

Jahresbericht 2001

# **Ecoinvent 2000**

## **Überarbeitung und Ergänzung der Ökoinventare für Energiesysteme**

### ***Technische Ergänzungen zum Jahresbericht 2001***

Dones R., Gantner U., Heck T. (PSI)

Faist M., Frischknecht R., Jungbluth N. (ESU-services)

Bauer C., Burger B., Schmocker A. (ETHZ)

## Einleitung

Im Folgenden wird der Stand der bisher erledigten Arbeiten der einzelnen in *Ecoinvent 2000* bilanzierten Energiesysteme erläutert. Aufgrund der Komplexität und Vielfältigkeit der Energiesysteme, wurde die Literatur nach Energieträgern oder Bezugssystemen gruppiert. Die Literaturlisten finden sich zusammengefasst am Ende dieses Berichts.

Neben der reinen Transformation der Daten der Ökoinventare von Energiesystemen (Frischknecht et al. 1996) in das neue Format, wird die Modellierung und die Datenbasis der ganzen Energieketten dem aktuellen Stand der Technik angepasst. Einige Energiesysteme haben sich in den letzten Jahren stark gewandelt und an Bedeutung gewonnen. So werden z.B. bei Gasheizungen kaum mehr Standkessel installiert und der modulierende Betrieb ist heute Standard. An Bedeutung gewonnen haben z.B. die Wärmekraftkopplung und in noch grösserem Masse die Wärmepumpen. Die aufstrebenden Märkte haben neue innovative Konzepte zur Folge. Im Rahmen einer Übersichtsarbeit wird es aber nicht möglich sein, sämtliche Systeme und Anwendungen exakt zu erfassen, sondern es wird darauf bedacht eine repräsentative Auswahl zu treffen. Dies bezieht sich auf die grosse Variation der Technologien sowie auch auf die verschiedenen Leistungsklassen und Einsatzgebiete. Die oben beschriebene Vorgehensweise wird auch auf die verschiedenen Glieder der Energiekette, die mit der Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung in der Schweiz und in Europa verbunden sind, angewandt, wobei es hier noch schwieriger ist, eine grosse Vielfalt von Technologien und Situationen zu erfassen, und daher noch notwendiger, eine sinnvolle repräsentative Auswahl zu treffen.

## Erdöl

Im Bereich Erdöl wird die Aufdatierung der Sachbilanzen für die Erdölförderung, Verarbeitung und die Umwandlungssysteme zur Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung angestrebt. Grundlage der Arbeit sind die *Ökoinventare von Energiesystemen* (FRISCHKNECHT et al., 1996) in denen die Bereitstellungsketten für das Jahr 1995 detailliert untersucht wurden. Im Rahmen dieses Projektes sollen diese Daten für die Versorgungssituation der Schweiz im Jahr 2000 aufdatiert werden.

Bei der Versorgung mit Erdöl und Erdölprodukten gab es in den letzten Jahren wichtige Änderungen hinsichtlich der Herkunftsländer. Tab. 1 zeigt die Versorgungssituation mit Rohöl und Erdölprodukten in der Schweiz und Europa (BP AMOCO, 2001), (EV, 2001), (IEA, 2001). In den letzten Jahren gab es eine deutliche Verschiebung bei den Rohöl-Importen. Importe aus Afrika (insbesondere Nigeria) haben an Bedeutung gewonnen. Importe aus Russland und der Nordseeregion sind hingegen deutlich zurückgegangen.

Tab. 2 zeigt aktuelle Daten zum Absatz und Import von Erdölprodukten in der Schweiz (EV, 2001).

Die Verschiebung bei der Versorgungssituation hat es nötig gemacht für einige Herkunftsregionen Sachbilanzdaten völlig neu zu erheben. Im Rahmen der Datenerhebung wurden dazu über 100 Firmen angeschrieben und um Informationen zu den Umweltbelastungen bei Erdölförderung und Verarbeitung gebeten. Im folgenden werden nun die wichtigsten Datengrundlagen für die verschiedenen Länder dargestellt. Dabei wird, wie in diesem Bereich üblich, zwischen Upstream (Erdölförderung) und Downstream (Erdölverarbeitung) unterschieden.

## UPSTREAM

International tätige Konzerne veröffentlichen ihre Umweltbericht teilweise als Gesamtbilanz der weltweiten Aktivitäten. Eine Verwendung dieser Daten für einzelne Länder ist deshalb in der Regel schwierig. Es soll aber neben den Bilanzen für einzelne Länder eine Gesamtbilanz aufgrund der Daten zu diesen weltweiten Aktivitäten erstellt werden.

**Tab. 1** Versorgungssituation mit Rohöl und Erdölprodukten in der Schweiz und Europa (EV, 2001) (IEA, 2001)

|                      | Herkunft<br>Rohöl<br>Schweiz<br>t | Herkunft<br>Produkte<br>Schweiz<br>t | Herkunft<br>Rohöl Europa<br>1000t | Herkunft<br>Produkte<br>Europa<br>1000t | Herkunft<br>Rohöl<br>Schweiz<br>% | Herkunft<br>Produkte<br>Schweiz<br>% | Herkunft Rohöl<br>Europa<br>% | Herkunft<br>Produkte<br>Europa<br>% |
|----------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| Deutschland          |                                   | 1781881                              | 1983                              | 13710                                   | 0.0%                              | 22.9%                                | 0.3%                          | 5.7%                                |
| Frankreich           |                                   | 1822939                              | 833                               | 11286                                   | 0.0%                              | 23.4%                                | 0.1%                          | 4.7%                                |
| Italien              |                                   | 750708                               | 262                               | 8407                                    | 0.0%                              | 9.6%                                 | 0.0%                          | 3.5%                                |
| Niederlande          |                                   | 2232196                              | 2'284                             | 42696                                   | 0.0%                              | 28.7%                                | 0.4%                          | 17.8%                               |
| Belgien/Luxemburg    |                                   | 1184184                              | 411                               | 17318                                   | 0.0%                              | 15.2%                                | 0.1%                          | 7.2%                                |
| Norwegen             |                                   |                                      | 115'625                           | 6856                                    | 0.0%                              | 0.0%                                 | 18.6%                         | 2.9%                                |
| Schweden             |                                   |                                      | 771                               | 7890                                    | 0.0%                              | 0.0%                                 | 0.1%                          | 3.3%                                |
| United Kingdom       |                                   |                                      | 46'530                            | 21635                                   | 0.0%                              | 0.0%                                 | 7.5%                          | 9.0%                                |
| Übrige EU-Länder     |                                   | 4490                                 | 13'328                            | 18347                                   | 0.0%                              | 0.1%                                 | 2.1%                          | 7.7%                                |
| Europa               |                                   | 7776398                              | 182'027                           | 148145                                  | 0.0%                              | 99.9%                                | 29.2%                         | 61.8%                               |
| Russland/ Osteuropa  |                                   | 3461                                 | 128'701                           | 29848                                   | 0.0%                              | 0.0%                                 | 20.7%                         | 12.5%                               |
| Lateinamerika        |                                   |                                      | 8'194                             | 2005                                    | 0.0%                              | 0.0%                                 | 1.3%                          | 0.8%                                |
| Iran/Mittlerer Osten | 341371                            |                                      | 177'146                           | 8386                                    | 7.5%                              | 0.0%                                 | 28.4%                         | 3.5%                                |
| Nordamerika          |                                   | 851                                  | 9'928                             | 10873                                   | 0.0%                              | 0.0%                                 | 1.6%                          | 4.5%                                |
| Afrika               |                                   |                                      | 13'171                            | 715                                     | 0.0%                              | 0.0%                                 | 2.1%                          | 0.3%                                |
| Libyen               | 1721174                           |                                      | 52'866                            | 6034                                    | 37.6%                             | 0.0%                                 | 8.5%                          | 2.5%                                |
| Nigeria              | 1707780                           |                                      | 23'897                            | 49                                      | 37.3%                             | 0.0%                                 | 3.8%                          | 0.0%                                |
| Algerien             | 780051                            |                                      | 22'957                            | 10646                                   | 17.0%                             | 0.0%                                 | 3.7%                          | 4.4%                                |
| Kongo                | 15096                             |                                      |                                   |                                         | 0.3%                              | 0.0%                                 | 0.0%                          | 0.0%                                |
| Übrige               | 12745                             | 4209                                 | 4092                              | 22866                                   | 0.3%                              | 0.1%                                 | 0.7%                          | 9.5%                                |
| <b>Total</b>         | <b>4578217</b>                    | <b>7784919</b>                       | <b>622979</b>                     | <b>239567</b>                           | <b>100.0%</b>                     | <b>99.9%</b>                         | <b>99.3%</b>                  | <b>100.0%</b>                       |
| Quelle               | EV (2001:41)                      | EV (2001:41)                         | IEA 2001<br>(Tab. 3.4)            | IEA 2001<br>(Tab. 4.4)                  |                                   |                                      |                               |                                     |

**Tab. 2** Absatz und Import von Erdölprodukten in der Schweiz (EV, 2001)

| Erdölprodukte            | Anteil<br>Inlandraffinerien<br>am Inlandabsatz<br>% | Export von<br>Inlands-<br>produkten<br>t | Export<br>TJ | Absatz von<br>Erdölprodukten<br>CH<br>t | Import von<br>Erdölprodukten<br>CH<br>t |
|--------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
|                          |                                                     |                                          |              |                                         |                                         |
| Verbleites Benzin        | 0.0%                                                | 0                                        | 0            | 0                                       | 6763                                    |
| Unverbleites Benzin      | 27.1%                                               | 791                                      | 34           | 3982602                                 | 2721579                                 |
| Flugpetrol               | 28.8%                                               | 0                                        | 0            | 1576362                                 | 1140416                                 |
| Dieselöl                 | 37.7%                                               | 4061                                     | 174          | 1309320                                 |                                         |
| Heizöl Extra-leicht      | 30.7%                                               | 4572                                     | 196          | 4299282                                 | 3474641                                 |
| Heizöl Mittel und Schwer | 100.0%                                              | 334926                                   | 14335        | 146087                                  | 4                                       |
| Flüssiggase              | 84.3%                                               | 23949                                    | 1025         | 198220                                  | 31643                                   |
| Bitumen                  | 42.4%                                               | 0                                        | 0            | 303302                                  | 177203                                  |
| Andere Produkte          |                                                     | 38596                                    | 1652         | 177050                                  | 232670                                  |
| <b>Summe</b>             |                                                     |                                          |              | <b>11992225</b>                         | <b>7784919</b>                          |
| Quelle                   | EV (2001:49)                                        | EV (2001:49)                             | EV (2001:40) | EV (2001:40)                            | EV (2001:40)                            |

Für Grossbritannien stehen zusammengefasste Zahlen für die Umweltbelastungen bei der Erdölförderung zur Verfügung (UKOOA, 2000). Diese werden ergänzt durch verschiedene Umweltberichte einzelner Firmen. Für die Erdölförderung in Russland wurde durch Greenpeace eine umfassende Studie zu den Umweltbelastungen durchgeführt (LODEWIJKX *et al.*, 2001). Die Erdölförderung in Norwegen und den Niederlanden wird im Rahmen des Projektteils zur Erdgasförderung bearbeitet.

Nigeria spielt eine wichtige Rolle für die Versorgung mit Erdöl. Für einen wichtigen Produzenten liegt ein Umweltbericht vor (SHELL, 2001). Die Situation ist gekennzeichnet durch teilweise chaotische politische Rahmenbedingungen. So führen z.B. Sabotageakte immer wieder zur Verschmutzung der Umwelt. Die weitere Datenrecherche hat sich schwierig gestaltet. Für den Mittleren Osten und Nordafrika sind bisher kaum Informationen verfügbar.

## **DOWNSTREAM**

Der Bericht zur „Best Available Techniques for Mineral Oil and Gas Refineries“ enthält eine Reihe von Information zu den Umweltbelastungen bei der Raffination von Erdöl (IPPC, 2001). Er wird als Hintergrundinformation für die Bilanz verwendet. Gleiches gilt für einen Bericht aus den USA (ENERGETICS, 1998).

In der Schweiz gibt es zwei Raffinerien. Für die Raffinerie in Cressier wurden bereits einige umweltrelevante Information zur Verfügung gestellt. Die Raffinerie in Collembeiy hat die Unterstützung des Projektes durch das Zurverfügungstellen von Daten zugesagt.

Für Deutschland wird zur Zeit eine aktuelle Ökobilanz für die Verarbeitung von Rohöl in Raffinerien erstellt (PATYK, 2001). Bis zur Fertigstellung dieser Bilanz werden durch die Raffinerien keine weiteren Auskünfte erteilt. Für einzelne Raffinerien liegen Umweltberichte vor. Einige Daten zum Energieverbrauch der Raffinerien in Frankreich können der Publikation (CPDP, 2001) entnommen werden. Für Italien liegt ein Umweltbericht einer Ölgesellschaft für ihre Raffinerien vor (AGIP PETROLI, 2001). Für Schweden existiert eine Zusammenfassung der Umweltbelastungen aus verschiedenen Raffinerien (JANSON, 1999).

Für die Raffinerien in den Benelux-Ländern und Ländern ausserhalb Europas liegen bisher keine detaillierten Daten vor.

