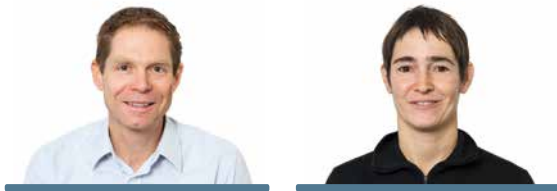


# Biomasse: vielseitig einsetzbar!

## La biomasse : si polyvalente !

Im zukünftigen schweizerischen Energie- und Rohstoffsystem spielt Biomasse eine wichtige Rolle. Sie kann als Energie- oder Kohlenstoffquelle, aber auch zur CO<sub>2</sub>-Sequestrierung verwendet werden. Doch welche Anwendung ergibt am meisten Sinn?

La biomasse jouera à l'avenir un rôle important en Suisse dans le domaine de l'énergie et des matières premières. Elle peut être utilisée comme source d'énergie ou de carbone, ainsi que pour la séquestration du CO<sub>2</sub>. Mais quelle en est l'application la plus pertinente ?



Prof. Dr. Michael Studer, Dozent für Agrar-, Forst und Energietechnik  
 Dr. Simone Brethauer, wissenschaftliche Mitarbeiterin  
 Prof. Dr Michael Studer, enseignant en génie agricole, forestier et énergétique  
 Dr Simone Brethauer, collaboratrice scientifique

Text | Texte  
 Michael Studer

Fossile Ressourcen wie Erdöl und Erdgas sind in der heutigen Gesellschaft sowohl die dominierenden Energieträger als auch die wichtigsten Kohlenstoffquellen für die Produktion von Chemikalien. Aufgrund der endlichen Verfügbarkeit dieser Rohstoffe und ihrer Klimaschädlichkeit ist ein Wechsel auf eine umweltverträgliche erneuerbare Rohstoffbasis unumgänglich. Welche Rolle Biomasse dabei in der Schweiz spielen könnte, wird in diesem Artikel beleuchtet.

### Hohes Potenzial beim Einsatz als Kohlenstoffquelle

Eine erste Einschätzung der möglichen Rolle von Biomasse bei der Energiewende liefert der Vergleich des heutigen Energie- und Rohstoffbedarfs mit dem vorhandenen Biomassepotenzial. Der jährliche Primärenergiebedarf der Schweiz beträgt circa 1 000 Petajoule, von denen 76 Prozent durch fossile Energieträger gedeckt werden (siehe Abbildung). Neben der Energieversorgung werden diese fossilen Rohstoffe auch als Kohlenstoffquelle für die Herstellung von organischen Chemikalien eingesetzt. Die jährlich in der Schweiz verwendeten Chemikalien enthalten insgesamt circa 1 Mio. Tonnen Kohlenstoff, was einem zusätzlichen Verbrauch von 16 Prozent (1,5 Mio. Tonnen) des energetischen Erdölbedarfs entspricht.

