

Fahrt ins Grüne

Wie weit bringen uns Biotreibstoffe der zweiten Generation?

Kurzfassung der Studie von TA-SWISS «Future Perspectives of 2nd Generation Biofuels»

Rouler écolo

Jusqu'où les biocarburants de deuxième génération tiendront-ils la route?

Résumé de l'étude de TA-SWISS «Future Perspectives of 2nd Generation Biofuels»

Journey into the green

How far can we go with second generation biofuels?

Abridged version of the TA-SWISS study «Future Perspectives of 2nd Generation Biofuels»

Angaben zur Studie «Future Perspectives of 2nd Generation Biofuels»

Informations sur l'étude «Future Perspectives of 2nd Generation Biofuels»

Information about the study «Future Perspectives of 2nd Generation Biofuels»

Die Studie wurde unterstützt vom Bundesamt für Umwelt BAFU, dem Bundesamt für Energie BFE, der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz SCNAT und der Schweizerischen Akademie der Technischen Wissenschaften SATW

L'étude a été réalisée avec le support de l'Office fédéral de l'environnement OFEV, de l'Office fédéral de l'énergie OFEN, de l'Académie suisse des sciences naturelles SCNAT et de l'Académie suisse des sciences techniques ASST

The Study was supported by the Swiss Federal Office for the Environment FOEN, the Swiss Federal Office of Energy SFOE, the Swiss Academy of Sciences SCNAT and the Swiss Academy of Engineering Sciences SATW

Rainer Zah, Claudia Binder, Stefan Bringezu,
Jürgen Reinhard, Alfons Schmid, Helmut Schütz.

Future Perspectives of 2nd Generation Biofuels.

TA-SWISS, Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung
(Hrsg.). vdf Hochschulverlag AG der ETH Zürich, 2010.

ISBN 978-3-7281-3334-2

Auch als eBook erhältlich: www.vdf.ethz.ch



Inhalt

Generationenwechsel im Benzintank	5
Flower Power – Power Flower	7
Avantgarde im Bioreaktor	10
Szenarien nachhaltiger Mobilität in der Schweiz	12
Empfehlungen für Wirtschaft und Politik	15

Table des matières

Changement de génération dans le réservoir à essence	17
Flower Power – Power Flower	19
L'avant-garde dans un bioréacteur	22
Scénarios pour une mobilité compatible avec le développement durable	24
Recommandations économiques et politiques	27

Contents

A new generation in the petrol tank	29
Flower Power – Power Flower	31
The avant-garde in the bioreactor	34
Sustainable mobility scenarios in Switzerland	36
Recommendations for the economy and politicians	39

Generationenwechsel im Benzintank

Unsere auf Mobilität ausgerichtete Gesellschaft braucht dringend Antriebsenergie – und zwar solche, die die Umwelt möglichst wenig schädigt. Das Erdöl geht allmählich zur Neige, und ausserdem entsteht bei seiner Verbrennung klimaschädliches CO₂. Doch auch Treibstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen sind nicht frei von Nachteilen.

Die Verwandlung von Stroh zu Gold gelang bis vor kurzem einzig im Märchen. Und selbst dann nur, wenn einem dabei ein tanzfreudiger Zwerg von zweifelhaftem Charakter und nebulöser Herkunft unter die Arme griff. Heute hat die biotechnologische Forschung die Umwandlung von Stroh zu Gold bis kurz vor die Marktreife getrieben. Erdöl – «schwarzes Gold» – könnte nämlich schon bald durch stark zellulosehaltige Pflanzenteile wie Holz oder durch pflanzliche und andere biologische Rückstände und Abfälle ersetzt werden.

Keine Nahrung in den Tank

Dass sich mit Pflanzen Treibstoff herstellen lässt, ist nichts Neues. Im Grund besteht auch Erdöl aus nichts anderem als aus tierischen und pflanzlichen Rückständen. Ersatz für diesen zunehmend knapper werdenden Rohstoff, der ausserdem nur mit erheblichen Eingriffen in die Umwelt zu gewinnen ist, liesse sich – so die Hoffnung in der ersten Euphorie – als nachwachsendes und klimafreundliches Erntegut vom Feld einbringen. Und so galt Biodiesel aus Raps oder Bioethanol aus Zuckerrohr noch vor wenigen Jahren als umweltfreundliche, buchstäblich «grüne» Alternative zum Benzin aus Erdöl. Der anfängliche Optimismus dürfte denn auch die Bezeichnung «Biotreibstoffe» geprägt haben. Ihre Herstellung hat allerdings nichts mit biologischem Anbau, sondern mit Biomasse zu tun. Gelegentlich wird deshalb auch der Ausdruck «Agrotreibstoffe» verwendet.

Mittlerweile ist die Hochstimmung gegenüber den so genannten «Biotreibstoffen der ersten Generation» verfliegen. Denn erstens schonen sie das Klima weniger als zunächst erwartet. Zweitens konkurrenziert es die Produktion von Nahrung, wenn Mais, Zuckerrohr oder Raps im Benzintank statt auf dem Teller landen. Und drittens bedroht es die Artenvielfalt, wenn Urwälder oder Steppen unter den Pflug geraten, weil das lukrative Geschäft mit dem Treibstoff lockt.

Die Forschung ist allerdings schon einen Schritt weiter. Denn mittlerweile hat sie Verfahren entwickelt, um nahezu alle Formen von Biomasse in Treibstoff umzuwandeln. Also beispielsweise Grünabfall, Mist und Jauche oder stark zellulosehaltige und verholzte Pflanzenteile. Biotreibstoff lässt sich somit auch aus dem Stroh gewinnen, das beim Anbau von Getreide anfällt. Ebenfalls in Frage kommen Pflanzen, die nur geringe Ansprüche an die Böden stellen und damit nicht in einen direkten Wettbewerb zu Futter- oder Nahrungsmittelpflanzen treten.

Gute Aussichten – offene Fragen

Doch der Markteintritt der Biotreibstoffe der zweiten Generation wirft trotz ihres viel versprechenden Potenzials Fragen auf. Wie er den Druck auf Ackerland und andere Produktionsflächen beeinflussen wird, ist nur eine davon. Zu klären wäre ausserdem, welche Pflanzen und Ausgangsmaterialien sich unter welchen Bedingungen besonders gut zur Herstellung von Biotreibstoffen eignen. Unter welchen Voraussetzungen diese eine umweltfreundlichere Mobilität ermöglichen, und welchen Anteil der gesamten Nachfrage sie überhaupt zu decken vermögen, ist ebenfalls ungewiss. Kommt dazu, dass viele Kräfte auf den Markt einwirken. Ausser den technischen Möglichkeiten und der Effizienz der verschiedenen Produktionsverfahren und Nutzungs-



arten spielen auch der Welthandel, die Preise, die internationale Politik und die nationale Gesetzgebung eine grosse Rolle für die Entwicklungsperspektiven der Biotreibstoffe: Je nachdem, in welcher Ausprägung die verschiedenen Faktoren auf ihre Produktion, Nachfrage und Nutzung einwirken – welche Szenarien also den Betrachtungen zu Grunde liegen – unterscheiden sich seine Entwicklungsperspektiven; drei plausible Szenarien für die Schweiz sind in den Kastentexten umrissen.

Die Studie von TA-SWISS zu den Perspektiven von Biotreibstoffen wurde durchgeführt von einem interdisziplinären Team unter der Leitung von Rainer Zah aus der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt Empa in Dübendorf. Ausser dem promovierten Umweltwissenschaftler beteiligten sich an der Untersuchung auch Fachleute für soziale und industrielle Ökologie aus dem Geographischen Institut der Universität Zürich und Experten für Stoffströme und Ressourcenmanagement des Wuppertal Instituts für Klima, Energie und Umwelt. Die Forscherinnen und Forscher verwendeten zur Analyse des Nachhaltigkeitspotenzials (Sustainability Potential Analysis, SPA) von Biotreibstoffen umfangreiche mathematische Modelle und Daten aus der Literatur. Um die Szenarien auszuwählen und zu konkretisieren, stützte sich die Projektgruppe auf eigene Berechnungen und befragte zudem die vierzehn Fachleute, die in der Begleitgruppe der Studie von TA-SWISS mitwirkten. Die hier vorliegende Kurzfassung bündelt die wichtigsten Ergebnisse der Untersuchung.

■ Szenario 1: «Ressourcenknappheit»

Für den sechsjährigen Martin ist der Einkauf neuerdings ein Erlebnis. Denn seit die Firma seines Vaters Kurzarbeit einführen musste, hilft dieser vermehrt im Haushalt. Zum Einkaufen begleitet ihn Martin im Fahrrad-Buggy; er weiss nämlich genau, in welchem Regal des Supermarkts die Linsen und Bohnen zu finden sind, die Mami immer kauft. Am Metzger fahren sie vorbei – Fleisch gibt es nur noch zu besonderen Anlässen. Martin drückt sich ganz an den Rand des Buggys, damit alle Waren verstaut werden können. Morgen werden seine Eltern das Elektroauto des Nachbarn ausleihen, um Waschpulver und Getränkeharassen zu transportieren.

Martin liest natürlich noch keine Zeitungen, und wenn die Grossen über Politik diskutieren, interessiert ihn das auch nicht besonders. So weiss er nicht, dass das allmählich versiegende Erdöl pro Barrel mittlerweile, im Jahr 2015, mehr als 200 US-Dollar kostet. Der hohe Ölpreis hat die Weltwirtschaft in eine Rezession gestürzt. Der Anbau von Energiepflanzen ist gewinnträchtig, wird aber von der Schweizer Regierung nicht unterstützt: Sie setzt die Priorität auf eine hohe Selbstversorgung mit Lebensmitteln und fördert die Umwandlung von Weideland in Ackerflächen. Die Schweiz kann sich so zu über zwei Dritteln selbst ernähren – bis zum Jahr 2030 will sie gar 80 Prozent ihrer Nahrung selber herstellen können. Holzabfälle aus Sägereien freilich werden zu Biotreibstoff umgewandelt, und auch andere Formen erneuerbarer Energie sind konkurrenzfähig geworden. Ausserdem entsprechen sie den Vorgaben der internationalen CO₂- und Klimavereinbarungen, die die Schweiz mitunterzeichnet hat.

■ Szenario 2: «Herausforderungen»

Die 10-jährige Anna gruselt sich, wenn sie dem Dachdecker bei der Arbeit zuschaut. Morgen soll sie einen Aufsatz darüber schreiben, was Sparsamkeit bedeutet – und da passt es gerade, dass der Estrich isoliert und das Dach mit Sonnenkollektoren ausgestattet wird. Denn um sparen zu können, müsse man manchmal zuerst viel ausgeben, haben ihr die Eltern erklärt: Dank der neuen Heizanlage und der verbesserten Isolation könne teures Heizöl eingespart werden.

Der hohe Ölpreis treibt die Erneuerung der Schweizer Wirtschaft voran. Der Anbau von Spritpflanzen bringt Gewinn, und auch die Forstwirtschaft zahlt sich wieder aus, da mehr und mehr Holz zur Energiegewinnung eingesetzt oder zu Treibstoff umgewandelt wird. Auch aus Jauche und Mist wird Gas hergestellt, was für die Bauern ein Anreiz ist, auf die Tiermast zu setzen. Die Gewinnung erneuerbarer Energie aus Wasserkraft, Sonne, Wind und Erdwärme wird gefördert, und Elektroautos und Fahrzeuge mit Hybridantrieb liegen im Trend. Weil die Wirtschaft boomt, ist die Nachfrage nach Energie weltweit gross; die reiche Schweiz kann sich Importe von Biotreibstoffen leisten, berücksichtigt dabei allerdings Zertifikate, die deren nachhaltige Produktion sicherstellen. So wird sie auch den internationalen Klimavereinbarungen gerecht, die sie unterzeichnet hat. Weil die Landwirtschaft sehr effizient arbeitet, vermag sie den Schweizer Nahrungsmittelbedarf nach wie vor zu knapp zwei Dritteln zu decken, obschon vermehrt Flächen für den Anbau von Energiepflanzen genutzt werden.

Szenario 3: siehe Seite 8

Flower Power – Power Flower

Obschon die neuen Spritpflanzen die Herstellung von Nahrung nicht mehr direkt konkurrenzieren, werfen sie nach wie vor Fragen auf. Denn selbst wenn die Treibstoffgewächse nicht auf hochwertigem Kulturland angebaut werden, können sich wirtschaftliche und ökologische Probleme stellen.

Holz, Stroh, Bioabfall – all dies kann seit neuestem zu Treibstoff umgewandelt werden. Auch «exotische» Gewächse und Algen lassen sich als Spritpflanzen nutzen, kommen für den Anbau in der Schweiz allerdings weniger in Frage. Nachfolgend werden in erster Linie jene Ausgangsmaterialien vorgestellt, die hierzulande erzeugt und verarbeitet werden.

Wenn die Jauche- zur Goldgrube wird

Jauche und Mist – ein Nebenprodukt der Nutztierhaltung – birgt für die Schweiz die grössten Möglichkeiten zur Gewinnung von Treibstoff. Heute werden hierzulande gerade mal 0,1 Petajoule mit Jauche oder Mist erzeugt. Das Potenzial aber läge gut zweihundertmal höher, bei rund 21 Petajoule; das entspricht der Energie, die freigesetzt wird, wenn 716 000 Tonnen Steinkohle verbrannt werden.

Bei der Beurteilung seiner Nachhaltigkeit (s. Kasten auf Seite 9) erzielt Treibstoff, der aus Mist und Jauche erzeugt wird, durchweg sehr gute Werte. Die Gewinnung erfolgt technisch und wirtschaftlich wirkungsvoll, der Verbrauch von Wasser, Land und Energie ist tief, grosse Investitionen sind – im Vergleich zur Gewinnung von Erdöl – nicht erforderlich. Die Erfolgsbilanz wird dadurch etwas getrübt, dass Mist und Jauche einen eher geringen Energiegehalt haben, so dass zur Vergärung Bioabfall oder Glycerin beigegeben wird, welches weniger reichlich vorhanden ist.

Biologische Abfälle – eine solide Sache

Biologische Abfälle umfassen alles, was an organischen Materialien im Mülleimer landet – in erster Linie also Garten-, Rüst- und Küchenabfälle und Speisereste sowie Papier. Wie der Treibstoff aus Mist zählt auch jener aus biologischen Abfällen noch zur Kategorie des Biotreibstoffs erster Generation; seiner grossen Bedeutung wegen wird er in der Studie von TA-SWISS aber ebenfalls berücksichtigt.

Heute gelangt in der Schweiz etwa ein Viertel des biologischen Abfalls in den Kompost. Die restlichen drei Viertel werden zur Energiegewinnung genutzt – vorwiegend in Kehrlichtverbrennungsanlagen (89 Prozent), zum geringeren Teil in Biogasanlagen (11 Prozent). Für alle Kenngrössen, die bei der Beurteilung der Nachhaltigkeit berücksichtigt werden, bekommt Treibstoff aus biologischen Abfällen gute Noten – mit einer Ausnahme: besonders flexibel in seiner Verwendung ist dieses Substrat nicht; es kann nur in speziellen Anlagen zu Biotreibstoffen weiterverarbeitet werden.

Der Holzweg führt nicht in die Sackgasse

Treibstoff kann aus gefälltem Rundholz, aus Sägereiabfällen oder aus Abbruchholz erzeugt werden; die Studie von TA-SWISS bilanziert diese drei verschiedenen Holzarten getrennt. Sowohl Rundholz – d.h. Stämme und grössere Äste von Bäumen – als auch Pellets, die aus Sägereirückständen hergestellt werden, dienen bereits jetzt zur Energiegewinnung. Im Unterschied zu Rundholz, das vornehmlich in grossen Blockheizkraftwerken oder in der Industrie verfeuert wird, kommen Holzpellets aus Sägereiabfällen in kleineren Heizungsanlagen zum Einsatz. Abbruchholz schliesslich landet grösstenteils in industriellen Verbrennungsöfen und Kehrlichtverbrennungsanlagen.



In den letzten Jahren wurde die Holznutzung in den Schweizer Wäldern stetig intensiviert; entsprechend wuchs die hiesige Ernte im Lauf des letzten Jahrzehntes um 15 Prozent. Und während im Jahr 2000 rund 21 Prozent (oder eine Million Kubikmeter) des Rundholzes zur Energiegewinnung eingesetzt wurden, waren es im Jahr 2007 40 Prozent des gesamthaft geschlagenen Holzes (bzw. 2,2 Millionen Kubikmeter). Eine Steigerung der Holzgewinnung um knapp eine weitere Million Kubikmeter auf insgesamt 3,1 Millionen wäre möglich, ohne dass die Grundsätze der Nachhaltigkeit verletzt würden; im Prinzip könnte dieses zusätzlich geschlagene Holz zur Gewinnung von Treibstoff genutzt werden.

Die Menge an Restholz, die vornehmlich in Sägereien anfällt, beläuft sich jährlich auf eine Million Kubikmeter. Schätzungen zufolge liesse sich die Gewinnung von Restholz um weitere 0,2 Millionen Tonnen steigern, die für die Erzeugung von Treibstoff verwendet werden könnten. Schliesslich werden in der Schweiz jährlich noch rund 0,65 Millionen Tonnen Abbruchholz verwertet; davon werden knapp die Hälfte verfeuert, der Rest wurde bis vor kurzem zum grossen Teil ins Ausland – vor allem nach Italien – exportiert oder illegal verbrannt. Hier ermittelt die Studie ein Steigerungspotenzial auf 1,3 Millionen Tonnen, so dass sich künftig die Menge an verwertetem Abbruchholz verdoppeln könnte.

Gemessen am Referenzprodukt Rohöl bestechen alle drei Holzarten durch ein hohes Nachhaltigkeitspotenzial. Die Energieeffizienz ist hoch, Schadstoffausstoss und Wasserverbrauch sind gering, und der Bedarf an Infrastrukturen hält sich sowohl bei der Gewinnung als auch für die Lagerung in Grenzen. Gegenüber Rund- und Restholz fällt Abbruchholz durch bessere Werte in der so genannten Flächeneffizienz auf, denn es braucht ja nicht eigens angebaut zu werden. Auf der anderen

Seite schlägt beim Abbruchholz negativ zu Buche, dass es in seiner Verwendung nicht sehr flexibel ist – kann es doch wegen seinem Schadstoffgehalt nur in Grossanlagen mit entsprechenden Filtern verarbeitet werden.

