
Stroh als Energieträger wurde vom Center für Biomasse-Technologie (www.sh.dk/~cbt) 1998 im Auftrag der dänischen Energiebehörde ausgearbeitet und kann unter der Adresse www.ens.dk abgerufen werden. Die gedruckte Ausgabe kann bei der dänischen Energiebehörde oder beim Center für Biomasse-Technologie unter folgenden Anschriften angefordert werden:

- | | | | | | |
|------------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|--|
| • Energistyrelsen | Amaliegade 44 | DK-1256 Kopenhagen K | Tel +45 33 92 67 00 | Fax +45 33 11 47 43 | www.ens.dk |
| • Dansk Teknologisk Institut | Teknologiparken | DK-8000 Aarhus C | Tel +45 89 43 89 43 | Fax +45 89 43 85 43 | www.dti.dk |
| • dk-TEKNIK | Gladsaxe Møllevej 15 | DK-2860 Søborg | Tel +45 39 55 59 99 | Fax +45 39 69 60 02 | www.dk-teknik.dk |
| • Forskningscenter Bygholm | Schüttesvej 17 | DK-8700 Horsens | Tel +45 75 60 22 11 | Fax +45 75 62 48 80 | www.agrsci.dk |

Autoren: Lars Nikolaisen (Redakteur)
Carsten Nielsen
Mogens G. Larsen
Villy Nielsen
Uwe Zielke
Jens Kristian Kristensen
Birgitte Holm-Christensen

Umschlagfoto: Lars Nikolaisen, Dänisches Technologisches Institut und M. Carrebye, SK Energi
Layout: BioPress
Druck: Trøjborg Bogtryk. Gedruckt auf 100% Recyclingpapier
ISBN: 87-90074-18-1

Stroh als Energieträger

Technik - Umwelt - Ökonomie

2. Auflage

Center für Biomasse-Technologie

1998

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Vorwort | 5 |
| 1. Dänische Energiepolitik | 6 |
| 2. Stroh als Energieträger | 9 |
| 3. Einjährige Energiepflanzen | 13 |
| 4. Strohbehandlung | 15 |
| 5. Anlagen für die Landwirtschaft | 19 |
| 6. Nahwärme | 24 |
| 7. Fernwärmewerke | 26 |
| 8. Heizkraft- und Kraftwerke | 34 |
| 9. Vergasung und Pyrolyse | 43 |
| 10. Andere Techniken zur Verstromung von Stroh | 45 |
| 11. Restprodukte | 47 |
| 12. Weitere Informationen | 48 |
| 13. Literaturverzeichnis | 49 |
| 14. Herstellerverzeichnis | 51 |
| 15. Übersicht über in Betrieb befindliche strohbefeuerte Werke | 52 |

Vorwort

Diese Publikation beschreibt, wie es in Dänemark gelungen ist, ein früheres Überschußprodukt - Stroh - für eine umweltschonende und CO₂-neutrale Energieproduktion zu nutzen. Sie vermittelt einen Einblick in die neueste dänische Entwicklung bei der Nutzung von Stroh für Energiezwecke, sowohl was Technik als auch was Umwelt und Ökonomie betrifft.

Auf dem UN-Umweltgipfel im Dezember 1997 im japanischen Kyoto stand die Emission von Treibhausgasen im Mittelpunkt. Zum ersten Mal wurden verbindliche Grenzen für die Treibhausgas-Emissionen der Industrieländer festgelegt. Danach sollen die gesamten Emissionen bis zum Jahr 2012 um 5,2% reduziert werden, die EU will ihre Emissionen am stärksten senken - um 8% gegenüber dem Stand von 1990.

Ein Weg, die Treibhausgas-Emissionen zu senken, besteht darin, den Anteil erneuerbarer Energien an der Energieproduktion zu erhöhen. Heute werden nur 6% des Energieverbrauchs in der EU durch erneuerbare Energien gedeckt, doch wird sich das in den kommenden Jahren ändern. Das im Dezember 1997 veröffentlichte EU-Weißbuch für erneuerbare Energien schreibt eine Verdoppelung des Anteils von erneuerbarer Energie bis zum Jahr 2010 vor. Biomasse ist der Sektor, der am stärksten und schnellsten entwickelt werden soll. Im Jahr 2010 soll Biomasse 74% des gesamten Verbrauchs an erneuerbarer Energie in der EU ausmachen.

