

# Stroh als Quelle erneuerbarer Energie

Autor(en): **Stern, Willem B.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Swiss bulletin für angewandte Geologie = Swiss bulletin pour la géologie appliquée = Swiss bulletin per la geologia applicata = Swiss bulletin for applied geology**

Band (Jahr): **15 (2010)**

Heft 1

PDF erstellt am: **10.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-227482>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## Stroh als Quelle erneuerbarer Energie Willem B. Stern<sup>1</sup>

**Stichwörter:** erneuerbare Energie, Getreide, Getreidestroh, Strohasche, Strohkraftwerke.

### Zusammenfassung

In der Nutzungs- und Wertschöpfungsreihe «Getreide/Nahrung – Getreidestroh/Energie – Strohasche/Dünger» spielten bisher Stroh und Asche eine untergeordnete Rolle, obwohl sie ein beträchtliches wirtschaftliches und ökologisches Potenzial aufweisen. Jährlich werden weltweit geschätzte 2.5 bis 3 Gt Stroh produziert, von denen nur ein Teil für landwirtschaftliche Zwecke genutzt wird.

Stroh weist mit 17 GJ/t bzw. 4.8 MWh/t einen etwas höheren Energieinhalt auf als Holz. Aber im Gegensatz zu Holz wird Stroh gegenwärtig noch auf offenem Feld abgefackelt, eine Ursache vermeidbarer Umweltverschmutzung. Bisher wurde Stroh nur vereinzelt in Skandinavien, England, Spanien und der VR China in eigentlichen Strohkraftwerken verwertet, was 2010 rund 4 TWh ( $4 \times 10^{12}$  Wh) elektrischen Strom generiert. Das Potenzial von Stroh als CO<sub>2</sub>-neutraler, nachwachsender non-food Rohstoff ist beträchtlich: das insgesamt weltweit anfallende Stroh würde rund 3.3 PWh ( $3.3 \times 10^{15}$  Wh) elektrischen Strom und gegen 10 PWh an thermischer Energie pro Jahr generieren. Der Stromausstoss aller 440 zivilen stationären Kernkraftwerke weltweit lag 2007 mit 2.7 PWh in einer ähnlichen Größenordnung.

Die Verfügbarkeit von Stroh für Energiegewinnung hängt vom regionalen Verhältnis von Getreideanbau zu Viehwirtschaft ab und variiert regional von 0 bis 50%. Die Argumente gegen die Nutzung des Energieträgers Stroh hatten in der Vergangenheit eine gewisse Berechtigung, lassen sich heute aber nicht mehr aufrecht erhalten.

### Summary

In the value added chain «cereals/food – cereal straw/energy – straw ash/fertilisers» only cereals play an important role at present. The entire chain has, however, a high potential which is so far largely neglected. An estimated mass of 2.5 to 3 Gt of straw are produced each year worldwide, of which only a fraction is used for agricultural purposes.

Straw has a slightly higher energy capacity (17 GJ/t, or 4.8 MWh/t) than wood, but in contrast to wood is «excess straw» in practice rather burnt on the open field than used for energy production. Until 2010 a total of 4 TWh pa ( $4 \times 10^{12}$  Wh) were produced in straw firing power stations in Scandinavia, United Kingdom, Spain and PR of China. Production figures on cereals, straw and its availability for energy generation exist as estimates only, the potential of straw as a source of electrical and thermal energy is, however, important: the globally produced straw could generate 3.3 PWh ( $3.3 \times 10^{15}$  Wh) electricity plus 10 PWh thermal energy per year with renewable, CO<sub>2</sub>-neutral non-food fuel. The annual electricity output of all 440 nuclear non-military power stations was 2007 with 2.7 PWh in a similar order of magnitude.

The availability of «excess»-straw for energy generation depends on the ratio of regional cereal production and cattle breeding, and hence varies regionally from 0 to 50%. The objections against straw as an energy source might have been arguments in the past, but cannot be maintained longer.

<sup>1</sup> Prof. em. Universität Basel, Departement Umweltwissenschaften, Institut für Mineralogie und Petrographie, Geochemisches Labor, Eulerstrasse 24, 4003 Basel Spalen [willem-b.stern@unibas.ch]

# 1. Einleitung

Fossile Biomasse – Erdgas, Erdöl, Kohle – spielt als Energieträger und Lieferant wirtschaftlich lebenswichtiger Primärstoffe eine herausragende Rolle und ist entsprechend Gegenstand geowissenschaftlicher Forschung. Rezente, nachwachsende Biomasse in Form von Holz und Stroh und ihr Umwandlungsprodukt – Asche – war im 19. Jahrhundert Gegenstand analytisch-geochemischer Forschung und gewinnt heute beim Studium von Kreislaufprozessen (Elementangebot in Böden und selektive Elementaufnahme durch Pflanzen) wieder an Bedeutung.

Biomasse war 2006 mit 4% der Weltproduktion die bedeutendste Energiequelle nach den fossilen Energieträgern Öl, Gas und Kohle (88%) sowie Kernenergie (6%), und der wichtigste Träger erneuerbarer Energie vor Wasserkraft (3%), Solarenergie (0.5%) und Windenergie (0.3%, vgl. Wikipedia «World energy resources and consumption»).