Stroh als brach liegendes Potenzial

Im Jahr 2006 betrug die Schweizer Strohernte rund 58 000 Tonnen. Wenn es nicht gleich auf dem Feld liegen bleibt und später als Nährstoffgabe in den Boden untergepflügt wird – was mit etwa der Hälfte des anfallenden Stroh geschiebt – wird es in Kuh-, Pferde- oder Kleinviehställen eingestreut. Nachdem es seinen Dienst als Einstreu erfüllt hat, gelangt es als Mist wieder auf's Feld. Ebenso gut lässt sich aus dem Mist allerdings Biotreibstoff erzeugen; für die Schweiz ist dies denn auch relevanter, als Stroh direkt für die Herstellung von Biotreibstoff zu verwenden. Zusätzlich könnte aber auch das Stroh genutzt werden, das auf den Feldern gelassen und später umgeackert wird. Ein beträchtlicher Teil davon ist allerdings auf den Feldern zu belassen, um die Bodenfruchtbarkeit zu sichern.

Die Werte, die Stroh in der Analyse seines Nachhaltigkeitspotenzials erzielt, sind allesamt recht gut, zumal im Vergleich zu den meisten anderen landwirtschaftlich erzeugten Rohstoffen seine Flächeneffizienz hoch ist. Allerdings ist die Menge im Vergleich zu den anderen Rohstoffen relativ gering.

Grasland – genau so grün, wie es scheint

In den Vereinigten Staaten von Amerika werden derzeit grosse Hoffnungen in extensiv bewirtschaftete Grasflächen gesetzt, die auch auf relativ wenig fruchtbaren Böden gedeihen und für deren Pflege kein grosser Aufwand zu leisten ist. Im Vergleich zu Bioethanol aus Mais oder zu Biodiesel aus Soja erzielt Treibstoff aus

■ Szenario 3: «Unbeschränktes Wachstum»

Anders als die vergangenen Jahre, fährt die Familie der 14jährigen Jasmin über Ostern nicht mehr in die Bretagne. Bereits beim letzten Aufenthalt war es dort viel weniger schön gewesen als zuvor – hatte doch ein internationaler Agrokonzern auf dem ursprünglichen Bruchwald, der gleich an das Feriendorf angrenzte, ausgedehnte Felder mit hohen schilfartigen Gräsern angelegt. Daraus könne Treibstoff gewonnen werden, hatte ihnen der Manager der Feriensiedlung erklärt. Das entschädigt aber kaum dafür, dass die Schnepfen, die sich am frühen Morgen zuweilen mit ihren Jungen beobachten liessen, nun weg bleiben und landwirtschaftliche Maschinen die Ruhe stören. Die Familie hat sich ein neues Reiseziel gesucht: Kenia liegt zwar weiter weg, aber Sonnenschein ist dort garantiert, und in den Nationalparks lässt sich die gewaltige Natur ohne Beeinträchtigungen erleben. Der Flug fällt dank des billigen Kerosins finanziell kaum ins Gewicht. Und weshalb sollten sich die privaten Haushalte einschränken, wenn für die Politik Luftreinhaltung und Klimaschutz kein Thema sind? Die Schweiz hat nämlich keine Vereinbarung unterzeichnet, die sie verpflichten würde, ihre Emissionen einzudämmen. Und auch sonst setzt sie – wie die übrige Welt – auf ein unbeschränktes Wachstum, gestützt durch niedrige Energiepreise.

Grasland bessere Nachhaltigkeitswerte. Auch mit Gras, das unter Schweizer Verhältnissen gedeiht, liesse sich auf nachhaltige Weise Sprit erzeugen. Einzig im Hinblick auf die Flächeneffizienz ist die Beurteilung ungewiss, und auch die fehlende Erfahrung im Umgang mit diesem Rohstoff schlägt negativ zu Buche.

Exotisches aus dem Ausland

Miscanthus stammt ursprünglich – wie es die deutsche Bezeichnung Chinaschilf vermuten lässt – aus den tropischen und subtropischen Gebieten Südasiens. Es handelt sich um ein Gras aus den Reihen der so genannten «C₄-Pflanzen», die sich durch eine vergleichsweise effiziente Fotosynthese und eine entsprechend hohe Produktivität auszeichnen. Der Zellulosegehalt von *Miscanthus* ist hoch und die Ausdauer beträchtlich: Einmal ausgesät, kann die Pflanze bis zu 25 Jahre lang genutzt werden. Insbesondere in den USA laufen zurzeit eine Reihe von Versuchen zur Verwendung von Chinaschilf. In der Schweiz sind die klimatischen und naturräumlichen Bedingungen für den erfolgreichen *Miscanthus*-Anbau ebenfalls gegeben, der im kleinen Umfang auch schon praktiziert wird. In der Nachhaltigkeitsanalyse überwiegt die günstige Beurteilung; weniger gute Noten erhält Chinaschilf einzig bei der Flächeneffizienz und der geringen Flexibilität beim Anbau.

Auch aus Algen lässt sich Treibstoff gewinnen. Einer ihrer grössten Vorteile liegt darin, dass sie als Wasserpflanzen keinerlei fruchtbaren Boden beanspruchen und somit nicht in Wettbewerb zu landwirtschaftlichen Erzeugnissen treten. Allerdings erfordern sie hohe Investitionen und riesige Becken, so dass die Flächeneffizienz ebenfalls nicht zu befriedigen vermag. Auch der Energiegewinn ist gemessen am erforderlichen energetischen Input gering. Verglichen mit anderen

Rohstoffen, die in der Schweiz im Gespräch sind, fällt die Gesamtbilanz von Algen jedenfalls ab.

Im globalen Massstab betrachtet, könnten auch sukkulente Salzpflanzen (Halophyten), die in salzigem Brackwasser gedeihen, eine bedeutende Rolle bei der Produktion von Biotreibstoffen spielen. In China wird beispielsweise *Kosteletzkya virginica* angebaut, eine Malve, aus deren Nuss Öl gepresst werden kann. Salzpflanzen lassen sich mit geringem Aufwand und allenfalls in Kombination mit anderen aquatischen Nutzungen, etwa der Zucht von Garnelen, kultivieren. Bedenklich ist allenfalls, dass ein verstärkter Anbau von Halophyten wertvolle Biotopie wie Mangrovenwälder gefährden könnte.

Damit effiziente Fahrzeugtechnik dazu beitragen kann, dass Biotreibstoffe einen namhaften Anteil des fossilen Brennstoffes ersetzen, darf der geringere Spritverbrauch nicht durch häufigere und längere Fahrten (über)kompensiert werden.

■ Die vielen Facetten der Nachhaltigkeit

Obschon der ursprünglich aus dem Forstwesen stammende Begriff der Nachhaltigkeit gerne im Zusammenhang mit ökologischen Anliegen zur Sprache kommt, umfasst er eine grössere Bandbreite. Die Analyse des Nachhaltigkeitspotenzials, wie sie in der Studie von TA-SWISS vorgenommen wurde, berücksichtigt nebst jenen Merkmalen, die sich auf die Umwelt beziehen, auch solche, die wirtschaftlich, gesellschaftlich und kulturell von Bedeutung sind. Eigenschaften wie ökonomischer und energetischer Wirkungsgrad oder die Flächeneffizienz, der Bedarf an Infrastrukturen und die Abhängigkeit von Bewässerung oder die Schadstoffemissionen und andere Auswirkungen auf die Umwelt werden dabei ebenso in Rechnung gezogen wie soziale Akzeptanz, vorhandenes Know-how oder die Folgen für die Gerechtigkeit und andere Werte innerhalb der Gesellschaft. Diese vielschichtige Beurteilung nimmt die Studie von TA-SWISS sowohl für die einzelnen Ausgangsmaterialien der Biotreibstoffe vor als auch für die verschiedenen Verarbeitungstechniken, Nutzungsarten und Wertschöpfungsketten. Als Referenzprodukt dient dabei Rohöl: Es liefert die Bemessungsgrundlage, an der sich überprüfen lässt, ob die analysierten Ausgangsmaterialien im Hinblick auf die untersuchten Merkmale besser oder schlechter abschneiden.

Avantgarde im Bioreaktor

Um Biotreibstoffe der ersten Generation zu erzeugen, bedient man sich alter Kulturtechniken wie der Destillation, der Gärung oder der Ölextraktion. Demgegenüber erfordern Biotreibstoffe der zweiten Generation komplexere Verfahren, die teilweise neuartige Mikroorganismen in den Produktionsprozess einbinden.

Die Geschichte des pflanzlichen Treibstoffs ist praktisch ebenso alt wie jene des Automobils: Bereits 1850 brachte Nikolas August Otto den Prototyp des später als «Otto-Motor» bekannten Verbrennungsmotors mit Bioethanol zum Laufen, und um 1910 lief das Ford T-Modell mit Ethanol. 1937 meldete der belgische Chemieprofessor Georges Chavanne von der freien Universität Brüssel ein Patent zur Umesterung von Pflanzenölen durch Methanol an. Der Biodiesel – chemisch gesehen Fettsäuremethylester (FAME für «fatty acid methyl ester») – war erfunden.

Zähes wird fließend ...

Ausgangsmaterial für den in der Schweiz am häufigsten verwendeten Biotreibstoff der ersten Generation, den Biodiesel, ist ein Öl – üblicherweise Rapsöl. Diesem werden rund zehn Prozent Methanol und die Hilfsmittel Kalium- oder Natriumhydroxid beigelegt, welche die erwünschte chemische Reaktion ermöglichen. Erreicht das Gemisch im Reaktor die Temperatur von rund 70 Grad, tritt die chemische Reaktion der so genannten Umesterung ein, wobei das Methanol das Glycerin im Ölmolekül ersetzt. Nach der Reaktion ist das Gemisch zweigeteilt: Oben schwimmt der leichtere Biodiesel mit Resten von Methanol, unten setzt sich Glycerin mit weiteren Nebenprodukten ab. Das Glycerin wird gereinigt und kann für verschiedene Zwecke verwendet werden – zum Beispiel für die Herstellung von Kosmetika. Auch der Biodiesel muss mehrfach

ausgewaschen werden, bis alle störenden Reststoffe beseitigt sind. Zum Schluss wird der Rapsölmethylester durch Destillation von Wasserrückständen befreit. Er ist jetzt deutlich flüssiger als das ursprüngliche Rapsöl und entzündet sich leichter. Damit sind die Voraussetzungen erfüllt, damit er konventionellem Diesel beigelegt werden kann; handelsübliche Motoren kommen mit einem zehnprozentigen Anteil Biodiesel in ihrem Treibstoff gut zurecht. Wenn Fahrzeuge allerdings ausschließlich mit Biodiesel fahren sollen, muss ihr Motor umgerüstet werden.

Zucker und Stärke können ebenfalls zu Treibstoff umgewandelt werden. Ausgangsmaterial ist hier beispielsweise Zuckerrohr oder Mais. Dabei kommt die alte Kulturtechnik der alkoholischen Gärung und der Destillation zum Einsatz: Mit Hilfe von Hefepilzen oder Bakterien wird der Pflanzensaft vergoren. Da die Hefezellen und Bakterien bei einer zu hohen Ethanolkonzentration absterben, wird in diesem ersten Schritt bloss ein etwa 9-prozentiger Alkoholgehalt erreicht. Durch Destillation und eine abschliessende Entwässerung wird das Bioethanol auf 97 Prozent angereichert und konventionellem Benzin beigelegt.

... und Festes wird gasförmig oder flüssig

Im Unterschied zu Biotreibstoffen der ersten beruhen jene der zweiten Generation auf Verfahren, die zurzeit grösstenteils noch in Pilotanlagen getestet werden. Eine davon wurde im Jahr 2000 im österreichischen Güssing eröffnet. Sie ist darauf ausgerichtet, aus fester Biomasse – insbesondere aus Holzhackgut – synthetisches Gas («SynGas») zu erzeugen. Die in diesem Prozess zusätzlich anfallende Wärme wird als Fernwärme genutzt. Endprodukt ist ein Methan, das gleich wie Erdgas verwendet werden kann.



Ein anderer Weg wird mit einem Versuchsreaktor im sächsischen Freiberg eingeschlagen, der zu einem flüssigen Endprodukt führt; die Fachwelt bezeichnet die Prozedur denn auch als «BTL» für: «Biomass-to-liquid». Die sächsischen Forscher kombinieren dabei verschiedene Verfahren und greifen unter anderem auf eine Entdeckung der beiden deutschen Chemiker Franz Fischer und Hans Tropsch aus dem Jahr 1925 zurück. Diese hatten herausgefunden, dass sich Gemische aus Kohlenstoffmonoxid und Wasserstoff über einen Kobalt-Katalysator verflüssigen lassen. Sie nutzten das Verfahren, um aus Kohle flüssigen Kraftstoff zu gewinnen.

In der Freiburger Anlage werden nun zellulosehaltige Pflanzenteile verwendet, die zunächst zu Biokoks verkohlt werden. In einem mehrstufigen Verfahren wird dann daraus Biodiesel («SynDiesel») hergestellt. Das als Nebenprodukt anfallende Wachs kann durch zusätzliche Bearbeitung ebenfalls zu Kraftstoff verarbeitet werden.

Eine weitere Möglichkeit, um aus Holz Treibstoff zu gewinnen, besteht in der Vergärung von Holzzellulose: Der Vergärungsprozess läuft dabei gleich ab wie bei Stärke oder Zucker; das Holz muss dazu allerdings vorgängig behandelt werden, damit die Polysaccharide von den Mikroorganismen «geknackt» werden können. Hierzu sind neuartige Enzyme und Hefearten erforderlich, damit der Fermentationsprozess stattfinden kann.

Bewährtes nebst Neuartigem

Sowohl die Erzeugung von synthetischem Gas als auch das BTL-Verfahren fallen hinsichtlich ihrer Effizienz und den meisten übrigen Merkmalen, die bei der Nachhaltigkeitsanalyse berücksichtigt werden, hinter dem Referenzprodukt Erdöl ab. Beide Verfahren sind ziemlich energieintensiv; ausserdem funktionieren sie am besten mit möglichst homogenem Ausgangsmaterial – eine Anforderung, die mit Naturprodukten nicht ohne weiteres zu erfüllen ist.

In der Schweiz seit Jahren erprobt ist indes die Erzeugung von Methan in Biogasanlagen. Das Ausgangsmaterial besteht hier entweder aus Mist und Jauche oder aus Grünabfall. Nachdem lange Zeit überwiegend kleinere Anlagen gebaut wurden, gewinnen zunehmend grosse und professionell betriebene Installationen an Terrain. In ihrer Effizienz mögen sie dem Vergleich mit Erdöl zwar nicht Stand zu halten. Was die Auswirkungen auf die Umwelt betrifft, liegen sie allerdings nicht weit hinter dem Referenzprodukt oder übertreffen dieses sogar.

Die ersten Erfahrungen, die mit BTL- und SynGas-Versuchsreaktoren gesammelt wurden, stärken die Hoffnung, dass künftig Treibstoff auch mit Materialien gewonnen werden könnte, die bisher keine hohen wirtschaftlichen Erträge abwarfen. Allerdings ist zum jetzigen Zeitpunkt noch unsicher, ob sich Biotreibstoffe der zweiten Generation auf dem Markt werden behaupten können. Und selbst wenn dies gelingt, hängt es von zahlreichen Einflussgrössen ab, welchen Beitrag sie zur nachhaltigen Lebensweise eines Landes zu leisten vermögen.

■ «Pionierpflanzen» für Biotreibstoffe der ersten Generation

Aus Pflanzen erzeugter Treibstoff wird bereits seit mehreren Jahren auf dem Weltmarkt gehandelt. Auf globaler Ebene von Bedeutung sind insbesondere Zuckerrohr (Brasilien) und Palmöl (Malaysia und Indonesien). In den gemässigten Breiten steht vor allem Biodiesel aus Raps im Blickpunkt. Im Jahr 2005 wurde in Europa auf 1,4 Millionen Hektaren Raps für die Herstellung von Biodiesel angebaut, und die Nutzung von inländischem Biodiesel in der Schweiz steigerte sich gemäss einer Publikation des Bundesamtes für Energie von 1,5 Millionen Liter im Jahr 1999 auf das gut Siebenfache (11,9 Millionen Liter) im Jahr 2008. Raps benötigt aufwendige Pflege und einen beträchtlichen Einsatz von Dünger und Pflanzenschutzmitteln, so dass es fragwürdig scheint, ein so kostspieliges und vielseitig verwendbares Produkt als Treibstoff zu verbrennen. Über die ganze Wertschöpfungskette betrachtet, schneidet Treibstoff aus Raps hinsichtlich seines Nachhaltigkeitspotenzials sogar leicht schlechter ab als Rohöl aus Norwegen.

Wenn die Effizienz der Fahrzeuge gesteigert würde, liesse sich die Bilanz der Biotreibstoffe erheblich verbessern.

Szenarien nachhaltiger Mobilität in der Schweiz

Nur wenn die ganze Wertschöpfungskette eines Produktes im Blick bleibt – von seiner Herstellung bis zum Verbrauch – lässt sich seine Nachhaltigkeit beurteilen. Die Studie von TA-SWISS fokussiert auf den individuellen Personenverkehr, um die Auswirkungen von Biotreibstoffen auf Umwelt und Gesellschaft zu ermitteln.

Die Nachhaltigkeit einer Gesellschaft bemisst sich letztlich an ihrem Lebensstil: An der Art und Weise, wie sie sich ernährt, beispielsweise, oder daran, wie mobil ihre Mitglieder sind, welche Wohn- und Landwirtschaftsfläche sie beanspruchen, wie viel und welche Energie sie nutzen und ob diese im Land selber produziert oder importiert wird. In einer einzelnen Studie ist es kaum möglich, alle Facetten auszuloten, die für den Ressourcenverbrauch eines Landes und damit für seine Nachhaltigkeit von Belang sind.

Die Untersuchung von TA-SWISS nimmt die Mobilität in den Blickpunkt – ein besonders energieintensives Aktivitätsfeld, für das ausserdem viele Berechnungen und Prognosen existieren. Die Studie analysiert, zu welchem Anteil der fossile Treibstoff, der für den künftigen individuellen Autoverkehr erforderlich sein wird, durch Biotreibstoffe ersetzt werden könnte. Dank dieser Untersuchung ist es möglich, die ganze Wertschöpfungskette der verschiedenen Produktions- und Verarbeitungsformen von Biotreibstoffen auszuleuchten.

