bulk storage.

```
graph TD
    WC[WOOD CHIPS] --> SILO[SILO]
    SILO --> PRESTEAM[PRE-STEAM]
    PRESTEAM --> EXTRACTOR[EXTRACTOR]
    EXTRACTOR --> DELIGNIFIED[DELIGNIFIED CELLULOSE]
    EXTRACTOR -- "BLACK LIQUOR" --> FLASH[FLASH TANK]
    FLASH -- "ALCOHOL" --> EXTRACTOR
    FLASH --> BELT[BELT FILTER]
    AW[Acid Water] --> BELT
    BELT --> DRYER[DRYER]
    DRYER --> BAG[BAG & BULK STORAGE]
    BAG -- "LIGNIN" --> LIGNIN_OUT[LIGNIN]
    BAG -- "WATER FOR PROCESS REUSE" --> WATER_OUT[WATER FOR PROCESS REUSE]
    BELT --> FEED[FEED TANK]
    FEED --> DISTILL[ALCOHOL RECOVERY DISTILLATION TOWER]
    DISTILL --> FURFURAL[FURFURAL]
    DISTILL --> ACID[ACETIC ACID RECOVERY]
    ACID --> ACID_OUT[ACETIC ACID]
    DISTILL --> EVAP[EVAPORATORS]
    EVAP --> EXTRACTIVES[EXTRACTIVES]
    EVAP --> DEC[DECANTER]
    DEC -- "SUGARS" --> SUGAR[SUGAR RECOVERY]
    SUGAR --> HEM[HEMICELLULOSE SUGARS]
    DEC -- "LOW MOLECULARWEIGHT LIGNIN" --> LMW[LIGNIN]
    DEC --> WASH[ALCOHOL RECOVERY WASHER]
    WASH -- "Water" --> WASH
    WASH --> ETH[ETHANOL]
    DELIGNIFIED --> ETH
    BAG --> ETH
```

In diesem Fall wird das Holz mittels Alkohol aufgeschlossen und Lignin von den restlichen Bestandteilen des Holzes getrennt. Die Autoren beschreiben die

Fermentation der Cellulose zu Ethanol, aber bei diesem Verfahren ist es ebenso denkbar – vielleicht sogar notwendig – die Glucoselösung zu höherwertigen Chemikalien weiter zu verarbeiten. Das Konzept hat den unbestreitbaren Vorteil, dass Lignin nicht chemisch verändert wird und damit einer Nutzung zur Verfügung steht. Bislang gibt es aber noch keine Referenzanlagen und der Weg von der Idee bis zur funktionierenden Fabrik ist noch weit. Vor allem die Chemikalienrückgewinnung als auch die Energieversorgung der Fabrik ist noch nicht gelöst.

In einer zukünftigen Bioraffinerie stellt Glukose eine wichtige Ausgangsverbindung für chemische Produkte dar. Es ist dabei wichtig die heutigen Raffinerietechniken für Erdöl auf nachwachsende Rohstoffe zu übertragen. Schematisch ist eine Bioraffinerie mit ihren denkbaren Produktströmen in der nächsten Abbildung dargestellt.