## **FEUERUNGSTECHNOLOGIEN**

In diversen Gesprächen mit internen und externen Fachleuten wurden die in (Frischknecht et al., 1996) und (Gantner et al., 2001) publizierten Jahresnutzungsgrade sowie die wichtigsten direkten Luftschadstoffe von Öl- und Gas-Heizungssystemen unter die Lupe genommen. Der Prozess wird bis Ende Januar 2002 abgeschlossen sein.

Ähnlich wie die Gas-Heizungen (siehe unten) entwickelten sich auch die Öl-Heizungen dank der modulierenden Betriebsweise in den 90-er Jahren relativ stark. Im Gegensatz zu den Gasheizungen kann in nächster Zeit jedoch nicht mit der Einführung der Brennwerttechnologie gerechnet werden (Nischenanwendungen ausgenommen), obwohl die technischen Lösungen dazu bereitstehen würden. Der Effizienzgewinn im Vergleich zu den Aufwendung scheint unverhältnismässig hoch zu sein. Für *Ecoinvent 2000* wird aber trotzdem die ganze Palette der Öl-Heizungen erfasst und bilanziert. Diese umfasst analog zu (Fischknecht et al., 1996) die technischen Unterschiede mit den daraus resultierenden charakteristischen Parametern wie (Luftschadstoffe, Treibhausgasemissionen, Jahresnutzungsgrade, etc.) sowie die verschiedenen Leistungsklassen und Anwendungsgebiete (Heizung, Prozesswärme).

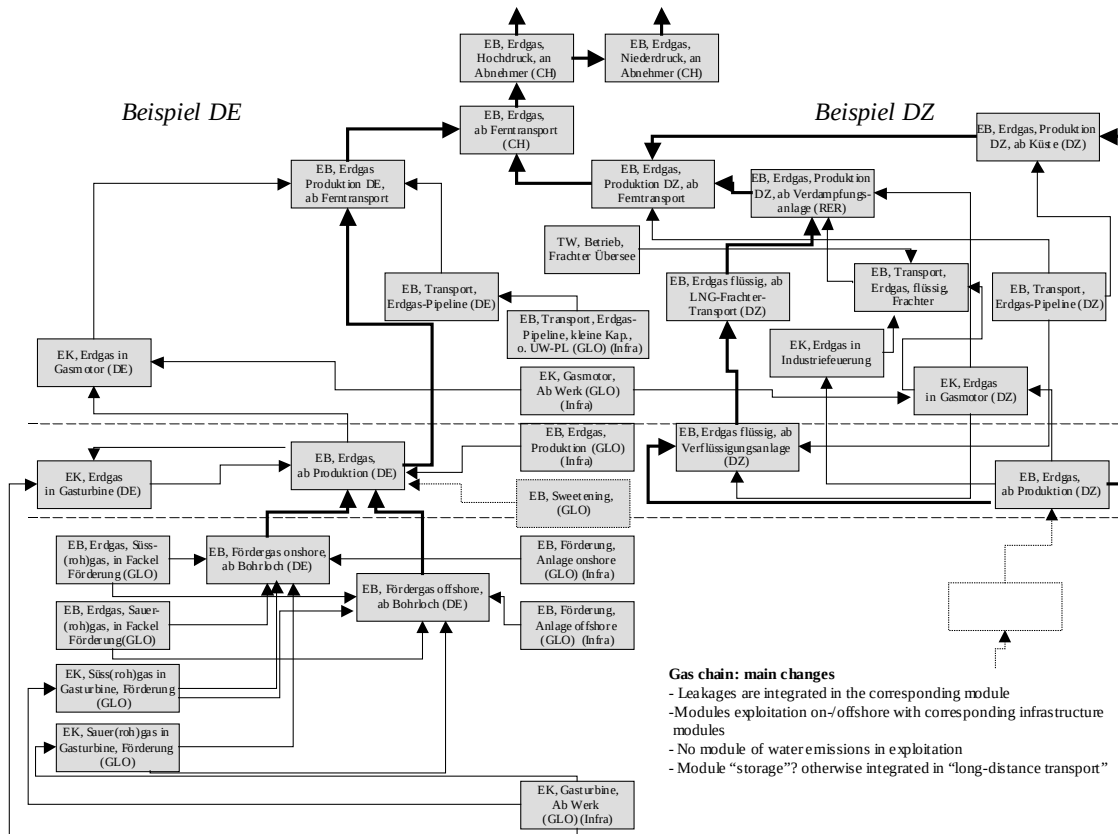
Durch die Fortschritte bei den Gebäudehüllen findet eine Verkleinerung der benötigten Leistung statt. Die gewählte Unterteilung in (Fischknecht et al., 1996) soll deshalb kritisch geprüft und der heutigen Situation angepasst werden. Neben den NO<sub>x</sub>- und CO-Emissionen werden in der Luftreinhalteverordnung (LRV) für Öl-Heizungen auch noch die SO<sub>x</sub> Emissionen geregelt. Die SO<sub>x</sub>-Werte sollen den heutigen Stand reflektieren, wobei der S-Gehalt im Öl der treibende Faktor darstellt.

Gemäss ersten Untersuchungen liegen die NO<sub>x</sub>-Werte beim Öl in der Region des Grenzwertes (Gas unterschreitet diesen deutlich). Typen-spezifische Emissionsdaten wurden noch keine erhalten. Ausserdem muss geprüft werden, ob (wie beim Gas) neue Technologien (wie z.B. Wand-

heizungen) eine wichtige Rolle spielen, die dann auch noch zusätzlich einer LCA unterzogen werden müssten. Persönliche Treffen sind geplant und erste Kontakte sind aufgenommen worden.

## ERDGAS

Die Datenstruktur der Erdgas-Bereitstellungskette wurde im Rahmen der Aktualisierung der Ökoinventare neu definiert (s. Abb. 1).



**Abb. 1:** Beschreibung der Datenstruktur der Erdgasbereitstellungskette am Beispiel der Länder Deutschland (DE) und Algerien (DZ)

Wesentliche Charakteristika der Erdgasbereitstellung sind die folgenden:

- Die wesentlichen berücksichtigten Länder sind Deutschland (DE), Norwegen, die Niederlanden, Russland, Algerien (DZ).
- Bei Algerien wird zusätzlich eine LNG-Bereitsstellungskette berücksichtigt.
- Bei der Erdgasproduktion (und Aufbereitung) wird nicht zwischen Süss- und Sauergas, sondern pro Land unterschieden. Das Verfahren der Erdgas-Entschwefelung wird separat modelliert.
- Bei der Erdgas-Förderung wird zwischen On- und Offshore-Aktivitäten unterschieden.

## UPSTREAM

Folgende Daten wurden aktualisiert:

- Herkunftsmix des Schweizer Erdgases und die Produktionsstruktur der Lieferländer (Tab. 3):

**Tab. 3:** Importstruktur der Schweiz. Quellen: (BP AMOCO, 2001), (VSG, 2001)

| Anteile     | Schweiz<br>(direkt) | Deutschland | Holland | Frankreich | Italien | Importstruktur<br>Schweiz<br>(indirekt) |
|-------------|---------------------|-------------|---------|------------|---------|-----------------------------------------|
| Schweiz     | 0%                  | 0%          | 0%      | 0%         | 0%      | 0%                                      |
| Deutschland | 57%                 | 18%         | 0%      | 0%         | 0%      | 10%                                     |
| Holland     | 19%                 | 19%         | 83%     | 14%        | 8%      | 28%                                     |
| Russland    | 11%                 | 36%         | 0%      | 31%        | 28%     | 36%                                     |
| Frankreich  | 12%                 | 0%          | 0%      | 0%         | 0%      | 0%                                      |
| Italien     | 2%                  | 0%          | 0%      | 0%         | 23%     | 0%                                      |
| Norwegen    | 0%                  | 21%         | 8%      | 28%        | 0%      | 17%                                     |
| Algerien    | 0%                  | 0%          | 0%      | 26%        | 41%     | 4%                                      |
| Übrige      | 0%                  | 6%          | 9%      | 2%         | 0%      | 5%                                      |
| Total       | 100%                | 100%        | 100%    | 100%       | 100%    | 100%                                    |

- Förderungs- und Produktionsdaten von Norwegen, den Niederlanden, Deutschland: neuere Angaben u.a. zu den Emissionen der eingesetzten Gasturbinen und –motoren, in Norwegen detaillierte Angaben zu den Emissionen der Gasförderung.
- Verbrauch des Ferntransports / Leckagen: Der Verbrauch des Ferntransports wird auf ca. 0.4% pro Verdichtungsprozess (pro ca. 150 km) in Russland geschätzt. Für 6'000 km sind es insgesamt ca. 15% (RUHRGAS, 2001). In den europäischen Ländern ist dieser Wert deutlich besser (0.3% als „Faustregel“). Allerdings probieren unterschiedliche Joint Venture Projekte (Ruhrgas, ENI) Verbesserungen im russischen Netz zu erreichen. Die Leckagen in Ferntransportsnetz Russland sind ein viel diskutiertes Thema. Neuere Studien schätzen sie auf 1-1.5%. Verluste im europäischen Netz sind sehr klein. Sie entstehen hauptsächlich bei Sperrungen, die ein Ausblasen erfordern. Für das deutsche Netz werden Verluste auf 0.4% geschätzt (RUHRGAS, 2001).
- Zu Quecksilber-Emissionen sind derzeit sehr wenige Informationen vorhanden. Eine Studie gibt an, dass etwa 98 % des geförderten Quecksilbers wird zusammen mit anderen Produktionsrückständen als schlammige, pastöse Ablagerungen bei Behälter- und Tankreinigungen aus den Anlagen ausgeschleust. Nur insgesamt 2 % des Quecksilbers werden über den Reingasstrom, das Lagerstättenwasser, das Kondensat, als Abgas nach der Verbrennung oder in beladener Aktivkohle, abgegeben (HAMMERSCHMID, 1996).

## FEUERUNGSTECHNOLOGIEN

Mitte der 90-er Jahre fand die Umstellung auf modulierende Geräte statt und die Brennwerttechnik wurde in grossem Massstab eingeführt. Dies hatte zur Folge, dass neben den JNG vorallem die in der LRV geregelten Luftschadstoffgrenzwerte (NO<sub>x</sub> und CO) deutlich unterschritten werden konnten.

Aktuelle Verkaufszahlen zeigen, dass seit einiger Zeit die Wandheizungen den bedeutensten Anteil an den neu verkauften Anlagen haben. Als Konsequenz muss diese neue Technologie zusätzlich bilanziert und in *Ecoinvent 2000* aufgenommen werden. Für die übrigen Heizanlagen kann die LCA mit kleineren Änderungen übernommen werden. Letzte Anpassungen betreffend JNG und Luftschadstoffemissionen werden mit diversen Stellen (amtliche Stellen, Industrie, Fachverbände) abgesprochen und verifiziert.

## Nuklearketten

Für das erste Jahr des Projektes war eine generelle Literaturrecherche und die Fortschreibung der Daten zu radioaktiven Emissionen für die Nuklearkette vorgesehen. Die Arbeiten wurden wie geplant durchgeführt, die Untersuchung wird jedoch naturgemäss erst im Jahr 2002 abgeschlossen.

Daten zu den weltweiten radioaktiven Emissionen sind für alle Prozessstufen der Nuklearkette in (UNSCEAR, 2000) verfügbar. Eine fortlaufende Datensammlung zur jährlichen Elektrizitätserzeugung, zu radioaktiven Emissionen in Luft und Wasser und zu festen Abfallstoffen aus Kernkraftwerken in UCTE-Ländern wurde aus verschiedenen Jahresberichten abgeleitet (HSK, 1996-2001), (BUM, 1996-2001), (Electrabel, 2001), (EDF, 2000) und weitere. Die Berechnung der durchschnittlichen Emissionsraten der in den Berichten verfügbaren Radionuklide wird im Jahr 2002 fertiggestellt unter Einschluss der Daten für das Jahr 2001.

Der Anteil der Gewinnung von Natururan durch In-Situ Laugung und als Nebenprodukt hat in den 1990er Jahren ständig zugenommen und macht heute nahezu ein Viertel der gesamten Produktion aus, daher müssen diese Verfahren neu in das Inventar aufgenommen werden. Das ist bedeutsam, um sachgerecht abschätzen zu können welche Umweltbelastungen mit dem auf dem internationalen Spotmarkt gehandelten Natururan verbunden sind. Die Sammlung verfügbarer Information mittels Literatursuche oder mittels direkter Kontakte wird laufend fortgesetzt, z.B. (EIA, 2000), (Mudd, 2000a), (Mudd, 2000b), (Freeman, 1999), (Frost, 1998). Darüber hinaus wurde ein Update der wesentlichen Informationen über langzeitige Radon-Emissionen aus Rückständen der Uranerzverarbeitung durchgeführt, z.B. (Chambers et al., 1998).

Zu radioaktiven Emissionen in die Atmosphäre und in Wasser sowie zu Faktoren der Volumenreduktion konditionierter radioaktiver Abfälle wurden aktualisierte Daten von BNFL (UK) und von Cogema (F) über deren Wiederaufarbeitungsanlagen Thorp in Sellafield respektive UP3 in La Hague angefordert. Einige Daten können der Literatur entnommen werden, siehe zum Beispiel (EA, 2001). Die Verbesserung des Materialinventars für diese Anlagen ist wünschenswert und wird verfolgt, die Datenakquisition ist jedoch ungewiss.