Entwicklung der Mobilität und der Fahrzeugflotte

Um die Mobilität mit den angenommenen Szenarien in Beziehung setzen zu können, braucht es begründete Annahmen darüber, wie viel und mit welchen Fahrzeugen künftig gefahren wird. Die Studie von TA-SWISS übernimmt hier die Werte einer Prognose, wonach im Jahr 2010 im motorisierten Individualver-

kehr 56,5 Milliarden Fahrzeugkilometer zurückgelegt werden. Die Mobilität wird weiter zunehmen – und zwar nach den Berechnungen der zitierten Studie auf 66 Milliarden Fahrzeugkilometer im Jahr 2030. Auch der Fahrzeugpark verändert sich, indem der Anteil an Elektromobilen allmählich steigt. Mit diesen Annahmen wird es möglich abzuschätzen, wie hoch der Anteil der verschiedenen Formen von Treibstoff in den drei Szenarien ausfällt.

Mobilität und Treibstoffbedarf in Zeiten der Krise

Das Szenario «Ressourcenknappheit» (s. Kasten auf S. 6) geht von einer weltweiten Rezession aus, die nicht zuletzt den hohen Energiepreisen geschuldet ist. Im Jahr 2015 können gut 2,5 Prozent des benötigten Treibstoffs aus alternativen Quellen stammen. Methan aus Mist und Jauche macht dabei den Löwenanteil aus. Das vergleichsweise knappe Angebot an Dung – bedingt durch die Umstellung der Ernährungsgewohnheiten auf fleischlose Speisen – setzt der Herstellung von Bio-Methangas allerdings Grenzen. Und weil auch die anderen Staaten ihren Treibstoff selber verwenden, sind Importe aus dem Ausland nahezu unmöglich.

Der Umgang mit Bioabfall in diesem Szenario ist effizient: Im Jahr 2030 wird er fast vollständig zur Gewinnung von Biotreibstoff eingesetzt. Stallmist und Jauche gelangen zu 80 Prozent in die Herstellung von Treibstoffen, was 8 Prozent des Treibstoffbedarfs abdeckt. Die Technologien, um aus Holz Treibstoff zu erzeugen, stehen erst im Jahr 2030 in grossem Stil zur Verfügung: Abfallholz endet nun zu 100 Prozent in die Treibstoffproduktion. Bis zum Jahr 2030 wächst der Anteil der alternativen Treibstoffe auf gut 23 Prozent – insbesondere, weil immer mehr Elektromobile unterwegs sind.



Günstige Bedingungen im innovativen Klima

Im Szenario «Herausforderungen» gelangen ebenfalls beträchtliche Anteile von Grünabfall (50 Prozent bis zum Jahr 2015 resp. 70 Prozent bis 2030) und Mist (30 resp. 50 Prozent) in die Produktion von Bio-Methangas. Ausserdem ist die Technologie zur Umwandlung von Holz in synthetisches Gas weit genug fortgeschritten, um bereits im Jahr 2015 ein Viertel der zusätzlichen Holzernte zu verarbeiten; dieser Anteil wächst bis 2030 auf 50 Prozent. Zusätzlich werden Biotreibstoffe der ersten Generation aus dem Ausland importiert, hauptsächlich aus Brasilien, dem weltweit führenden Hersteller von Ethanol aus Zuckerrohr.

Bis zum Jahr 2015 werden unter diesen Voraussetzungen 4,18 Prozent des konventionellen Brennstoffs, der für den motorisierten Personenverkehr verwendet wird, durch alternative Treibstoffarten ersetzt werden können; den Löwenanteil macht dabei Methan aus Dung aus, ins Gewicht fallen wird auch Gas aus Holz.

Elektrische Autos spielen in der Mobilität eine bedeutende Rolle; im Jahr 2030 wird der Anteil von Elektroautos an der gesamten Fahrzeugflotte nahezu 40 Prozent betragen. Dies führt zu grossen Verschiebungen bei der verwendeten Antriebskraft: Über ein Viertel der Antriebsenergie ist im Jahr 2030 elektrisch. Weitere knapp 15 Prozent des verwendeten Treibstoffs sind biologischen Ursprungs (hauptsächlich inländisch produziertes Bio-Methangas und importierter BTL-Treibstoff) und speisen hocheffiziente Verbrennungsmotoren. Alles in allem ersetzen alternative Energiequellen nun rund einen Drittel des fossilen Treibstoffs.

Unbeschränktes Wachstum vermindert Ersatz

Bis zum Jahr 2015 gelangen vom zusätzlich anfallenden Mist und Abbruchholz im Szenario «unbeschränktes Wachstum» je 20 Prozent, vom Bioabfall 50 Prozent in die Treibstoff-Produktion. 10 Prozent des zusätzlich geschlagenen Holzes wird ausserdem für die Herstellung von synthetischem Gas verwendet. Dazu kommen beträchtliche Importe von Bioethanol aus Brasilien und von Palmöl aus Indonesien – beides also Biotreibstoffe der ersten Generation, deren Anbau weltweit gefördert wird.

Die Verwendung biologischer Ausgangsmaterialien verstärkt sich bis 2030 weiter, so dass zu diesem Zeitpunkt 50 Prozent des zusätzlich produzierten Mistes, 70 Prozent des Grünabfalls, sowie alles Abbruch- und zusätzlich geschlagene Holz für die Erzeugung von Treibstoff genutzt werden. Auch die Importe von Biotreibstoffen steigern sich, und zwar um das Dreifache des Wertes von 2015.

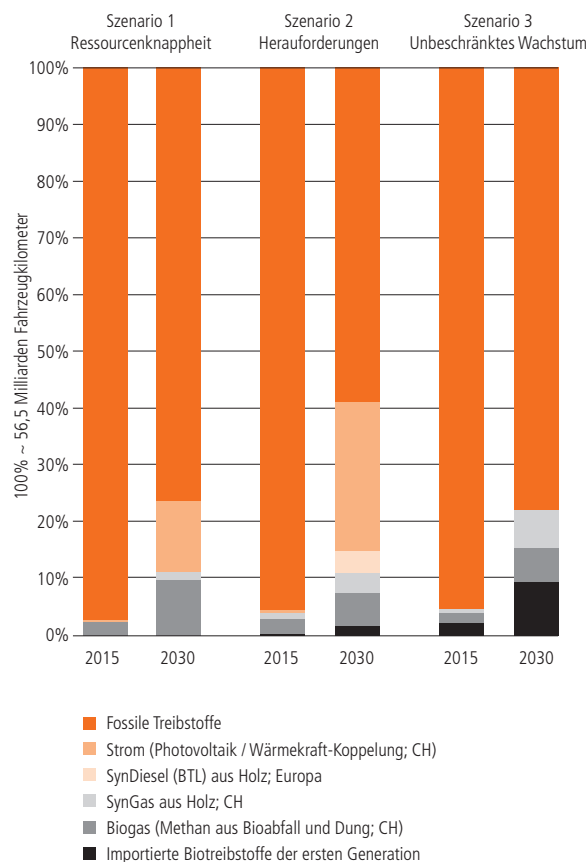
Unter den Bedingungen des unbeschränkten Wachstums können zunächst, d.h. bis 2015, gut 4 Prozent des fossilen Treibstoffs durch alternative Formen ersetzt werden – hauptsächlich dank importiertem brasilianischem Ethanol und einheimisch produziertem Bio-Methangas auf Basis von Mist. Der Anteil, der durch eingeführtes Bioethanol ersetzt wird, steigt bis 2030 auf über 9 Prozent an; dazu kommen je gut 5 Prozent synthetisches Gas auf Holzbasis und Bio-Methangas auf der Grundlage von Mist. Aufgrund der grossen Importe könnten mithin 22 Prozent des Treibstoffs aus Rohöl durch Biotreibstoffe ersetzt werden – allerdings ohne Rücksicht auf die Nachhaltigkeit.

Begrenztes Potenzial – dennoch nicht gering zu schätzen

Übers Ganze betrachtet, werden Biotreibstoffe nur einen relativ geringen Anteil des fossilen Treibstoffes ersetzen können. Selbst unter den optimistischsten Annahmen lässt sich bestenfalls ein Zehntel des fossilen Treibstoffs durch umweltfreundliche Biotreibstoffe substituieren.

Begrenzend wirkt sich aus, dass in der Schweiz nur eine beschränkte Anbaufläche zu Verfügung steht, um die Produktion von Biomasse zu steigern. Bereits im Jahr 2006 nutzte die Schweiz pro Person 27 Prozent mehr Anbaufläche als der Durchschnitt der Weltbevölkerung; sie könnte ihren Flächenverbrauch einzig im Szenario «Ressourcenknappheit» unter den Weltdurchschnitt drücken, wohingegen er im ansonsten günstigen Szenario «Herausforderungen» (2030) nach wie vor um 16 Prozent darüber läge. Verglichen mit dem Potenzial der Biotreibstoffe ist jenes der Elektromobilität bedeutend grösser, da sich die Stromproduktion eher ankurbeln lässt. Unter optimalen Bedingungen könnte sie bis rund einen Drittel des fossilen Treibstoffs substituieren.

Doch auch wenn sich die prozentualen Anteile einheimischer Biotreibstoffe recht bescheiden ausnehmen mögen: In absoluten Zahlen ausgedrückt, sind sie stattlich und belaufen sich auf bis zu 26,5 Petajoule – bzw. rund 7360 Millionen Kilowattstunden oder gut 900 000 Tonnen Steinkohleeinheiten. Genügend Energie also, um den jährlichen Energieverbrauch von über einer Million durchschnittlicher Einfamilienhäuser zu decken.



Technischer Innovation kommt die grösste Bedeutung zu

Die Bilanz für Biotreibstoffe liesse sich erheblich verbessern, wenn die Effizienz der Fahrzeuge gesteigert würde. Die Studie von TA-SWISS geht bei ihren Berechnungen nämlich davon aus, dass ein Auto im Jahr 2010 für 100 Kilometer durchschnittlich acht Liter braucht. Technischer Fortschritt kann den Treibstoffverbrauch auf sechs Liter im Jahr 2015 und auf vier im Jahr 2030 senken. Würden die Fahrzeuge sparsamer, könnten Biotreibstoffe viel wirkungsvoller genutzt werden: Gelänge es, den Treibstoffverbrauch gar auf drei Liter pro 100 Kilometer zu senken, könnten unter den optimistischen Annahmen des Szenarios «Herausforderungen» bis ins Jahr 2030 rund 45 Prozent des fossilen Antriebsstoffs ersetzt werden. Dabei entfielen 19 Prozent auf Biotreibstoffe und 26 Prozent auf Elektromobilität. Voraussetzung wäre allerdings, dass der geringere Spritverbrauch nicht durch häufigere und längere Fahrten (über)kompensiert würde.

Bedeutsam ist ausserdem, auf welche Weise der Strom für die Elektromobile erzeugt wird. Damit er sein positives Potenzial entfalten kann, müssen seine Quellen erneuerbar sein. Wenn Elektromobile mit Strom fahren, der aus fossilem Brennstoff erzeugt wird, belasten sie die Umwelt ähnlich wie die effizientesten Autos mit Verbrennungsmotor.

■ Die Sonne im Tank

Von den erneuerbaren Energien ist Sonnenenergie eine der populärsten Formen. Denn sie funktioniert diskret – ohne Geräusche, Gase oder andere unerwünschte Emissionen zu verursachen. In ihrer Herstellung sind Sonnenkollektoren allerdings etwas problematischer – beruhen sie doch auf dem Halbmetall Silizium, das in einer Reihe chemischer Prozesse angereichert und verarbeitet werden muss. Wenn bei der Nachhaltigkeitsanalyse auch die Herstellung der Sonnenkollektoren mit in Rechnung gezogen werden, fällt die Bilanz von Sonnenenergie gemischt aus. Gut schneidet sie bei der Energieeffizienz, beim vorhandenen Know-how und in ihrer Anpassungsfähigkeit an wirtschaftliche Veränderungen ab. Die Studie von TA-SWISS berücksichtigt Sonnenenergie wegen des Beitrags, den sie für den Antrieb elektrischer Fahrzeuge leisten kann.

Empfehlungen für Wirtschaft und Politik

Mit dem Durchbruch der Biotreibstoffe der zweiten Generation kann nur dann gerechnet werden, wenn ihnen die bereits etablierten Energieangebote den Zugang zum Markt nicht blockieren. Eigens den Anbau von Energiepflanzen zu unterstützen, wäre der Nachhaltigkeit in der Schweiz allerdings nicht förderlich.

Biotreibstoffe der zweiten Generation bestechen durch die Eigenschaft, dass sie mit Rohstoffen hergestellt werden können, welche die Umwelt weniger belasten als konventionelle Energiequellen.

Zwei übergeordnete Grundsätze

Nachhaltig ist allerdings nur Biotreibstoff, der aus Abfällen und Restprodukten hergestellt wird – insbesondere aus Grüngut oder aus Sägereiabfall und Abbruchholz. Werden dagegen Spritpflanzen eigens für die Produktion von Treibstoff angebaut, überwiegen die nachteiligen Auswirkungen: Die Herstellung von Nahrung wird konkurrenziert und der Druck auf die Anbauflächen steigt.

Die Berechnungen aus der Studie belegen zudem, dass Elektroautos viel zum Ersatz fossilen Treibstoffs beitragen könnten: Mit 5 Prozent mehr Energie, als heute in der Schweiz jährlich verbraucht wird, könnten etwa 35 Prozent des Treibstoffs ersetzt werden, der für den individuellen Personenverkehr benötigt wird. Allerdings sollten die Elektromobile durch Strom aus erneuerbaren Quellen gespeist werden. Denn nur so kann diese Antriebsform ihr nachhaltiges Potenzial entfalten. Wird Elektrizität dagegen aus fossilen Brennstoffen gewonnen, schneidet sie nicht besser ab als diese.

Sieben Anregungen, um das Potenzial von Biotreibstoffen auszuschöpfen

...❖ 1. Die Verbesserung der Fahrzeugeffizienz und die nachhaltige Verwendung von Biotreibstoffen der ersten Generation sind parallel zu fördern – ebenso die Nutzung von Biotreibstoffen der zweiten Generation in Verbindung mit elektrischer Mobilität.

Biotreibstoffe und die elektrische Antriebskraft ergänzen sich und schaffen Synergien; sie tragen beide dazu bei, den Ausstoss von Schadstoffen zu begrenzen, und sie verringern die Abhängigkeit von der Einfuhr fossiler Brennstoffe. Ob der Vorrang dem elektrischen Antrieb, der verbesserten Fahrzeugeffizienz oder der Förderung des Biotreibstoffs zukommen sollte, ist daher die falsche Frage. Es müssen vielmehr Wege gefunden werden, um diese drei verschiedenen Ansätze gleichzeitig voran zu treiben.

...❖ 2. Es müssen langfristige Strategien für den Umgang mit Biotreibstoffen entwickelt werden, um mit verlässlichen regulativen und gesetzlichen Rahmenbedingungen neue Investitionen in diesem Sektor anzuregen.

Die verschiedenen Interessensvertreter halten sich zurzeit noch mit Investitionen bei der Herstellung von Biotreibstoffen der zweiten Generation zurück. Denn viele Unsicherheiten wirken abschreckend: Ob ausreichend Rohmaterial zur Verfügung gestellt werden kann ist ungewiss, und es gibt noch keine Standards, welche sicherstellen, dass Biotreibstoffe auch wirklich nachhaltig produziert werden.



- ...❖ **3. Es sind Initiativen zu lancieren, die alle massgeblichen Akteure in ein nachhaltiges Ressourcenmanagement auf nationaler und internationaler Ebene einbinden.**

Wenn Biomasse zu Treibstoff umgewandelt wird, konkurrenziert dies andere Anliegen wie die Herstellung von Nahrung und den Schutz der biologischen Vielfalt. Ohne vorbeugende Massnahmen droht die verstärkte Förderung von Biotreibstoffen negative Auswirkungen für andere Wirtschaftssektoren und für die betroffenen Ökosysteme nach sich zu ziehen.

- ...❖ **4. Die Versorgung mit nachhaltigen Rohstoffen ist in den Mittelpunkt zu rücken und dabei die Nutzung von Abfall und Holz sowie den Pflanzenanbau auf Flächen zu begünstigen, die bis jetzt für die Landwirtschaft von geringerem Interesse waren.**

Einzig Abfall – auch Abfallholz – erlaubt es, Biotreibstoffe herzustellen, ohne Druck auf Landwirtschaftsland, Wasser und die biologische Vielfalt auszuüben. Holz wiederum verfügt über ein grösseres energetisches Potenzial als Abfall und lässt sich überdies leicht transportieren und lagern. Werden Spritpflanzen auf Flächen angebaut, die bis jetzt landwirtschaftlich nicht genutzt wurden, sind den Anliegen des Umweltschutzes Rechnung zu tragen.

- ...❖ **5. Es sind breit abgestützte und akzeptierte Methoden zu entwickeln, um unerwünschte und indirekte Nebenfolgen der Biotreibstoffe zu erfassen und zu vermeiden.**

Die indirekten Folgen der Produktion von Biotreibstoffen lassen sich kaum quantifizieren, sind aber von grosser Bedeutung. Es sind multi-sektorale Statistiken über die Landnutzung, die Produktion von Biomasse

und die Preisentwicklung erforderlich, um im globalen Massstab Kausalketten zu modellieren, die eine verstärkte Produktion von Biotreibstoffen in Gang setzen würde.

- ...❖ **6. Die Perspektive bei der Beurteilung von Biotreibstoffen muss von der einseitigen Betonung der CO₂-Bilanz abrücken und verstärkt auch gesellschaftliche und ökologische Aspekte einschliessen.**

Die meisten Studien über die Folgen von (Bio)treibstoffen konzentrieren sich auf CO₂-Bilanzen oder die Energieeffizienz – Indikatoren also, die einfach zu erheben sind. Dabei sind die Auswirkungen der Biotreibstoffe vielschichtig und oftmals schwer zu quantifizieren. Es braucht daher Methoden, die weiter reichen als die Berechnung von Material- und Energieflüssen und beispielsweise die Eigentumsverhältnisse beim landwirtschaftlichen Boden mitberücksichtigen.