Energi 21, der Plan der dänischen Regierung für eine dauerhafte und nachhaltige Energieentwicklung in Dänemark, mißt erneuerbaren Energien ebenfalls hohen Stellenwert zu. Langfristig soll ein Energiesystem entwickelt werden, in dem ein immer größerer Teil des Energieverbrauchs durch erneuerbare Energien gedeckt werden soll. Voraussetzung dafür ist, daß erneuerbare Energie kontinuierlich und stufenweise entsprechend den technologischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten eingegliedert wird.

Die dänische Regierung strebt einen Ausbau von durchschnittlich 1% jährlich an. Das heißt, daß der Anteil erneuerbarer Energien an der Energieversorgung bis zum Jahr 2030 auf 35% steigt. Der Ausbau soll in erster Linie durch eine gesteigerte Nutzung von Bioenergie und Windkraft erfolgen, Biomasse wird daher in den kommenden Jahrzehnten einen wesentlichen Beitrag zur Energieproduktion in Dänemark leisten.

Die Nutzung von Biomasse bietet weitreichende Perspektiven - nicht nur in Dänemark, sondern auch auf internationaler Ebene. Dänemark verfügt bereits über beträchtliche Erfahrung auf diesem Gebiet, die Entwicklung bei der individuellen und kollektiven Energieversorgung ist weit fortgeschritten. Besondere Stärken hat Dänemark bei der kollektiven Versorgung und bei der dezentralen Kraft-Wärme-Kopplung mit Biomasse. Dies sind Bereiche, in denen für die dänische Energieindustrie große Möglichkeiten bestehen - auch auf den Exportmärkten.



Svend Auken
Minister für Umwelt und Energie

1. Dänische Energiepolitik

Die dänische Energiepolitik befindet sich in ständiger Entwicklung. Der 1996 beschlossene Energiehandlungsplan der dänischen Regierung Energi 21 ist der vierte in einer Reihe von Plänen, die alle das Ziel verfolgen und verfolgen, den dänischen Energiesektor optimal den aktuellen nationalen und internationalen Gegebenheiten im Energiebereich anzupassen.

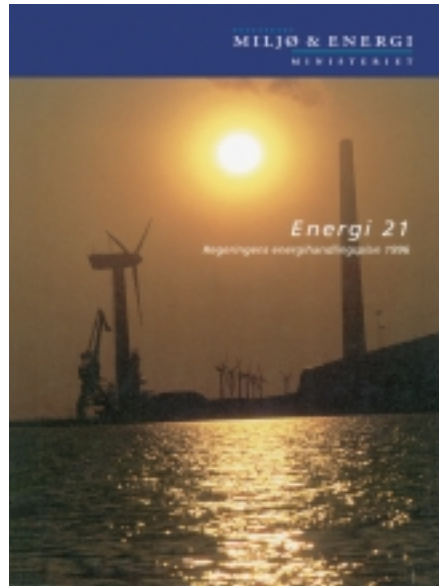
Die vier Energiepläne

Der erste Energieplan - Dansk Energipolitik 1976 - sollte Dänemark vor Versorgungskrisen wie der Energiekrise 1973/74 schützen.

Beim zweiten Plan - Energiplan 81 - lag das Schwergewicht auf volkswirtschaftlichen und umweltmäßigen Aspekten, daneben wurde weiter an einer Verringerung der Abhängigkeit von Brennstoffimporten gearbeitet. In den 80er Jahren wurden die Öl- und Erdgasfelder in der Nordsee stark ausgebaut, außerdem wurde das landesweite Erdgasnetz angelegt. Die ersten Subventionsordnungen für die Nutzung von Stroh und Hackschnitzel liefen an, und über wachsende Abgaben auf fossile Brennstoffe (Öl und Kohle) konnte Biomasse als Brennstoff wettbewerbsfähig gemacht werden (siehe Schaubild 1). Die ersten strohbefeuerten Heizkraftwerke wurden gebaut, und die Anzahl strohbefuenerter Fernwärmewerke und Anlagen für die Landwirtschaft wuchs kräftig.