Biomasse wird definiert als erneuerbares biologisches Material, das sich herleitet von lebenden oder kürzlich lebenden Organismen. Biomasse umfasst pflanzliches und tierisches festes und flüssiges Material wie Holz, halm- und strauchartige Pflanzen, organische Abfälle und Erntereste, Gülle und Klärschlamm, öl-, fett-, stärke-, zellulose- und zuckerhaltige Stoffe pflanzlicher Herkunft. So komplex sich Biomasse präsentiert, so vielfältig sind die einzelnen Nutzungsoptionen zur Energiegewinnung. Sie reichen von thermischen Prozessen (Ver-

brennung, Vergasung) zu biotechnischen Prozessen (Fermentation, anaerobe und alkoholische Gärung) und mechanischen Prozessen (Verpressung in Ölmühlen). Der Nutzungswirkungsgrad variiert von 20 bis 30% bei einfachen Prozessen zu 60 bis 90% bei gekoppelten Nutzungsarten wie Kraft-Wärme-Kopplung (Fig. 1).

Einzelne Nutzungsarten wie die grosstechnische Herstellung von Biosprit und Biodiesel aus Pflanzenölen und Getreide treten in Konkurrenz zur Nahrungsbereitstellung für Mensch und Tier und sind entsprechend in Kritik geraten (Fischer Weltatmanach 2009). Es stellt sich somit die Frage, ob einzelne Biomassen als sekundäre Abfallprodukte nicht vermehrte Bedeutung erlangen können, weil sie die primäre Nahrungsmittelkette nicht konkurrenzieren, sondern einen weiteren Schritt in einer bereits bestehenden Nutzungssequenz darstellen. Für Holzabfälle (Pellets, Altholz) ist dies bereits zunehmend Realität, für Getreideabfälle wie Stroh bisher jedoch kaum.

Stroh weist bei einem Wassergehalt von 15 Gew. % einen mittleren Energieinhalt von rund 17 GJ/t oder 4.8 MWh/t auf und liegt damit etwas höher als trockenes Holz mit 4.0 bis 4.4 MWh/t, aber tiefer als Ethanol oder Dieseltreibstoff mit rund 7.4 bzw. 11.8 MWh/t.

Zuverlässige globale Produktionszahlen zu Stroh und seiner Verfügbarkeit existieren

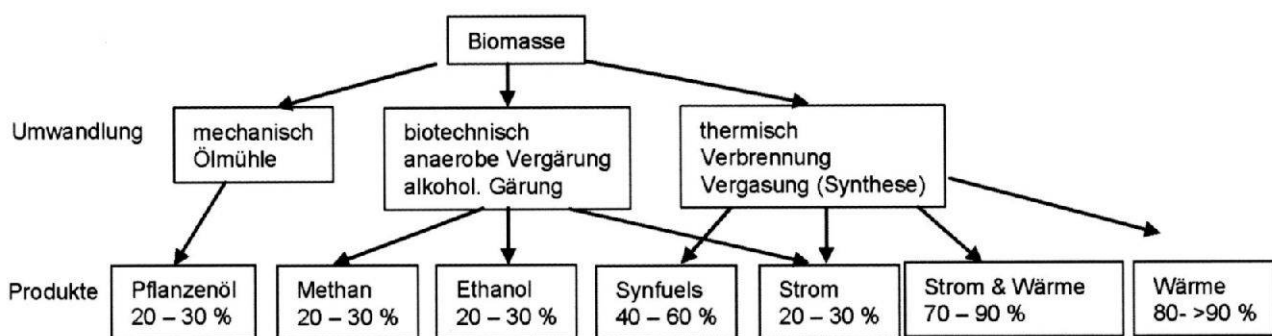


Fig. 1: Nutzungsoptionen von Biomasse [UVEK-BFE 2008].

nicht, aber sie lassen sich herleiten. Die Produktionszahlen von Getreide (Mais, Reis, Weizen etc) werden jährlich in den WASDE reports veröffentlicht. Für 2007 wird die Weltproduktion von Getreide auf 2.4 Gt beziffert. Dies bedeutet, dass rechnerisch pro Kopf der Weltbevölkerung und pro Tag mehr als 1 kg Getreide erzeugt wird. Ein Teil (36%, NZZ 2008) wird aber für Futterzwecke (Geflügel-, Rinderzucht) eingesetzt, ein weiterer Teil (17%, NZZ 2008) für industrielle Ziele, wie u. a. die Erzeugung von Biosprit und Biodiesel verwendet, so dass diese der Weltbevölkerung als primäres Nahrungsmittel entzogen werden.