- ...❖ **7. Der Umgang mit der Ungewissheit bei der Beurteilung der Zukunftsperspektiven von Biotreibstoffen will gelernt und überwunden werden.**

Die Studie von TA-SWISS vermag nicht alle Fragen zu beantworten, die sich im Hinblick auf Biotreibstoffe stellen. Dies hängt in erster Linie damit zusammen, dass technische Durchbrüche schwer vorhersehbar sind. Insbesondere betrifft dies die Entwicklung der Elektromobilität und die Konkurrenz von etablierten Energietechnologien der ersten Generation zu den in der Praxis noch kaum bewährten Technologien der zweiten Generation. Weitere wissenschaftliche Untersuchungen, etwa im Bereich des Umgangs mit Unsicherheit und über die Wechselwirkungen von Indikatoren unter einander, sollten in die Wege geleitet werden.

■ Treibstoffpflanzen in Ländern des Südens

Als Ausweg aus der Energieknappheit und als klimafreundliche Alternative sieht man Biotreibstoffe in den entwickelten Industriestaaten. Die Länder des Südens erhoffen sich von den neuen Kulturpflanzen sogar noch mehr – nämlich ein Mittel, um Wohlstand zu erlangen und ihre ländlichen Gebiete zu entwickeln. Dort kochen und heizen die Menschen nach wie vor hauptsächlich mit Kohle oder Holz. Das belastet die Umwelt und die Gesundheit der Menschen mit Schadstoffen und begünstigt die Auswaschung der Böden. Mithin könnten vor Ort produzierte Biotreibstoffe zu einer umweltfreundlicheren Energieversorgung der südlichen Länder beitragen und ihnen dank Exporten auf dem Weltmarkt zu Devisen verhelfen. Dies vor allem dann, wenn Pflanzen wie Rhizinus oder Jatropha angebaut werden, die auf kargen Böden gedeihen und deren Fruchtbarkeit sogar verbessern können. Allerdings würde der Anbau anspruchsloser Kulturpflanzen zur Treibstoffgewinnung den Druck auf Gebiete erhöhen, die wegen ihrer ungünstigen ackerbaulichen Bedingungen bis jetzt von der Landwirtschaft ausgespart wurden. Genau dort aber leben Tier- und Pflanzenarten, die sich an diese speziellen Umweltbedingungen angepasst haben und kaum in andere Areale ausweichen können. Für die Artenvielfalt könnte daher ein forcierter Anbau von Spritpflanzen fatale Folgen haben – Entwicklungshilfe zur Bioenergienutzung will deshalb wohlüberlegt sein.

Changement de génération dans le réservoir à essence

Notre société axée sur la mobilité a un urgent besoin d'énergie motrice – et celle-ci doit de surcroît nuire aussi peu que possible à l'environnement. Le pétrole tire lentement à sa fin, et sa combustion dégage du CO₂ qui nuit au climat. Mais les carburants tirés de matières premières végétales renouvelables ne sont pas non plus dépourvus d'inconvénients.

Jusqu'à récemment, la transformation de paille en or ne réussissait que dans les contes de fées. Et ceci seulement si un nain danseur au caractère douteux et d'origine incertaine prêtait son assistance. Aujourd'hui, la recherche biotechnologique a mené la conversion de paille en or presque jusqu'au stade commercial. Le pétrole – l'or noir – pourrait être bientôt remplacé par des parties de plantes à forte teneur en cellulose, telles que le bois, ou par des déchets végétaux et autres résidus biologiques.

Pas de nourriture dans le réservoir

Qu'il soit possible de produire du carburant avec des plantes n'est pas un fait nouveau. Au départ, les constituants du pétrole ne sont d'ailleurs rien d'autre que des résidus animaux et végétaux. L'espoir, dans un premier moment d'euphorie, est que cette matière première toujours plus rare et acquise au prix de lourdes atteintes à l'environnement puisse être remplacée par des biens renouvelables et climat-compatibles moissonnés dans les champs. C'est ainsi que le biodiesel tiré du colza ou le bioéthanol obtenu à partir de la canne à sucre passaient, il y a encore peu d'années, comme alternative « verte » respectueuse de l'environnement à l'essence dérivée du pétrole. Le terme de « biocarburants » porte manifestement la marque de cet optimisme initial. Leur production n'a toutefois rien à voir avec l'agriculture biologique, mais se fonde sur la biomasse. C'est

pourquoi l'on se sert parfois aussi du terme d'« agrocarburants ».

Entre-temps, l'euphorie à l'égard des biocarburants dits « de première génération » s'est dissipée. Car premièrement, ils ménagent moins le climat qu'attendu. Deuxièmement, lorsque du maïs, de la canne à sucre ou du colza aboutissent dans le réservoir à essence plutôt que dans l'assiette, cela fait concurrence à la production alimentaire. Et troisièmement, passer la charrue dans les forêts tropicales et les steppes parce que les biocarburants représentent une affaire juteuse menace la diversité des espèces.

La recherche a déjà fait un pas de plus. Elle a développé des procédés pour transformer en carburant à peu près toutes les formes de biomasse. Donc par exemple des déchets verts, du fumier et du purin ou des parties de plantes à forte teneur en cellulose ou lignifiées. Du biocarburant peut aussi être obtenu à partir de la paille, sous-produit de la culture des céréales. Entrent également en ligne de compte des plantes qui exigent peu du sol et ne sont donc pas directement en concurrence avec les cultures fourragères ou alimentaires.

Bonnes perspectives – questions ouvertes

Toutefois, en dépit d'un potentiel très prometteur, l'entrée sur le marché des biocarburants de deuxième génération n'est pas sans soulever des questions. Savoir comment elle influencera la pression sur les terres arables et d'autres surfaces de production n'est que l'une de ces interrogations. Il faudrait en outre tirer au clair quelles plantes et matières de base se prêtent particulièrement bien à la production de biocarburants et sous quelles conditions. Les modalités selon lesquelles ces derniers rendent la mobilité plus respectueuse de l'environnement, et la part de la demande



totale qu'ils sont en mesure de couvrir, sont également mal connues. A ceci s'ajoute que de nombreuses forces agissent sur le marché. Non seulement les possibilités techniques et l'efficacité des différents procédés de production et formes d'utilisation, mais aussi le commerce mondial, les prix, la politique internationale et la législation nationale jouent un grand rôle pour les perspectives de développement des biocarburants : celles-ci diffèrent selon l'impact des divers facteurs d'influence sur la production, la demande et l'utilisation de ces carburants – donc selon les scénarios à la base des considérations ; trois scénarios plausibles pour la Suisse sont esquissés dans les encadrés.

L'étude de TA-SWISS sur les perspectives des biocarburants a été réalisée par une équipe interdisciplinaire sous la direction de Rainer Zah du Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche (Empa), à Dübendorf. A part ce titulaire d'un doctorat en sciences de l'environnement, des spécialistes en écologie sociale et industrielle de l'Institut de géographie de l'Université de Zurich ont également pris part à l'étude, de même que des experts en matière de flux de substances et de gestion des ressources de l'Institut pour le climat, l'énergie et l'environnement, à Wuppertal. Pour analyser le potentiel de biocarburants en termes de développement durable (Sustainability Potential Analysis, SPA), les chercheuses et chercheurs ont eu recours à des modèles mathématiques détaillés et à des données tirées de publications. Pour choisir et concrétiser les scénarios, le groupe de projet s'est appuyé sur ses propres calculs et a questionné de surcroît les quatorze spécialistes qui participaient au groupe d'accompagnement de l'étude de TA-SWISS. La présente version abrégée rassemble les plus importants résultats de cette étude.

■ Scénario 1 : « Pénurie de ressources »

Faire les achats est depuis peu un événement pour Martin, qui est âgé de six ans. Car depuis qu'il a fallu introduire l'horaire réduit dans l'entreprise de son père, celui-ci aide davantage au ménage. Quand il fait les achats, Martin l'accompagne en vélo-poussette ; car il sait exactement sur quelle étagère du supermarché l'on trouve les lentilles et les haricots que maman achète toujours. Ils passent devant la boucherie sans s'arrêter – il n'y a de la viande plus qu'à certaines occasions. Martin se serre tout contre le bord de la poussette, pour permettre d'entasser toutes les marchandises. Demain, ses parents emprunteront la voiture électrique du voisin, pour transporter de la poudre à lessive et des harasses de boisson.

Martin ne lit pas encore les journaux, et les discussions politiques des grands ne l'intéressent pas spécialement. Il ne sait donc pas que le pétrole, qui s'épuise peu à peu, coûte en 2015, plus de 200 dollars US le baril. Ce prix élevé a plongé l'économie mondiale dans une récession. La culture de plantes énergétiques est rentable, mais n'est pas soutenue par le gouvernement suisse : celui-ci met la priorité sur l'autoapprovisionnement en denrées alimentaires et promeut la conversion de pâturages en surfaces agricoles. La Suisse peut ainsi subvenir à plus de deux tiers de ses besoins alimentaires – jusqu'en 2030, elle entend même produire 80 pour cent de son alimentation. Des déchets de bois sont transformés en biocarburant, et d'autres formes d'énergie renouvelable sont devenues compétitives. Elles correspondent par ailleurs aux exigences des accords internationaux sur le CO₂ et le climat, que la Suisse a signés.

■ Scénario 2 : « Défis »

La petite Anna, âgée de dix ans, devra demain écrire une composition sur ce que signifie être économe – le sujet tombe bien, car le grenier est en train d'être isolé et le toit équipé de collecteurs solaires. Pour faire des économies, il faut parfois d'abord dépenser beaucoup, lui ont expliqué ses parents : grâce à la nouvelle installation de chauffage et à la meilleure isolation, il sera possible d'économiser du coûteux mazout.

Le prix élevé du pétrole fait avancer le renouvellement de l'économie suisse. La culture de plantes à carburant rapporte, et l'exploitation des forêts est de nouveau payante, parce que toujours plus de bois est utilisé pour produire de l'énergie ou transformé en carburant. L'on produit aussi du gaz à partir de purin et de fumier, ce qui est, pour les paysans, une incitation à engraisser du bétail. La production d'énergie renouvelable hydraulique, solaire, éolienne et géothermique est encouragée, et les voitures électriques et véhicules à traction hybride sont tendance. L'économie étant en plein essor, la demande d'énergie est importante dans le monde entier ; la Suisse, riche, peut se permettre d'importer des biocarburants, mais prend en considération les certificats garantissant qu'ils ont été produits de façon compatible avec le développement durable. Elle satisfait ainsi aux accords internationaux sur le climat qu'elle a signés. Vu que l'agriculture travaille de façon très efficace, les besoins suisses en denrées alimentaires continuent d'être couverts presque aux deux tiers, en dépit d'une utilisation accrue de surfaces agricoles pour la culture de plantes énergétiques.

Scénario 3 : voir page 20

Flower Power – Power Flower

Bien que les nouvelles plantes à carburant ne concurrencent plus directement la production alimentaire, elles continuent néanmoins de soulever des questions. Car même si les végétaux utilisés pour produire des carburants ne sont pas cultivés sur des terres de haute valeur agricole, elles peuvent poser des problèmes économiques et écologiques.

Le bois, la paille, les déchets biologiques – depuis peu, tout ceci peut être converti en carburant. Des végétaux « exotiques » et des algues sont également utilisables pour produire du « pétrole vert », mais leur culture entre moins en ligne de compte en Suisse. Ce chapitre présente en premier lieu les matières de base qui sont produites et élaborées dans ce pays.

Quand le purin devient une mine d'or

En Suisse, ce sont le purin et le fumier – des sous-produits de l'élevage du bétail – qui recèlent les plus grandes possibilités pour produire du carburant. Aujourd'hui, à peine 0,1 pétajoule est produit dans ce pays avec du purin ou du fumier. Mais le potentiel est plus de deux cents fois supérieur, de quelque 21 pétajoules; ceci correspond à l'énergie libérée par la combustion de 716'000 tonnes de houille.

Évalué en termes de développement durable (voir encadré p. 21), le carburant produit à partir de fumier et de purin obtient de très bonnes notes. Sa production est efficace du point de vue technique et économique, elle consomme peu d'eau, de terre et d'énergie, et comparée à celle du pétrole, elle ne nécessite pas de gros investissements. Une ombre à ce bilan positif est que le fumier et le purin ont une teneur en énergie plutôt faible, si bien que des déchets biologiques sont ajoutés pour la fermentation, ou de la glycérine, disponible en moindre abondance.

Les déchets biologiques – une affaire solide

Les déchets biologiques englobent tout ce qui aboutit dans la poubelle en termes de matières organiques – en premier lieu les déchets de jardin, les épluchures, résidus de cuisine et restes de repas, ainsi que le papier. Tout comme le carburant tiré du fumier, celui dérivé de déchets biologiques entre encore dans la catégorie des biocarburants de première génération; mais vu sa grande importance, il est également pris en considération dans l'étude de TA-SWISS.

En Suisse aujourd'hui, environ un quart des déchets biologiques est transformé en compost. Les trois quarts restant sont utilisés pour produire de l'énergie – principalement dans des usines d'incinération des ordures (89 pour cent), dans une plus faible mesure dans des installations de production de biogaz (11 pour cent). Pour tous les paramètres considérés lors de l'évaluation en termes de développement durable, le carburant tiré de déchets biologiques obtient de bonnes notes – à une exception près toutefois: ce substrat n'est pas particulièrement flexible au niveau de l'utilisation; son élaboration en biocarburant ne peut être réalisée que dans des installations spéciales.

La voie du bois ne conduit pas à une impasse

Il est possible de produire du carburant à partir de grumes, de déchets de scierie ou de bois de démolition; l'étude de TA-SWISS évalue séparément chacune de ces trois sortes de bois. Les grumes – c'est-à-dire des troncs d'arbres et de très grosses branches – servent aujourd'hui déjà à produire de l'énergie, de même aussi que les pellets fabriqués à partir de résidus de scieries. A la différence des grumes, qui sont brûlées avant tout dans de grandes centrales de cogénération ou dans l'industrie, les pellets de bois fabriqués à partir



de résidus de scierie sont utilisés dans de plus petites installations de chauffage. Quant au bois de démolition, il aboutit surtout dans des fours industriels et des usines d'incinération des ordures.

Ces dernières années, l'exploitation du bois s'est intensifiée en permanence dans les forêts suisses ; en conséquence, la récolte indigène a augmenté de 15 pour cent au cours de la dernière décennie. Alors qu'en l'an 2000 environ 21 pour cent des grumes (soit un million de mètres cubes) ont servi à produire de l'énergie, en 2007 ce furent 40 pour cent de la totalité du bois abattu (2,2 millions de mètres cubes) qui ont été utilisés à cette fin. Il serait possible d'accroître la récolte de bois de près d'un million de mètres cubes, à 3,1 millions au total, sans contrevenir aux principes de développement durable ; ce surplus de bois abattu pourrait être utilisé pour produire du carburant.

La quantité de résidus de bois, qui proviennent surtout des scieries, s'élève à un million de mètres cubes par an. Selon des estimations, il serait possible d'obtenir un surplus de 0,2 million de tonnes de tels résidus pour la production de carburant. Enfin, en gros 0,65 million de tonnes de bois de démolition sont valorisées chaque année en Suisse ; presque la moitié est brûlée, le reste a été jusqu'à récemment en grande partie exporté – avant tout en Italie – ou brûlé illégalement. A cet égard, l'étude établit un potentiel d'augmentation de 1,3 million de tonnes, si bien que la quantité valorisable de bois de démolition pourrait doubler à l'avenir.

Par rapport au produit de référence qu'est le pétrole brut, les trois sortes de bois séduisent par un potentiel élevé de développement durable. Leur efficacité énergétique est grande, les rejets polluants et la consommation d'eau sont faibles, et la demande en infrastructures est modeste, tant pour la production que pour le

stockage. Comparé aux grumes et aux résidus de bois, le bois de démolition se distingue par un meilleur score en termes d'efficacité d'utilisation de surface, car il ne doit pas être cultivé exprès. Par contre, il a pour côté négatif de ne pas être très flexible au niveau de l'utilisation – du fait de sa teneur en substances nocives, il ne peut être exploité que dans de grandes installations équipées de filtres adéquats.

La paille comme potentiel en friche

En 2006, la récolte de paille s'est élevée en Suisse à 58'000 tonnes. Quand elle n'est pas simplement laissée dans le champ et incorporée plus tard dans le sol lors du labourage, comme appoint d'engrais – ce qui est le cas pour à peu près la moitié de la paille produite – elle est utilisée comme litière dans les étables et écuries. Après avoir rempli sa fonction comme litière, elle retourne sur les champs sous la forme de fumier. Mais le fumier permet tout aussi bien de produire du biocarburant ; ce qui est plus pertinent pour la Suisse que d'utiliser directement la paille à cette fin. La paille laissée sur les champs et incorporée ensuite lors du labourage pourrait aussi être utilisée. Une partie substantielle de cette dernière doit toutefois rester sur les champs pour assurer la fertilité du sol.

Les scores que la paille atteint dans l'analyse de son potentiel en termes de développement durable sont dans l'ensemble très bons, du fait notamment d'une efficacité d'utilisation de surface élevée en comparaison de la plupart des autres matières premières agricoles. Cependant, la paille est relativement peu abondante par rapport aux autres matières premières.

■ Scénario 3 : « Croissance illimitée »

Contrairement aux années passées, la famille de Jasmin, âgé de quatorze ans, ne va pas passer les fêtes de Pâques en Bretagne. Déjà le séjour précédent avait été beaucoup moins beau qu'auparavant – un groupe agronomique international n'avait-il pas établi dans l'ancienne forêt marécageuse, qui jouxtait le village de vacances, de vastes cultures d'herbes ressemblant à des roseaux ! On pouvait en tirer du carburant, avait expliqué l'un des managers aux vacanciers. Mais cela ne compensait guère le fait que les bécasses, que l'on pouvait observer parfois tôt le matin avec leurs petits, s'en étaient allées et que des machines agricoles perturbaient le calme. La famille a cherché une nouvelle destination de voyage : le Kenya est certes plus loin, mais le soleil y est garanti et l'on peut y vivre la grande nature sans être importuné. Grâce au bas prix du kérosène, le vol ne pèse pas lourd financièrement. Et pourquoi les ménages privés devraient-ils se priver, alors qu'au niveau politique, la protection de l'air et du climat compte pour du beurre ? En effet, la Suisse n'a signé aucun accord qui l'obligerait à réduire ses émissions. Et par ailleurs, elle mise – comme le reste du monde – sur une croissance illimitée, basée sur de bas prix de l'énergie.