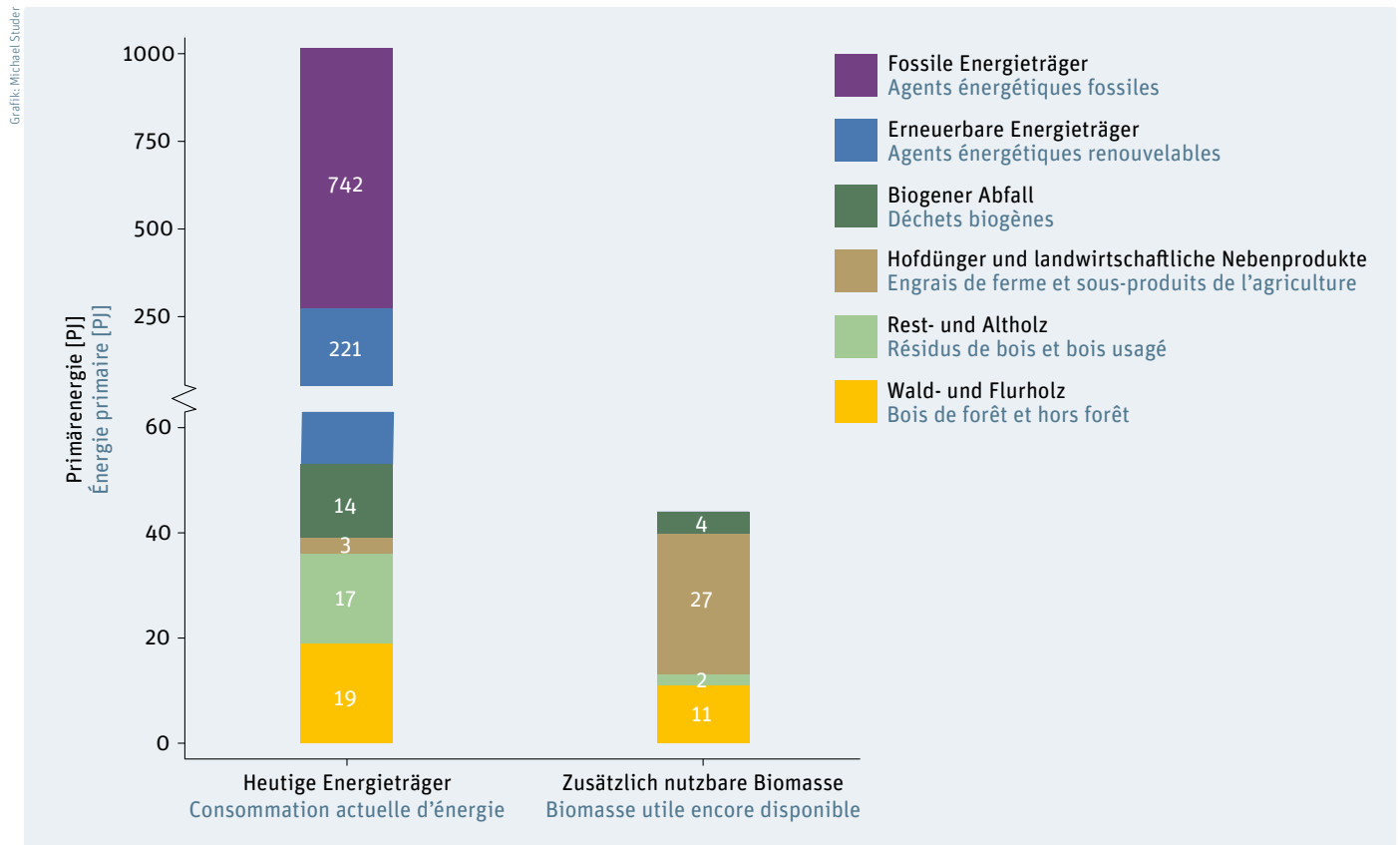
Das Primärenergiepotenzial von nachhaltig nutzbarer, nicht essbarer Biomasse ist mit knapp 100 Petajoule pro Jahr im Vergleich zum heutigen Energieverbrauch sehr klein. Etwas mehr als die Hälfte des Potenzials wird bereits energetisch genutzt (siehe Abbildung), so dass Biomasse zusätzlich maximal 5 Prozent zur heutigen Energieversorgung beitragen könnte. Das bisher ungenutzte Biomassepotenzial enthält circa 3 Millionen Tonnen Kohlenstoff, also 3-mal so viel wie die importierten Chemikalien.

Actuellement, dans notre société, les ressources fossiles telles que le pétrole et le gaz naturel sont à la fois les agents énergétiques dominants et les principales sources de carbone pour la synthèse de produits chimiques. Étant également limitées et néfastes au climat, il est indispensable de se tourner vers des matières premières renouvelables et respectueuses de l'environnement. Le présent article se penche sur le rôle que la biomasse pourrait jouer dans ce contexte en Suisse.