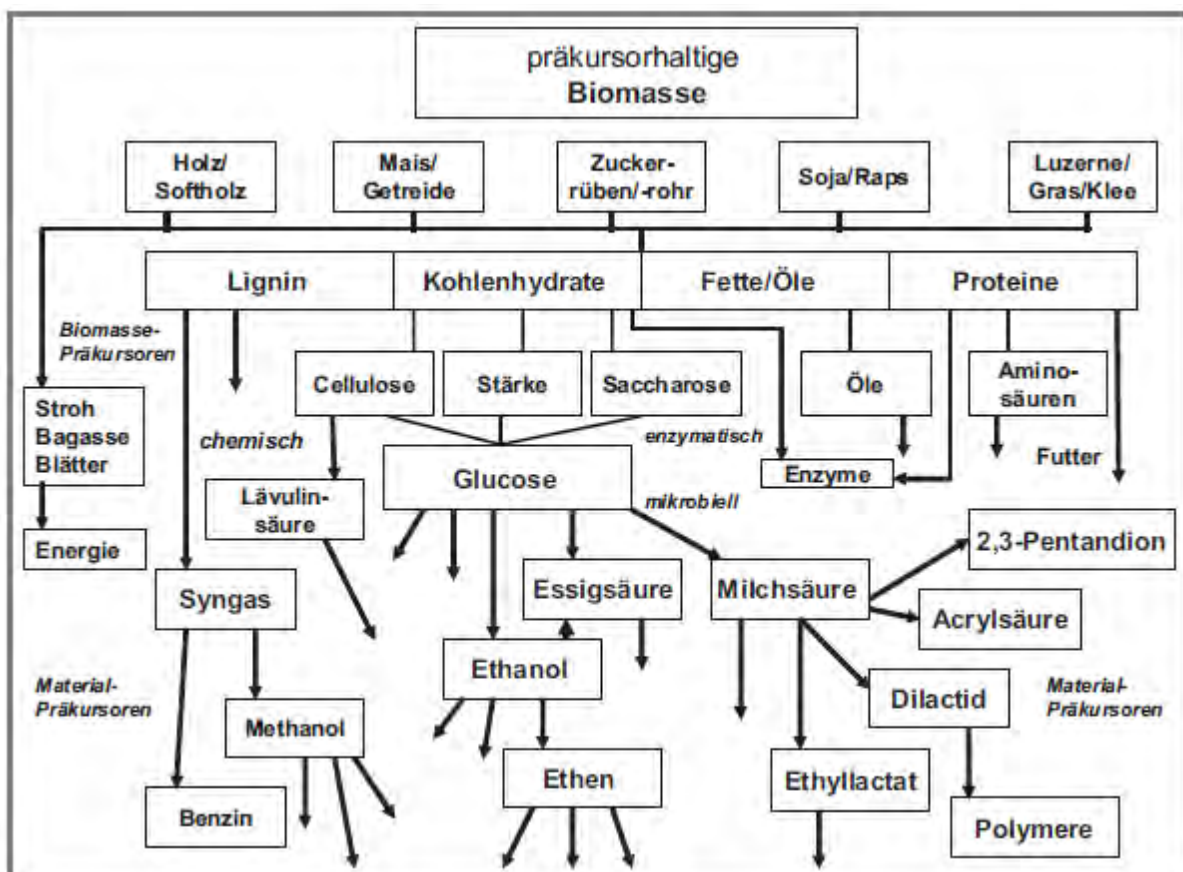


Abb. 3: Produktlinien einer Bioraffinerie (Kamm, Produktion von Plattformchemikalien und Synthesegas aus Biomasse, 2007)

### 3.1. Biotreibstoffe – Stand heute und Entwicklungstendenzen

Weltweit spielen als Biotreibstoffe zurzeit nur Ethanol und FAME (Fettsäuremethylester) (Schaub & Vetter, 2007) eine Rolle. Produziert werden sie auf Basis Mais, Zuckerrohr und Raps. Teilweise steht die Nutzung dieser Rohstoffe als Treibstoff in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion.

Vor allem in Brasilien und USA werden grössere Mengen Ethanol dem Autotreibstoff zugemischt. In Brasilien sind dies bis zu 25%. Allerdings wurden in den USA mit sinkendem Ölpreis bereits wieder Produktionsanlagen geschlossen.

Eine andere Möglichkeit sind die sogenannten Biomass to Liquid (BtL) Verfahren. Dazu wird lignocellulosisches Material in Synthesegas umgewandelt und dann mittels Fischer Tropsch Synthese zu Dieseltreibstoffen umgesetzt. Das Verfahren als solches ist lange bekannt. Grössere Anlagen werden beispielsweise in Südafrika auf Basis Kohle betrieben. Im Osten Deutschlands in Freiberg wird von Choren in Zusammenarbeit mit Shell eine Pilotanlage betrieben. Die Kapazität beträgt zurzeit 15'000 t/a. Für die nächsten Jahre ist der Bau einer Anlage mit einer Kapazität von 200 Mio l Dieseltreibstoff geplant. Zur Produktion dieser Menge muss 1 Mio t atro Holz verarbeitet werden. In der folgenden Abbildung ist ein Schema des Produktionsprozess zu sehen.