Des prairies aussi vertes qu'elles paraissent

Les Etats-Unis placent actuellement de grands espoirs dans l'exploitation extensive de prairies qui se développent aussi sur des sols relativement peu fertiles et dont l'entretien ne demande pas de grands efforts. Comparé au bioéthanol tiré du maïs ou au biodiesel dérivé du soja, le carburant produit avec l'herbe de ces prairies obtient de meilleurs scores en termes de développement durable. Du carburant pourrait également être produit dans le respect du développement durable avec de l'herbe qui pousse dans les conditions suisses. L'évaluation n'est incertaine qu'au sujet de l'efficacité d'utilisation de surface, mais le manque d'expérience avec cette matière première s'inscrit aussi en négatif au bilan.

Végétaux exotiques

Le *Miscanthus* est originaire – comme le fait supposer son nom français de roseau de Chine – des régions tropicales et subtropicales d'Asie du Sud. Il s'agit d'une herbe de la série dite des « plantes C₄ », qui se caractérisent par une photosynthèse comparativement efficace et une productivité en conséquence. Le *Miscanthus* a une teneur élevée en cellulose et est remarquablement tenace : une fois semée, cette plante peut être utilisée jusqu'à vingt-cinq ans d'affilée. Aux Etats-Unis notamment, une série d'essais sont en cours en vue de l'exploitation du roseau de Chine. En Suisse, les conditions ayant trait au climat et à la nature du territoire sont également données pour cultiver avec succès le *Miscanthus*, ce qui se fait d'ailleurs déjà à petite échelle. Le jugement positif prédomine dans l'analyse en termes de développement durable ; le roseau de Chine obtient de moins bonnes notes uniquement à propos de l'efficacité d'utilisation de surface et du peu de flexibilité de sa culture.

Du carburant peut être produit aussi à partir d'algues. L'un des plus grands avantages de ces plantes aquatiques réside dans le fait qu'elles n'occupent aucune terre fertile et n'entrent donc pas en compétition avec des produits agricoles. Elles exigent néanmoins d'importants investissements et d'immenses bassins, si bien que l'efficacité d'utilisation de surface n'est pas non plus satisfaisante. En outre, le gain d'énergie est faible, comparé à l'input énergétique requis. Par rapport aux autres matières premières en discussion en Suisse, le bilan global des algues est défavorable.

Considérées à l'échelle mondiale, des plantes grasses des milieux salés (halophytes), qui se développent en l'occurrence dans des eaux saumâtres, pourraient jouer un rôle important dans la production de biocarburants. En Chine, on cultive par exemple *Kosteletzkya virginica*, une mauve dont la noix peut être pressée pour extraire de l'huile. La culture des halophytes demande peu d'efforts et peut être combinée avec d'autres utilisations du milieu aquatique, par exemple l'élevage de crevettes. Il y a lieu de craindre, toutefois, que l'intensification de la culture d'halophytes mette en danger de précieux biotopes tels que les forêts de mangroves.

Même si les pourcentages des biocarburants indigènes peuvent paraître bien modestes, la part de ces derniers est substantielle.

■ Les multiples facettes du développement durable

Bien qu'elle soit volontiers mise en relation avec des questions d'écologie, la notion de développement durable, qui provient de la foresterie, englobe en fait un domaine beaucoup plus vaste. L'analyse du potentiel de développement durable, telle qu'elle est effectuée dans l'étude de TA-SWISS, prend en considération, en plus des caractéristiques se rapportant à l'environnement, également des aspects qui ont une importance économique, sociale et culturelle. Des propriétés telles que le rendement économique et énergétique, l'efficacité d'utilisation de surface, les besoins en infrastructures, la dépendance à l'égard de l'irrigation, les émissions polluantes et d'autres impacts sur l'environnement sont pris en compte au même titre que l'acceptation sociale, le savoir-faire disponible ou les conséquences en termes de justice et d'autres valeurs qui ont cours dans la société. L'étude de TA-SWISS procède à cette évaluation complexe tant pour les différentes matières de base des biocarburants que pour les diverses techniques d'élaboration, formes d'utilisation et chaînes de valeur ajoutée. Le pétrole brut sert de produit de référence : il fournit la base de calcul qui permet de vérifier si les matières de base analysées donnent de bons ou moins bons résultats en ce qui concerne les caractéristiques examinées.

L'avant-garde dans un bioréacteur

La production des biocarburants de première génération recourt à d'anciennes techniques, telles que la distillation, la fermentation ou l'extraction d'huile. Tandis que celle des biocarburants de deuxième génération nécessite des procédés plus complexes, qui associent en partie de nouvelles formes de microorganismes.

L'histoire des carburants végétaux est pratiquement aussi vieille que celle de l'automobile. En 1850 déjà, Nikolaus August Otto réussissait à faire marcher avec du bioéthanol le moteur à explosion connu plus tard sous le nom de « moteur Otto », et en 1910, la Ford T roulait à l'éthanol. En 1937, le chimiste belge Georges Chavanne, professeur à l'Université libre de Bruxelles, annonça un brevet pour la transestérification d'huiles végétales par le méthanol. Le biodiesel – qui est, du point de vue chimique, du méthylester d'acide gras (FAME, pour « fatty acid methyl ester ») – était inventé.

Des liquides épais sont fluidifiés ...

La matière de base du biocarburant de première génération le plus fréquemment utilisé en Suisse, le biodiesel, est une huile – d'ordinaire l'huile de colza. On mélange à celle-ci environ dix pour cent de méthanol et ajoute de l'hydroxyde de potassium ou de sodium comme adjuvant qui permet à la réaction chimique souhaitée de se développer. Une fois que le mélange dans le réacteur a atteint une température d'environ 70 degrés, se produit une réaction nommée transestérification, le méthanol remplaçant alors la glycérine dans la molécule d'huile. Après cette réaction, le mélange se trouve partagé en deux : le biodiesel, plus léger, nage à la surface avec des restes de méthanol, au-dessus de la glycérine et d'autres sous-produits. La glycérine est purifiée et peut être utilisée à différentes fins – par exemple pour fabriquer des cosmé-

tiques. Le biodiesel aussi doit subir plusieurs lavages pour éliminer tous les résidus gênants. Finalement, le méthylester d'huile de colza est libéré de résidus d'eau par distillation. Il est devenu nettement plus fluide que l'huile de colza initiale et s'enflamme aussi plus facilement. Les conditions sont ainsi remplies pour qu'il puisse être mélangé à du diesel conventionnel ; les moteurs commerciaux habituels fonctionnent correctement avec un carburant contenant dix pour cent de biodiesel. Toutefois, si des véhicules doivent rouler exclusivement au biodiesel, leur moteur doit être adapté.

Le sucre et l'amidon peuvent également être transformés en carburant. Dans ce cas, la matière de base est par exemple la canne à sucre ou le maïs, auxquels on applique l'ancienne technique de la fermentation alcoolique suivie de la distillation. Le jus tiré des plantes est mis à fermenter à l'aide de levures ou de bactéries. Etant donné que les levures et les bactéries meurent si la concentration d'éthanol est trop élevée, cette première étape conduit à une teneur en alcool de seulement à peu près 9 pour cent. Le bioéthanol est enrichi à 97 pour cent par distillation suivie d'une déshydratation, puis mélangé à de l'essence conventionnelle.

...et des solides deviennent gazeux ou liquides

A la différence des carburants de première génération, ceux de deuxième génération reposent sur des procédés qui sont à l'heure actuelle encore testés dans des installations pilotes. L'une d'entre elles a été ouverte en l'an 2000 à Güssing, en Autriche. Elle est conçue pour produire du gaz synthétique (« SynGas ») à partir de biomasse solide – notamment du bois déchiqueté. La chaleur générée accessoirement dans ce processus est utilisée comme chauffage à distance. Le produit final est du méthane qui peut être utilisé comme le gaz naturel.



Une autre voie est à l'essai à Freiberg, dans la Saxe, où un réacteur expérimental fournit un produit liquide ; un tel processus est appelé « BTL » par les spécialistes : « Biomass-to-liquid ». Les chercheurs saxons combinent différents procédés et tirent parti entre autres d'une découverte faite en 1925 par deux chimistes allemands, Franz Fischer et Hans Tropsch, en l'occurrence que des mélanges de monoxyde de carbone et d'hydrogène peuvent être liquéfiés à l'aide d'un catalyseur à base de cobalt. Ils se servirent de ce procédé pour obtenir du carburant liquide à partir de charbon.

Dans l'installation de Freiberg, les chercheurs utilisent maintenant des parties de plantes contenant de la cellulose. Elles sont d'abord carbonisées, pour obtenir du biocoque, lequel est soumis ensuite à un processus en plusieurs étapes d'où sort du biodiesel (« SynDiesel »). La cire qui se dégage comme sous-produit peut également être élaborée en carburant.

Une autre possibilité d'obtenir du carburant à partir du bois consiste à faire fermenter de la cellulose de bois : le processus de fermentation se déroule de la même manière que pour l'amidon ou le sucre ; le bois doit toutefois subir un traitement préalable permettant aux microorganismes de désagréger les polysaccharides. A cette fin, de nouvelles espèces d'enzymes et de levures sont nécessaires, qui permettent à la fermentation de se produire.

Des voies éprouvées côtoient l'innovation

Ni la production de gaz synthétique, ni le procédé BTL n'égalent le produit de référence – le pétrole – du point de vue de leur efficacité et de la plupart des autres caractéristiques prises en considération dans l'analyse en termes de développement durable. Les deux

procédés sont assez gourmands en énergie ; en outre, ils donnent les meilleurs résultats avec une matière de base la plus homogène possible – une exigence qui ne peut pas être satisfaite sans autre avec des produits naturels.

En Suisse, la production de méthane dans des installations de biogaz est une voie éprouvée depuis des années. Dans ce cas, la matière de base est soit du fumier et du purin, soit des déchets verts. Après que les petites installations aient longtemps dominé, les grandes unités de production, gérées professionnellement, gagnent aujourd'hui du terrain. Du point de vue de leur efficacité, elles ne tiennent certes pas la comparaison avec le pétrole. Mais en ce qui concerne les impacts sur l'environnement, elles ne sont pas très inférieures au produit de référence ou le surpassent même.

Les premières expériences récoltées avec des réacteurs expérimentaux pour les processus BTL ou SynGas renforcent l'espoir d'obtenir à l'avenir du carburant à partir de matières qui étaient jusqu'ici de peu de rapport. Toutefois, on ne sait pas encore avec certitude à l'heure actuelle si des biocarburants de deuxième génération pourront s'imposer sur le marché. Et même si c'était le cas, la contribution qu'ils sont en mesure de fournir pour orienter le mode de vie d'un pays vers le développement durable dépend de nombreux facteurs d'influence.

■ Des « plantes pionnières » pour des biocarburants de première génération

Du carburant produit à partir de plantes est déjà négocié depuis plusieurs années sur le marché mondial. Au niveau mondial, les produits de base les plus importants à cet égard sont la canne à sucre (Brésil) et l'huile de palme (Malaisie et Indonésie). Aux latitudes moyennes, l'attention porte avant tout sur le biodiesel tiré du colza. En Europe, 1,4 million d'hectares ont été dédiés en 2005 à la culture du colza pour la production de biodiesel, et en Suisse, selon une publication de l'Office fédéral de l'énergie, l'utilisation de biodiesel indigène a passé de 1,5 million de litres en 1999 à une quantité sept fois plus grande (11,9 millions de litres) en 2008. La culture du colza est laborieuse et requiert un apport considérable d'engrais et de pesticides, si bien que brûler comme carburant un produit aussi coûteux et polyvalent paraît discutable. Considéré sur toute sa chaîne de création de plus-values, le carburant tiré du colza a même un score légèrement inférieur au pétrole de Norvège du point de vue de son potentiel de développement durable.

Le bilan des biocarburants serait nettement meilleur si l'on augmentait l'efficacité des véhicules.

Scénarios pour une mobilité compatible avec le développement durable

L'évaluation d'un produit dans l'optique du développement durable n'est possible qu'en considérant la totalité de la chaîne de création de plus-values – de la fabrication à l'utilisation du produit. L'étude de TA-SWISS braque le projecteur sur les transports individuels, afin d'établir les effets des biocarburants sur l'environnement et la société.

C'est en fin de compte à son style de vie qu'une société peut être évaluée en termes de développement durable : par exemple à sa manière de se nourrir, ou au degré de mobilité de ses membres, à la surface qu'elle occupe pour l'habitation et l'agriculture, à la quantité d'énergie qu'elle consomme et à la question de savoir si cette énergie est produite dans le pays même ou importée. Il n'est guère possible d'examiner dans une seule étude toutes les facettes qui sont importantes pour la consommation de ressources d'un pays et donc aussi pour son développement durable.

L'étude de TA-SWISS braque le projecteur sur la mobilité – un champ d'activité particulièrement gourmand en énergie, pour lequel il existe en outre de nombreux calculs et prévisions. L'étude analyse quelle part du carburant fossile nécessaire à l'avenir pour les transports individuels pourrait être remplacée par des biocarburants. Cet examen permet d'éclairer la totalité de la chaîne de création de plus-values des différentes formes de production et d'élaboration des biocarburants.

Evolution de la mobilité et du parc de véhicules

Pour mettre la mobilité en relation avec les scénarios considérés, il faut disposer d'hypothèses fondées sur le nombre et le type de véhicules qui rouleront à l'avenir. L'étude de TA-SWISS reprend les valeurs d'une prévision évaluant à 56,5 milliards le nombre de véhicules-kilomètres en 2010 par l'ensemble des moyens de

transport individuels motorisés en Suisse. La mobilité continuera d'augmenter – pour atteindre en 2030, selon les calculs de l'étude citée, 66 milliards de véhicules-kilomètres. Le parc de véhicules aussi changera, en ce sens que la proportion de voitures électriques augmentera progressivement. Ces hypothèses permettent d'estimer la part des différentes formes de carburants dans les trois scénarios considérés.

La mobilité et les besoins de carburant en temps de crise

Le scénario « pénurie de ressources » (voir encadré p. 18) table sur une récession mondiale dont le prix élevé de l'énergie n'est pas la moindre cause. En 2015, au moins 2,5 pour cent du carburant requis provient de sources renouvelables. Le méthane obtenu à partir de fumier et de purin en constitue l'essentiel. L'offre en fumier relativement mince – en raison du changement des habitudes alimentaires, qui favorise les mets sans viande – limite toutefois la production de biométhane. Et comme les autres Etats utilisent leur carburant pour leurs propres besoins, des importations de l'étranger sont pratiquement exclues.

Dans ce scénario, les déchets biologiques sont utilisés de manière efficace : en 2030, ils sont presque entièrement récupérés pour produire du biocarburant. Le fumier et le purin entrent à raison de 80 pour cent dans la production de carburants, ce qui couvre 8 pour cent des besoins. Les technologies permettant de produire du carburant à partir du bois ne sont disponibles à grande échelle qu'en 2030 : les déchets de bois aboutissent alors à 100 pour cent à la production de carburant. Jusqu'en 2030, la part des carburants de substitution croît jusqu'à bien 23 pour cent – score dû notamment au fait que toujours plus de voitures électriques sont en circulation.



Des conditions favorables dans un climat d'innovation

Dans le scénario « défis », une part substantielle des déchets verts (50 pour cent jusqu'en 2015, 70 pour cent d'ici 2030) et du fumier (respectivement 30 et 50 pour cent) est récupérée pour produire du biométhane. Par ailleurs, la technologie de conversion du bois en gaz synthétique est suffisamment avancée pour traiter, en 2015 déjà, un quart du surplus de bois récolté ; cette part augmente à 50 pour cent jusqu'en 2030. A ceci s'ajoutent des biocarburants de première génération importés de l'étranger, principalement du Brésil, leader mondial de la production d'éthanol à partir de la canne à sucre.

Jusqu'en 2015, les carburants de substitution remplacent dans ces conditions 4,18 pour cent du carburant conventionnel utilisé pour les transports individuels ; le méthane tiré du fumier se taille la part du lion, le gaz de bois prend aussi une certaine importance.

Les voitures électriques jouent un rôle important en matière de mobilité ; en 2030, la part de ces véhicules dans l'ensemble du parc automobile atteint presque 40 pour cent. Ceci entraîne de grands changements en ce qui concerne l'énergie motrice utilisée : en 2030, celle-ci est pour plus d'un quart de l'énergie électrique. Pas tout à fait 15 pour cent du carburant utilisé est d'origine biologique (principalement du biométhane produit dans le pays et du carburant BTL importé) et alimente des moteurs à combustion très efficaces. En tout et pour tout, des énergies renouvelables remplacent maintenant en gros un tiers du carburant fossile.

Une croissance sans limite diminue la substitution

D'ici 2015, la production de carburant absorbe, dans le scénario « croissance illimitée », 20 pour cent de l'augmentation des quantités de fumier et de bois de démolition et 50 pour cent des déchets biologiques. D'autre part, 10 pour cent du surplus de bois abattu sont utilisés pour produire du gaz synthétique. A ceci s'ajoutent des importations de quantités substantielles de bioéthanol du Brésil et d'huile de palme d'Indonésie – donc de deux biocarburants de première génération dont la production est encouragée dans le monde entier.

Le recours à des matières de base biologiques se renforce encore jusqu'en 2030, au point que 50 pour cent du fumier produit en plus, 70 pour cent des déchets verts, ainsi que la totalité du bois de démolition et du surplus de bois abattu sont utilisés alors pour produire du carburant. Les importations de biocarburants augmentent aussi, pour atteindre le triple des quantités de 2015.