Spärliche Literaturhinweise und eigene Erhebungen an Weizen und Dinkel zeigen, dass das Gewichtsverhältnis zwischen Getreidekorn zu Halmgut zu Spreu (Kaff, ausgedroschene Ähre) rund  $\frac{1}{2}$  zu  $\frac{1}{4}$  zu  $\frac{1}{4}$  beträgt, das Verhältnis von Korn zu Stroh insgesamt somit rund 1 zu 1. Auf dieser Basis berechnet resultieren jährlich >2.5 bis 3 Gt Stroh, wenn weitere landwirtschaftliche Trockenabfälle wie z. B. der Baumwoll- oder Erdnussproduktion hinzugerechnet werden. Ein statistisch nicht dokumentierter Teil des Strohs wird landwirtschaftlich durch Unterpflügen oder für Einstreu in der Gross- und Kleintierzucht genutzt. Ein Teil hingegen wird auf offenem Feld abgefackelt und die Asche vom Wind verweht. Dieser unkontrollierte Abbrand führt nicht nur zu Luftverschmutzung, sondern kann auch eine Ursache von Behinderungen im Luft- und Strassenverkehr darstellen (Kopetz 2009).

Der Anteil des für Energieerzeugung verfügbaren und bisher nicht genutzten Strohs hängt weitgehend vom regionalen Flächenverhältnis von Getreideanbau zu Vieh- und Milchwirtschaft ab und variiert entsprechend lokal von regional 0 bis 50% (Piorr 2007).

## 2. Die bisherige Nutzung von Stroh als Quelle elektrischer und thermischer Energie

Seit über 20 Jahren wird Stroh in skandinavischen Ländern in dezentralen, kleinen Kraftwerken verbrannt und damit entweder elektrische oder/und thermische Energie erzeugt. Seit über zehn Jahren wird Stroh auch in mittleren und grossen Kraftwerken zusammen mit Holzabfällen, Gas und Öl/Kohle verfeuert («co-firing»; Schultz 2008, Van Loo & Koppejan 2009).

Das noch immer weltweit grösste Stroh verbrennende Elektrizitätskraftwerk ist seit dem Jahr 2000 in Grossbritannien (Ely, Midlands, [www.epri.co.uk](http://www.epri.co.uk)) in Betrieb, wo eine Anlage mit 38 MW Nennleistung pro Jahr 0.2 Mt Einstreu aus der Geflügelzucht verbrennt und 0.27 TWh Strom erzeugt. Wärmekopplung ist in Ely bisher nicht realisiert, hingegen wird die Asche des Verbrennungsprozesses als Düngemittel vermarktet. Das Abfallstroh stammt aus einem Umkreis von bis zu 50 km; die mit der Zulieferung verbundenen Transportkosten werden mit 5% des Betriebsaufwandes angegeben. Weitere Strohkraftwerke nahmen 2000 bis 2003 in Dänemark (Avedoe-re, Studstrup, Amager-2), 2003 in Spanien (Navarra Sangüesa, [www.ehm.es](http://www.ehm.es)), und ab 2007 in der VR China (Shanxian) den Betrieb auf (Kopetz 2009). In Deutschland wird 2010 das erste Strohkraftwerk mit Kraft-Wärme-Kopplung ans Netz gehen. Insgesamt werden 2010 4 TWh Elektrizität aus Strohkraftwerken stammen (Tab. 1).

## 3. Das Potenzial von Strohkraftwerken

Während sich viele Studien mit der Fermentierung und Vergärung von Biomasse beschäftigen (Kaltschmitt et al. 2009), existieren nur wenige Recherchen zum Potenzial von Stroh zur Stromerzeugung. Edwards et al. (2005, 2007) schätzen, dass im Europa der 27 EU-Mitgliedstaaten gesamthaft 67 Kraftwerke (mit je 38 MW Nennleistung) mit

| Land        | Ort        | Betrieb seit Jahr | Nennleistung MW | Strohbedarf Mt/a | Stromerzeugung GWh/a | Wärmeproduktion GWh/a | Investition Mio € | Effizienz MWh/t | Einzugsgebiet Radius km | Ref. |
|-------------|------------|-------------------|-----------------|------------------|----------------------|-----------------------|-------------------|-----------------|-------------------------|------|
| Dänemark    | Masnedö    | 1996              | 8.9             | 0.04             | 73                   | 184                   |                   |                 |                         |      |
|             |            | 2000              |                 | 0.36             | 420                  |                       |                   | 1.17            |                         | 1]   |
|             | Avedoere   | 2001              | 40              | 0.15             | 175                  | ++                    |                   |                 | 100                     | 1]   |
|             | Studstrup  | 2002              |                 | 0.25             | 292                  |                       |                   |                 |                         | 1]   |
|             | Amager 2   | 2003              |                 | 0.15             | 175                  |                       |                   |                 |                         | 1]   |
|             | Fyn        | 2008              |                 |                  | 0.15                 | 175                   |                   |                 |                         | 1]   |
| England     | Ely        | 2000              | 38              | 0.20             | 270                  | —                     |                   | 1.35            | 50                      | 2]   |
| Spanien     | Sangüesa   | 2003              | 25              | 0.16             | 200                  |                       | 51                | 1.25            |                         | 3]   |
| PR China    | Shanxian   | 2007              | 25              | 0.25             | 220                  |                       | 27                | 0.88            | 25                      | 4]   |
|             | 12 Werke   | 2009              | 300             | 2.15             | 2050                 | —                     |                   | 0.95            |                         | 4]   |
| Deutschland | Emlichheim | 2010              | 14              | 0.08             | 55                   | ++                    | 50                | 0.71            | 60                      | 5]   |

++ thermische Nutzung ja, aber nicht quantifiziert; — nachweislich keine thermische Nutzung  
Referenzen: 1] Schultz 2008, 2] www.epri.co.uk, 3] www.ehn.es, 4] Kopetz 2009, 5] info@bekw.de

Tab. 1: Operationelle Strohkraftwerke.