Der dritte Energieplan ist der Handlungsplan Energi 2000 aus dem Jahr 1990. Dieser Plan ist ein ehrgeiziger Versuch, den Einsatz umweltschonender Brennstoffe zu steigern. Gleichzeitig wird als Ziel eine dauerhafte und nachhaltige Entwicklung im Energiesektor eingeführt. Energi 2000 definiert die umweltschonenden Energieträger als Erdgas, Sonne, Wind und Biomasse (Stroh, Holz, Gülle und Hausmüll). Der Einsatz von Biomasse wird damit begründet, daß sie CO₂-neutral ist, Devisen spart, Arbeitsplätze in Dänemark schafft und Abfallprodukte aus der Land- und Forstwirtschaft, Privathaushalten und der Industrie verwertet. Nach Energi 2000 soll Dänemark bis zum Jahr 2005 die folgenden ehrgeizigen Ziele erreicht haben:

- Senkung des Energieverbrauchs um 15%
- Steigerung des Erdgasverbrauchs um 170%
- Steigerung des Verbrauchs an erneuerbaren Energien um 100%



Energi 21 soll zu einer umweltverträglichen und nachhaltigen Entwicklung der dänischen Gesellschaft beitragen. Der Energiesektor soll auch weiterhin ein wirtschaftlicher, lebenskräftiger und technologisch effizienter Sektor sein, der zu einer dynamischen Entwicklung der Gesellschaft gehört.

- Senkung des Kohleverbrauchs um 45%
- Senkung des Erdölverbrauchs um 40%
- Verringerung der CO₂-Emissionen um mindestens 20%
- Senkung der SO₂-Emissionen um 60%
- Senkung der NO_x-Emissionen um 50%

Die Ziele sollen durch eine Vielzahl von Maßnahmen erreicht werden: Energieeinsparungen, CO₂-Abgabe, Umstellung auf umweltschonende Brennstoffe bei der Kraft-Wärme-Kopplung, Betriebs- und Anlagensubventionierung bei der kollektiven Wärmeversorgung, Subventionen für die Errichtung von Biobrennstoffkesseln in ländlichen Bezirken u.v.m.

Der vierte und letzte Energieplan ist Energi 21 (1), der 1996 beschlossen wurde. Hier wird dem "Haushalten" mit unseren Ressourcen eine zentrale Rolle beigemessen. Im Energiesektor dominiert nach wie vor der Verbrauch nicht regenerierbarer, fossiler Energieträger, und die Emissionen von Energieverbrauch und -erzeugung belasten Atmosphäre und Umwelt. Ein wichtiger Eckpfeiler in Energi 21 ist, daß an der Zielsetzung in Energi 2000 festgehalten

wird, im Jahr 2005 die CO₂-Emissionen in Dänemark um 20% gegenüber dem Niveau von 1988 zu senken und die Emissionen im Jahr 2000 unter dem Niveau von 1990 zu stabilisieren. Darüber hinaus will man in den internationalen Klimaverhandlungen dafür eintreten, daß die Industrieländer bis zum Jahr 2030 ihre CO₂-Emissionen um die Hälfte gegenüber dem Niveau von 1990 reduzieren. Auf dem UN-Umweltgipfel in Kyoto 1997 wurde festgelegt, daß die EU-Staaten ihre CO₂-Emissionen bis 2012 um 8% gegenüber dem Stand von 1990 reduzieren.

Energi 21 setzt voraus, daß im Jahr 2000 10% des gesamten Energieverbrauchs in Dänemark aus erneuerbaren Energien gedeckt wird. Das entspricht ca. 75 Petajoule (PJ), und die Steigerung erfolgt hauptsächlich durch den gesteigerten Einsatz von Stroh und Hackschnitzel in den zentralen Kraftwerken (vgl. auch den Abschnitt über die Biomasse-Vereinbarung). Auch die stärkere Nutzung von Biogas und Deponiegas trägt dazu bei, das Ziel von 75 PJ zu erreichen.