Beide Optionen für die Behandlung verbrauchter nuklearer Brennstoffe, mit oder ohne Aufbereitung, werden für die mit den Kernkraftwerken der Schweiz verbundenen Nuklearkette analysiert unter Berücksichtigung der immer noch offenen Diskussion darüber, welche Lösung letztendlich zu bevorzugen ist (NZZ, 2001). Diese zweigleisige Vorgehensweise kann auch als Basis zur Extrapolation der Ergebnisse auf die Nuklearketten der Kernkraftwerke in anderen UCTE-Ländern dienen.

Direkte Kontakte zu den Schweizer Versorgern sind für das Jahr 2002 geplant um sofort die neueste Information zu erhalten. In diesem Rahmen werden die in der Schweiz lokalisierten Prozessstufen der Nuklearkette aktualisiert (Elektrizitätserzeugung, Zwiilag, Endlagerung).

## Holz

Bei den Holz- und Biomassensystemen drängen neue Konzepte auf den Markt. So wird erwartet, dass die Pelletfeuerung in Zukunft einen beachtlichen Anteil an den Holzfeuerungen gewinnen könnte. Da diese Entwicklung auch von staatlicher Seite gefördert wird, wurden erste Vorarbeiten in die Wege geleitet. Bekräftigt wird diese optimistischen Vorhersagen dadurch, dass die Pelletheizung auch im kleinen Leistungsbereich bis hinunter zu Zimmeröfen eingesetzt werden können und vollautomatisch geregelt werden.

Im Folgenden werden die erreichten Ergebnisse zu dieser Kette in zwei Teilen beschrieben: ein allgemeiner Teil und ein spezieller zu Pelletsystemen. Der Detaillierungsgrad ist etwas grösser als für die anderen Energieketten, da die Arbeit im ersten Teil des Jahres 2002 abgeschlossen sein soll.

### HOLZSYSTEME ALLGEMEIN

Im Teil IX, Holz, der *Ökoinventare von Energiesystemen* wurde der Datenbestand in den meisten Kapiteln erneuert. Im folgenden werden die Vorgehensweise und die dadurch erreichten Fortschritte nach Kapiteln geordnet dargestellt. Im allgemeinen wurden vor allem die Rohdaten verändert, der existierende Text nur dort, wo es eine geänderte Datenbasis erforderlich machte.

#### *Kapitel 2: Entstehung, Reserven und Vorkommen*

Hier wurden die Tabellen IX.2.1, IX.2.2, und IX.2.3, welche Angaben über die weltweit bestehenden Walddressourcen und die jährliche Holznutzung machen, aktualisiert. Die Daten wurden auf ihre Verwertbarkeit im Rahmen der Neufassung geprüft.

**Tab. IX.2.1:** Waldgebiet nach Regionen im Jahr 2000 (FAO, 2001)

| Region                  | Landfläche<br>[Mio. ha] | Wald gesamt         |                     |                               | Natürlicher<br>Wald<br>[Mio. ha] | Künstliche<br>Pflanzungen<br>[Mio. ha] |
|-------------------------|-------------------------|---------------------|---------------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------|
|                         |                         | Fläche<br>[Mio. ha] | % der<br>Landfläche | % der<br>weltweiten<br>Wälder |                                  |                                        |
| Afrika                  | 2978                    | 650                 | 22                  | 17                            | 642                              | 8                                      |
| Asien                   | 3085                    | 548                 | 18                  | 14                            | 432                              | 116                                    |
| Europa                  | 2260                    | 1039                | 46                  | 27                            | 1007                             | 32                                     |
| Nord- u. Zentralamerika | 2137                    | 549                 | 26                  | 14                            | 532                              | 18                                     |
| Ozeanien                | 849                     | 198                 | 23                  | 5                             | 194                              | 3                                      |
| Südamerika              | 1755                    | 885                 | 51                  | 23                            | 875                              | 10                                     |
| Welt gesamt             | 13064                   | 3869                | 30                  | 100                           | 3682                             | 187                                    |



**Tab. IX.2.3:** *Produktion, Verbrauch und Handel von Rundholz im Jahr 2000 (FAO, 2001), (BfS/BUWAL, 2000)*

| Region                   | Rundholz-Produktion<br>[1000 m <sup>3</sup> ] | Export<br>[1000 m <sup>3</sup> ] | Import<br>[1000 m <sup>3</sup> ] | Rundholz-Verbrauch<br>[1000 m <sup>3</sup> ] |
|--------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------|
| Afrika                   | 533 991                                       | 4 680                            | 548                              | 529 859                                      |
| Asien                    | 1 127 266                                     | 7 968                            | 31 366                           | 1 150 665                                    |
| Europa                   | 507 706                                       | 53 210                           | 49 917                           | 504 411                                      |
| Schweiz <sup>1</sup>     | 4 737                                         | 4 871                            | 5 797                            | 8 053                                        |
| Nord- und Zentralamerika | 752 025                                       | 10 705                           | 7 416                            | 748 736                                      |
| Ozeanien                 | 48 706                                        | 6924                             | 15                               | 41 797                                       |
| Südamerika               | 299 060                                       | 2 921                            | 67                               | 296 207                                      |
| Welt gesamt <sup>2</sup> | 3 268 754                                     | 86 409                           | 89 328                           | 3 271 673                                    |

<sup>1</sup>: Die Differenzen zwischen den Zahlen haben ihre Ursachen in Lager-veränderungen und der Verwendung von Recycling-Holz.

<sup>2</sup>: Die Differenzen zwischen den Zahlen haben ihre Ursachen in unterschiedlich geführten Statistiken einzelner Staaten.

**Tab.IX.2.4:** *Sichere Reserven (stehender Bestand) und nutzbare Reserven (Zuwachs) an Holz im Jahr 2000*

|         | Sichere Reserven        |                       | Nutzbare Reserven      |                      |
|---------|-------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|
|         | Biomasse<br>[Mrd. t TS] | Biomasse<br>[EJ/Jahr] | Zuwachs<br>[Mrd. t TS] | Zuwachs<br>[EJ/Jahr] |
| Welt    | 8000 - 18000            | 15000 - 33000         | k.A.                   | k.A.                 |
| Europa  | 7.9                     | 146                   | 0.248                  | 4.59                 |
| Schweiz | 0.159                   | 2.94                  | 0.0037                 | 0.07                 |

Die äquivalente Menge Energie wurde mit einem Heizwert von 18.5 MJ/kg berechnet (BfS/BUWAL, 2000).

### Kapitel 3: Verwendung von Holz: Aktualisierung der Tabelle IX.3.1

**Tab. IX.3.1:** *Verwendung des geschlagenen Holzes für verschiedene Zwecke nach Regionen (FAO, 2001), (BfS/BUWAL, 2000)*

| Region                  | Brennholz<br>[1000 m <sup>3</sup> ] | Industrieholz<br>[1000 m <sup>3</sup> ] | Rundholz total<br>[1000 m <sup>3</sup> ] | Total in % des<br>Zuwachses |
|-------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------|
| Afrika                  | 463 856                             | 66 003                                  | 529 859                                  | k.A.                        |
| Asien                   | 883 524                             | 267 141                                 | 1 150 665                                | k.A.                        |
| Europa                  | 92 797                              | 411 614                                 | 504 411                                  | 76                          |
| Schweiz                 | 981                                 | 3 756                                   | 4 737                                    | 58                          |
| Nord- u. Zentralamerika | 133 092                             | 615 644                                 | 748 736                                  | k.A.                        |
| Ozeanien                | 8 503                               | 33 294                                  | 41 797                                   | k.A.                        |
| Südamerika              | 168 500                             | 127 707                                 | 296 207                                  | k.A.                        |
| Welt gesamt             | 1 750 271                           | 1 521 402                               | 3 271 673                                | k.A.                        |

Neu sind die Tabellen IX.3.3 bis IX.3.6, die den Bestand an Holzfeuerungsanlagen und den dortigen Energieeinsatz ausweisen. Die Angaben dazu wurden der Schweizerischen Holzenergiestatistik entnommen und dem Verwendungszweck angepasst.

**Tab. IX.3.3:** Bestand an Holzfeuerungen in der Schweiz im JAHR 2000 (kessler et al., 2001)

|                             | Anlagenzahl |
|-----------------------------|-------------|
| Einzelraumheizungen (a)     | 595 844     |
| Gebäudeheizungen (b)        | 53 139      |
| Automatische Feuerungen (c) | 3 531       |
| Spezialfeuerungen (d)       | 65          |
| Total alle Kategorien       | 652 579     |

**Tab. IX.3.4:** Installierte Feuerungsleistung in der Schweiz im Jahr 2000 (Kessler et al., 2001)

|                                | Feuerungsleistung [kW] |
|--------------------------------|------------------------|
| Einzelraumheizungen (a)        | 5 832 450              |
| Gebäudeheizungen (b)           | 1 983 590              |
| Automatische Feuerungen (c)    | 1 137 045              |
| Spezialfeuerungen (d) ohne MVA | 677 000                |
| Total alle Kategorien          | 9 360 085              |

**Tab IX.3.5:** Effektiver Endenergieverbrauch der Holzfeuerungen im Jahr 2000 (Kessler et al., 2001)

|                             | Endenergieverbrauch [TJ] |
|-----------------------------|--------------------------|
| Einzelraumheizungen (a)     | 5 439 833                |
| Gebäudeheizungen (b)        | 5 038 277                |
| Automatische Feuerungen (c) | 7 690 046                |
| Spezialfeuerungen (d)       | 1 811 740                |
| Total alle Kategorien       | 20 024 895               |

- a) Einzelraumheizungen: Hier werden Zimmer-, Kachel- und Pelletöfen und Holzkochherde erfasst. Deren Zahl ist in den letzten Jahren teilweise stark rückläufig. Bei moderner Niedrigenergiebauweise kommen solche Öfen auch in Kombination mit solarer Wasservorwärmung und Wärmepumpen als Gebäudeheizung zum Einsatz.
- b) Gebäudeheizungen: In diese Kategorie fallen Zentralheizungskessel, Pelletfeuerungen und automatische Feuerungen mit einer Leistung unter 70 kW. Die Zahl der Zentralheizungen nimmt ab, Pelletfeuerungen und automatische Feuerungen weisen eine steigende Tendenz auf.
- c) Automatische Feuerungen: Die Anzahl dieser messpflichtigen Anlagen mit mehr als 70 kW Leistung nehmen seit einigen Jahren stark zu.
- d) Spezialfeuerungen: Dazu gehören unter anderem auch Müllverbrennungsanlagen.

Mit der installierten Leistung wird das theoretische Potential der Holzenergienutzung ermittelt, von dem mit den Reduktionsfaktoren Leerstandsquote und Betriebsgrad der Endenergieverbrauch ermittelt wird.

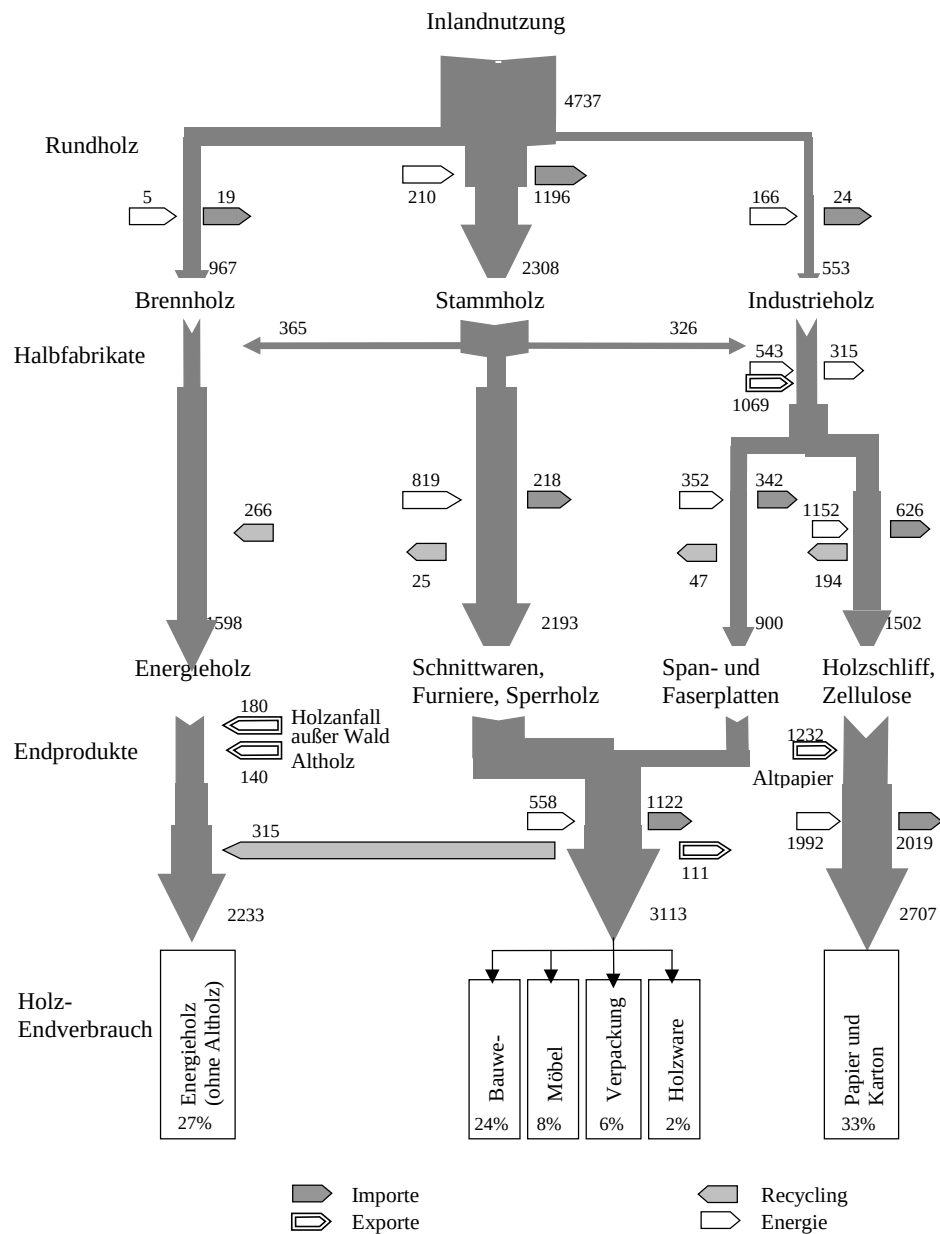
Aufgeschlüsselt nach einzelnen Anlagenarten wurde im Jahr 2000 folgender Endenergieverbrauch ausgewiesen:

**Tab. IX.3.6:** *Endenergieverbrauch einzelner Holzfeuerungskategorien im Jahr 2000 (Kessler et al., 2001)*

| Anlagenkategorie<br>a     | Verbrauch<br>[TJ] | Anlagenkat.<br>b                     | Verbrauch<br>[TJ] | Anlagenkat.<br>c                                                         | Verbrauch<br>[TJ] | Anlagenkat.<br>d                      | Verbrauch<br>[TJ] |
|---------------------------|-------------------|--------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------|-------------------|
| Offene Chemi-<br>néés     | 212 868           | Zentralhei-<br>zungs-herde           | 862 932           | Aut. Feuerungen<br>70-300 kW<br><br>Ohne Holzver-<br>arbeitungsbetriebe  | 867 826           | Anlagen für<br>erneuerbare<br>Abfälle | 1 538 629         |
| Geschlossene<br>Cheminées | 706 328           | Stückholzkessel<br><70 kW            | 2 592 181         | Aut. Feuerungen<br>70-300 kW<br><br>Holzver-<br>arbeitungsbetriebe       | 1 525 147         | Müllver-<br>brennungsanla-<br>gen     | 273 111           |
| Cheminéeöfen              | 1 196 156         | Stückholzkessel<br>>70 kW            | 44 168            | Aut. Feuerungen<br>300-500 kW<br><br>Ohne Holzver-<br>arbeitungsbetriebe | 642 499           |                                       |                   |
| Zimmeröfen                | 365 627           | Doppel-/<br>Wechselbrand-<br>kessel  | 284 626           | Aut. Feuerungen<br>300-500 kW<br><br>Holzver-<br>arbeitungsbetriebe      | 746 123           |                                       |                   |
| Pelletöfen                | 409               | Automatische<br>Feuerungen<br><70 kW | 1 252 103         | Aut. Feuerungen<br>>500 kW<br><br>Ohne Holzver-<br>arbeitungsbetriebe    | 1 637 484         |                                       |                   |
| Kachelöfen                | 2 193 233         | Pelletfeuerun-<br>gen<br><70 kW      | 47 268            | Aut. Feuerungen<br>>500 kW<br><br>Holzver-<br>arbeitungsbetriebe         | 2 095 683         |                                       |                   |
| Holzkochherde             | 765 211           |                                      |                   | Holz-Wärmekraft-<br>kopplungsanlagen                                     | 175 284           |                                       |                   |

Basierend auf <BfS/BUWAL 2000> wurde auch die Figur IX.3.1, welche den aktuellen Holzfluss in der Schweiz darstellt, neu gestaltet.

**Fig. IX.3.1:** Übersicht über den Holzfluss in der Schweiz (in 1000 m<sup>3</sup> feste Holzmasse), (BfS/BUWAL, 2000)



In diesem Abschnitt wurde die Tabelle IX.4.3, welche die Zusammensetzung des Holzes beinhaltet, mit Hilfe neuerer Publikationen aktualisiert.

**Tab. IX.4.3:** Elementaranalyse von naturbelassenem Holz

|                         | Einheit       | Holz<br>gemischt<br><sup>a</sup> | Holz-Schnitzel<br><sup>c</sup> | Kiefer <sup>b</sup><br>(stückig) | Birke <sup>b</sup><br>(stückig) | Fichte <sup>b</sup><br>(stückig) | Stück-<br>holz <sup>d</sup> | Holz-<br>schnitzel<br><sup>d</sup> | Dieses<br>Projekt     |
|-------------------------|---------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|-----------------------|
| Asche                   | [Gew.-%]      | 0.1 - 1                          | 2.2                            | 0.1                              | 0.2                             | 0.1                              | 0.88                        | 0.90                               |                       |
| Wassergehalt            | [Gew.-%]      | 10 - 60                          | 45                             | 9 - 11                           | 7 - 18                          | 6 - 16                           | 14                          | 54                                 |                       |
| Heizwert H <sub>u</sub> | [MJ/kgTS<br>] | 18.5                             | 9.85                           | 19.0                             | 19.1                            | 19.3                             |                             |                                    |                       |
| C                       | [Gew.-%]      | 50                               | 51                             | 46.93                            | 47.12                           | 47.25                            |                             |                                    | 49.4                  |
| H                       | [Gew.-%]      | 6                                | 5.45                           | 6.28                             | 6.22                            | 6.30                             |                             |                                    | 6.10                  |
| O                       | [Gew.-%]      | 44                               |                                | 46.72                            | 46.55                           | 46.38                            |                             |                                    | 44.1                  |
| N                       | [Gew.-%]      | 0.08                             | 0.25                           | 0.07                             | 0.11                            | 0.07                             |                             |                                    | 0.13                  |
| S                       | [Gew.-%]      | 0.01                             |                                |                                  |                                 |                                  | 0.02                        | 0.015                              | 0.016                 |
| Cl                      | [Gew.-%]      | <0.001                           | <0.004                         |                                  |                                 |                                  |                             |                                    | 0.001                 |
| K                       | [Gew.-%]      | 0.11                             | 0.14                           |                                  |                                 |                                  | 0.12                        | 0.11                               | 0.12 <sup>0.065</sup> |
| Ca                      | [Gew.-%]      | 0.27                             | 0.42                           |                                  |                                 |                                  | 0.43                        | 0.27                               | 0.34 <sup>0.13</sup>  |
| P                       | [ppm]         |                                  | 160                            |                                  |                                 |                                  | 210                         | 92                                 | 100                   |
| Pb                      | [ppm]         | 1.1                              | <0.1 - 4.7                     |                                  |                                 |                                  | 0.3                         | <1                                 | 1 <sup>7</sup>        |
| Cd                      | [ppm]         | <0.1                             | <0.05 - 0.3                    |                                  |                                 |                                  | <0.1                        | <0.1                               | 0.1 <sup>0.3</sup>    |
| Cr                      | [ppm]         | <0.5                             | <0.2 - 2.4                     |                                  |                                 |                                  | 0.3                         | <0.3                               | 1                     |
| Co                      | [ppm]         | <0.1                             |                                |                                  |                                 |                                  | <0.1                        | <0.1                               | 0.1 <sup>0.2</sup>    |
| Cu                      | [ppm]         | 1.9                              | <1 - 5.1                       |                                  |                                 |                                  | 4.7                         | 1.9                                | 2.9 <sup>10</sup>     |
| Mo                      | [ppm]         | <0.2                             |                                |                                  |                                 |                                  | <0.2                        | <0.2                               | ? <sup>3</sup>        |
| Ni                      | [ppm]         | <1.2                             | <1 - 1.3                       |                                  |                                 |                                  | <1.2                        | <1.2                               | 0.5                   |
| Hg                      | [ppm]         |                                  | <1                             |                                  |                                 |                                  |                             |                                    | -                     |
| Zn                      | [ppm]         | 11                               | 3.4 - 28                       |                                  |                                 |                                  | 4.0                         | 11                                 | 22                    |
| As                      | [ppm]         |                                  | <1                             |                                  |                                 |                                  |                             |                                    | -                     |
| Mn                      | [ppm]         |                                  |                                |                                  |                                 |                                  | <10                         | 100                                | 80                    |
| Mg                      | [ppm]         |                                  |                                |                                  |                                 |                                  | 210                         | 330                                | 270 <sup>210</sup>    |

<sup>a</sup>: (Nussbaumer, 2000).

<sup>b</sup>: (Skreiberg, 1997).

<sup>c</sup>: (EMPA, 2000), Herkunft nicht näher spezifiziert..

<sup>d</sup>: (BUWAL, 1996), Mittelwert aus 7 Proben; Herkunft nicht näher spezifiziert..

### *Kapitel 5: Prozesskettenanalyse*

Primäre Ergänzung in diesem Abschnitt ist die mit der zusätzlichen Aufnahme der Pelletfeuerung in die Ökoinventare verbundene Darstellung der Prozesskette zur Pelletherstellung und die gesamte Analyse dieses Prozesses. Das erfolgt auf Basis von (Schmocker, 2001) (eine Beschreibung findet sich im vorliegenden Bericht). Die Tabelle IX.5.1 wurde nach (Tiba, 2001) aktualisiert.

### *Kapitel 6: Holz und Holzabfall im Wald*

Bei diesem Abschnitt sind lediglich einzelne Textabschnitte geändert worden, da keine aktuellen Forschungsergebnisse gefunden wurden, die Anlass zu einer Veränderung der Eingabedaten geben.

### *Kapitel 7: Holz frei Waldstrasse*

Auf Grund der Angaben in (BUWAL, 1999) wurde der Flächenbedarf, welcher durch die zur Holzernte notwendigen Waldstrassen verursacht wird, neu berechnet. Daraus ergibt sich aktuell eine Zahl von 3.7 m<sup>2</sup>a/m<sup>3</sup>.

### *Kapitel 8: Holz frei Lager*

Dieses Kapitel wurde nicht überarbeitet, da vereinbart ist, dass diese Aufgabe von der EMPA übernommen wird.

### *Kapitel 9: Holz in Feuerung*

Bei diesem Abschnitt waren die umfangreichsten Neuerungen notwendig, vor allem im Bereich der Infrastruktur der Feuerungssysteme, das heisst hauptsächlich beim Material- und Energieverbrauch, bei den Emissionsdaten und der Zusammensetzung der Holzasche. Die Infrastrukturdaten wurden auf Grund der Angaben nach <Tiba 2001> aktualisiert. Dazu wurden auch noch anderen Firmen, die Holzfeuerungssysteme herstellen kontaktiert, diese hatten jedoch kein Interesse an einer Zusammenarbeit und stellten keine Daten aus ihren Betrieben zur Verfügung. Die neuen Daten beruhen auf den bestmöglichen verfügbaren Angaben.

Die Tabelle IX.9.18 zeigt die aktuellen Emissionsdaten für Holzfeuerungen, hier haben seit der letzten Erstellung der Ökoinventare <Frischknecht et al., 1996> bedeutende Verbesserungen stattgefunden. Leider wurden nicht für alle emittierten Substanzen detaillierte und aktuelle Angaben gefunden, die mengenmässig wichtigsten Stoffe sind jedoch erfasst. Weitere Daten aus Prüfberichten des „Verein für Holzenergie (Vhe)“ und der BLT Wieselburg müssen noch eingearbeitet werden.

Auch die Zusammensetzung der Holzasche wurde in der Tabelle IX.9.19 erneuert. Hier ist die Datenlage wesentlich besser als bei den Emissionsfaktoren, da in der Zeit nach der Erstellung der aktuellen Version der Ökoinventare eine Vielzahl von detaillierten Studien zu diesem Thema stattfanden, einerseits im Auftrag des Buwal und andererseits an der Technischen Universität Graz. Bezüglich der Verwertung der anfallenden Asche herrscht nach wie vor kein konsistentes Bild, die Unsicherheit konnte hier nicht beseitigt werden. Jedoch ist den angeführten Studien zu entnehmen, dass die Verwertung der Asche sowohl als Dünger als auch in der KVA kein Umweltproblem darstellt. Es ist also davon auszugehen, dass der genaue Einsatzzweck der Verbrennungsrückstände keine bedeutende Rolle spielt.