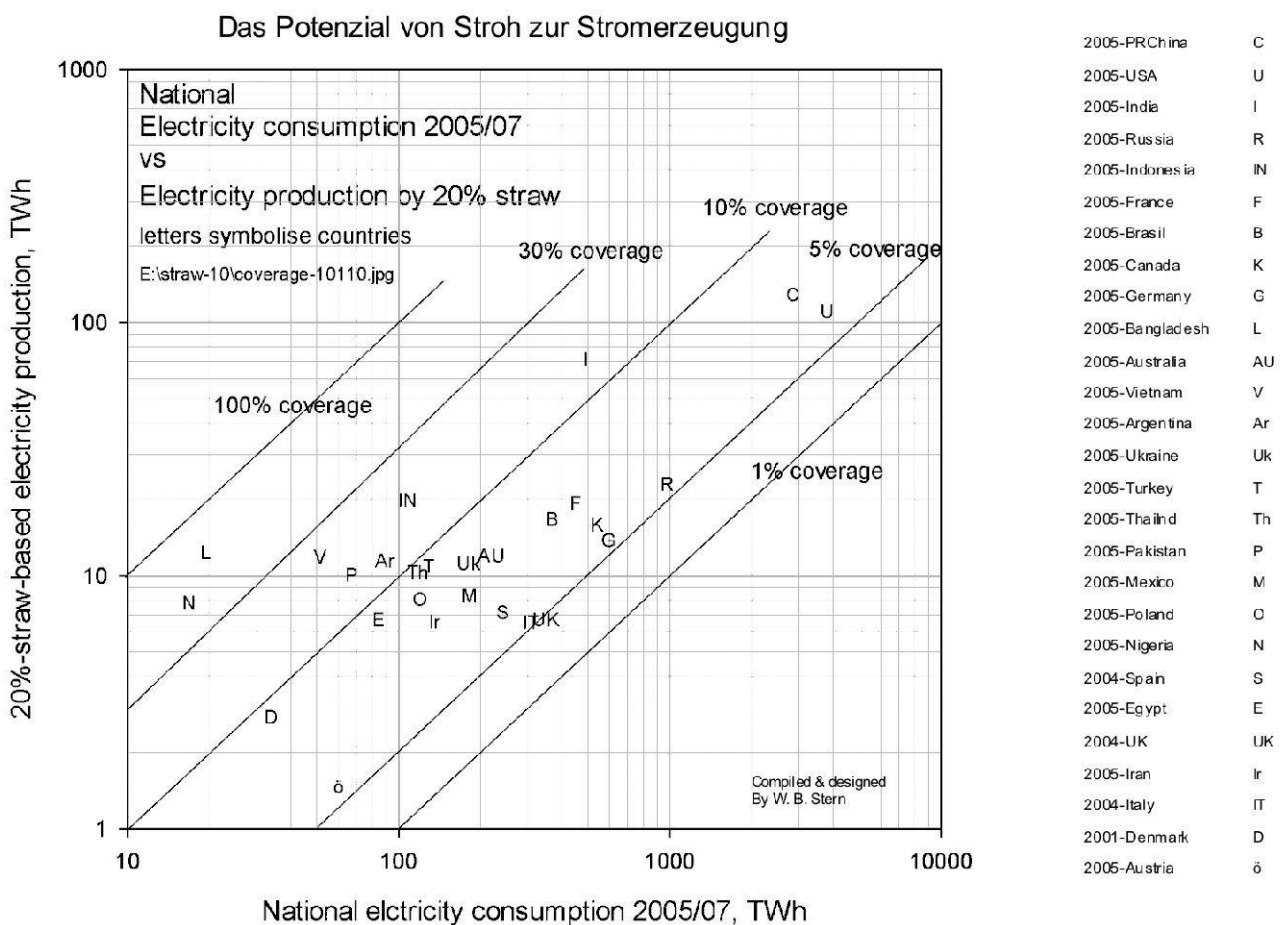


Fig. 2: Das Potenzial von Stroh zur Stromerzeugung.

bisher ungenutztem Stroh betrieben werden können, wobei als limitierendes Kriterium der maximale Transportweg von 50 km vom Getreidefeld zum Kraftwerk genannt wird. Die Kapazität dieser 67 Kraftwerke ist auf 18 TWh pro Jahr zu veranschlagen. Da diese mittelgrossen Kraftwerke nur einen geringen Teil (28%) des gesamten verfügbaren Strohs aufnehmen, könnten weitere kleinere, dezentrale Strohkraftwerke in Europa zusätzlich zwischen 30 und 40 TWh Strom pro Jahr generieren. Die thermische Nutzung (Kraft-Wärme-Kopplung) ist dabei sowenig berücksichtigt wie die Nutzung der anfallenden Strohasche.