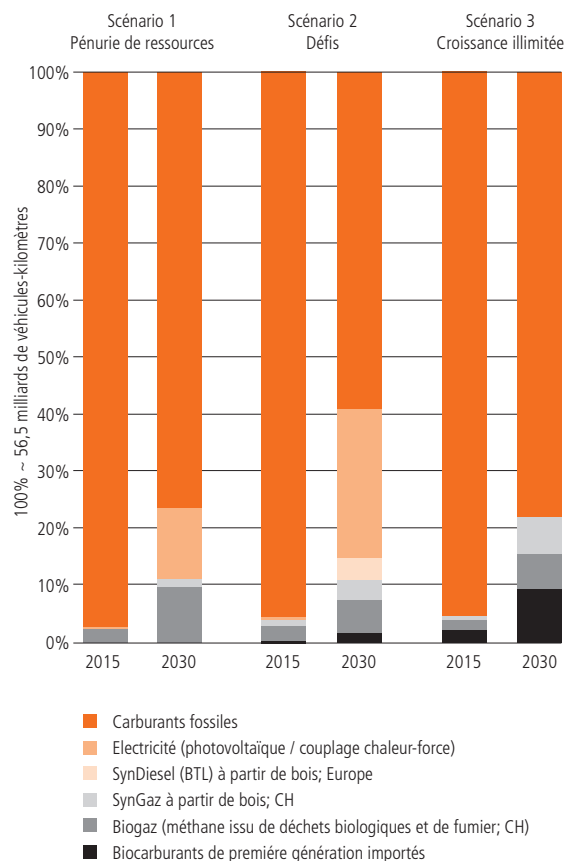
Dans les conditions d'une croissance illimitée, un peu plus de 4 pour cent du carburant fossile peuvent être remplacés dans un premier temps, c'est-à-dire jusqu'en 2015, par des produits de substitution – principalement grâce à de l'éthanol importé du Brésil et à du biométhane indigène à base de fumier. La part remplacée par du bioéthanol importé augmente jusqu'en 2030 à plus de 9 pour cent ; s'y ajoutent un peu plus de 5 pour cent de gaz synthétique tiré du bois et de biométhane à base de fumier. Vu l'ampleur des importations, il serait possible de remplacer 22 pour cent du carburant issu du pétrole brut par des biocarburants – mais ceci toutefois sans égard pour le développement durable.

Un potentiel limité – mais pas négligeable

Somme toute, les biocarburants ne pourront remplacer qu'une part relativement faible des carburants fossiles. Même dans les conditions les plus optimistes, un dixième des carburants fossiles peut être substitué, dans le meilleur des cas, par des biocarburants compatibles avec l'environnement.

Un facteur limitatif est que la surface cultivable disponible pour accroître la production de biomasse est peu importante en Suisse. En 2006 déjà, la surface cultivée par habitant était en Suisse de 27 pour cent supérieure à la moyenne mondiale ; la consommation de terres cultivables dans ce pays ne pourrait être réduite au-dessous de la moyenne mondiale que dans le scénario « pénurie de ressources », tandis qu'elle dépasserait cette moyenne encore de 16 pour cent pour « défis » (2030), scénario par ailleurs favorable. Comparé au potentiel des biocarburants, celui de l'électromobilité est considérablement plus élevé, du fait qu'il est plus facile d'accroître la production d'électricité. Dans des conditions optimales, celle-ci pourrait se substituer à environ un tiers du carburant fossile.

Néanmoins, même si les pourcentages des biocarburants indigènes peuvent paraître bien modestes, la part de ces derniers est substantielle si on l'exprime en chiffres absolus : elle atteint jusqu'à 26,5 pétajoules – soit l'équivalent de quelque 7'360 millions de kilowattheures ou d'au moins 900'000 tonnes de houille. Ceci suffirait à couvrir les besoins d'énergie annuels de plus d'un million de maisons unifamiliales moyennes.



L'innovation technique prend une grande importance

Le bilan des biocarburants serait nettement meilleur si l'on augmentait l'efficacité des véhicules. Dans ses calculs, l'étude de TA-SWISS part de l'hypothèse qu'une voiture consomme en 2010 en moyenne huit litres aux cent kilomètres. Les progrès techniques permettent d'abaisser la consommation de carburant à six litres en 2015 et à quatre en 2030. Des véhicules plus économes en carburant permettraient d'utiliser celui-ci de façon beaucoup plus efficace. Si l'on parvenait à réduire la consommation de carburant même à trois litres aux cent kilomètres, il serait possible, dans les conditions optimistes du scénario « défis », de remplacer d'ici 2030 en gros 45 pour cent du carburant fossile : 19 pour cent seraient à l'actif des biocarburants et 26 pour cent à celui de l'électromobilité. La condition serait toutefois que la consommation plus faible de carburant ne soit pas (sur)compensée par des déplacements motorisés plus fréquents et plus longs.

Un aspect important est d'autre part le mode de production du courant utilisé par les voitures électriques. Pour pouvoir déployer son potentiel positif, cette électricité devrait provenir de sources renouvelables. Si les voitures électriques roulent avec du courant produit au moyen de combustibles fossiles, elles nuisent à l'environnement de façon similaire aux plus efficaces des voitures actionnées par un moteur à combustion.

■ Du soleil dans le réservoir

Parmi les énergies renouvelables, l'une des formes les plus populaires est l'énergie solaire. Car elle fonctionne discrètement – sans bruit, gaz ou autres émissions indésirables. Du point de vue de leur fabrication, les panneaux solaires sont toutefois quelque peu problématiques – en effet, ils font appel au silicium, un métalloïde qui doit être enrichi et élaboré au travers de toute une série de processus chimiques. Si l'analyse en termes de développement durable tient compte de la fabrication de ces panneaux, le bilan de l'énergie solaire est mitigé. Il est bon en ce qui concerne l'efficacité énergétique, le savoir-faire disponible et l'adaptabilité aux changements économiques. L'étude de TA-SWISS prend en considération l'énergie solaire à cause de la contribution qu'elle peut apporter à la traction de véhicules électriques.

Recommandations économiques et politiques

Une percée des biocarburants de deuxième génération n'est envisageable que si les offres énergétiques déjà bien établies ne leur bloquent pas l'accès au marché. Promouvoir spécialement la culture de plantes énergétiques ne profiterait toutefois pas au développement durable en Suisse.

Les biocarburants de deuxième génération séduisent par le fait que leur production peut recourir à des matières premières qui portent moins atteinte à l'environnement que les sources d'énergies conventionnelles.

Deux principes directeurs

Un biocarburant n'est toutefois compatible avec le développement durable que s'il est produit à partir de déchets et résidus – notamment de déchets verts, de résidus de scierie et de bois de démolition. Par contre, si des plantes à carburant sont cultivées spécialement pour produire du biocarburant, les effets défavorables prédominent: la production alimentaire est concurrencée et la pression sur les terres cultivables augmente.

Les calculs de l'étude prouvent que les voitures électriques pourraient beaucoup contribuer à la substitution de carburant fossile: une augmentation de 5 pour cent par rapport à aujourd'hui de la consommation annuelle suisse d'énergie permettrait de remplacer 35 pour cent du carburant requis pour les transports individuels. Cependant, les voitures électriques devraient être alimentées par du courant provenant de sources renouvelables. C'est seulement de cette manière que ce mode de traction peut déployer son potentiel de développement durable. Si l'électricité est obtenue à partir de combustibles fossiles, elle n'atteint pas un meilleur score que ceux-ci.

Sept suggestions pour exploiter le potentiel des biocarburants

...❖ 1. L'amélioration de l'efficacité des véhicules et l'utilisation de biocarburants de première génération en compatibilité avec le développement durable doivent être encouragées de pair – de même, le recours aux biocarburants de deuxième génération doit l'être en relation avec l'électromobilité.

Les biocarburants et la traction électrique se complètent et créent des synergies; les deux contribuent à limiter les émissions polluantes et diminuent la dépendance à l'égard de l'importation de carburants fossiles. C'est donc une fausse question que de savoir si la priorité doit être donnée à la traction électrique, à l'amélioration de l'efficacité des véhicules ou à l'encouragement des biocarburants; il s'agit plutôt de trouver des moyens de promouvoir ces trois approches à la fois.

...❖ 2. Il faut développer pour les biocarburants des stratégies à long terme permettant de susciter de nouveaux investissements dans ce secteur par des conditions-cadres régulatrices et législatives fiables.

Les représentants des divers milieux intéressés sont pour l'heure encore réticents à investir dans la production de biocarburants de deuxième génération. De nombreuses incertitudes exercent un effet dissuasif: il n'est pas sûr qu'assez de matière première puisse être mise à disposition, et il n'existe encore aucun standard garantissant que les biocarburants soient effectivement produits de façon compatible avec le développement durable.

...❖ 3. Il faudrait lancer des initiatives qui intègrent, au niveau national et international, tous les acteurs compétents dans une gestion des ressources compatible avec le développement durable.



La conversion de biomasse en carburant est en concurrence avec la satisfaction d'autres préoccupations, telles que la production alimentaire et la protection de la diversité biologique. À défaut de mesures préventives, le fait de promouvoir les biocarburants risque d'entraîner des effets négatifs pour d'autres secteurs économiques et pour les écosystèmes concernés.

...❖ **4. L'approvisionnement en matières premières compatibles avec le développement durable doit devenir une préoccupation centrale et privilégier l'utilisation de déchets et de bois ainsi que la culture de plantes sur des terres qui étaient jusqu'ici de peu d'intérêt pour l'agriculture.**

Seuls les déchets – aussi de bois – permettent de produire des biocarburants sans faire pression sur les terres agricoles, l'eau et la diversité biologique. À noter que le bois possède un potentiel énergétique plus élevé que les déchets. De plus, il est facile à transporter et à entreposer. Si des plantes à carburant sont cultivées sur des terres qui n'étaient pas utilisées jusqu'ici par l'agriculture, il faut respecter les exigences en matière de protection de l'environnement.

...❖ **5. Des méthodes bien étayées et acceptées doivent être développées pour identifier et éviter les effets secondaires indésirables et indirects des biocarburants.**

Les conséquences indirectes de la production de biocarburants ne peuvent guère être quantifiées, mais elles revêtent néanmoins une grande importance. Des statistiques multisectorielles sur l'utilisation du sol, la production de biomasse et l'évolution des prix sont nécessaires pour modéliser à l'échelle planétaire les enchaînements de cause à effet induits par un renforcement de la production de biocarburants.

...❖ **6. L'évaluation des biocarburants doit se distancer d'une perspective centrée unilatéralement sur le bilan de CO₂ et inclure dans une plus forte mesure aussi des aspects sociaux et écologiques.**

La plupart des études sur les conséquences des (bio) carburants se concentrent sur les bilans de CO₂ ou sur l'efficacité énergétique – des indicateurs faciles à saisir. Or les effets des biocarburants sont multiples et souvent difficiles à quantifier. Il faut donc des méthodes qui vont plus loin que le simple calcul de flux de matière et d'énergie et qui prennent aussi en compte, par exemple, la répartition des terres agricoles.

...❖ **7. La manière d'aborder les incertitudes dans l'évaluation des perspectives d'avenir des biocarburants a besoin d'être étudiée et maîtrisée.**

L'étude de TA-SWISS n'est pas en mesure de répondre à toutes les questions qui se posent au sujet des biocarburants. Ceci tient en premier lieu au fait que les percées techniques sont difficilement prévisibles. Sont concernées notamment l'évolution de l'électromobilité et la concurrence entre les technologies énergétiques de première génération déjà bien établies face aux technologies de seconde génération, qui ne sont encore guère éprouvées dans la pratique. Ces questions nécessitent donc de plus amples études scientifiques sur la gestion de l'incertitude, et sur les interactions entre indicateurs.

■ Plantes à carburant dans les pays du Sud

Les États industrialisés développés voient dans les biocarburants une issue à la pénurie d'énergie et une alternative respectueuse du climat. Les pays du Sud espèrent encore plus, à savoir que la culture de nouvelles plantes énergétiques soit pour eux un moyen d'accéder au bien-être et de développer leurs régions rurales. Dans ces pays, le combustible utilisé pour cuisiner et se chauffer est encore surtout le charbon ou le bois. Cela nuit à l'environnement et à la santé des gens du fait des polluants émis et favorise l'érosion des sols. Des biocarburants produits sur place pourraient contribuer à un approvisionnement énergétique plus respectueux de l'environnement dans les pays en développement et aider ceux-ci à se procurer des devises grâce à des exportations sur le marché mondial. Ceci avant tout si des plantes telles que le ricin ou le jatropha sont cultivées, lesquelles poussent sur des sols maigres et peuvent même améliorer leur fertilité. Cependant, la culture de plantes peu exigeantes dans le but de produire du carburant accroîtrait la pression sur des régions qui ont été jusqu'ici laissées de côté par l'agriculture en raison des conditions défavorables qu'elles offrent à cette dernière. Or c'est là précisément que vivent des espèces animales et végétales qui se sont adaptées à ces conditions environnementales particulières et ne peuvent guère se rabattre vers d'autres zones. L'intensification de la culture de plantes à carburant pourrait ainsi avoir des conséquences fatales pour la diversité des espèces – les projets d'aide au développement visant à promouvoir les bioénergies doivent donc faire l'objet d'une mûre réflexion.

A new generation in the petrol tank

Society today is geared to mobility, and urgently needs energy for propulsion – energy that does as little harm to the environment as possible. Supplies of petroleum are gradually running out, and furthermore, burning it produces climate-damaging CO₂. But even fuels from renewable raw materials are not without their drawbacks.

Until recently, converting straw into gold was something that only happened in fairy tales. And even then, only if a dance-mad pixie of dubious character and nebulous origin were around to help. Today, biotechnological research has brought the conversion of straw into gold to the very brink of readiness for the market. Petroleum – «black gold» – could very soon be replaced by parts of plants with a high cellulose content, such as wood, or by vegetable and other biological residues and waste materials.

No food in the tank

Producing fuel from plants is nothing new. Essentially, petroleum consists of nothing other than animal and vegetable residues. A substitute for this increasingly scarce commodity, the extraction of which in any case involves substantial intrusion on the environment, might – according to the hopes stirred by the initial euphoria – yield a sustainable and climate-friendly crop commodity from the fields. As a result, only a few years ago, biodiesel made from oil-seed rape or bioethanol from sugar cane was seen as an eco-friendly, literally «green» alternative to gasoline made from petroleum. The name «biofuels» was actually coined in the swell of early optimism. But its production actually had nothing to do with organic cultivation, but with biomass. That is why the term «agro-fuels» is also sometimes used.

Since then, the excitement that surrounded the so-called «first generation biofuels» has dissipated. Firstly, because their preservative effect on the climate is less than initially expected. Secondly, there is competition with the production of food if maize, sugar cane or oil-seed rape ends up in the petrol tank rather than on the plate. And thirdly, there is a potential threat to biodiversity if virgin forests or grasslands are ploughed up, because the lucrative business in fuel is so attractive.

Research, however, has already gone one step further. Researchers have now developed methods of converting practically all forms of biomass into fuel, such as green waste, manure and slurry, or woody parts of plants with a high cellulose content. Biofuel can therefore also be produced from the straw that comes from the cultivation of cereal crops. There is now also the possibility of using plants that make few demands of the soil and are thus not in direct competition with plants for animal feed or food for humans.

Good prospects – open questions

Nevertheless, the emergence onto the market of second generation biofuels raises questions, despite their highly promising potential. How it will impact on farmland and other production areas is just one of these. The question of which plants and feedstocks are particularly well suited for the production of biofuels, and under what conditions, would also have to be clarified. There is also some uncertainty about the conditions under which these would enable more environmentally-friendly mobility, and what proportion of overall demand they would be able to cover anyway. There is also the fact that there are many forces that influence the market. Apart from the technical possibilities and the efficiency of the different production methods and types of use, global trade, prices, international politics



and national legislation also play a major part in the development prospects for biofuels; according to the form in which the various factors impact on their production and use, and demand for them – that is, which scenarios the observations are based on – a distinction is made between the development perspectives of that particular form. Three plausible scenarios for Switzerland are outlined in the boxes below.

The TA-SWISS study on the perspectives for biofuels was carried out by an interdisciplinary team headed by Rainer Zah from the Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research Empa in Dübendorf. In addition to the doctoral environmental scientist, specialists in social and industrial ecology from the Geographical Institute of the University of Zurich and experts in materials flow and resource management from the Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy also took part in the investigation. To analyse the sustainability potential of biofuels (Sustainability Potential Analysis, SPA), researchers made extensive use of mathematical models and data from the literature. To select and concretise the scenarios, the project group relied on its own calculations, and also interviewed the fourteen experts who were also members of the supervisory group for the TA-SWISS study. The present abridged version brings together the most important findings of the investigation.

■ Scenario 1: «Scarcity of resources»

For six-year-old Martin, shopping is a new experience. His Dad is able to help more around the house, because his company had to introduce short-time working. Martin goes with him to the shops in his cycle buggy; he knows exactly where to look on the supermarket shelves to find the lentils and beans that Mum always buys. They pass right by the butcher's – meat is just for special occasions now. Martin squeezes himself tightly against the edge of the buggy to leave room for all their shopping. Tomorrow his parents will be borrowing the neighbour's electric car to carry the washing powder and crates of drinks.

Martin does not read newspapers yet, of course, and when the grown-ups discuss politics, that does not interest him much, either. So he is unaware that reserves of petroleum are gradually drying up, and that now, in the year 2015, a barrel costs more than US\$ 200. The high oil price has plunged the global economy into a recession. Cultivation of energy plants is highly profitable, but does not have the backing of the Swiss government, which has set as its priority a high level of self-sufficiency in food, and is promoting the conversion of pastureland into arable land. Switzerland is therefore able to cover over two-thirds of its food requirements by own production – by 2030 it aims to be able to produce as much as 80 per cent of its food itself. Wood waste from sawmills, of course, are converted into biofuels, and other forms of renewable energy have also become competitive. What is more, they meet the targets set by the international CO₂ and climate agreements that Switzerland was a signatory to.

■ Scenario 2: «Challenges»

It horrifies 10-year-old Anna when she watches the roofer at work. Tomorrow she is supposed to write an essay about the meaning of economy – and it is quite appropriate that the attic is being insulated and the roof fitted with solar collectors. Because to be able to save, you sometimes have to spend a lot first, as her parents explained to her: With the new heating system and improved insulation savings can be made on expensive heating oil.

The high oil price is driving the regeneration of the Swiss economy. Cultivation of plants for fuel generates profits, and the forestry sector benefits again, because more and more timber is used for energy production or converted into fuel. Gas is also produced from slurry and manure, which is an incentive for farmers to turn to livestock fattening. The production of renewable energy from hydro-power, sun, wind and geothermal heat is promoted, and the trend is for electric-powered cars and hybrid-drive vehicles. Because the economy is booming, global demand for energy is huge; being rich, Switzerland can afford imports of biofuels, but also takes into account certificates which guarantee their sustainable production. So Switzerland is also adhering to the international climate agreements which it has signed. Because the agricultural sector works very efficiently, it is still able to cover very nearly two-thirds of Switzerland's food requirements, although more areas are being used for growing energy plants.

Scenario 3: see p. 33

Flower Power – Power Flower

Although the new plants for fuel are no longer in direct competition with the production of food, they do still raise a number of questions. Because even if plants for fuel are not grown on premium cropland, economic and ecological problems can still arise.