**Tab. IX.9.18:** Emissionsfaktoren von verschiedenen Holzfeuerungen in [kg/TJ Nutzenergie].  
Quellen: A) (Nussbaumer 2001); B) (Jungmeier et al. 1999); C)-D) (EMPA, 2000);  
E) (Skreiberg, 1997)

| Feuerung<br>Schadstoff         | Schnitzel<br>50 kW  | Stückholz<br>100 kW | Hackgut <sup>1</sup><br>100/300 kW | Scheitholz <sup>1</sup><br>100/300 kW | Pellets <sup>1</sup><br>100/300 kW | Buche <sup>3</sup><br>0-3.2 MW | Fichte <sup>3</sup><br>0-3.2 MW | Pellets<br>0-3.2 MW |
|--------------------------------|---------------------|---------------------|------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------|
| Quelle                         | A                   | A                   | B                                  | B                                     | B                                  |                                |                                 |                     |
| CH <sub>4</sub> Methan         | 23.8                | 85.2                |                                    |                                       |                                    |                                |                                 |                     |
| CO Kohlenmonoxid               | 1480                | 1050                | 80                                 | 88                                    | 165                                |                                |                                 |                     |
| NM VOC                         | 36.0                | 142                 |                                    |                                       |                                    |                                |                                 |                     |
| SO <sub>2</sub> Schwefeldioxid | 31.8                | 31.8                |                                    |                                       |                                    |                                |                                 |                     |
| NO <sub>x</sub> Stickoxide     | 160                 | 135                 | 85                                 | 83                                    | 86                                 | 93                             | 70                              | 94                  |
| Partikel / Staub               | 109                 | 120                 | 26                                 | 18                                    | 19                                 | 44                             | 20                              |                     |
| Org. Kohlenstoff <sup>2</sup>  |                     |                     | 2                                  | 2                                     | 8                                  |                                |                                 |                     |
| Wirkungsgrad [%]               |                     |                     | 89                                 | 87                                    | 87                                 |                                |                                 |                     |
| Feuerung<br>Schadstoff         | Schnitzel<br>930 kW | Schnitzel<br>160 kW | Fichte<br>5.7-13.4 kW              |                                       |                                    |                                |                                 |                     |
| Quelle                         | D                   | D                   | E <sup>4</sup>                     |                                       |                                    |                                |                                 |                     |
| CH <sub>4</sub> Methan         |                     |                     | 350/30/50                          |                                       |                                    |                                |                                 |                     |
| CO Kohlenmonoxid               | 47.5                | 533                 | 4193/1104/5772                     |                                       |                                    |                                |                                 |                     |
| NM VOC                         |                     |                     | 1400/120/200                       |                                       |                                    |                                |                                 |                     |
| N <sub>2</sub> O               |                     |                     | 6.0/3.7/6.0                        |                                       |                                    |                                |                                 |                     |
| SO <sub>2</sub> Schwefeldioxid |                     |                     |                                    |                                       |                                    |                                |                                 |                     |
| NO <sub>x</sub> Stickoxide     | 123                 | 155                 | 38.4/48.7/31.4                     |                                       |                                    |                                |                                 |                     |
| Partikel / Staub               | 74.1                | 63.1                | 507/223/272                        |                                       |                                    |                                |                                 |                     |
| Org. Kohlenstoff <sup>2</sup>  | 4.3                 | 17.6                |                                    |                                       |                                    |                                |                                 |                     |
| Ca                             | 1.82                | 9.88                |                                    |                                       |                                    |                                |                                 |                     |
| K                              | 24.4                | 22.4                |                                    |                                       |                                    |                                |                                 |                     |
| Mg                             | <0.1                | 0.62                |                                    |                                       |                                    |                                |                                 |                     |
| Na                             | 1.0                 | 1.56                |                                    |                                       |                                    |                                |                                 |                     |
| As                             | 0.0007              | 0.0014              |                                    |                                       |                                    |                                |                                 |                     |
| Pb                             | 0.015               | 0.035               |                                    |                                       |                                    |                                |                                 |                     |
| Cd                             | 0.001               | 0.001               |                                    |                                       |                                    |                                |                                 |                     |
| Cr                             | <0.004              | <0.004              |                                    |                                       |                                    |                                |                                 |                     |
| Cu                             | 0.021               | 0.023               |                                    |                                       |                                    |                                |                                 |                     |
| Ni                             | 0.006               | 0.005               |                                    |                                       |                                    |                                |                                 |                     |
| P                              | 0.26                | 0.34                |                                    |                                       |                                    |                                |                                 |                     |
| Hg                             | <0.0004             | <0.0004             |                                    |                                       |                                    |                                |                                 |                     |
| Zn                             | 0.37                | 0.28                |                                    |                                       |                                    |                                |                                 |                     |
| Br                             | <0.1                | <0.1                |                                    |                                       |                                    |                                |                                 |                     |
| Cl                             | 0.16                | 0.22                |                                    |                                       |                                    |                                |                                 |                     |
| F                              | <0.1                | <0.1                |                                    |                                       |                                    |                                |                                 |                     |
| Σ PCB [mg/TJ]                  | 25                  | 9.4                 |                                    |                                       |                                    |                                |                                 |                     |
| Σ I-TEQ [mg/TJ]                | 0.024               | 0.0022              |                                    |                                       |                                    |                                |                                 |                     |

<sup>1</sup>: Mittelwert mehrerer Messungen bei Nennlast bei zwischen 1996 und 1998 installierten Anlagen.

<sup>2</sup>: Summenparameter für Methan und NM VOC.

<sup>3</sup>: Stückholz-, automat. Rost- und Unterschubfeuerungen.

<sup>4</sup>: Traditioneller Ofen / Katalytische Verbrennung / Luftstufung.

**Tab. IX.9.19:** Zusammensetzung von Holzaschen. Daten aus A: (BUWAL, 1996); B: (Oberberger, 1994); C: (Biedermann 1994)

|                  | Rostasche        |                      |                     | Zyklonasche                           |                      | Filterasche          | Asche gemischt <sup>d</sup> |                      | Richtwert <sup>h</sup> |
|------------------|------------------|----------------------|---------------------|---------------------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|------------------------|
| Brennstoff       | Schnitzel        | Gemisch <sup>b</sup> | Stückholz           | Schnitzel                             | Gemisch <sup>b</sup> | Gemisch <sup>b</sup> | Stückholz                   | Gemisch <sup>b</sup> |                        |
| Quelle           | A                | B                    | A                   | A                                     | B                    | B                    | B                           | C                    |                        |
|                  | [mg/kg<br>Asche] | [mg/kg<br>Asche]     | [mg/kg<br>Asche]    | [mg/kg<br>Asche]                      | [mg/kg<br>Asche]     | [mg/kg<br>Asche]     | [mg/kg<br>Asche]            | [mg/kg<br>Asche]     | [mg/kg<br>Asche]       |
| Cr               | 38               | 325.5                | 29                  | 43                                    | 158.4                | 231.3                |                             | 194.9                | 100                    |
| Co               | 12               | 21.0                 | 10                  | 13                                    | 19.0                 | 17.5                 |                             | 18.0                 | 12                     |
| Ni               | 50               | 66.0                 | 37                  | 48                                    | 59.6                 | 63.4                 |                             | 55.2                 | 90                     |
| Cu               | 130              | 164.6                | 376                 | 134                                   | 143.1                | 389.2                |                             | 163.2                | 150                    |
| Zn               | 304              | 432.5                | 522                 | 745                                   | 1870.4               | 12980.7              |                             | 1662.0               | 600                    |
| Mo               | 3.2              | 2.8                  | 7.3                 | 6.6                                   | 4.2                  | 13.2                 |                             | 3.7                  | 6                      |
| Cd               | 2.7              | 1.2                  | 1.1                 | 9.4                                   | 21.6                 | 80.7                 |                             | 14.2                 | 3                      |
| Pb               | 8.0              | 13.6                 | 60                  | 21                                    | 57.6                 | 1053.3               |                             | 65.0                 | 100                    |
| Hg               | <0.5             | 0.01                 | <0.5                | <0.5                                  | 0.04                 | 1.47                 |                             | 0.1                  | 1                      |
| Ca               | 340000           |                      | 280000              | 315000                                |                      |                      | 460000                      | 284400               |                        |
| K                | 62000            |                      | 76000               | 65000                                 |                      |                      | 84000                       | 54500                |                        |
| Mg               | 26000            |                      | 31000               | 28000                                 |                      |                      | 45000                       | 32100                |                        |
| Mn               | 10000            |                      | 3300                | 9400                                  |                      |                      |                             | 19956                |                        |
| P                | 10100            |                      | 8000                | 10200                                 |                      |                      | 37000                       | 9800                 |                        |
| I-TEQ<br>[ng/kg] | 5.4 <sup>c</sup> |                      | 13.8 <sup>f</sup>   | 3.0 <sup>c</sup><br>18.8 <sup>f</sup> |                      |                      | 14.5<br>3.2 <sup>a</sup>    |                      | 100 <sup>i</sup>       |
| ΣPAK             |                  |                      | 1.49 <sup>f</sup>   |                                       | 104.4 <sup>g</sup>   |                      | 12.2                        |                      | 20 <sup>i</sup>        |
| ΣPCB             |                  |                      | 0.012 <sup>f</sup>  |                                       | 0.010 <sup>g</sup>   |                      | 0.012                       |                      | 0.2 <sup>i</sup>       |
| HCH              |                  |                      | 0.006 <sup>f</sup>  |                                       | 0.002 <sup>g</sup>   |                      | 0.006                       |                      | 0.5 <sup>i</sup>       |
| HCB              |                  |                      | 0.0006 <sup>f</sup> |                                       | 0.0004 <sup>g</sup>  |                      | 0.0005                      |                      | 1.0 <sup>i</sup>       |
| C <sub>org</sub> |                  |                      |                     |                                       |                      |                      |                             | 12000                |                        |
| Si               |                  |                      |                     |                                       |                      |                      | 182000                      | 82600                |                        |
| Al               |                  |                      |                     |                                       |                      |                      | 38700                       | 20800                |                        |
| Fe               |                  |                      |                     |                                       |                      |                      | 20900                       | 22833                |                        |
| Cl               |                  |                      |                     |                                       |                      |                      | 2900                        | 3200                 |                        |
| S                |                  |                      |                     |                                       |                      |                      |                             | 9200                 |                        |
| As               |                  |                      |                     |                                       |                      |                      |                             | 6.7                  |                        |
| V                |                  |                      |                     |                                       |                      |                      |                             | 39.5                 |                        |
| Ti               |                  |                      |                     |                                       |                      |                      |                             | 1383.0               |                        |

<sup>a</sup>: Quelle A

<sup>b</sup>: Hackgut, Rinde und Späne

<sup>c</sup>: Stückholz und Schnitzel, Quelle A

<sup>d</sup>: Zyklon- und Rostasche

<sup>e</sup>: < bedeutet: bis zur Nachweisgrenze nicht entdeckt

<sup>f</sup>: Quelle B

<sup>g</sup>: Hackgutfeuerung

<sup>h</sup>: für die Verwendung als landwirtschaftlicher Dünger

<sup>i</sup>: vorgeschlagen für Klärschlamm



### *Fazit der bisherigen Arbeit zu Holz allgemein*

Im Jahr 2002 muss noch das Kapitel 10: Resultate erarbeitet werden. Auf Grund der bisherigen Arbeit kann davon ausgegangen werden, dass die Daten in ausreichendem Mass aktualisiert wurden um den neuesten Stand der Technik auf dem Gebiet der Holzfeuerungen zur Erzeugung von Wärme darzustellen.

Ein weiterer Punkt, der bearbeitet und in das Kapitel IX, Holz, der Ökoinventare von Energiesystemen integriert werden muss, ist die kombinierte Erzeugung von Elektrizität und Wärme mittels Kraft-Wärme-Kopplung mit Holz als Brennstoff.

## **ZUSAMMENSTELLUNG PELLETTSSYSTEME**

### *Energiegewinnung aus Pellets*

Die Pelletierung von organischen und anorganischen Materialien ist schon seit dem 19. Jahrhundert bekannt. Es gibt heute weltweit mehrere hundert Anwendungsfälle von der Mischfutterherstellung bis zur Abfallentsorgung. Unter Holz-Pellets (englisch für Kügelchen, Pillen oder Schrotkörner) werden zylindrische Stäbchen aus feinen, gepressten Holzabfällen oder gemahlenen ähnlichen Rohstoffen verstanden. Als Rohstoff wird trockenes Restholz (Späne und Stäube) aus dem Holzverarbeitenden Gewerbe bevorzugt. Das Material wird unter hohem mechanischem Druck zu Pellets geformt. Dabei erfolgt die Bindung ausschliesslich durch natürliche, im Holz enthaltene Bindestoffe. Es werden keine zusätzlichen Bindemittel zugegeben.

Pellets haben einen Wassergehalt von ca. 8-10% und ein Schüttgewicht zwischen 600 und 700 kg/m<sup>3</sup>. Bei einem Heizwert von ca. 4.8 kWh/m<sup>3</sup> ist die Energiedichte etwa viermal so hoch wie die von Waldhackgut.

Pellets sind eine gute Brennstoffalternative für Zentralheizungen in Ein- oder Mehrfamilienhäusern (EFH/MFH) (über 10 kW Heizlast) und Kaminofenheizung in Niedrigenergiebauten (unter 10 kW Heizlast). Kaminöfen mit Wärmetauscher können auch als Etagenheizung in EFH oder in Wohnungen dienen.