### Grand potentiel comme source de carbone

La comparaison entre les besoins actuels en énergie et en matières premières et le potentiel de biomasse existant donne une première évaluation du rôle possible de la biomasse dans la transition énergétique. En Suisse, la consommation annuelle d'énergie primaire s'élève à environ 1 000 pétajoules, et 76 % sont issus d'agents énergétiques fossiles (voir figure). Au delà de leur utilisation pour l'approvisionnement énergétique, ces matières premières fossiles servent également de source de carbone pour fabriquer des produits chimiques organiques. Les produits chimiques utilisés sur une année en Suisse contiennent au total environ 1 million de tonnes de carbone, ce qui représente une consommation additionnelle de 16 % de pétrole (1,5 million de tonnes).

Le potentiel d'énergie primaire de la biomasse non comestible et utilisable de manière durable, d'à peine 100 pétajoules par an, est très faible en comparaison de la consommation actuelle d'énergie. Un peu plus de la moitié de ce potentiel étant déjà exploité à des fins énergétiques (voir figure), la biomasse pourrait encore contribuer à l'approvisionnement énergétique actuel à hauteur de 5 % au maximum. Le potentiel de biomasse encore inexploité contient environ 3 millions de tonnes de carbone, soit trois fois plus que les produits chimiques importés.



Verhältnis von heutigem Primärenergieverbrauch zum zusätzlich nutzbaren Biomassepotenzial.  
 Comparaison de la consommation d'énergie primaire et du potentiel de biomasse encore disponible.

### Biomasse ist ein vielseitig einsetzbarer Rohstoff

Wie soll nun aber das knappe Gut Biomasse am besten eingesetzt werden? Grundsätzlich kann Biomasse als Energie- oder Kohlenstoffquelle, aber auch zur CO<sub>2</sub>-Sequestrierung verwendet werden. Trockene Biomasse kann als Brennstoff für die Herstellung von Wärme und Strom eingesetzt werden. Feuchte Biomassefraktionen wie Gülle – die mit 24 Petajoule das grösste bisher nicht genutzte Biomassepotenzial darstellt (siehe Abbildung) – müssen vor der energetischen Nutzung z.B. zu Methan umgesetzt werden.

Des Weiteren kann Biomasse als Kohlenstoffquelle zur Defossilisierung der organischen Chemikalien genutzt werden. In der sogenannten «drop-in»-Strategie wird Biomasse zu den Grundchemikalien der heutigen Petrochemie umgewandelt. Hierfür wird trockene Biomasse thermochemisch zu Synthesegas umgewandelt, das zu Methanol oder synthetischem Naphtha weiterverarbeitet wird. Mit der hydrothermalen Vergasung von feuchter Biomasse kann zudem Methan als Ersatz für fossiles Erdgas hergestellt werden. Alternativ kann Methan auch biochemisch über die anaerobe Vergärung von Gülle hergestellt werden. Nach der selektiven Entfernung von CO<sub>2</sub> aus dem Biogas wird reines Methan in das Erdgasnetz eingespeist. Andere biochemische Umwandlungen basieren auf der mikrobiellen Umsetzung von Zuckern, die aus der Biomasse freigesetzt wurden. Die möglichen Produkte wie z.B. Ethanol oder Bernsteinsäure würden den Startpunkt für neue Syntheserouten und gegebenenfalls für neue Produktportfolios in der chemischen Industrie legen – was als Emerging-Strategie bezeichnet wird.