Die VR China unternimmt seit 2007 (Tab. 1) grosse Anstrengungen auf dem Gebiet der Energieproduktion aus Biomasse im Allgemeinen, und aus pflanzlichen Abfällen wie Stroh im Besonderen. Neben den gegenwärtig schon bestehenden sollen bis 2020 30 weitere Strohkraftwerke ans Netz gehen und 7.5 TWh Strom liefern (Kopetz 2009).

Eine Abschätzung des weltweiten Potenzials kann nur auf Näherungen beruhen, weil zwar der Strohanfall über die recht zuverlässigen Getreideproduktionsdaten beziffert werden kann, der Anteil des verfügbaren «excess»-Strohs aber nur für einzelne Volkswirtschaften einigermaßen bekannt ist. So ist für Deutschland von einem verfügbaren Anteil von rund 20 bis 50% des jährlichen Strohgesamtanfalls zu rechnen (nach Piorr 2007, Rexing 2008).

Ausgehend von einem Anteil von 20% an verfügbarem Stroh (konservative Annahme: 80% werden in der Landwirtschaft direkt verwendet und stehen für eine weitere Nutzung nicht mehr zu Verfügung), lässt sich die Stromproduktion bzw. der Deckungsgrad durch Stroh verbrennende Kraftwerke abschätzen (Fig. 2).

Der Deckungsgrad variiert gemäss dieser Abschätzung zwischen 2 und 20%. Für zahlreiche Volkswirtschaften resultiert ein jährlicher Stromertrag von 10 bis 20 TWh (Australien, Deutschland, Kanada, Brasilien, Frankreich, Russland), für grosse Volkswirt-

schaften wie Indien, die USA und China wäre mit wesentlich höheren Erträgen zu rechnen (Quellen: Fischer Weltalmanach 2009, Wikipedia «List of countries by electricity consumption»). Diese Zahlen sind im Verhältnis zu alternativen und konventionellen Stromquellen bescheiden, aber nicht unerheblich (Tab. 2).

| Kraftwerk                                 | TWh/Jahr |
|---|----------|
| Solkraftwerk Andasol-1 Spanien, 2009      | 0.2      |
| Strohkraftwerk Ely, UK, 2000/09           | 0.27     |
| Flusswasserkraftwerk Basel-Birsfelden, CH | 0.5      |
| Gezeitenkraftwerk La Rance, F, 2004       | 0.6      |
| Stau-/Speicherkraftwerk Gde. Dixence, CH  | 2.0      |
| Kernkraftwerk Beznau-1, CH, 2007          | 3.2      |
| Kernkraftwerk Leibstadt, CH, 2007         | 9.9      |

**Tab. 2:** Vergleichende Zusammenstellung der Energieproduktion ausgewählter alternativer und konventioneller Stromquellen.

Würde das gesamte weltweit anfallende Stroh energetisch genutzt, so liessen sich 3.3 PWh an elektrischem Strom und 10 PWh an thermischer Energie generieren. Die weltweit 440 operationellen zivilen, stationären Kernkraftwerke erzeugten 2007 mit 2.7 PWh eine vergleichbare Menge elektrischer Energie, aber keine genutzte thermische (Fischer Weltalmanach 2009). Die tatsächlich generierbare Energieausbeute beim Verbrennen von Stroh richtet sich nach der Masse verfügbaren Strohs nach Abzug des landwirtschaftlich direkt genutzten (Edwards et al. 2005, 2007). Dies führt für einzelne Länder wie die Schweiz zu einem Import von Stroh, der über grössere Strecken zum Ort des Einsatzes im Pferdesport und in landwirtschaftlichen Betrieben verfrachtet wird.

#### 4. Nachteile von Stroh als Energielieferant

Zwei Hauptargumente gegen die Verwendung von Stroh als Kraftstoff in Strom erzeugenden Kraftwerken werden genannt: ein

logistisches und ein betriebstechnisches. Obwohl fossile Energieträger (Öl, Gas) über grosse Distanzen vom Erzeuger zum Nutzer transportiert werden, soll Stroh über höchstens 50 km vom Getreidefeld zum Kraftwerk verfrachtet werden. Als Begründung wird die geringe Dichte der Strohballen und damit verbunden das grosse Transportvolumen genannt, welches die Strassennutzung logistisch überfordern könnte. Dies mag für das ländliche Europa zutreffen, aber eher weniger für die USA oder Kanada. In China ist ein fein verästeltes Transportnetz mit jeweils kleinen Massen und Maximaldistanzen um 25 km realisiert.

