
Holz als Energieträger wurde 1999 im Auftrag der dänischen Energiebehörde vom Center für Biomasse-Technologie (www.videncenter.dk) ausgearbeitet. Die Publikation kann im Internet unter www.ens.dk abgerufen werden. Die Printausgabe kann bei "Energioplysningen" oder bei den zum Center für Biomasse-Technologie gehörenden Stellen angefordert werden (Anschriften siehe unten):

Informationen der dänischen Energiebehörde EnergiOplysningen Teknikerbyen 45 DK-2830 Virum Tel. +45 70 21 80 10 Fax +45 70 21 80 11 www.energioplysningen.dk	Dänisches Technologisches Institut Teknologisk Institut Kongsvang Allé 29 DK-8000 Århus C Tel. +45 89 43 85 56 Fax +45 89 43 85 43 www.teknologisk.dk	dk-TEKNIK ENERGIE & MILIEU dk-TEKNIK ENERGI & MILJØ Gladsaxe Møllevej 15 DK-2860 Søborg Tel. +45 39 55 59 99 Fax +45 39 69 60 02 www.dk-teknik.dk	Dänische Forschungsanstalt für Wald und Landschaft Forskningscentret for Skov & Landskab Hørsholm Kongevej 11 DK-2970 Hørsholm Tel. +45 45 76 32 00 Fax +45 45 76 32 33 www.fsl.dk
---	---	---	--

Autoren: Helle Serup (Redakteurin), Dänische Forschungsanstalt für Wald und Landschaft
Hans Falster, dk-TEKNIK ENERGIE & MILIEU
Christian Gamborg, Dänische Forschungsanstalt für Wald und Landschaft
Per Gundersen, Dänische Forschungsanstalt für Wald und Landschaft
Leif Hansen, dk-TEKNIK ENERGIE & MILIEU
Niels Heding, Dänische Forschungsanstalt für Wald und Landschaft
Henrik Houmann Jakobsen, dk-TEKNIK ENERGIE & MILIEU
Pieter Kofman, Dänische Forschungsanstalt für Wald und Landschaft
Lars Nikolaisen, Dänisches Technologisches Institut
Iben M. Thomsen, Dänische Forschungsanstalt für Wald und Landschaft

Deckblatt: Deckblatt des "Energiplan 21", Klaus Holsting und Torben Zenths Tegnestue
Harboøre Heizwerk, Ansaldo Vølund A/S
Hacker in Betrieb, BioPress/Torben Skøtt
Radlader auf einem Hackschnitzelhaufen am Måbjerg-Werk, BioPress/Torben Skøtt

Layout: BioPress

Druck: Trøjborg Bogtryk. Gedruckt auf 100% Recyclingpapier

ISBN: 87-90074-26-2

Holz als Energieträger

Technik - Umwelt - Ökonomie

2. Auflage



Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
1. Dänische Energiepolitik	6
2. Holz als Energieressource	9
2.1 Ressourcenverbrauch und verfügbare Ressourcen	9
2.2 Aufforstung und Holz für Energiezwecke	10
2.3 Energiewald	12
2.4 Physische Charakterisierung von Holzbrennstoffen	14
3. Erzeugung von Holzbrennstoffen	17
4. Kauf und Verkauf von Holz für Energiezwecke	21
5. Umweltverhältnisse bei der Erzeugung und Hantierung von Brennstoff	25
5.1 Hackschnitzelerzeugung und Nachhaltigkeit in der Forstwirtschaft	25
5.2 Gesundheitsrisiken und Arbeitssicherheit bei der Hackschnitzel- und Pellethantierung ..	27
6. Theorie der Holzverbrennung	30
7. Kleinere Kessel	33
8. Fernwärmewerke	37
9. Heizkraft- und Kraftwerke	48
10. Vergasung und andere Kraft/Wärmetechniken	54
11. Literaturverzeichnis	60
12. Weitere Informationen	63
13. Herstellerliste - Technologie zur Hackschnitzelerzeugung	64
14. Herstellerliste - Holzfeuerungstechnologie	65
15. Übersicht über hackschnitzel- und pelletbefeuerte Werke	67
16. Einheiten, Umrechnungswerte und Heizwerte	69

Vorwort

Die Emission von CO₂ und anderen Treibhausgasen ist eines der größten Umweltprobleme unserer Zeit. Auf dem UN-Umweltgipfel 1997 in Japan wurde beschlossen, die gesamten Treibhausgas-Emissionen der Welt bis zum Jahr 2012 um 5,2% zu senken. Die EU will ihre Emissionen am stärksten senken - um 8% gegenüber dem Stand von 1990.

Heute werden nur 6% des Energieverbrauchs in der EU durch erneuerbare Energien gedeckt, doch schreibt das im Dezember 1997 veröffentlichte EU-Weißbuch für erneuerbare Energien 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 erneuerbaren Energien in der EU ausmachen.

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 der dezentralen Kraft-Wärme-Kopplung mit Biomasse sowie bei der kostengünstigen Beschaffung des Brennstoffs.

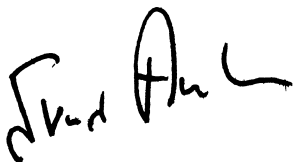
Diese Publikation beschreibt, wie es in Dänemark gelungen ist, die Holzressourcen für eine umweltschonende und CO₂-neutrale Energieproduktion zu nutzen. Sie vermittelt einen Einblick in die neueste dänische Entwicklung bei der Nutzung von Holz für Energiezwecke, sowohl was Technik als auch was Umwelt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

Im Augenblick sind über 10% der Fläche Dänemarks von Wald bedeckt. Geplant ist, diese Fläche im Laufe der nächsten 100 Jahre zu verdoppeln. Die Bäume des Waldes dienen als Bauholz oder werden in der Holzverarbeitenden Industrie verwertet. Daneben liefert der Wald Durchforstungsholz und andere Holzabfälle, die energetisch nutzbar sind.