Pellets dürften in nächster Zeit kaum ein attraktiver Brennstoff für grössere Fernwärmeanlagen werden, weil sie, infolge des Aufwandes bei der Produktion, teurer als andere Brennstoffe sind. Bei Heizanlagen in Mehrfamilienhäusern, Geschäftsgebäuden, etc. im mittlern Leistungsbereich von 50 kW bis einige 100 kW könnte es für Pellets jedoch einen Markt geben, wenn der Pelletpreis auf das Niveau von Hackschnitzel gesenkt werden kann. Derzeit sind Pellets noch um ca. 20 bis 50% teurer als Waldhackgut. In noch grösseren Anlagen (Kraftwerken), aber auch in kombinierten Wärme-Kraft-Kopplungs-Systemen (WKK) konkurriert man mit noch billigeren Brennstoffen, daher ist in diesen Bereichen kein nennenswerter Einsatz von Pellets zu erwarten.

Durch den Einsatz von Pellets als Brennstoff können beim Betrieb einer Feuerung folgende Vorteile erwartet werden:

- Weniger Betriebsstörungen bei bestehenden Anlagen durch einheitlichen Brennstoff.
- Höhere Wirkungsgrade und geringere Emissionen sowie besseres Teillastverhalten bestehender Anlagen.

### *Prozessschritte*

Die Prozesskette umfasst 4 Schritte:

- Materialbeschaffung - Woher stammt das Ausgangsmaterial? (Waldpflege, Sägerei, Holzverarbeitende Industrie,...); Welches Ausgangsmaterial wird verwendet? (Weichholz, Hartholz); Wie liegt das Ausgangsmaterial vor? (trocken oder feucht)
- Pelletierung - System (Ringmatrizenpressen, Flachmatrizenpressen); Systemgrösse (Jährliche Produktionsmenge)
- Vertrieb - Pellets werden in Säcken zu 25 kg, in Big-Packs zu 600 kg und als lose Ware angeboten. Die Auslieferung der losen Ware erfolgt mittels Silowägen.
- Energieerzeugung/Pelletfeuerung - Kaminöfen oder Zentralheizungen

### *Materialbeschaffung*

Als Hauptakteure bei der Pelletsherstellung gelten Betriebe, in denen produktionsbedingt trockener Holzabfall anfällt. Neben den trockenen Holzabfällen der Holzverarbeitenden Industrie (Hobelspäne, Sägemehl und Schleifstaub) können auch aus feuchteren sägefallenden Nebenprodukten Pellets erzeugt werden. Ein derzeitiges Problem bei der Verarbeitung von feuchten Ausgangsstoffen sind noch die Trocknungskosten, u.a. weil man bei der Spänetrocknung aufgrund von Umweltauflagen Filter einbauen muss. Im Vergleich zur Schnittholztrocknung entweichen Sägespänen (dem aufgerissenen Span) nämlich unverbrannte Kohlenwasserstoffe in unzulässigen Mengen. Ein weiteres relativ leicht realisierbares Potential sind unterschiedlich belastete Abfälle aus Veredelungsprozessen (z.B. Pressspanplattenwerke) und Abbruch und Entsorgung (Holz, Papier, Kunststoff). Es muss aber sichergestellt werden, dass die jeweiligen Brennstoffe nur in geeigneten Anlagen genutzt werden.

### *Pelletierungssystem*

Es wird ein mittelgrosses Pelletierwerk betrachtet, welches an einen Holzverarbeitenden Betrieb angegliedert ist. Die Produktionsmenge soll wenige 1000 t Pellets pro Jahr betragen. Zahlreiche der bestehenden Werke im Inland aber vor allem auch im nahen Ausland (Deutschland, Österreich) weisen diese Grösse auf.

Das Pelletierwerk besteht aus einem Lager für das Ausgangsmaterial, dem Presswerk (Flachmatrizenpresse) inklusive Kühlung und einem Produktlager. Auf eine Anlage zur Abpackung der Pellets in Säcke wird verzichtet, da der Sackverkauf eigentlich nur für den Betrieb von Kaminöfen interessant ist. Zum Betrieb einer Pellets-Zentralheizung, welche über das gesamte Jahr genügend Heizleistung zur Verfügung stellen soll, sind je nach Grösse der Anlage mehrere 1000 kg Pellets notwendig. Bei dieser Menge Pellets ist es nicht sinnvoll sie in Säcken zu kaufen.

Als Ausgangsmaterial soll verwendet werden: Trockenes Holz; Unbehandelter Holzabfall aus Holzverarbeitender Industrie; Hobelspäne, Sägemehl, Schleifstaub; Ausschliesslich Weichhölzer. Begründung:

- Pellets aus feuchtem Holz als Ausgangsmaterial ist teurer, sollen Pelletsfeuerungen und Pelletsproduktion auch wirtschaftlich Sinn machen wird wo möglich trockenes Holz als Ausgangsmaterial verwendet. Feuchtes Holz wird nur verwendet, falls nicht genügend trockenes Holz vorhanden ist.

- Der Wassergehalt von feuchtem Holz ist sehr unterschiedlich. Der Energieaufwand und die Infrastruktur zum Trocknen des feuchten Holzes unterscheidet sich je nach angewandtem System sehr stark. Es ist zur Zeit völlig unklar welches System in Zukunft ‚Standard‘ sein könnte.
- Nur in der Holzverarbeitenden Industrie fällt genügend Holzabfall an um eine Pelletierung auch wirtschaftlich sinnvoll zu machen.
- Wir bei der Pelletierung behandeltes Holz zugelassen, müssen die Pellets ev. in Öfen mit speziellen Filtern verbrannt werden.
- Die Verwendung von Ausgangsmaterial, welches zuerst noch zerkleinert werden muss kommt vor, ist jedoch nicht Standard und kompliziert die Betrachtung wesentlich.
- Werden neben Weichhölzern auch Harthölzer zur Pelletierung verwendet, so steigt der Energieaufwand beim Pressen der Pellets. Die Pellets haben dafür dann auch einen höheren Heizwert. Momentan werden fast ausschliesslich Weichhölzer zur Pelletsproduktion verwendet.

#### *Technik der Pelletierung*

Die Technik der Pelletierung kommt aus der Mischfutterindustrie. Bei den Pelletpressen gibt es am Markt zwei unterschiedliche Systeme:

- Ringmatrizenpressen - In der Futtermittelindustrie sind die Ringmatrizenpressen die Standardtechnologie. Sie garantieren höhere Durchsätze und Qualität bei leicht zu verpressenden Materialien. Sie sind aber schwerer auf Holzrohstoffe zu adaptieren.
- Flachmatrizenpressen - Sie sind die Standardtechnologie zum Pressen unterschiedlichster organischer und anorganischer Roh- und Reststoffe. Wegen der auftretenden Scherkräfte sind sie besonders gut geeignet, Produkte zu pelletieren, die schwer zu pressen sind wie mineralische Produkte oder Rohstoffe mit hohem Zelluloseanteil (Holz, Stroh).

Nach dem Pressen muss man die Pellets geeignet stabilisieren, durch Kühlung und ev. Trocknung. Je feuchter das Ausgangsmaterial ist, desto weicher sind nachher die Pellets. Energetisch sinnvoller ist es, das unpelletierte Produkt zu trocknen als nachher die Pellets. Beim Pressvorgang selbst verliert man 1.5-2% Feuchte, im Kühler noch einmal soviel. Für Pellets mit 8 – 10% Restfeuchte braucht man daher Holzabfälle mit max. 12% Feuchte, da vor dem Pressen auch noch Dampf zugesetzt wird (Vorkonditionierung).

Der Energieeinsatz bei der Pelletierung von trockenem Material liegt je nach Quelle bei 1.5-3% des Energieinhalts der hergestellten Pellets. Bei nassem Material beträgt die Produktionsenergie (inkl. Trocknung) ca. 5%, bei Waldhackgut (inkl. Trocknung) 7%.

#### *Infrastruktur für die Pelletierung*

Die kleinste herkömmliche Presse leistet ca. 500 kg/h, für Holz als schwierigen Rohstoff ist das kaum zu senken.

Es scheint als ob sich drei Produktionskonzepte mit ähnlicher Wirtschaftlichkeit herauskristallisieren könnten:

- Industrielle Grossproduktion mit Trocknungsanlage zur Nutzung einer Vielzahl von Holzreststoffen. Nur durch Ganzjahresbetrieb, Produktionsmengen jenseits von 10'000 Tonnen pro Jahr und synergetischer Nutzung von Abwärme zur Trocknung lassen sich die hohen Investitionskosten amortisieren.
- Mittlere Anlagen, die mit trockenen Rohstoffen arbeiten, die sie als Teil einer Entsorgungskette direkt am Anfallort pelletieren. Aufwändige Investitionen für die Trocknung entfallen, es wird Lagerraum gespart und der Betrieb wird in den normalen Ablauf integriert. Ein wirtschaftlicher Betrieb ist schon ab ca. 1'000 Tonnen pro Jahr möglich.
- Dezentrale Kleinstanlagen, die billig errichtet werden und ohne technische Zusatzeinrichtungen für Trocknung und Kühlung nur bei Bedarf (z.B. vollem Materialsilo) in Betrieb genommen werden.

Mischfutterwerke haben ideale Voraussetzungen um im Wettbewerb mit den Pellets zu bestehen. Das Traditionelle Angebot dieses Wirtschaftszweiges, Trocknung und Pelletierung organischer Rohstoffe, Zwischenlagerung in Silos und Verteilung mit Silowägen, entspricht exakt der nötigen Infrastruktur für ein auf Pellets beruhendes Energiesystem.

Bei der Pelletproduktion spielen neben den Investitionskosten auch die Betriebskosten eine Rolle. Im Vergleich zu Futtermittel müssen Holz oder Stroh (wenig natürliche Bindemittel) mit Brachialgewalt zusammengedrückt werden, daher liegt der Strombedarf bei etwa 40-50 kWh/t. Man kann versuchen, durch Vorkonditionierung mit Wärme (Bedampfung) Lignin als Bindemittel freizusetzen, um den Energiebedarf zu senken. Allerdings muss man den dafür notwendigen Dampf vorher erzeugen.

#### *Vertrieb*

Der Vertrieb der Pellets erfolgt ab Pelletierwerk via Silowägen. Die Pellets werden lose direkt ins Haus geliefert.

#### *Pelletsheizung*

Holzpellets neigen zur Wasseraufnahme, Wasser löst die innere Bindung der Pellets, so dass sie aufquellen und ihre guten Förder- und Brenneigenschaften verlieren. Bei einem Wassergehalt von über 20% zerfallen Pellets in kleine Bruchstücke. Eine möglichst trockene Lagerung ist deshalb unbedingt notwendig.

Pellets werden auch in Hackschnitzelheizungen problemlos verfeuert. Nicht jede Hackschnitzelanlage ist aber automatisch für Pellets geeignet, vor allem zu grosse Förderquerschnitte im Schwachlastbetrieb sind problematisch. Im Teillastbereich kann es dann zu Schwierigkeiten betreffend Rückbrand, Schwelprobleme, bis zur Versottung und Verrussung kommen. Pellets brauchen auch weniger Unterluft und mehr Oberluft bei der Verbrennung als Hackgut, wo man ja das Problem hat, das Wasser im Brennstoff möglichst rasch wegzubekommen.

In der Schweiz sind Pelletsheizungen bisher nicht sehr verbreitet. Im Bereich Pelletsheizungen ist in Europa Skandinavien führend. Auch in Österreich werden Pelletsheizungen seit einigen Jahren angeboten und gefördert. Der Einsatz von Pellets als Brennstoff beschränkt sich weitgehend auf

reine Heizungssysteme. Der Einsatz von Pellets in WKK-Systemen ist denkbar, aber in der Schweiz und auch in den Nachbarländern wahrscheinlich nicht von grosser Bedeutung.

Am Markt sind momentan nur 2 Systeme von Pelletsheizungen erhältlich: Weiterentwicklungen von Hackschnitzelheizungen und speziell für Pellets entwickelte Feuerungen. Bei Hackschnitzelheizungen müssen die Brennstoffzufuhr und die Brennzone auf die höhere Energiedichte der Pellets adaptiert werden.

Pelletheizungen sind in verschiedenen Ausführungen erhältlich: als Kaminöfen, Kamin- und Kachelofeneinsätze und als Zentralheizungen.

Pellet-Kaminöfen werden im Wohnbereich aufgestellt und liefern Strahlungs- und Konvektionswärme an den Aufstellungsraum. Die Heizleistung des Ofens kann von Hand eingestellt oder über Thermostat geregelt werden. Meist reicht der Leistungsbereich von 2 bis 10 kW oder von 3 bis 15 kW. Gegenüber handbeschildeten Kaminöfen haben Pellet-Kaminöfen den Vorteil, dass ihr Betriebsaufwand wesentlich geringer ist und sie zudem deutlich niedrigere Emissionen aufweisen.

Pellet-Zentralheizungen werden im Heizungsraum aufgestellt und können ähnlich einer Öl- oder Gaszentralheizung den Wärmebedarf von EFH oder MFH vollständig decken. Sie werden aus einem grösseren Pelletvorrat (Monats- oder Jahresbedarf) automatisch beschickt, besitzen eine elektrische Zündvorrichtung, mit der die Heizung automatisch gestartet werden kann, und werden nach dem Start durch die elektronische Steuerung geregelt. Die Austragung der Pellets aus dem Vorratsbehälter oder Vorratsraum in die Feuerung geschieht automatisch durch Förderschnecken oder durch Saugförderung.