### La biomasse, une matière première polyvalente

Comment exploiter au mieux la biomasse, cette ressource limitée? En principe, elle peut être utilisée comme source d'énergie ou de carbone, mais aussi pour séquestrer du CO<sub>2</sub>. La biomasse sèche peut servir de combustible pour produire de la chaleur et de l'électricité. Avant leur utilisation énergétique, les fractions de biomasse humide, comme le lisier qui, avec 24 pétajoules (voir figure), représente le plus grand potentiel de biomasse inexploité à ce jour, doivent être converties, par exemple en méthane. Mais la biomasse peut également servir de source de carbone pour «défossiliser» les produits chimiques organiques. Dans la stratégie dite «drop-in», la biomasse est transformée en substances chimiques de base pour la pétrochimie. Une fois sèche, elle est pour cela soumise à un procédé thermochemique et transformée en un gaz de synthèse qui est ensuite converti en méthanol ou en naphtha de synthèse. La gazéification hydrothermale de la biomasse humide permet en outre de produire du méthane, un substitut du gaz naturel fossile. Du méthane peut également être obtenu de manière biochimique, par fermentation anaérobie de lisier. Après en avoir éliminé le CO<sub>2</sub>, le méthane pur est injecté dans le réseau de gaz naturel. D'autres transformations biochimiques sont pratiquées par conversion microbienne des sucres de la biomasse. Les produits ainsi obtenus, tels que l'éthanol ou l'acide succinique, pourraient constituer de nouvelles voies de synthèse pour l'industrie chimique et aboutir à un éventail de produits innovants dans le cadre d'une «stratégie émergente».

Der dritte mögliche Einsatzbereich von Biomasse ist in Technologien zur Abscheidung und Speicherung von CO<sub>2</sub> (carbon capture and storage, CCS), da Pflanzen beim Wachstum CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre binden. Wird Biomasse verbrannt, kann gasförmiges CO<sub>2</sub> in viel höherer Konzentration als in der Umgebungsluft und damit energieeffizienter aus den Brenngasen abgeschieden und im Untergrund gespeichert werden. Alternativ kann der in der Biomasse vorhandene Kohlenstoff in eine biologisch nicht mehr abbaubare Form wie Pflanzenkohle überführt und als Feststoff gelagert werden.

Die vielen Einsatzmöglichkeiten der Biomasse können nun im Kontext des Energie- und Rohstoffsystems als Ganzes (also mit allen erneuerbaren Alternativen) nach ökologischen und ökonomischen Kriterien verglichen werden. Zwei Beispiele für einen darauf basierenden sinnvollen Einsatz von Biomasse sind im Folgenden gegeben.

### Strom aus Biomasse als Regelenergie

Der Ersatz von Atomstrom (90 Petajoule pro Jahr) wird mehrheitlich über den Zubau von Photovoltaik und Windkraftanlagen erfolgen, da das Biomassepotenzial dafür viel zu klein ist. Um die damit verbundenen Lastschwankungen auszugleichen, werden jährlich 3,1 Petajoule Regelenergie benötigt. Diese könnte mit schnell hochfahrbaren mit biogenem Methan betriebenen Kraftwerken bereitgestellt werden. Idealerweise sollten diese Anlagen mit Technologien für CCS ausgestattet sein, um negative CO<sub>2</sub>-Emissionen zu ermöglichen.

### Biomasse als Kohlenstoffquelle für die Chemikalienproduktion

Als erneuerbare Kohlenstoffquelle steht neben Biomasse nur noch CO<sub>2</sub> und recycelter Kunststoff zur Verfügung, wobei letzterer nur 10 Prozent des globalen C-Bedarfs decken kann. Die Nutzung von CO<sub>2</sub> zur Herstellung von Chemikalien benötigt zwingend auch erneuerbaren Wasserstoff, der über die Elektrolyse von Wasser gewonnen wird. Die dafür erforderliche Menge an elektrischer Energie wirkt sich negativ auf die Energiebilanz aus. Wird z.B. Methanol aus CO<sub>2</sub> synthetisiert, welches direkt aus der Luft abgeschieden wird, ist der Energiebedarf fast 7-mal so hoch wie bei der Herstellung aus Biomasse. Dies wirkt sich negativ auf die Produktionskosten aus.

In einer Fallstudie, in der die Gesamtkosten der Umstellung der chemischen Produktion auf erneuerbare Rohstoffe minimiert wurden, wurde das gesamte zur Verfügung stehende Biomassepotenzial Deutschlands verwendet und nur mit dem notwendigen Minimum an CO<sub>2</sub> als Kohlenstoffquelle ergänzt. Auch aus ökologischer Sicht ist die stoffliche der energetischen Nutzung vorzuziehen, da die Herstellung von Chemikalien im Vergleich zur Verbrennung zur Wärme-gewinnung pro Einheit an eingesetzter Biomasse bis zu 2,4-mal mehr fossiles CO<sub>2</sub> ersetzt.