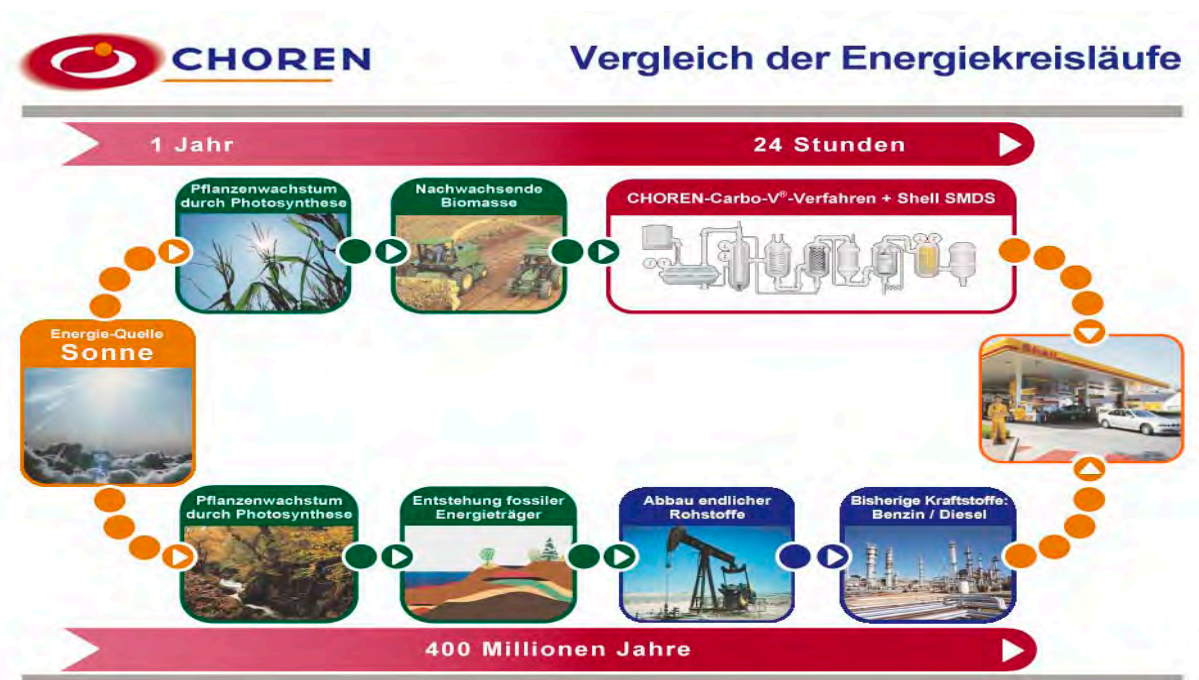


Abb. 4 : Choren BtL Verfahren im Vergleich zu Erdöl



Als weitere Möglichkeit wird die Gasproduktion auf Basis von lignocellulosischen Materialien untersucht. Am Paul Scherrer Institut laufen entsprechende Arbeiten (Waldner & Vogel, 2005). Die nächste Abbildung zeigt schematisch den Weg vom Holz zum Gas. Eine Pilotanlage mit einer Leistung von 1 MW ist seit 2008 in Österreich in Betrieb.