Kleine transportierte Massen bedingen klein dimensionierte und damit weniger effiziente Kraftwerke. Ausgehend von Holz verfeuernden Kraftwerken schätzen Edwards et al. (2005) die optimale Leistung eines Strohkraftwerkes auf 900 MW. Mit aus diesem Grund wird in Skandinavien auch «co-firing» betrieben, d. h. das Verbrennen von Stroh zusammen mit Holzabfällen, Gas, Öl um eine effizientere Grösse des Kraftwerkes zu erreichen (Dänemark: Avedoere Unit-2: 510 MW<sub>el</sub>

| Energiequelle | €Cents pro kWh |
|---------------|----------------|
| Braunkohle    | 2.4            |
| Kernenergie   | 2.65           |
| Steinkohle    | 3.35           |
| Wasserkraft   | 4.3            |
| Erdgas        | 4.9            |
| Stroh         | 7              |
| Windenergie   | 9              |
| Fotovoltaik   | 54             |

**Tab. 3:** Berichtete Gestehungskosten von Strom aus Stroh (ohne Berücksichtigung allfälliger Erträge aus Kraft-Wärmekopplung und ohne Vertrieb von Abfallasche als Dünger, Edwards et al. 2005) im Vergleich mit jenen anderer Energiequellen [Deutschland 2007, Wikipedia «Kraftwerk», Seite der Kernkraftwerkbetreiber].

+ 565 MW<sub>therm</sub>, Schultz 2008). Wie stichhaltig das Grössenargument bei fortschreitender technologischer Entwicklung kleiner und mittlerer Strohkraftwerke in Zukunft sein wird, bleibt abzuwarten.

Stroh enthält rund zehn Mal mehr Asche als Holz, d. h. 5 bis 10 Gew. % gegenüber 0.5 bis 1% bei Holz. Die grossen Massen an Asche, die bei der Verbrennung von Stroh anfallen, bedingen ein entsprechendes Nutzungskonzept. Dies besteht einerseits in der Rückführung der Asche als Düngung in den Boden. Andererseits könnte die sehr spezielle, aber wenig untersuchte stoffliche Zusammensetzung von Strohasche zu innovativen neuen technischen Anwendungen (Glas, Baumaterialien) führen (Fig. 3).

Das ternäre Diagramm mit SiO<sub>2</sub>, CaO und K<sub>2</sub>O betrifft rund 88% bis 95 Gew. % der frischen Gesamtasche (weitere Oxide der Elemente P, Mg, Fe, Mn, S sowie Cl machen den Rest aus). Eingebildet ist das Schmelzverhalten dieses ternären Systems nach Morey et al. (1930). Es zeigt sich, dass die Asche von Holz (B) wesentlich höhere Ca/K-Quotienten aufweist als z. B. Farnkraut (F) oder Halmgut (S). Die einzelnen Teile von Stroh (S) – Ähre, Spreu, Spelzen, Halmgut, Körner – sind sehr verschieden zusammengesetzt und weisen ein entsprechend unterschiedliches Schmelzverhalten auf.

Einzelne Strohkombinationen liegen in der Nähe eutektischer Minimaltemperaturen unter 900°C, was bei Einsatz von entsprechendem Stroh in Holz verbrennenden Kraftwerken mit 1000–1300°C Betriebstemperatur zu Sinterbildungen in der Brennkammer und damit zur Schädigung des Systems führen kann. Insgesamt ist festzustellen, dass insbesondere Weizenkörner eine Schmelzpunkterniedrigung herbeiführen können. Allerdings sollte Weizen ohnehin der menschlichen Nahrungskette vorbehalten sein und nicht der Energiegewinnung dienen. In das Dreieck eingebildet sind ferner Analysen von historischem, sog. Waldglas (+) und Pottaschenglas (o), das aus einer Mischung von Holzasche bzw. Aschenex-

trakt als Netzwerkwandler/Stabilisator sowie Quarzsand als Netzwerkbildner hergestellt wurde und noch wird. Die besondere Zusammensetzung von Strohasche macht eine direkte Herstellung von Glas ohne Verwendung von Quarzsand bei tiefen Schmelztemperaturen möglich, wie eigene Experimente gezeigt haben (unpubliziert, sowie Stern & Gerber 2009).

Die potenziell tiefen Schmelzpunkte von Asche aus Getreidehalm und Getreidekorn können technologisch von Bedeutung sein, sind aber bei den hohen Brenntemperaturen eines Holz-/Gaskraftwerks wegen Sinterbildung in hohem Masse unerwünscht. Über

Sinterbildungen wird seit den Anfängen der Strohkraftwerke berichtet (Van Loo & Koppejan 2009). Als Gegenmassnahmen wurden und werden schmelzpunkterhöhende Additive (Dolomit, Kaolin; EUR 22461, 2006) eingesetzt. Eine weitere Massnahme ist die Reduktion der Brenntemperatur auf 850°C wie sie in Ely realisiert ist (Newman 2003). Der dritte Weg bestünde in der Verwendung von Spreu (ausgedroschene Ähre) zusammen mit Halmgut, wie Experimente gezeigt haben (unpubliziert). Der hohe SiO<sub>2</sub>- und tiefe K<sub>2</sub>O-Gehalt von Spreu verursacht einen sehr stark erhöhten Schmelzpunkt von z. T. über 1400°C. Damit kann durch eine geeignete