Die Initiativen im Bereich Biomasse richten sich somit auf folgende Teilziele in Energi 21:

- Gesteigerte Verwendung von Stroh und Hackschnitzel in den zentralen Kraftwerken
- Stärkerer Ausbau von dezentraler Kraft-Wärme-Kopplung mit Stroh, Hackschnitzel, Biogas und Deponiegas
- Größtmögliche Umstellung der 350 Blockwärmeeinheiten über 250 kW in ländlichen Gebieten von fossilen auf Biobrennstoffe
- Möglichkeit zur Errichtung von Biobrennstoff-Anlagen, die früher für Erdgas reserviert waren
- Durchführung eines Demonstrations- und Entwicklungsprogrammes, das den künftigen Einsatz von Energiepflanzen (Getreide, Raps u.a.) in der Energieversorgung beleuchten kann
- Durchführung eines kleineren Versuchsprogramms, das die Grundlage für Produktion und Verwendung flüssiger Biobrennstoffe beleuchten kann

Schaubild 2 zeigt die Verteilung der einzelnen erneuerbaren Energieträger. Deutlich wird u.a., daß die volle Nutzung von Stroh und Hackschnitzel bereits im Jahr 2000 erreicht werden soll und die Verwendung von Energiepflanzen (ein- und mehrjährige) im Jahr 2005 beginnen und im Jahr 2030 einen Anteil

von ca. 45 PJ (entspricht ca. 3.000.000 Tonnen Stroh) erreicht haben soll.

Einfluß der EU

Im EU-Weißbuch für erneuerbare Energie von 1997 (28) ist festgelegt, daß der Einsatz regenerativer Energien in der EU von 6% auf 12% im Jahr 2010 steigen soll. Erwartet wird, daß sich das schnellste Wachstum im Biomassektor vollzieht. Die landwirtschaftliche Flächennutzung ist eng mit der Agrarpolitik der EU verbunden. Die neueste Initiative der EU für die zukünftige Agrarpolitik geht davon aus, daß die Brachlegungspflicht aufgehoben und es nur noch einen Subventionssatz geben wird, unabhängig davon, was angebaut wird. Dies wird die Dispositionen der Landwirte beeinflussen, auch im Hinblick auf den Anbau von Energiepflanzen auf freiwillig brachgelegten Flächen.

“Varmeforsyningsloven” (Gesetz zur Wärmeversorgung)

Um die in Energi 2000 vorgeschlagenen Maßnahmen zu verwirklichen (5), verabschiedete das Folketing am 13. Juni 1990 das Gesetz zur Wärmeversorgung, das dem dänischen Energieministerium weitreichende Befugnisse im Hinblick auf die Regelung der Brennstoffwahl in Blockwärmezentralen, Fernwärmewerken und dezentralen Heizkraftwerken einräumt. Das Energieministerium verwaltet diese Befugnisse mit Hilfe von so-

genannten “Schreiben über spezifische und generelle Voraussetzungen” (24), die in drei zeitlich versetzten Phasen an Kommunen und Anlageneigner verschickt werden. Die “spezifischen Voraussetzungen” beschreiben detailliert die Umstellung auf umweltverträglichere Brennstoffe für ausgewählte Kommunen und Anlageneigner. Darüber hinaus werden an alle Kommunen des Landes Schreiben verschickt, in denen die “generellen Voraussetzungen” beschrieben werden, d.h. die Möglichkeiten für eine freiwillige Umstellung von Kohle und Öl auf umweltschonendere Brennstoffe.

Die Umstellung wurde sofort ins Werk gesetzt. In der ersten Phase von 1990-1994 ging es um die Umrüstung eines Teils der kohle- und erdgasbefeuerten Fernwärmewerke auf erdgasbefeuerte, dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung. In der zweiten Phase von 1994-1996 wurden die restlichen kohle- und erdgasbefeuerten Fernwärmewerke auf erdgasbefeuerte dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung umgerüstet. Darüber hinaus sollten kleinere Fernwärmewerke außerhalb der großen Fernwärmenetze auf Biobrennstoffe umgerüstet werden.