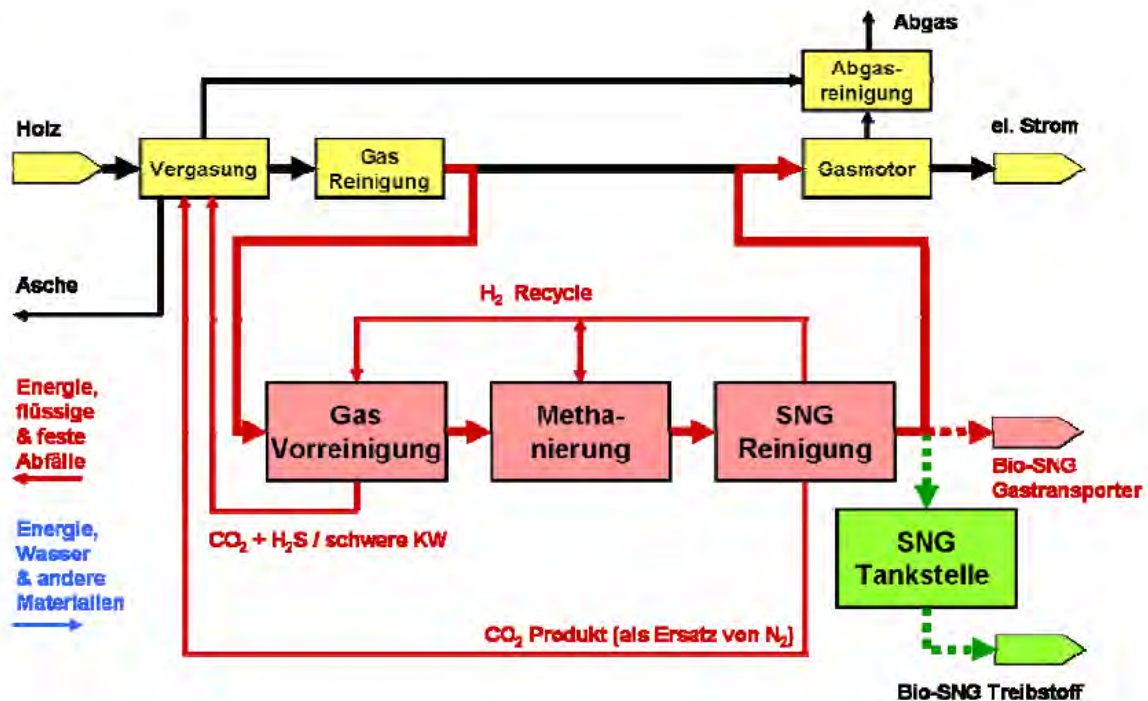


Abb.: Schematisch vom Holz zum Gas (Paul Scherrer Institut).

Für alle Verfahren gilt, dass weltweit erhebliche Investitionen in Forschung und Entwicklung der Bioraffinerien getätigt werden. Es ist auch zu erwarten, dass in den nächsten Jahren vermehrt Anlagen gebaut werden.

## 4. Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht beschreibt die Möglichkeiten wieder ein Zellstoffwerk bzw. Bioraffinerie in der Schweiz anzusiedeln. Dazu ist es nötig die Kostensituation der Schweiz im Vergleich zu Zellstoffproduzenten in der südlichen Hemisphäre zu berücksichtigen. Dazu wird aufgezeigt, dass eine intensive Nutzung der Nebenproduktströme nötig ist. Es erscheint nicht möglich ein modernes Zellstoffwerk in der Schweiz zu verwirklichen. Vielmehr ist es notwendig die Holzsubstanz zur Produktion von höherwertigen Grundstoffen für die chemische Industrie zu nutzen. Bioraffinerien werden sicher entstehen. Wie schnell die Entwicklung voranschreitet hängt aber wesentlich vom Preis und der Verfügbarkeit von Erdöl ab und vom

politischen Willen sich Alternativen zur Erdölbasierten Chemie zu verwirklichen. Die Kosten für die Biotreibstoffe liegen wesentlich über den Herstellkosten der Erdölprodukte. So muss bei der Choren-Anlage bei einem Holzpreis von 160 CHF /t atro mit 0,8 CHF pro Liter allein Holzkosten gerechnet werden. Ohne Subvention von staatlicher Seite ist unter heutigen Bedingungen eine Bioraffinerie nicht wirtschaftlich zu betreiben. Allerdings muss beachtet werden, dass ohne die Umstellung auf nachwachsende Rohstoffe die Klimaziele nicht erreicht werden können. Zu Bemerken ist, dass unser heutiger Energieverbrauch möglicherweise nicht über Biomasse allein zu decken ist. Eine Substitution der Chemikalienherstellung ist dagegen möglich (Kamm & Christensen, Chemistry for Renewables, 2009).