Die Verfeuerung von Holzpellets in Biomasseheizwerken (Anlagen mit einer Nennwärmeleistung von über 100 kW) sind zur Zeit nicht sinnvoll. Hier stehen als kostengünstigere Brennstoffe Sägestockholz und Waldhackgut zur Verfügung. Die besonderen Vorteile der Pellets – die hohe Energiedichte und der damit verbundene geringe Lagerplatzbedarf – können in diesem Bereich die Nachteile des deutlich höheren Preises und des höheren Energieaufwandes für die Bereitstellung der Pellets nicht aufwiegen.

Die Eigenschaften von Holzpellets sind weitgehend homogen und durch Normung definiert. In Verbindung mit einer automatischen Beschickung der Feuerung und einer automatisierten Verbrennungsüberwachung ermöglichen Holzpellets deshalb eine sehr hohe Verbrennungsgüte mit geringsten Emissionen und hohen Wirkungsgraden.

Von den zahlreichen Pellet-Zentralheizungen weisen einige sehr gute Emissionswerte auf. Vor allem Pellet-Kaminöfen fallen jedoch mit deutlich höheren CO- und Staubwerten auf. Diese erhöhten Emissionswerte werden durch die systembedingte Lufthinterspülung der Kaminofenscheibe verursacht, die zu einem deutlichen Luftüberschuss bei der Verbrennung führt.

Der Komfort einer Pellet-Zentralheizung kann dem Komfort einer Öl-Zentralheizung entsprechen, wenn die Auffüllung des Pelletvorrates durch Pellettankwagen erfolgt und das Pelletlager mit einer automatischen Raumaustragung ausgestattet ist.

In *Ecoinvent 2000* werden zwei unterschiedliche Zentralheizungs-Systeme untersucht. Sie haben folgende Eckwerte:

1. System: Zentralheizung für ein Einfamilienhaus. Nennleistung ca. 15 kW
2. System: Zentralheizung für ein Mehrfamilienhaus. Nennleistung ca. 50 kW

Die beiden Heizungssysteme bestehen jeweils aus dem Lagerraum für Pellets, (Die Grösse des Lagers ist so dimensioniert, dass das Lager den Pelletsbedarf für 1 Jahr enthalten kann) einer Automatischen Pelletsaustragung aus dem Lagerraum in die Brennkammer, der Feuerungseinheit und dem Wärmetauscher.

#### *Emissionen von Pelletsheizkesseln*

In Tab. 4 sind die Emissionsdaten von verschiedenen Pelletsheizkesseln aufgeführt. Die Daten beziehen sich auf den Betrieb bei Vollast. Der direkte Wirkungsgrad der einzelnen Heizkessel beträgt 88 – 92%.

**Tab. 4:** Emissionsdaten von Pelletsheizkesseln (Quelle: Bundesanstalt für Landtechnik, Wieselburg)

| <b>Pelletfeuerungen</b> |          |                     |                                                      |                 |     |          |
|-------------------------|----------|---------------------|------------------------------------------------------|-----------------|-----|----------|
|                         | Leistung | CO <sub>2</sub> [%] | [mg/Nm <sup>3</sup> ] bezogen auf 13% O <sub>2</sub> |                 |     |          |
|                         |          |                     | CO                                                   | NO <sub>x</sub> | VOC | Partikel |
| A                       | 15 kW    | 12,9                | 99                                                   | 92              | <1  | 16       |
| B                       | 16 kW    | 12,3                | 174                                                  | 88              | 3   | 11       |
| B                       | 17 kW    | 15,4                | 12                                                   | 102             | <1  | 15       |
| D                       | 45 kW    | 14,6                | 74                                                   | 126             | 1   | 23       |
| E                       | 60 kW    | 25,4                | 65                                                   | 80              | 3   | 26       |
| F                       | 62 kW    | 14,1                | 87                                                   | 96              | 1   | 22       |

A Hersteller: Fröling – Typenbezeichnung: Pelletherm P2-15 – Baujahr: 2000

B Hersteller: sht – Typenbezeichnung: PN-15 – Baujahr: 2000

C Hersteller: COMPACT – Typenbezeichnung: Mod 15 kW – Baujahr: 1999

D Hersteller: Hargassner – Typenbezeichnung: HSV 50/WTH 45 – Baujahr 1997

E Hersteller: Kalkgruber – Typenbezeichnung: P-LE 66 S – Baujahr: 1999

F Hersteller: COMPACT – Typenbezeichnung: Mod 60 kW – Baujahr: 1999

## **WÄRMEPUMPEN**

Wärmepumpenheizungen haben einen Anteil am EFH-Neubau von rund 35% erreicht und können heute als etablierte Technologie angesehen werden. Die grosse Angebotspalette zeigt, dass der Markt sich eingespielt hat. Dennoch wird es nicht Ziel von Ecoinvent sein die verschiedenen Produkte zu analysieren, sondern typische Anlagen und Einsatzgebiete zu unterscheiden und abzudecken. Dazu gehören die verschiedenen Leistungsklassen, d.h. die Grösse der Gebäude und der entsprechende Sanierungsgrad resp. Neubauten, die Art der Wärmequelle (Luft, Wasser, Sole, Abwärme), die Betriebsweise (Vor-/Rücklauftemperatur), der verwendete Kältemitteltyp, etc..

Die Wärmepumpen haben sich in den letzten Jahren stark gewandelt und werden heute als kompakte Anlagen geliefert. Dies hat zur Folge, dass die Materialbilanzen überprüft werden müssen.

Ein wichtiger Punkt ist die Entwicklung der eingesetzten Kältemittel und deren Lekagen. Tiefere GWP und kein ODP bei gleichbleibender Effizienz werden angestrebt. Entsprechende Kältemittel sind heute verfügbar (R134a, R407c, R404A, R410A, R290).

Die Jahresarbeitszahlen sind vorwiegend abhängig von der Wärmequelle (Luft, Wasser, Sole, Abwärme) und den Vor-/Rücklauftemperaturen (abhängig vom Gebäude und der Wärmenutzung). Für alle Wärmequellen werden heute aber deutlich höhere Jahresarbeitszahlen erreicht. Die Tab. 5 und 6 zeigt je ein Beispiel einer Luft-/Wasser- und Sole-/Wasser-Wärmepumpe.

**Tab. 5:** Luft/Wasser-Wärmepumpe

| Aussentemperatur<br>°C | Vorlauftemperatur<br>°C | Heizleistung<br>kW | COP * |
|------------------------|-------------------------|--------------------|-------|
| 2                      | 35                      | 8.4                | 3.4   |
| 7                      | 35                      | 10.0               | 4.0   |
| -7                     | 45                      | 6.3                | 2.5   |
| -15                    | 50                      | 4.1                | 1.7   |

\* Coefficient Of Performance

**Tab. 6:** Sole/Wasser-Wärmepumpe

| Bodentemperatur<br>°C | Vorlauftemperatur<br>°C | Heizleistung<br>kW | COP * |
|-----------------------|-------------------------|--------------------|-------|
| 0                     | 35                      | 9.1                | 4.4   |
| 0                     | 50                      | 8.9                | 3.0   |
| -5                    | 35                      | 8.0                | 3.8   |
| -5                    | 50                      | 7.7                | 2.6   |

\* Coefficient Of Performance

## WINDKRAFTANLAGEN

Aufgrund der schnellen Entwicklungen in der Stromproduktion aus Windkraft sind die 1991 erbaute Anlage auf dem Simplon und weitere Anlagen dieser Generation (Grenchenberg, Sool), welche in (Frischknecht et al. 1996) bilanziert wurden, nicht mehr auf dem Stand der Technik. Moderne, auf dem Markt angebotene Windkraftanlagen haben mögliche Leistungen von 600 kW bis zu 2.5 MW, die grössten heute erhältlichen Anlagen haben eine Leistung von ca. 3.6 MW (Hersteller: Enron). Grössere Anlagen im Bereich von 5 MW werden in naher Zukunft zur Verfügung stehen.

In Ländern mit Meeresküsten haben Küstenregionen ein grosses Potential zur Nutzung der Windkraft. Off-shore-Standorte sind aufgrund der Windverhältnisse und des Landschaftsschutzes gut für die Stromproduktion durch Windkraft geeignet. Dänemark zum Beispiel will bis 2030 bis zu 4000 MW Kapazität aus Windkraft installieren (dadurch soll 40% des Strom-Verbrauchs gedeckt werden), wovon 2500 MW offshore installiert werden sollen. So hatte der 1991 erbaute Offshore-Windpark Vindeby schon 11 Anlagen a 450 kW Leistung. In Deutschland boomt das Interesse an Offshorestandorten, insgesamt liegen 28 Anträge für Offshore-Parks in der Ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) derzeit beim Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) vor.

Für die Schweiz scheinen Anlagen im Bereich 600 kW bis 1.5 MW am besten geeignet zu sein. Grössere Anlagen sind aufgrund der nicht optimalen Windverhältnisse und der oft nicht einfachen Zufahrtswege kaum geeignet. Im weiteren sind die Interessen des Landschaftsschutzes zu berücksichtigen.

1.5 MW Anlagen sind für die Jura-Region, kleinere eher für die (schwer zugängliche) Alpenregion geeignet. Auf dem Mt. Crosin sind verschiedene Anlagen installiert, die Leistungsspanne reicht von 600 kW bis 800 kW. Die Idee, mehrere Anlagen dieser Leistungsklasse zu mitteln, wurde aufgrund von grossen Unterschieden in Abmessungen und Spezifikationen wie Synchron/Asynchronmotoren oder Direktantrieb oder Getriebe, verschiedenen Turmhöhen und Rotordurchmessern verworfen.

Nach Kontakt mit einer Firma, die in der Planung von Windkraftanlagen aktiv ist (Steinemann, 2001) und aufgrund der verfügbaren Daten werden die LCI-Eingabedaten mit einer 800/200 kW-Anlage mit einem 50 m Rotor auf einem 50 m hohem Turm bilanziert. Dabei ist es nicht möglich, aufgrund der Gewichte von einzelnen Anlagenteilen von der in (Frischknecht et al., 1996) bilanzierten Simplonanlage proportional zum Gewicht auf die Materialien einer anderen Anlage zu schliessen. Besser ist es, detaillierte Informationen direkt von den Herstellern zu erhalten. Dazu wurden die Hersteller mit den grössten Marktanteilen ausgewählt (Negmicon, Enercon, Nordex, Vestas) und ihre Produkte als repräsentativ erachtet. Ziel ist es, Angaben zu Gewichten der in den einzelnen Bauteilen wie Gondel, Rotor und Turm verwendeten Materialien zu erhalten. Diese Unterteilung in Bauteile ist aufgrund unterschiedlicher Lebensdauern notwendig.

Bisher hat sich allerdings erst die Firma Nordex gemeldet. Die erhaltenen Daten sind nicht ganz so detailliert wie es wünschenswert wäre, dieses Defizit sollte aber durch Auskünfte der Hersteller der einzelnen Komponenten ausgeglichen werden. Zu berücksichtigen ist auch das Fundament der Anlage, für das nach (Steinemann, 2001) 4.5 Tonnen Beton/Tonne Turmgewicht und 280 kg Armierungseisen/Tonne Turmgewicht angenommen wird.

Für den Netzanschluss der Anlage wird Kabel verwendet, das auf Basis der Simplonanlage berechnet wird, da in der Kabeltechnologie keine grösseren Neuerungen zu erwarten sind. Für zukünftige Anlagen wird eine durchschnittliche Distanz von 400 m verwendet. Dieser Wert erscheint aufgrund einer Abschätzung der Daten aus (Buser, Kunz und Horbaty, 1996) geeignet, unter Berücksichtigung der Verteilung der Anlagen auf Anlagen im Park und Einzelanlagen. Anlagen im Park benötigen relativ weniger Netzanschlusskabel, da die Anlagen zunächst untereinander ver-



netzt werden und nur ein Kabel dann zum Netz führt. Der Netzanschluss wirkt sich besonders durch das Kupfer im Kabel auf die LCI aus.

Der letzte Punkt ist die Wartung, die hauptsächlich das Wechseln des Getriebeöls beinhaltet. Für die Wechselrate wird die vom Hersteller empfohlene Zeit verwendet.

Bei der Normierung der Umweltauswirkungen auf eine Energieeinheit stellt sich das Problem der Abhängigkeit der produzierten Leistung von den Windverhältnissen vor Ort. Die produzierte Energie steigt mit der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit. Dieses Problem wird durch die Verwendung von Messdaten des Mt.Crosin-parks behoben werden.

## **KOHLEKETTEN**

Für das Jahr 2002 war ein Update zu Steinkohle- und Braunkohleketten für UCTE-Länder nicht geplant. Daher fanden zu diesem Punkt in 2001 nur wenige Aktivitäten statt, jedoch konnte das LCA-Team am PSI die technische Wissensbasis dank eines anderen Projekts (China Energy Technology Program - CETP) zur Kohlekraft erweitern.