Die dritte Phase begann 1996 und ist noch nicht abgeschlossen. Vorausgesetzt worden war, daß kleinere, gasbefeuerte Fernwärmewerke auf erdgasbefeuerte, dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung und die übrigen Fernwärmewerke in dem Umfang auf Biobrennstoffe umgerüstet werden sollten, in dem die erforderliche Technologie

kommerziell nutzbar entwickelt ist. Vgl. auch die Ausführungen zur Anpassung des Phasenverlaufs im Abschnitt über die Biomasse- Vereinbarung.

CO₂-Gesetze

Das Gesetz zur Wärmeversorgung wird von drei Gesetzen flankiert, die die Möglichkeit bieten, die Umstellung auf umweltschonendere Brennstoffe zu subventionieren. Damit soll verhindert werden, daß ein höherer Wärmepreis als Folge der Umstellung auf die Verbraucher abgewälzt wird. Es handelt sich um die Gesetze 2,3 und 4/1992 mit den Titeln

- “Lov om statstilskud til fremme af decentral kraftvarme og udnyttelse af biobrændsler” (Gesetz über Subventionen zur Förderung von dezentraler Kraftwärme und zur Nutzung von Biobrennstoffen). Hier besteht die Möglichkeit für einen Anlagenzuschuß bis 50%. In der Praxis liegt der Zuschuß bei 20-30% der Anlagensumme. Die Ordnung wurde 1997 bis zum Jahr 2000 verlängert.
- “Lov om tilskud til elproduktion” (Gesetz über Zuschüsse zur Stromerzeugung). Die Verstromung von Erdgas wird mit 10 Öre/kWh, die Verstromung von Stroh und Hackschnitzel mit 27 Öre/kWh bezuschußt. Die Regelung ist zeitlich nicht begrenzt. Allerdings ist am 1. Januar 1997 eine Bekanntmachung in Kraft getreten, nach der für einen Zuschuß in voller Höhe ein Jahreswirkungsgrad der Biomasseanlage von 80% nachgewiesen werden muß.
- “Lov om statstilskud til færdiggørelse af fjernvarmenet” (Gesetz über Subventionen zur Fertigstellung von Fernwärmenetzen). Hier wurde ein Anlagenzuschuß bis zu 50% gewährt. Die Regelung ist Ende 1997 ausgelaufen.

Öre/kWh

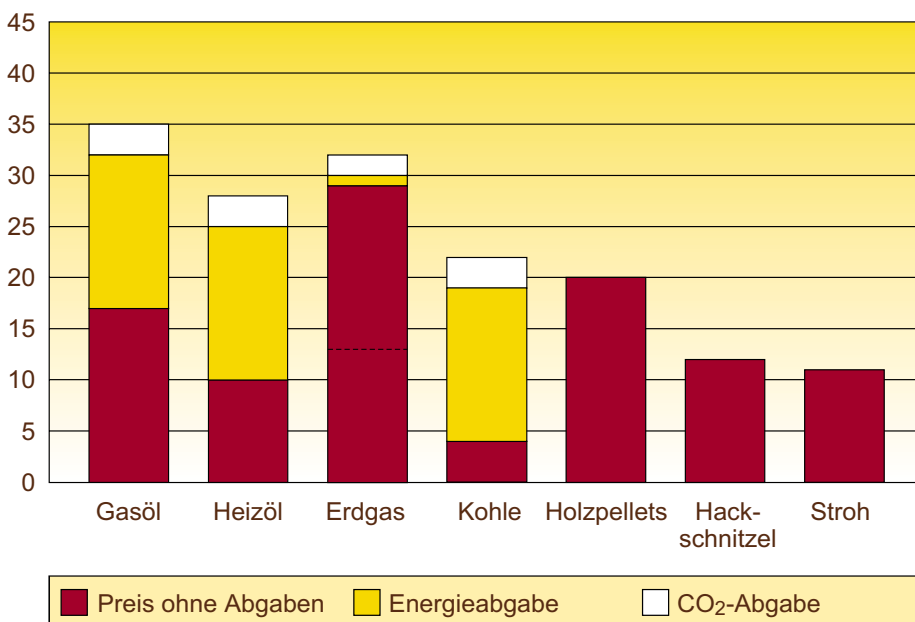


Schaubild 1: Preise für Heizbrennstoffe (einschl. Abgaben, aber ohne MWSt., Stand: Anfang 1998). Kohle und Öl für die Verstromung sind nicht mit Abgaben belastet. Der Preis für Erdgas zur Verstromung beträgt ca. 13 Öre/kWh. Die Stromabgabe ist auf der Rechnung für den Verbraucher aufgeführt.