## 5. Literaturverzeichnis

1. Busch, R., Hirth, T., Liese, A., Nordhoff, S., Puls, J., Pulz, O., et al. (78, Nr. 3, 2006). Nutzung nachwachsender Rohstoffe in der industriellen Stoffproduktion. *Chemie Ingenieur Technik*, S. 219-228.
2. Harms, H. (12 1998). Holz ein vielseitiger Chemierohstoff. *Papier aus Österreich*, S. 49-57.
3. Kamm, B. ( 2007). Produktion von Plattformchemikalien und Synthesegas aus Biomasse. *Angew. Chem.*, S. 5146 – 5149.
4. Kamm, B., & Christensen, C. H. (2009). Chemistry for Renewables. *ChemSusChem*, S. 1059-1060.
5. Landälv, I. (2006). Production of Biomass-Based DME and Methanol via Black Lipuor Gasification. *Gasification Technologies Conference*. Washington, DC.
6. Larson, E. D., Consonni, S., Katofsky, R. E., lisa, K., & Frederick, W. J. (2006). *A Cost-Benefit Assessment of Gasification-Based Biorefining in the Kraft Pulp and Paper Industry*. US Department of Energy and American Forest and Paper Association.
7. Mao, H. (2007). *Technical Evaluation of a Hardwood Biorefinery using the "Near-Neutral" Hemicellulose extraction process*. The graduate school university of Maine.
8. Pan, X., Arato, C., Gilkes, N., Gregg, D., Mabee, W., Pye, K., et al. (20. May 2005). Biorefining of Softwoods Using Ethanol Organosolv Pulping: Preliminary Evaluation of Process Streams for Manufacture of Fuel-Grade Ethanol an Co-Products. *Biotechnology and Bioengineering*, S. 473-481.
9. Puls, J., & Saake, B. (2009). Lignocellulose Biorefinery - Organosolv Pretreatment and Component Separation. *Zellcheming 104. Hauptversammlung*. Rhein-Main Hallen Wiesbaden.

10. Schaub, G., & Vetter, A. (2007). Biokraftstoffe - Eine Übersicht. *Chemie Ingenieur Technik* , S. 569 - 578.
11. Sixta, H. (2006). *Handbook of pulp*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag.
12. Stöcker, M. (2008). Biofuels and Biomass-To-Liquid Fuels in the Biorefinery: Catalytic conversion of Lignocellulosic Biomass using Porous Materials. *Angewandte Chemie International Edition* , S. 9200-9211.
13. Unkelbach, G., Schweppe, R., Schmiedl, D., Hirth, T., & Busch, R. (2008). Stoffliche Nutzung von Lignin - Rohstoffe, Prozesse und Produkte. *Dechema Tagung: Industrielle Nutzung Nachwachsender Rohstoffe*. Frankfurt.
14. van Heiningen, A. (2006). Converting a kraft mill into an integrated forest biorefinery. *Pulp and Paper Canada* , S. T141-T146.
15. Waldner, M. H., & Vogel, F. (2005). Renewable Production of Methane from woody biomass by catalytic hydrothermal gasification. *Ind. Eng. Chem. Res.* , S. 4543 - 4551.
16. Werpy, T., & Petersen, G. (August 2004). Top Value Added Chemicals From Biomass. *Pacific Northwest National Laboratory and the National Renewable Energy Laboratory* , S. 1-76.