## **WASSERKRAFT**

Die Datenfortschreibung zur Prozesskette der Wasserkraft für die Schweiz und extrapoliert für andere UCTE-Länder war für das Jahr 2002 vorgesehen. Daher fanden keine Aktivitäten in diesem Bereich im Jahr 2001 statt. Das LCA-Team am PSI verfolgte jedoch laufend die Fortschritte in der Forschung zu direkten Treibhausgasemissionen aus Reservoirs (Daten für kanadische, brasilianische und finnische Reservoirs sind verfügbar, auch direkt von international anerkannten Forschern, die Daten sind jedoch nicht direkt anwendbar auf alpine Regionen).

## **SOLARKOLLEKTOREN**

Dieser relativ kleine Unterpunkt wird im Jahr 2002 behandelt.

## **PHOTOVOLTAIKKETTE**

Dieser Unterpunkt umfasst nur Systeme die bereits in (Frischknecht et al., 1996) unter dem vorliegenden Kontrakt behandelt wurden. Die weitere Bearbeitung ist für das Jahr 2002 vorgesehen.

## **ABFALLBEHANDLUNG**

Dieser Punkt, der im Rahmen der Ecoinvent-Arbeiten nur eine relativ kleine Unteraufgabe darstellt, wird im Jahr 2002 behandelt.

## **STROMMIX, STROMÜBERTRAGUNG UND VERTEILUNG**

Diese Unterpunkte müssen gegen Ende des Projekts im Jahr 2002 behandelt werden. Bisher wurden bereits laufend Jahresberichte der grossen europäischen Energieversorgungsbetriebe, UCTE und UNIPED gesammelt und routinemässige Kontakte zu den grossen Schweizer Energieversorgungsbetrieben gepflegt.

## Referenzen

### ERDÖL UND ERDGAS

- AGIPPETROLI 2001: **Health Safety Environment**. ENI Group, Rome, IT.
- BP AMOCO 2001: **BP Amoco statistical review of world energy june 2001**. BP Amoco, Internet-site [www.bp.com/centres/energy/](http://www.bp.com/centres/energy/), London.
- CPDP 2001: **Pétrole 2000**. Comité Professionnel du Pétrole, Rueil Malmaison.
- ENERGETICS 1998: **Energy and Environmental Profile of the U.S. Petroleum Refining Industry**. U.S. Department of Energy, Office of Industrial Technologies, Columbia, Maryland, US.
- EV 2001: **Jahresbericht 2000**. Erdöl-Vereinigung, Zürich.
- FRISCHKNECHT, R., BOLLENS, U., BOSSHART, S., CIOT, M., CISERI, L., DOKA, G., DONES, R., GANTNER, U., HISCHIER, R., MARTIN, A. 1996: **Ökoinventare von Energiesystemen. Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz**. Auflage No. 3, Gruppe Energie - Stoffe - Umwelt (ESU), Eidgenössische Technische Hochschule Zürich und Sektion Ganzheitliche Systemanalysen, Paul Scherrer Institut, Villigen, [www.energieforschung.ch](http://www.energieforschung.ch), Bundesamt für Energie (Hrsg.), Bern, CH.
- Gantner et al. 2001: Gantner U., Jakob M., Hirschberg S., **Perspektiven der zukünftigen Strom- & Wärmeversorgung für die Schweiz – Ökologische und ökonomische Betrachtungen**, Project GaBE, PSI Report Nr.01-12, Villigen PSI (Aug. 2001). Auch von Internet als **Perspektiven der zukünftigen Energieversorgung in der Schweiz unter Berücksichtigung von nachfrageorientierten Massnahmen – Ökologische und ökonomische Betrachtungen (12. Mai 2001)** in <http://gabe.web.psi.ch/>.
- HAMMERSCHMID, H. 1996: **Behälterreinigungen in Gastrocknungsanlagen im geschlossenen System**. In **Aktuelle Fragen zum Umweltschutz bei Aufsuchung, Gewinnung und Verarbeitung von Erdöl und Erdgas**. DGMK/IfE-GEMEINSCHAFTSTAGUNG, 7./8. November 1996. Seiten 119-128, Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle e.V., Hahnenklee.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) 2001: **Monthly Oil Survey**. International Energy Agency (IEA), [www.iea.org](http://www.iea.org).
- IPPC 2001: **Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC): Reference Document on Best Available Techniques for Mineral Oil and Gas Refineries**. EUROPEAN COMMISSION, DIRECTORATE-GENERAL JRC, JOINT RESEARCH CENTRE, Download von Internetsite [http://eippcb.jrc.es/cgi-bin/locatemr?ref\\_d2\\_0101.pdf](http://eippcb.jrc.es/cgi-bin/locatemr?ref_d2_0101.pdf), Seville, Spain.
- JANSON 1999: **A Swedish background report for the IPCC information exchange on best available techniques for the refining industry**. Swedish environmental protection agency, Stockholm, SE.
- LODEWIJKX, M., BLOK, H., INGRAM, V., WILLEMSE, R. 2001: **West Siberia Oil Industry: Environmental and Social Profile**. IWACO Consultants for water and environment, Study commissioned by Greenpeace, Rotterdam.
- PATYK, A. 2001: **Sachbilanz Mineralöl im Bereich Raffinerieverarbeitung und Verteilung**. DGMK-Projekt No. 549, Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle e.V., Internetsite <http://www.dgmk.de/>, Hamburg.
- RUHRGAS 2001, **Persönliche Mitteilung von Hr. Fasold**, 9.7.2001 personal communication, 2001.

SHELL 2001: **Environmental Report**. Shell Petroleum Development Company of Nigeria Limited (SPDC), Internetsite [www.shellnigeria.com](http://www.shellnigeria.com).

UKOOA 2000: **1999 Environmental Report**. United Kingdom Offshore Operations Association.

VSG 2001: **Jahresbericht 2000**. Verband der Schweizerischen Gasindustrie, Zürich.

## NUKLEARKETTE

BMU 1996-2001: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, **Umweltra-dioaktivität und Stahlenbelastung – Jahresberichte 1995-2000**, Berlin, 1996-2001. In-ternetsite [www.bmu.de](http://www.bmu.de)

Chambers et al. 1998: Chambers D.B., Lowe L.M., and Stager R.H., **Long term population dose due to radon from uranium mill tailings**, The Uranium Institute 23rd Annual Symposium 10-11 September 1998, London, 1998.

EA 2001: Environment Agency, "Radioactive Substances Act 1993", Bristol, UK, 2001. Internetsite [www.environment-agency.gov.uk](http://www.environment-agency.gov.uk)

EDF 2000: Electricité de France, "Environment Report 1999", France, 2000. Internetsite [www.edf.fr](http://www.edf.fr)

EIA 2000: Energy Information Administration, **Uranium Industry Annual 1999**, DOE/EIA-0478(99), EIA, Office of Coal, Nuclear, Electric and Alternate Fuels, USDOE, Washington DC (May 2000).

Electrabel 2001: **Environmental Report 2000**, Belgium, 2001. Internetsite [www.electrabel.com](http://www.electrabel.com)

Freeman 1999: Freeman M.D. and Stover D.E., **The Smith Ranch Project: a 1990s In Situ Ura-nium Mine**, The Uranium Institute 24th Annual Symposium, 8-10 Sept. 1999, London (1999).

Frost 1998: Frost S.E., **Waste Management in the Uranium Milling Industry**, The Uranium In-stitute 23rd Annual Symposium, 10-11 Sept. 1998, London (1998).

HSK 1996-2001: Hauptabteilung für die Sicherheit von Kernanlagen, **Jahresberichte 1995-2000**, Würenlingen, 1996-2001. Internetsite [www.hsk.psi.ch](http://www.hsk.psi.ch)

Mudd 2000a: Mudd G.M., **Acid In Situ Leach Uranium Mining: 1 – USA and Australia**, in *Tail-ings & Mine Waste 2000*, Balkema, Rotterdam (2000) 527-536.

Mudd 2000b: Mudd G.M., **Acid In Situ Leach Uranium Mining: 2 – Soviet Block and Asia**, in *Tailings & Mine Waste 2000*, Balkema, Rotterdam (2000) 517-526.

NZZ 2001: *wab*, **Kein Verbot der Wiederaufarbeitung**, NZZ 24./25. November 2001.

UNSCEAR 2000: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, **Sour-ces and effects of ionizing radiation – UNSCEAR 2000 Report to the General As-sembly – Volume 1: Sources**, United Nations Sales Publication, Sales No. E.00.IX.3, ISBN 92-1-142238-8.

## HOLZSYSTEME ALLGEMEIN

BfS/BUWAL 2000: Bundesamt für Statistik und Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.): **Wald und Holz, Jahrbuch 2000**. Neuchâtel 2000.

Biedermann 1994: Biedermann, F., **Stoffflüsse der Nährstoffe und Schwermetalle in Biomas-seheizwerken: Die Bilanzierung Brennstoff-Asche-Rauchgas**. Beitrag zum Tagungs-band *Sekundärrohstoff Holzasche; Nachhaltiges Wirtschaften im Zuge der Energiegewin-nung aus Biomasse*. Technische Universität Graz, 1994.

- BUWAL 1996: Noger, D.; Felber, H.; Pletscher, E.; Hasler, P.: **Verwertung und Beseitigung von Holzaschen**. Schriftenreihe Umwelt Nr. 269. BUWAL, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Bern 1996.
- BUWAL 1999: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.): **Der Schweizer Wald – eine Bilanz. Waldpolitische Interpretation zum zweiten Landesforstinventar**. Bern 1999.
- BUWAL 2000: Kessler, F.; Knechtle, N.; Frischknecht, R.: **Heiz-energie aus Heizöl, Erdgas oder Holz?** Schriftenreihe Umwelt Nr. 315. BUWAL, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern 2000.
- EMPA 2000: Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Hrsg.): **Emissionen und Stoffflüsse von (Rest-)Holzfeuerungen. Messverfahren, Auswertung und Resultate**. Abteilung Luftfremdstoffe / Umwelttechnik, Bericht Nr.880'002/1. Dübendorf 2000.
- FAO 2001: Food and Agriculture Organization of the United Nations: **State of the World's Forests 2001**. FAO, Rom 2001.
- Frischknecht et al. 1996: Frischknecht R. (Hrsg.); Bollens, U.; Bosshart, S.; Ciot, M.; Ciseri, L.; Doka, G.; Dones, R.; Gantner, U.; Hirschier, R.; Martin, A.: **Ökoinventare von Energiesystemen. Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz**. 3., überarbeitete Auflage, Bern 1996.
- Jungmeier et al. 1999: Jungmeier, G.; Golja, F.; Spitzer, J.: **Der technologische Fortschritt bei Holzfeuerungen. Ergebnisse einer statistischen Analyse der Prüfstands-messungen der BLT Wieselburg von 1980 bis 1998. Endbericht**. Joanneum Research, Institute für Energieforschung. Graz 1999.
- Kessler et al. 2001: Kessler F.; Schärer, A.; Fotsch, P.: **Schweizerische Holzenergiestatistik. Datenerfassung, Auswertungen und Interpretationen. Folgerhebung für das Jahr 2000**. Bundesamt für Energie, Bern 2001.
- Nussbaumer 2000: Nussbaumer, T.: **Technische Energienutzung von Biomasse. Thermochemische Verfahren: Verbrennung, Vergasung, Pyrolyse**. Unterlagen zur Vorlesung an der ETH Zürich, Wintersemester 2000/01.
- Nussbaumer 2001: Nussbaumer, T.; Good, J.; Jenni, A.; Bühler, R.; Gabathuler, H.: **QS-Holzheizung: Planung und Ausführung**. Bundesamt für Energie, Bern 2001.
- Obernberger 1994: Obernberger, I.: Mengen, **Charakterisierung und Zusammensetzung von Aschen aus Biomasseheizwerken**. Beitrag zum Tagungsband *Sekundärrohstoff Holz-Asche; Nachhaltiges Wirtschaften im Zuge der Energiegewinnung aus Biomasse*. Technische Universität Graz, 1994.
- Skreiberg 1997: Skreiberg, O.: **Theoretical and experimental studies on emissions from wood combustion**. Dissertation an der Technischen Universität Trondheim (NTNU), Trondheim, 1997.
- Tiba 2001: **Persönliche Auskünfte von Hr. Hasler**, Leitung Technik, Tiba AG. Bubendorf, 2001.

## PELLETSSYSTEME

- Bundesamt für Energie (Hrsg.): **Schweizerische Holzenergiestatistik – Folgerhebung für das Jahr 2000**, Bern 2001
- C.A.R.M.E.N.e.V. (Hrsg.): **Holzpellets – eine Alternative zum Heizöl?**, Rimpf 1998
- Haas, J.; Hackstock, R.: **Brennstoffversorgung mit Biomassepellets – Untersuchung über die Voraussetzungen für einen verstärkten Einsatz von Biomassepellets in Holzzentralheizungen**, Gleisdorf 1998

UMBERA GmbH (Hrsg.): **Woodpellets in Europe –State of the Art, Technologies, Activities, Markets**; St. Pölten 2000

#### **WINDKRAFTANLAGEN**

Steinemann, 2001: Steinemann D. **Persönliche Mitteilung**, ABB (Nov. 2001).

Buser, Kunz und Horbaty, 1996: **Windkraft und Landschaftsschutz**, diverse Pressemitteilungen.

Lyck, 2001: Lyck O.B. **Persönliche Mitteilung**, Nordex Energy GmbH (2001).