UVE-Ordnung und der Biomasse-Ausschuß

Als beratendes Organ wurde 1991 vom dänischen Energieminister der “Ausschuß für den Einsatz von Biomasse zur Energieerzeugung” (Udvalget for Biomasse til Energiformål) eingesetzt, der u.a. zwei dreijährige Entwicklungsprogramme ausgearbeitet hat. Das Biomasse-Entwicklungsprogramm (BUP-95 - (35)) ist ein dreijähriges Entwicklungsprogramm für den Zeitraum 1995-97, in dem Maßnahmen zur Förderung der technologischen Entwicklung biomassebasierter Anlagen beschrieben werden. Empfohlen werden u.a. folgende Maßnahmen:

- Entwicklung von Kraft-Wärme-Technologien (Dampf, Vergasung, Stirlingmotor) mit Stroh und Hackschnitzel als Brennstoff.
- Fernwärmanlagen sollten sich auf Brennstoff-flexibilität und umweltverträgliche Brennstoffhantierung konzentrieren.
- Entwickelt werden sollten umweltschonende und benutzerfreundliche Kleinkessel.
- Energiepflanzen sollten im Hinblick auf Anbau, Hantierung und Verwendung untersucht werden.

Das "Entwicklungsprogramm für erneuerbare Energien" (Udviklingsprogrammet for Vedvarende Energi - UVE) der dänischen Energiebehörde unterstützt Projekte zur Förderung des Einsatzes von Biomasse bei der Energieversorgung, als Hintergrundmaterial für die Behandlung von Anträgen dient u.a. BUP-95.

Biomasse-Vereinbarung

Um sicherzustellen, daß die Ziele in Energi 2000 erreicht werden, schlossen die dänische Regierung und die Oppositionsparteien am 14. Juni 1993 eine Vereinbarung über den gesteigerten Einsatz von Biomasse bei der Energieversorgung, besondere Berücksichtigung fand dabei die Verwendung in den zentralen Kraftwerken. Hauptpunkte der Vereinbarung sind:

1. Der Anteil von Biomasse als Brennstoff in den Kraftwerken soll stufenweise erhöht werden, so daß spätestens im Jahr 2000 jährlich 1,2 Mill. Tonnen Stroh und 0,2 Mill. Tonnen Hackschnitzel verwendet werden, dies entspricht 19,5 PJ.
2. Elf Orte in Erdgasgebieten in der Phase 1 und Phase 2, die noch nicht auf erdgasbefeuerte Kraft-Wärme-Kopplung umgerüstet haben, können zwischen Biobrennstoff und Erdgas wählen. Die Umstellung kann bis zum Jahr 2000 ausgesetzt werden, u.a. um kommerziell nutzbare Technologie im Biomasse-Bereich abzuwarten.
3. Phase 2-Orte außerhalb der Erdgasgebiete können mit der Umrüstung bis 1998 warten, sofern biomassebasierte Kraft-Wärme-Kopplung gewählt wird.
4. Sechs Orte in Phase 3 können mit der Umrüstung auf biomassebasierte