### Weitere Studien notwendig

Aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit sollte Biomasse wohlüberlegt dort eingesetzt werden, wo der grösste Nutzen erwartet werden kann. Dies sollte in weiteren wissenschaftlichen Studien sorgfältig quantifiziert werden, um Fehlinvestitionen und die langfristige Blockierung von Biomassepotenzialen in ungünstigen Nutzungsformen zu verhindern.

Dieser Artikel erschien erstmals im ProClim Flash ([proclim.scnat.ch](http://proclim.scnat.ch))

Un troisième domaine d'application de la biomasse concerne les technologies de capture et de stockage du CO<sub>2</sub> (en anglais carbon capture and storage ou CCS). Les plantes captent du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère pour leur croissance. Lorsque la biomasse est brûlée, le CO<sub>2</sub> gazeux peut être isolé des gaz de combustion en concentration beaucoup plus élevée que dans l'air ambiant, ce qui est donc plus efficient énergétiquement, puis stocké dans le sous-sol. Une autre possibilité consiste à transformer le carbone présent dans la biomasse en une forme non biodégradable, comme du charbon végétal, et à le stocker sous forme de matière solide.

Il est maintenant possible de comparer les nombreuses utilisations envisageables de la biomasse dans l'ensemble du système énergétique et des matières premières (y compris toutes les alternatives renouvelables) en fonction de critères écologiques et économiques. Deux exemples d'une utilisation pertinente de la biomasse sont présentés ici.

### De l'énergie de réglage issue de biomasse

La substitution de l'énergie nucléaire (90 pétajoules par an) se fera avant tout par le développement du photovoltaïque et de l'éolien, car le potentiel de la biomasse est bien trop faible pour cela. Compenser les fluctuations de charge qui en découleront nécessitera 3,1 pétajoules par an d'énergie de réglage. Celle-ci pourrait être fournie par des centrales à démarrage rapide fonctionnant au méthane biogénique. Dans l'idéal, ces installations seront équipées de technologies CCS, ce qui aboutirait à des émissions négatives de CO<sub>2</sub>.

### La biomasse comme source de carbone pour la fabrication de produits chimiques

À part la biomasse, les seules sources de carbone renouvelables sont le CO<sub>2</sub> et le plastique recyclé, lequel ne peut couvrir que 10 % de la demande mondiale en carbone. La fabrication de produits chimiques à partir de CO<sub>2</sub> nécessite en outre de l'hydrogène renouvelable, obtenu par électrolyse de l'eau. Ce processus consomme de l'électricité et a donc un impact négatif sur le bilan énergétique. Par exemple, la synthèse de méthanol à partir de CO<sub>2</sub> capté directement dans l'air demande presque sept fois plus d'énergie que sa production à partir de biomasse, ce qui alourdit les coûts de production.

En Allemagne, une étude de cas a examiné comment réduire le coût total d'une conversion de la production chimique à des matières premières renouvelables. À cette fin, tout le potentiel de biomasse disponible dans le pays a été pris en compte et complété seulement par le strict minimum de CO<sub>2</sub> comme source de carbone. Du point de vue écologique, une utilisation matérielle plutôt qu'énergétique est là encore préférable, car pour une même consommation de biomasse, la fabrication de produits chimiques surpasse la combustion pour produire de la chaleur, remplaçant jusqu'à 2,4 fois plus de CO<sub>2</sub> fossile.

### D'autres études restent nécessaires

Étant donné sa disponibilité limitée, la biomasse devrait être utilisée de manière réfléchie, là où elle présentera le plus d'avantages. Ceux-ci doivent être soigneusement quantifiés dans le cadre d'études scientifiques afin d'éviter de mauvais investissements ou une longue immobilisation de potentiels de biomasse exploités de manière peu optimale.

Article paru sur ProClim Flash ([proclim.scnat.ch](http://proclim.scnat.ch))