Wood, straw, biowaste – since very recently, all of these can be converted into fuel. Even «exotic» plants and algae can be used as plants for fuel, but are less of a possibility for cultivation in Switzerland. Accordingly, priority is given to those feedstocks which are produced and processed in this country.

From cesspit to gold mine

For Switzerland, slurry and manure – a by-product of raising livestock – holds the greatest possibilities for producing fuel. Today in this country, no more than 0.1 petajoules are produced from slurry or manure. The potential, however, is over two hundred times higher, around 21 petajoules; that is equivalent to the energy that is released when 716,000 tonnes of hard coal are burnt.

In fact, when assessing its sustainability (see box), fuel produced from manure and slurry achieves very high scores. Its production is technically and economically efficient, consumption of water and energy and land use are low, and compared to the extraction of petroleum no major investment is required. The record of success is somewhat tarnished by the fact that manure and slurry have a fairly low energy content, so that biowaste or glycerine are added for fermentation, and these are less abundantly available.

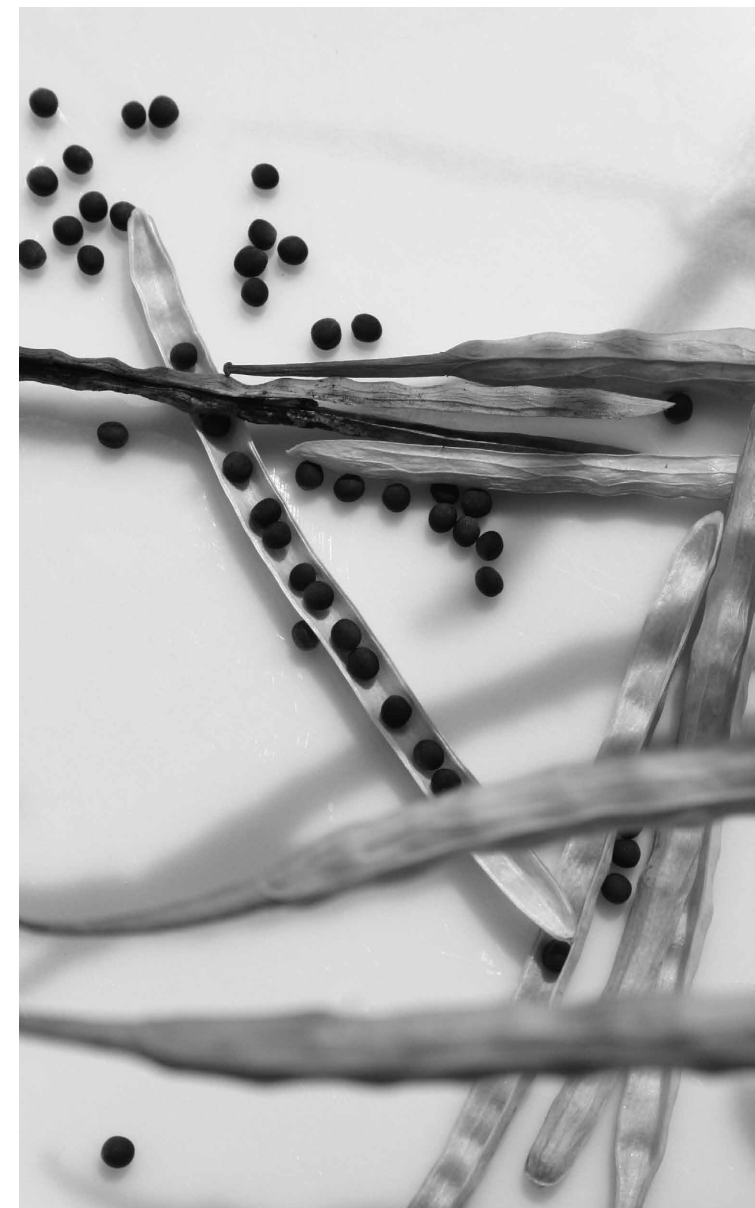
Organic waste – a solid matter

Organic waste comprises all sorts of organic matter which ends up in dustbins – primarily garden, green and kitchen waste and leftover food, as well as paper. Although fuel from organic waste, like fuel from manure, is still categorised as a first generation biofuel, because of its huge importance it is also taken into account in the TA-SWISS study.

Today, roughly a quarter of organic waste in Switzerland is composted. The remaining three-quarters are used to produce energy – mainly in refuse incineration plants (89 per cent), a smaller proportion in biogas plants (11 per cent). For all parameters that are taken into account in the sustainability analysis, fuel from organic waste scores well, with one exception: this substrate is not particularly flexible in its application; it can only be reprocessed into biofuels in special plants.

The loggers' path is not a dead end

Fuel can be produced from felled round timber, from sawmill waste or from timber from demolition waste; the TA-SWISS study assesses these three different types of wood separately. Both round timber – i.e. trunks and larger branches from trees – and pellets, which are made from sawmill residues, are already being used for energy production. Unlike round timber, which is mainly burnt in large combined heating and power stations or in industry, wood pellets from sawmill waste are used in smaller heating systems. Finally, most demolition waste timber ends up in industrial incinerators and refuse incineration plants.



In recent years, there has been a steady intensification of timber cropping in Swiss forests; over the last decade, the local crop has increased by 15 per cent. And while in the year 2000 about 21 per cent (or one million cubic metres) of round timber was used to produce energy, by 2007 the figure had risen to 40 per cent of the total felled timber (or 2.2 million cubic metres). It would be possible to increase timber production by almost another million cubic metres to a total of 3.1 million without breaching sustainability guidelines; in principle this extra felled timber could be used for fuel production.

The quantity of waste wood, which accumulates mainly in sawmills, amounts to one million cubic metres annually. According to estimates, the production of waste wood could be increased by a further 0.2 million tonnes, and this could be used to produce fuel. Finally, every year some 0.65 million tonnes of timber from demolition waste is salvaged in Switzerland; just under half of this is burnt, and until recently most of the rest was exported abroad – mainly to Italy – or illegally burnt. In this case, the study calculates a potential increase to 1.3 million tonnes, so that in future the quantity of salvaged demolition waste timber could double.

Measured against the reference product crude oil, all three types of wood are impressive because of their high sustainability potential. Energy efficiency is high, pollutant emissions and consumption of water are low, and the requirement in terms of infrastructure is contained, both in production and for storage. Compared to round and waste timber, timber from demolition waste stands out because of better values in so-called area efficiency, because it does not actually have to be grown. On the negative side, timber from demolition waste is not very flexible in use, and because of its pollutant content can only be processed in large plants with appropriate filters.

Straw as unused potential

In 2006, the Swiss straw crop amounted to about 58,000 tonnes. If it is not simply left in the field, to be subsequently ploughed back into the soil as nutrients – which is what happens to roughly half of the straw crop – it is used as bedding in cattle stalls, horse stables or small livestock pens. Once it has done its job as bedding, it goes back onto the fields as manure. However, the manure can easily be used to produce biofuel; this is also more relevant for Switzerland, compared to the use of straw directly for biofuel production. But in addition, the straw that is left in the field and later ploughed in could also be used. A substantial proportion of this must, however, be left in the fields to safeguard soil fertility.

The values achieved by straw in the analysis of its sustainability potential are all very good, and its areal efficiency in particular is high compared to most other raw materials produced from farming. Nevertheless, the quantity is relatively small compared to other raw materials.

Grassland – just as green as it looks

In the United States of America great hopes are currently being placed on extensively managed areas of grassland, which flourishes on soils that are relatively infertile and which cost little to look after. By comparison with bioethanol derived from maize, or biodiesel from soya, fuel from grassland achieves better sustainability values. Energy can also be produced in a sustainable way with grass that flourishes under Swiss conditions. The assessment is only uncertain in respect of area efficiency, and the lack of experience in handling this raw material is also a negative factor.



■ Scenario 3: «Unlimited growth»

Unlike past years, the family of 14-year-old Jasmin no longer travels to Brittany at Easter. By the last time they stayed there, it had already become a lot less attractive than before – an international agro-concern had planted extensive fields with high arundinaceous grasses on the original fen forest that was right next door to the holiday village. Fuel can be produced from it, the manager of the holiday resort had explained. But that hardly compensates for the fact that the snipe which could occasionally be seen with their young early in the morning are now gone, and agricultural machines disturb the peace. The family has now found a new holiday destination: Kenya may be further away, but the sunshine there is guaranteed, and in the National Parks they can still experience nature in all its vastness without being restricted. With aviation fuel so cheap, the cost of the flight is of little consequence. And why should private households economise when politicians care nothing for air quality conservation and climate protection? Switzerland has not signed any agreement that would place it under obligation to curb its emissions. And furthermore, just like the rest of the world, it is banking on unlimited growth, backed by low energy prices.

Exotics from abroad

Miscanthus comes originally – as might be assumed from its German name «Chinaschilf» – from the tropical and subtropical regions of South Asia. It is a grass, one of the range of so-called «C₄ plants» which are characterised by comparatively efficient photosynthesis and

correspondingly high productivity. The cellulose content of *Miscanthus* is high, and its hardiness considerable: once sown, the plant can be used for up to 25 years. In the USA in particular, there are a number of trials currently under way on the use of *Miscanthus*. In Switzerland, the climatic and geographic conditions are also ideal for the successful cultivation of *Miscanthus*, which is already practised on a small scale. In the sustainability analysis, positive assessments predominate, and *Miscanthus* only scores less well in respect of its areal efficiency and limited flexibility in cultivation.

Fuel can also be produced from algae. One of their greatest advantages is that as aquatic plants they do not take up any fertile soil at all, and do not therefore compete with agricultural products. However, they do require major investment and massive pools, so their areal efficiency has nothing to commend it. The energy produced, too, is meagre if measured against the energy input required. Compared with other raw materials which are under discussion in Switzerland, the overall view of algae is nevertheless unfavourable.

Viewed on a global scale, succulent halophytes, which flourish in salty brackish water, could also play a significant part in the production of biofuels. In China, for example, *Kosteletzkya virginica*, or seashore mallow, of the order Malvaceae is grown; oil can be pressed from its nut. Halophytes can be cultivated at little cost, and in combination with other aquatic uses, such as breeding shrimps. It is in any case questionable whether increased cultivation of halophytes could endanger valuable habitats such as mangrove forests.

■ The many facets of sustainability

Although the term sustainability, which was originally used in forestry, often occurs in discussions about ecological concerns, it does cover a broader range of areas. In addition to attributes that relate to the environment, the analysis of sustainability potential that was undertaken in the TA-SWISS study also takes into account those elements that are significant economically, socially and culturally. Characteristics such as economic and energy efficiency, or areal efficiency, infrastructural requirements and dependency on irrigation or pollutant emissions and other environmental effects are therefore considered alongside social acceptance and available know-how, or the consequences for fairness and other values within society. The TA-SWISS study carries out this multi-faceted assessment both of the individual feedstocks for biofuels and for the different processing methods, types of use and value chains. Crude oil is taken as a reference product: it provides the basis for assessment, against which it can be checked whether the analysed feedstocks perform better or worse in respect of the attributes examined.

Increased vehicle efficiency could substantially improve the outcome for biofuels.

The avant-garde in the bioreactor

To produce first-generation biofuels, old culturing techniques such as distillation, fermentation or oil extraction are used. Second generation biofuels, however, require more complex methods, some of which incorporate new types of microorganisms into the production process.

The history of vegetable-based fuel is almost as old as that of the motor car: as early as 1850, Nikolaus August Otto managed to get the prototype of what later became known as the «Otto-Motor» combustion engine running on bioethanol, and around 1910 the Model T Ford was running on ethanol. In 1937 the Belgian professor of chemistry Georges Chavanne, from the Free University of Brussels, registered a patent for the interestification of vegetable oils with methanol. Biodiesel – in chemical terms fatty acid methyl ester (FAME) – had been discovered.

The viscous becomes fluid ...

The feedstocks for the first generation biofuel most frequently used in Switzerland is an oil – normally rapeseed oil. About ten per cent methanol and the supplementary agent potassium or sodium hydroxide are admixed to this to produce the desired chemical reaction. When the mixture in the reactor reaches the temperature of about 70°C, this triggers the chemical reaction known as interestification, where the methanol replaces the glycerine in the oil molecule. After the reaction, the mixture is split into two: the lighter biodiesel floats to the top with residues of methanol, and glycerine and other by-products settle at the bottom. The glycerine is purified, and can be used for a variety of purposes – for example, for the manufacture of cosmetics. The biodiesel also has to be washed out a number of times until all spurious residues are eliminated. Finally, the rapeseed oil methyl ester is liberated by the distilla-

tion of water residues. It is now much more fluid than the original rapeseed oil and ignites more easily. The preconditions are therefore set for it to be admixed with conventional diesel; standard commercial engines cope well with a ten per cent part of biodiesel in their fuel. However, if vehicles are to run exclusively on biodiesel, their engines have to be converted.

Sugar and starch can also be converted into fuel. Examples of the feedstocks here are sugar cane or maize. In this case, the old culturing technique of alcoholic fermentation and distillation is used: the sap is fermented using yeasts or bacteria. Because the yeast cells and bacteria die if the ethanol concentration is too high, in this initial stage an alcohol content of only about 9 per cent is reached. By distillation and a final dehydration, the bioethanol is enriched to 97 per cent and admixed with conventional petrol.

... and the solid becomes gaseous or liquid

By contrast with first generation biofuels, those of the second generation are based on processes, most of which are currently still being tested at pilot facilities. One of these was opened in 2000 in the Austrian town of Güssing. Its objective is to produce synthetic gas («SynGas») from solid biomass, in particular wood chips. The heat that is also generated in this process is used for district heating. The end product is methane, which can be used just like natural gas.

Another method is being adopted with a test reactor in the town of Freiberg, in Saxony, which produces a liquid end product; among experts, the procedure is also known as «BTL», or «biomass-to-liquid». For this, the researchers in Saxony combine a variety of different processes, one of which draws on a discovery by two German chemists, Franz Fischer and Hans Tropsch in



1925. These two had discovered that mixtures of carbon monoxide and hydrogen can be liquefied through a cobalt catalyst. They used the process to produce liquid fuel from coal.

At the facility in Freiberg, plant components containing cellulose are now being used that are first carbonized into bio-coke. Biodiesel («SynDiesel») is then produced from this in a multi-stage process. The wax that occurs as a by-product can also be processed into fuel after additional treatment.

Fermentation of wood cellulose is another alternative for producing fuel from wood: in this case the fermentation process is exactly the same as with starch or sugar; however, the wood must be treated first, so that the polysaccharides can be «cracked» from the microorganisms. New types of enzymes and yeast are required for this to enable the fermentation process to take place.

The established alongside the innovative

In terms of efficiency and most other attributes that are taken into account for the sustainability analysis, the production of synthetic gas and the BTL process both lag behind the reference product petroleum. Both processes are fairly energy-intensive; furthermore, they function best with a feedstock that is as homogenous as possible – a requirement that cannot readily be met with natural products.

In Switzerland, the production of methane in biogas plants is well established. The feedstocks in this case consist of either manure and slurry or green waste. After many years of building mainly smaller plants, large, professionally run installations are progressively gaining ground. In terms of efficiency, they cannot com-

pare with petroleum. But with regard to environmental impact, they are not far behind the reference product, or even surpass it.

The initial experiences gathered from BTL and SynGas trial reactors reinforce the hope that in future, fuel could also be produced from materials which have previously yielded no substantial economic benefits. Nevertheless, at the present time it is still uncertain whether second generation biofuels will be able to hold their own on the market. And even if this succeeds, there are numerous parameters that will determine what contribution they will be able to make to a sustainable way of life in a country.

■ «Pioneer plants» for first generation biofuels

Fuel produced from plants has already been traded on the world market for a number of years. Sugar cane (Brazil) and palm oil (Malaysia and Indonesia) are particularly important globally. In the moderate latitudes, the main focus is on biodiesel made from oil-seed rape. In 2005, 1.4 million hectares of oil-seed rape was grown in Europe for the production of biodiesel, and according to a publication from the Swiss Federal Office of Energy, the use of domestic biodiesel in Switzerland increased more than sevenfold from 1.5 million litres in 1999 to 11.9 million litres in 2008. Oil-seed rape is expensive to cultivate, and requires substantial application of fertilisers and pesticides, which makes the burning of a product that is so costly and has so many uses seem questionable. Viewed across the whole value chain, oil-seed rape actually performs slightly worse than Norwegian crude oil with regard to its sustainability potential.

For efficient vehicle technology to be able to help biofuels to replace a substantial proportion of fossil fuels, lower fuel consumption must not be (over)compensated by more frequent and longer journeys.

Sustainable mobility scenarios in Switzerland

The sustainability of a product can only be assessed if the entire value chain remains in view, from its manufacture to consumption. The TA-SWISS study focuses on individual motor car traffic, in order to determine the impact of biofuels on the environment and society.

The sustainability of a society is ultimately measured by its lifestyle: by the ways and means it feeds itself, for instance, or by how mobile the members of that society are, what space they require for living and agriculture, how much and what kind of energy they use, and whether this is produced within the country itself or imported. In a single study it is hardly possible to examine in detail all facets that are relevant to the consumption of resources by a country, and thus to its sustainability.

The investigation by TA-SWISS considers the aspect of mobility – a particularly energy-intensive field of activity, for which there are in any case many calculations and forecasts. The study analyses the extent to which the fossil fuel that will be needed for individual car travel in the future could be replaced by biofuels. Because of this investigation, it is possible to illuminate the whole value chain for the different methods of producing and processing biofuels.

Development of mobility and of the vehicle fleet

To be able to correlate mobility with the hypothetical scenarios, well-founded assumptions are needed on how many, and what sort of vehicles will be driven in the future. Here, the TA-SWISS study adopts the values of a forecast which suggests that a total of 56.5 billion vehicle kilometres will be travelled in 2010. Mobility will continue to increase – according to the computations in the study quoted above, to 66 billion vehicle kilometres by the year 2030. The vehicle fleet is changing, too,

in that the proportion of electro-mobiles is gradually increasing. From these assumptions, it is possible to estimate the proportion in which the different forms of fuel occur in the three scenarios.

Mobility and the need for fuel in times of crisis

The «scarcity of resources» scenario (see box on p. 30) is based on a global recession that is due not least to high energy prices. In 2015 over 2.5 per cent of the fuel required might come from alternative sources. The lion's share of this will be methane from manure and slurry. The comparatively short supply of dung – caused by the change in eating habits to meat-free meals – does, however, set limits on the production of bio-methane gas. And because other states also use their fuel themselves, imports from other countries are virtually impossible.