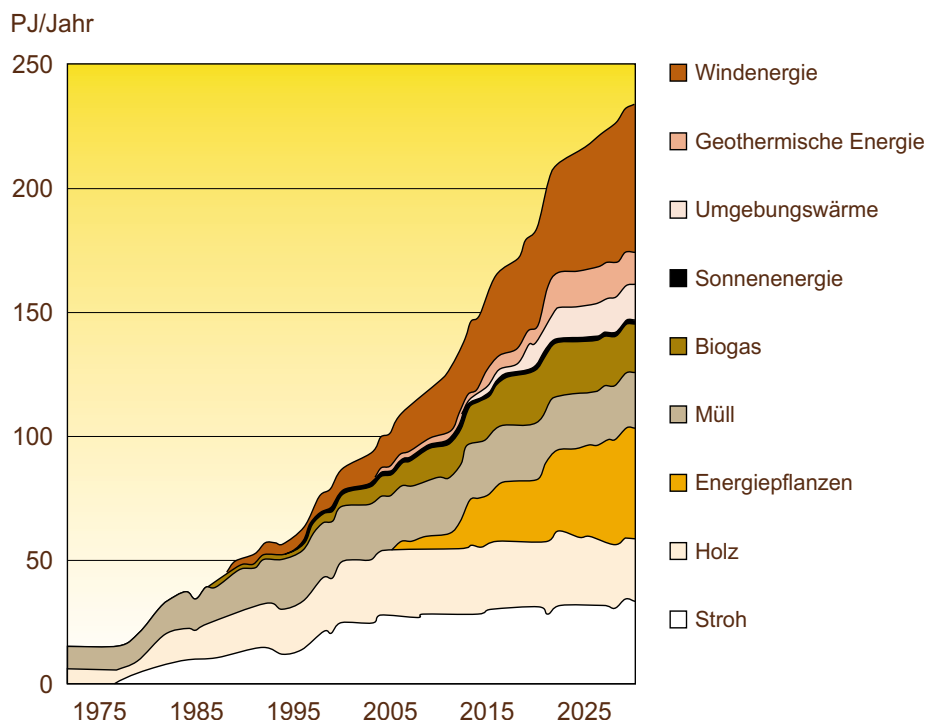


Schaubild 2: Der Energi 21-Vorschlag zur Nutzung regenerativer Energiequellen bis zum Jahr 2030.

Kraft-Wärme-Kopplung bis zum Jahr 2000 warten.

5. Ca. 60 kleinere Orte in Phase 3 müssen bis spätestens Ende 1998 auf biomassebasierte Fernwärme umgerüstet sein.

Die Vereinbarung hat u.a. dazu geführt, daß das Stromversorgungsunternehmen "Sønderjyllands Højspændingsværk" ein biomassebasiertes Kraftwerk in Aabenraa errichtet hat, das jährlich 120.000 Tonnen Stroh und 30.000 Tonnen Hackschnitzel verbraucht. Der Stromversorger "Sjællandske Kraftværker" hat auf Masnedø ein stroh- und hackschnitzelbefeuertes Heizkraftwerk errichtet, ein Werk bei Maribo ist in der Planungsphase. Am 1. Juli 1997 haben die hinter der Biomasse-Vereinbarung stehenden politischen Parteien eine Zusatzvereinbarung abgeschlossen, die die Möglichkeiten einer Eingliederung von Biomasse in die Energieversorgung verbessern soll. Diese Zusatzvereinbarung enthält im wesentlichen folgende Punkte:

- Die zentralen Kraftwerke können freier zwischen Stroh, Holzhackschnitzel und Weidenhackschnitzel wählen, da 1,0 Mill. Tonnen Stroh und 0,2 Mill. Tonnen Hackschnitzel umgesetzt werden sollen, der Rest ist wahlfrei. Allerdings

muß die Gesamtmenge 19,5 PJ entsprechen.

- In Erdgasgebieten wird biomassebasierte Kraft-Wärme-Kopplung zugelassen.
- Die Kommunen müssen der Kraftwärme aus Biogas, Deponiegas und anderer vergaster Biomasse Vorrang einräumen.
- Sieben Orte in Phase 3 können die gegenwärtige Fernwärmeversorgung fortsetzen, bis biomassebasierte Kraft-Wärme-Kopplung technisch und wirtschaftlich sinnvoll ist.

Politische Einigkeit

Es ist charakteristisch, daß wechselnde Regierungen, Parlamentsmehrheiten und Energieminister seit Mitte der 80er Jahre an der Bedeutung einer aktiven Energiepolitik festgehalten und einer ressourcenschonenden und umweltverträglichen Linie immer höheren Stellenwert beigemessen haben. Die Umstellung auf erneuerbare Energieträger mag sehr kostenintensiv erscheinen, ist aber nach allem, was wir heute über globale Kreisläufe und den Treibhauseffekt wissen, zwingend notwendig. Dänemark ist auf mehreren Gebieten im Bereich erneuerbare Energien führend, und der