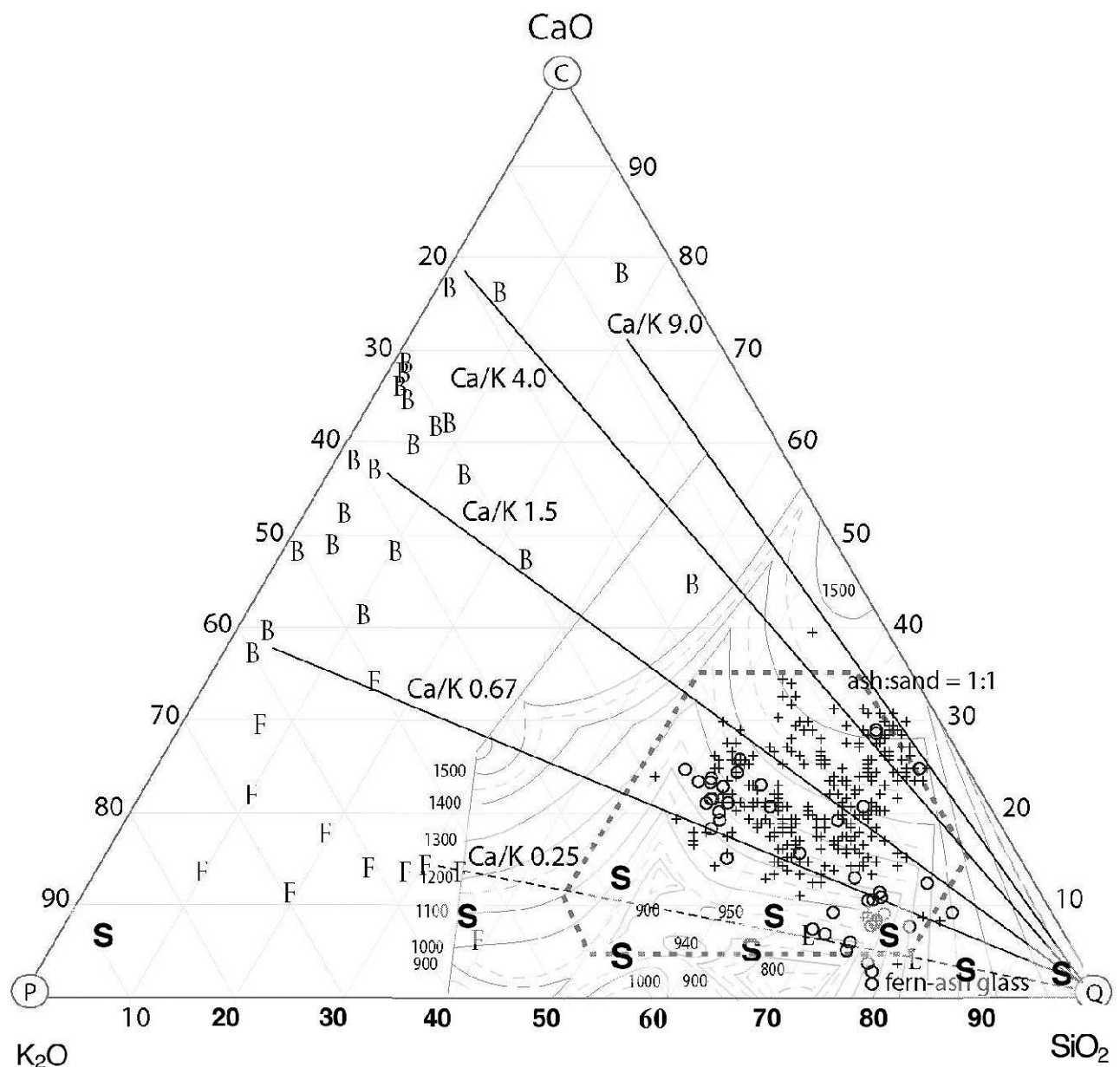


Fig. 3: SiO<sub>2</sub>-CaO-K<sub>2</sub>O-Diagramm für Asche aus der Verbrennung pflanzlicher Rohstoffe.



Mischung von Halmgut und Spreu theoretisch jede Schmelztemperatur zwischen  $<900^{\circ}\text{C}$  und  $>1300^{\circ}\text{C}$  angesteuert werden, d. h. einerseits eine genügend hohe Temperatur in der Brennkammer und anschliessend bei der Verwendung der Asche durch weitere Zumischung wiederum eine tief schmelzende Asche für die Erzeugung von Glas und glasartigen Werkstoffen.

Ein bisheriges Strohkraftwerk mit 25 MW Nennleistung erzeugt durch Verbrennung von 0.2 Mt Stroh rund 10'000 bis 20'000 t Asche, von denen ein Teil – womöglich unter Nutzung der Prozesswärme aus der Stromproduktion – zu innovativen Werkstoffen verwendet werden könnte. Aber hierzu wäre einige Entwicklungsarbeit zu leisten.

Insgesamt ist festzustellen, dass die vorgebrachten Schwächen von Stroh als Brennstoff zwar vorhanden gewesen sind, aber heute keinen hohen Stellenwert in der Beurteilung insgesamt mehr haben dürften.