The handling of biowaste in this scenario is efficient: by 2030 it will be used almost exclusively to produce bio-fuel. Eighty per cent of farmyard manure and slurry will be used for the production of fuels, covering 8 per cent of fuel needs. The technologies for producing fuel from wood will not be available on a large scale until the year 2030: 100 per cent of waste timber now ends up in fuel production. The proportion of alternative fuels will rise to over 23 per cent by the year 2030 – in particular because there will be more and more electro-mobiles on the road.

Favourable conditions in the innovative climate

In the «challenges» scenario, too, substantial proportions of green waste (50 per cent by 2015 and 70 per cent by 2030, respectively) and manure (30 per cent and 50 per cent, respectively) will be used in the production of bio-methane gas. Furthermore, the technol-



ogy for converting wood into synthetic gas is sufficiently advanced to process one quarter of the additional wood crop by as early as 2015; by 2030 this proportion will have grown to 50 per cent. In addition, first generation biofuels are imported from abroad, principally from Brazil, the world's leading producer of ethanol from sugar cane.

By 2015, under these conditions, 4.18 per cent of conventional fuel that is used for motorised passenger transport, could be replaced by alternative fuel types; most of this will be methane from dung, and gas from wood will also be important.

Electric cars have an important part to play in mobility; in 2030 the proportion of electric cars will make up almost 40 per cent of the entire vehicle fleet. This will result in major shifts in the motive power used: over a quarter of the motive energy will be electric in 2030. Almost a further 15 per cent of the fuel used will be of organic origin (mainly domestically produced bio-methane gas and imported BTL fuel), and will supply highly efficient combustion engines. All in all, alternative energy sources will now replace about one-third of fossil fuel.

Unrestricted growth reduces replacement

By 2015 additionally available manure and demolition waste timber will each make up 20 per cent of fuel production in the «unlimited growth» scenario, and bio-waste 50 per cent. Ten per cent of the additionally felled timber will also be used for the production of synthetic gas. There will also be substantial imports of bioethanol from Brazil and palm oil from Indonesia – both of these first generation biofuels whose cultivation is promoted globally.

The use of organic feedstocks will continue to increase up to 2030, so that by this date 50 per cent of the extra manure produced, 70 per cent of green waste, and all of the timber from demolition waste and wood felled additionally will be used for fuel production. Imports of biofuels will also increase, by three times the figure for 2015.

Under conditions of unrestricted growth, initially, i.e. up to 2015, over 4 per cent of fossil fuel could be replaced by alternative forms – thanks mainly to imported Brazilian ethanol and domestically produced bio-methane gas based on manure. The proportion replaced by imported bioethanol will rise by 2030 to over 9 per cent; there will also be over 5 per cent of both synthetic wood-based gas and bio-methane based on manure. Because of large-scale imports, 22 per cent of fuel from crude oil could therefore be replaced by biofuels – albeit with no regard for sustainability.

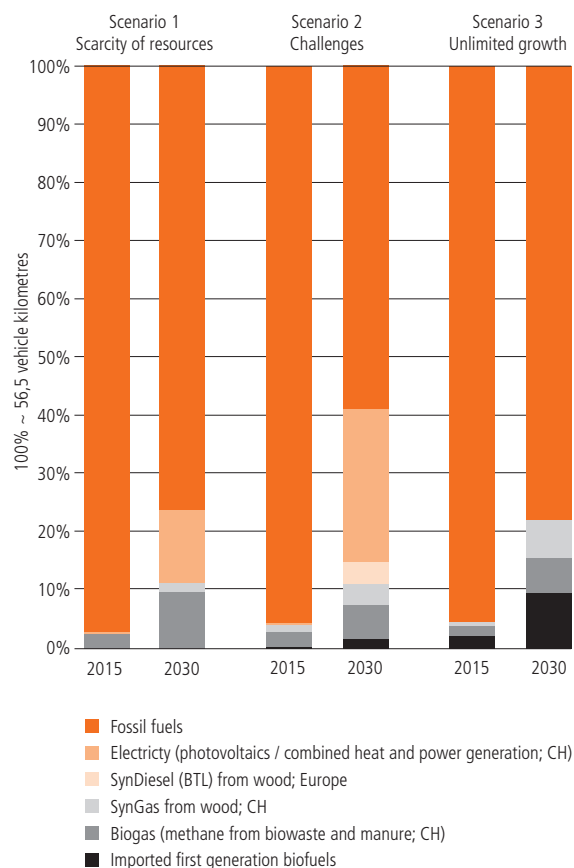
Limited potential – but not to be underestimated

Viewed as a whole, biofuels will only be able to replace a relatively small proportion of fossil fuels. Even under the most optimistic assumptions, at most one-tenth of fossil fuels can be replaced by environmentally friendly biofuels.

The limiting effect is that in Switzerland, there is only a restricted cultivable area available to increase biomass production. As early as 2006, Switzerland was using, per person, 27 per cent more cultivable area than the average for the world population; it would only be able to squeeze its areal use below the global average in the «scarcity of resources» scenario, whereas in the otherwise favourable «challenges» scenario (2030) it would still be around 16 per cent above the average. Compared with the potential for biofuels, the potential

for electro-mobility is significantly higher, because power production can be boosted more easily. Under optimal conditions, it could replace about one-third of fossil fuels.

But even if the percentage shares of domestic biofuels want to look really modest: expressed in absolute figures they are considerable, and amount to up to 26.5 petajoules – about 7,360 million kilowatt hours, or over 900,000 tonnes of coal equivalent. Enough energy, therefore, to cover the annual power consumption of over one million average one-family homes.



Maximum importance attaches to technical innovation

Increased vehicle efficiency could substantially improve the outcome for biofuels. In its calculations, the TA-SWISS study assumes that in 2010 a motor car uses an average of eight litres for 100 kilometres. Technical advances can reduce fuel consumption to six litres by 2015, and to four by 2030. If vehicles were to become more economical, biofuels could be used much more effectively; if it were even possible to reduce fuel consumption to three litres per 100 kilometres, under the optimistic assumptions of the «challenges» scenario around 45 per cent of fossil fuels could be replaced by the year 2030. In this case, 19 per cent would be apportioned to biofuels and 26 per cent to electro-mobility. It would, however, be a precondition that the lower fuel consumption would not be (over)compensated by more frequent and longer journeys.

The way in which power is generated for the electro-mobile is also significant. To enable it to develop its positive potential, its sources must be renewable. If electro-mobiles run on power that is generated from fossil fuel, they do more or less as much damage to the environment as the most efficient cars with an internal combustion engine.

■ Sun in the tank

Solar energy is one of the most popular forms of renewable energy. That is because it functions unobtrusively – without causing any noise, gases or other undesirable emissions. In its production, however, solar collectors are rather more problematic – because they depend on the semi-metal silicon, which has to be enriched and refined in a series of chemical processes. If the manufacture of the solar collectors is also taken into account for the sustainability analysis, the result for solar power is mixed. It performs well in terms of energy efficiency, available know-how and in its adaptability to economic changes. The TA-SWISS study considers solar energy because of the contribution it can make to powering electric vehicles.

Recommendations for economists and politicians

The breakthrough for second generation biofuels can only be envisaged if their access to the market is not blocked by energy products that are already established. Specifically promoting the cultivation of plants for energy, however, would not be conducive to sustainability in Switzerland.

Second generation biofuels impress because of the characteristic that raw materials can be used for their production which are less harmful to the environment than conventional energy sources.

Two overriding principles

Nevertheless, biofuel is only sustainable if it is produced from waste materials and waste products – especially from green waste or from sawmill waste and timber from demolition waste. If, on the other hand, plants for energy are grown specifically for the production of fuel, the adverse effects predominate: there is competition with the production of food, and greater pressure on the areas under cultivation.

The calculations from the study also prove that electric cars could contribute much to the replacement of fossil fuels: with 5 per cent more energy than is consumed annually in Switzerland today, approximately 35 per cent of the fuel that is required for individual passenger transport could be replaced. However, electro-mobiles should be powered by electricity from renewable sources, because that is the only way that this form of propulsion can develop its sustainable potential. If, on the other hand, electricity is produced from fossil fuels, it performs no better than these.

Seven proposals for exploiting the potential of biofuels

...❖ **1. Improvements in vehicle efficiency and the sustainable use of first generation biofuels should be promoted in parallel – likewise the use of second generation biofuels combined with electrical mobility.**

Biofuels and electrical motive power are complementary and create synergies; both help to limit the emission of pollutants and reduce dependency on imports of fossil fuels. Whether priority should be given to electrical power, improved vehicle efficiency or the promotion of biofuel is therefore the wrong question; it is rather the case that ways must be found to promote these three different approaches simultaneously.

...❖ **2. Long-term strategies must be developed for handling biofuels in order to encourage new investments in this sector with reliable regulatory and statutory framework conditions.**

At present, the various stakeholders are still reluctant to invest in the production of second generation biofuels. That is because the many uncertainties are having a deterrent effect: it is doubtful whether sufficient raw materials can be made available, and there are as yet no standards to guarantee that biofuels really will be sustainably produced.

...❖ **3. Initiatives must be launched to integrate all of the relevant actors into sustainable resource management at national and international level.**



If biomass is converted into fuel, this competes with other concerns such as food production and the protection of biodiversity. Without precautionary measures, the intensified promotion of biofuels carries the threat of negative effects for other economic sectors and for the ecosystems concerned.

...❖ **4. The main focus must be the supply of sustainable raw materials, and therefore to promote the use of waste material and wood, as well as the cultivation of crops on areas of land that were previously of relatively little interest to the farming industry.**

Only waste material – including timber from demolition waste – makes it possible to produce biofuels without putting pressure on farming land, water and biodiversity. Wood itself has a relatively major potential as waste, and is also easy to transport and store. If plants for fuel are grown on areas that have not previously been used for agriculture, the concerns of environmental protection must be taken into account.

...❖ **5. Broadly supported and accepted methods must be developed to record and prevent undesirable and indirect side effects of biofuels.**

The indirect consequences of biofuel production are difficult to quantify, but are hugely important. There is a need for multi-sectoral statistics on land use, production of biomass and price trends in order to model, on a global scale, causal chains that would be set in motion by increased production of biofuels.

...❖ **6. The perspective for the assessment of biofuels must move away from one-sided emphasis on the CO₂ balance and increasingly include social and ecological aspects as well.**

Most studies on the consequences of (bio)fuels concentrate on CO₂ balances or energy efficiency – that is, on indicators that are easy to determine. In this case, the effects of biofuels are multifaceted and often difficult to quantify. Methods are therefore needed which go further than calculating material and energy flows and also take into account ownership structures on agricultural land, for example.

...❖ **7. There must be a desire to learn how to deal with and overcome the uncertainty surrounding the assessment of the future perspectives of biofuels.**

The TA-SWISS study cannot answer every question that is raised regarding biofuels. This is principally due to the fact that it is difficult to predict technical breakthroughs. This relates in particular to the development of electro-mobility and the competition from established first generation energy technologies with the second generation technologies that are as yet largely untried in practice. Further scientific investigations, for instance on how to deal with uncertainty and on the interdependency of indicators, should be set in motion.

■ Plants for fuel in the lands of the south

In the developed industrialised states, biofuels are regarded as a means of escape from energy shortages and as a climate-friendly alternative. The countries of the south are hoping for much more from the new crop plants – namely a means of achieving prosperity and developing their rural regions. In those countries people still use mainly coal or wood for cooking and heating. That is harmful to the environment and to people's health because of pollutants, and encourages soil erosion. Locally produced biofuels could therefore help southern countries to develop more environmentally friendly energy supplies and to earn foreign exchange on the world market from exports. This would be the case especially if plants such as *rhizinus* or *jatropha* are grown, which flourish on barren soils and can even improve their fertility. Nevertheless, the cultivation of unappealing crop plants to produce fuel would increase pressure on regions which have up to now been disregarded for farming because of their unfavourable agricultural conditions. But it is in those very areas where species of animals and plants live that have adapted to these special environmental conditions and are hardly able to escape to other areas. Forced cultivation of fuel plants could therefore have fatal consequences for species diversity – development aid for bioenergy use must therefore be considered.



Studie / Etude / Study «Future Perspectives of 2nd Generation Biofuels»

Mitglieder der Begleitgruppe

Membres du groupe d'accompagnement de l'étude

Members of the supervisory group of the TA-SWISS study

Dr. Ruedi Jörg-Fromm, TA-SWISS Leitungsausschuss (Vorsitzender der Begleitgruppe)

Rosmarie Bär, alliance sud, Bern

Dr. Marco Berg, Stiftung Klimarappen, Zürich

Prof. Dr. Richard Braun, BioLink, Bern

Dr. Reto Burkard, Bundesamt für Landwirtschaft BLW, Bern

Heinz Hänni, Schweizerischer Bauernverband SBV, Brugg

Prof. Dr. Christian Hardtke, Université de Lausanne

Dr. Sandra Hermle, Bundesamt für Energie BFE

Roger Löhner, Touring Club Schweiz TCS, Emmen

René Longet, equiterre, Genève

Prof. Dr. Wolfgang Nentwig, Universität Bern

Dr. Gerhard Stucki, Balewa AG, Liestal

Dr. Samuel Stucki, Paul Scherrer Institut PSI, Villigen

Dr. Roland von Arx, Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern

Impressum

TA-SWISS (Hrsg.) Fahrt ins Grüne. Wie weit bringen uns Biotreibstoffe der zweiten Generation?

Kurzfassung der Studie von TA-SWISS «Future Perspectives of 2nd Generation Biofuels». Bern 2010.

TA-SWISS (éd.) Rouler écolo. Jusqu'où les biocarburants de deuxième génération tiendront-ils la route? Résumé de l'étude de TA-SWISS «Future Perspectives of 2nd Generation Biofuels». Berne 2010.

TA-SWISS (ed.) Journey into the green. How far can we go with second generation biofuels? Abridged version of the TA-SWISS study «Future Perspectives of 2nd Generation Biofuels». Bern 2010.

TA 55A/2010

Autorin, Auteur, Author:

Lucienne Rey, Bern

Redaktion, Edition, Editing:

Susanne Brenner, TA-SWISS

Übersetzungen, Traduction, Translation:

Jean-Jacques Daetwyler, Bern

Gary Williamson, Woking Surrey, GB

Gestaltung, Mise en pages, Layout:

Hannes Saxer, Bern

Fotos, Photos: Lucienne Rey

Druck: Jordi AG – Das Medienhaus, CH-3123 Belp.

Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung

Neue Technologien bieten oftmals entscheidende Verbesserungen für die Lebensqualität. Zugleich bergen sie mitunter aber auch neuartige Risiken, deren Folgen sich nicht immer von vornherein absehen lassen. Das Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung TA-SWISS untersucht die Chancen und Risiken neuer technologischer Entwicklungen in den Bereichen «Biotechnologie und Medizin», «Informationsgesellschaft» und «Nanotechnologien». Seine Studien richten sich sowohl an die Entscheidungstragenden in Politik und Wirtschaft als auch an die breite Öffentlichkeit. Ausserdem fördert TA-SWISS den Informations- und Meinungs-austausch zwischen Fachleuten aus Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und der breiten Bevölkerung durch Mitwirkungsverfahren (zum Beispiel PubliForen und publifocus). Die Studien von TA-SWISS sollen möglichst sachliche, unabhängige und breit abgestützte Informationen zu den Chancen und Risiken neuer Technologien vermitteln. Deshalb werden sie in Absprache mit themenspezifisch zusammengesetzten Expertengruppen erarbeitet. Durch die Fachkompetenz ihrer Mitglieder decken diese so genannten Begleitgruppen eine breite Palette von Aspekten der untersuchten Thematik ab. TA-SWISS ist ein Kompetenzzentrum der Akademien der Wissenschaften Schweiz.

Le Centre d'évaluation des choix technologiques

Souvent susceptibles d'avoir une influence décisive sur la qualité de vie des gens, les nouvelles technologies peuvent en même temps comporter des risques latents qu'il est parfois difficile de percevoir d'emblée. Le Centre d'évaluation des choix technologiques TA-SWISS s'intéresse aux avantages et aux inconvénients potentiels des nouvelles technologies qui se développent dans le domaine des biotechnologies et médecine, de la société de l'information et des nanotechnologies. Ses études s'adressent tant aux décideurs du monde politique et économique qu'à l'opinion publique. TA-SWISS s'attache, en outre, à favoriser par des méthodes dites participatives, telles que les PubliForums et publifocus, l'échange d'informations et d'opinions entre les spécialistes du monde scientifique, économique et politique et la population. TA-SWISS se doit, dans toutes ses études sur les avantages et les risques potentiels des nouvelles technologies, de fournir des informations aussi factuelles, indépendantes et étayées que possible. Il y parvient en mettant chaque fois sur pied un groupe d'accompagnement composé d'experts choisis de manière à ce que leurs compétences respectives couvrent ensemble la plupart des aspects du sujet à traiter. TA-SWISS est un centre de compétence des Académies suisses des sciences.

The Centre for Technology Assessment

New technology often leads to decisive improvements in the quality of our lives. At the same time, however, it involves new types of risks whose consequences are not always predictable. The Centre for Technology Assessment TA-SWISS examines the potential advantages and risks of new technological developments in the fields of life sciences and medicine, information society and nanotechnologies. The studies carried out by the Centre are aimed at the decisionmaking bodies in politics and the economy, as well as at the general public. In addition, TA-SWISS promotes the exchange of information and opinions between specialists in science, economics and politics and the public at large through participatory processes, e.g. PubliForums and publifocus. Studies conducted and commissioned by the Centre are aimed at providing objective, independent, and broad-based information on the advantages and risks of new technologies. To this purpose the studies are conducted in collaboration with groups comprised of experts in the relevant fields. The professional expertise of the supervisory groups covers a broad range of aspects of the issue under study. TA-SWISS is a centre of excellence for the Swiss Academies of Arts and Sciences.



Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung
Brunngasse 36
CH-3011 Bern
info@ta-swiss.ch
www.ta-swiss.ch

a⁺ Ein Kompetenzzentrum der
Akademien der Wissenschaften Schweiz

sc | nat ⁺

Swiss Academy of Sciences
Akademie der Naturwissenschaften
Accademia di scienze naturali
Académie des sciences naturelles



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

SATW

Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften
Académie suisse des sciences techniques
Accademia svizzera delle scienze tecniche
Swiss Academy of Engineering Sciences