Im Gegensatz zur Nutzung von Getreide oder von eigentlichen Energiepflanzen zur biotechnischen Herstellung von z. B. Ethanol werden beim Verbrennen von Getreidestroh weder Nahrungsmittel dem Verzehr entzogen noch landwirtschaftliche Böden umgenutzt. Strom aus Stroh erweitert die Wertschöpfungs-Nutzungskette «Getreide – Stroh/Energie – Asche/Dünger» und ist somit per se von Interesse. Strohstrom sollte vorzugsweise in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugt, und die anfallende Asche gesondert genutzt werden. Aus Stroh werden Strom und Wärme  $\text{CO}_2$ -neutral mit einem nachwachsenden und bisher (zu) wenig genutzten Abfallprodukt generiert. Das Potenzial von Stroh ist in zahlreichen Ländern (Frankreich, Deutschland, Nord- und Südamerika) vorhanden, wird in der Öffentlichkeit aber noch nicht wahrgenommen.

## Bibliographie

- BEKW Emlichheim. Energie aus Stroh. [www.bio-energie-emsland.de](http://www.bio-energie-emsland.de) Zugang 30.12.09.
- Edwards, R. A. H., Suri, M., Huld, T. A. & Dallemund, J. F. 2005: GIS-based assessment of Cereal Straw Energy Resource in the European Union. 14th Europ Biomass Conf. Paris, 17-21 oct 2005. Zugang Dez. 2009 und pers. Mitt.
- Edwards, R. A. H., Suri, M., Huld, T. A. & Dallemund, J. F. 2007: GIS-based assessment of cereal straw energy in the European Union. EUR 22626 2007, Pamplona Conf. 18-19 Okt. 2006. Zugang Feb. 2010.
- EUR 22461 [2006]. Co-firing of biomass with coal: constraints and role of biomass-treatment. ISSN 1018-5593, [anna.maciejewska@jrc.nl](mailto:anna.maciejewska@jrc.nl). Zugang Feb. 2010.
- Fischer Weltalmanach 2008: Zahlen, Daten, Fakten. – Fischer Paperback. ISBN 978-3-596-72009.
- Kaltschmitt, M. H., Hartmann, H. & Hofbauer, H., Hrsg. 2009: Energie aus Biomasse, 2. Aufl. Grundlagen, Techniken, Verfahren. Springer, 1030 p. ISBN 978-3-540-85094-6.
- Kopetz, H. 2009: Erneuerbare Energien – Kann Österreich von China lernen? [www.biomasseverband.at](http://www.biomasseverband.at). Zugang Feb 2010, und pers. Mitt. Zugang 26. Dez. 2009.
- Morey, G. W., Kracek, F. C. & Bowen 1930: The ternary system  $K_2O-CaO-SiO_2$ . J. Sc. Glass Technology 14, 149.
- Newman, R. 2003: A trial burn of rape straw and whole crops harvested for energy use to assess efficiency implications. dti Crown copyright. Zugang Febr. 2010.
- NZZ Online vom 11. April 2008: Immer mehr Getreide und immer mehr Hunger. Zugang 09 Febr. 2010.
- Pierr, H. P. 2007: Cereals straw for bioenergy: Environmental and agronomic constraints. EUR22626 2007 [europa.eu.int](http://europa.eu.int). ISSN 1018-5593. Pamplona, Cener 18-19 Okt .2006, Zugang Febr. 2010.
- Rexing, E.-M. 2008: Erstes Deutsches Strohkraftwerk entsteht im Emsland. [info@bekw.de](mailto:info@bekw.de), Zugang Nov. 2009.
- Sangüesa, Navarra 2003: 25 MW Straw-fired, High Efficiency Power Plant. [www.ehn.es](http://www.ehn.es). Zugang Dez. 2009
- Schultz, G. 2008: Energi2-Denmark modern biomass utilisation, Google: Energie2-Denmark Schultz, und [www.energi2.com](http://www.energi2.com). Zugang Febr. 2010.
- Stern, W. B. & Gerber, Y. 2009: Ancient Potassium-Calcium Glass and its Raw Materials (Wood-Ash, Fern-Ash, Potash) in Central Europe. Mitt. Naturf. Ges. beider Basel, 11, 107.
- UVEK-BFE 2008: Energieforschungsprogramm Biomasse für die Jahre 2008-2011. Publ. N. 000000280086. [sandra.hermle@admin.ch](mailto:sandra.hermle@admin.ch). Zugang Jan. 2010.
- Van Loo, S., & Koppejan, J., Eds 2009: The Handbook of Biomass Combustion & Co-firing. Earthscan, Sterling London, 442 p. ISBN 1-84407-249-5.
- WASDE reports 2008, 2010: World Agricultural Supply and Demand Estimates. US Dept. Agriculture. Google WASDE, Internetzugang Jan. 2010.
- Wikipedia: Kraftwerk. Zugang 30. Dez. 2009 [Seite der Kernkraftwerksbetreiber].
- Wikipedia: List of countries by electricity consumption. Zugang 08. Jan.2010.
- Wikipedia: World energy resources and consumption. Zugang 03. Jan.2010.