Langfristig soll mit *Energi 21*, dem Plan der dänischen Regierung für eine dauerhafte und nachhaltige Energieentwicklung, ein Energiesystem entwickelt werden, in dem ein immer größerer Teil des Energieverbrauchs durch erneuerbare Energien gedeckt wird. Voraussetzung dafür ist, dass erneuerbare Energien kontinuierlich und stufenweise entsprechend den technologischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten eingegliedert werden.

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 und in der EU leisten.

Gleichzeitig ist Biomasse ein Bereich, in dem 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 verfolgten 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.

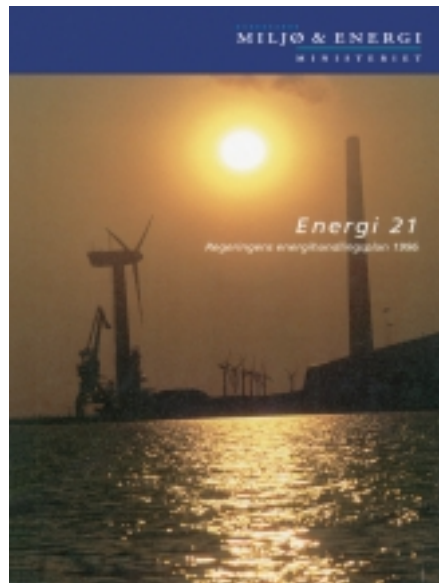
Beim zweiten Plan - Energiplan 81 - lag das Schwergewicht auf volkswirtschaftlichen und umweltmäßigen Aspekten, daneben wurde weiter an einer Verringerung der Abhängigkeit von Brennstoffimporten gearbeitet.

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.

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%
- 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, Subven-



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.

tionen 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.

Die dänischen CO₂-Ziele sollen teils durch eine Verbesserung der Energieintensität um 50% bis zum Jahr 2030 erreicht werden, teils dadurch, dass erneuerbare Energien im Jahr 2030 35% des Bruttoenergieverbrauchs ausmachen sollen.

Energi 21 setzt voraus, dass im Jahr 2005 12-14% des gesamten Energieverbrauchs in Dänemark aus erneuerbaren Energien gedeckt werden. Die mit Abstand wichtigste Energiequelle ist und bleibt Biomasse. 1996 leistete Biomasse einen Beitrag von 61 PJ, dieser Anteil soll bis zum Jahr 2005 auf 85 PJ und bis 2030 auf 145 PJ steigen. Der Anstieg bis zum Jahr 2005 soll vor allem dadurch erreicht werden, dass die zentralen Elektrizitätswerke mehr Stroh und Hackschnitzel verwenden (siehe den Abschnitt über die Biomasse-Vereinbarung). Auch eine stärkere Nutzung von Biogas und Deponiegas wird dazu beitragen, dass das Ziel von 85 PJ erreicht wird. Im Zusammenhang mit Energi 21 wurde bestimmt, die Insel Samsø zu einem Zentrum für erneuerbare Energien auszubauen. Samsø soll somit in Zukunft ein Schaufenster für dänische Umwelttechnologie in diesem Bereich sein.

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 Blockwärmezentralen über 250 kW in ländlichen Gebieten von fossilen auf Biobrennstoffe
- Möglichkeit zur Errichtung von Biobrennstoff-Anlagen, die früher für Erdgas reserviert waren

“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 weit reichende 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" beschrieben 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 wurde von drei Gesetzen flankiert, die die Möglichkeit boten, die Umstellung auf umweltschonendere Brennstoffe zu subventionieren. Damit sollte 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.
- "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 17 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 Gesamtwirkungsgrad der Biomasseanlage von 80% nachgewiesen werden muss. Darüber hinaus wird bei erneuerbaren Energien die CO₂-Abgabe von 10 Öre/kWh rückvergütet. Private Stromerzeuger, die erneuerbare Energien nutzen, bekommen somit einen Gesamtzuschuss von 27 Öre/kWh.
- "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.

Der gegenwärtige Zuschuss in Höhe von 10 Öre/kWh, bzw. 17 Öre/kWh wird im Zuge der Elektrizitätsreform für eine Übergangsperiode über den Abnehmerpreis finanziert. Längerfristig werden der Stromerzeugungszuschuss und die 10 Öre von der CO₂-Abgabe durch grüne

Erneuerbare Energie-Bescheinigungen mit einem Mindestpreis von 10 Öre/kWh ersetzt. Organisierung und Funktion des grünen Marktes werden im Laufe des Jahres 1999 geklärt.

UVE-Ordnung

Ein dreijähriges Entwicklungsprogramm für den Zeitraum 1995-97 (BUP-95 - (6)), dessen Ziel es war, die technologische Entwicklung biomassebasierter Anlagen zu fördern. Empfohlen wurden u.a. folgende Maßnahmen:

- Entwicklung von Kraft-Wärme-Technologien (Dampf, Vergasung, Stirlingmotor) mit Stroh und Hackschnitzel als Brennstoff.
- Fernwärmeanlagen sollten sich auf Brennstoffflexibilität und umweltverträgliche Brennstoffhantierung konzentrieren.
- Entwickelt werden sollten umweltschonende und benutzerfreundliche Kesselanlagen für Privatwohnungen.
- 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.

Werkspool

Zur Förderung dezentraler Kraftwärme und der Nutzung von Biobrennstoffen

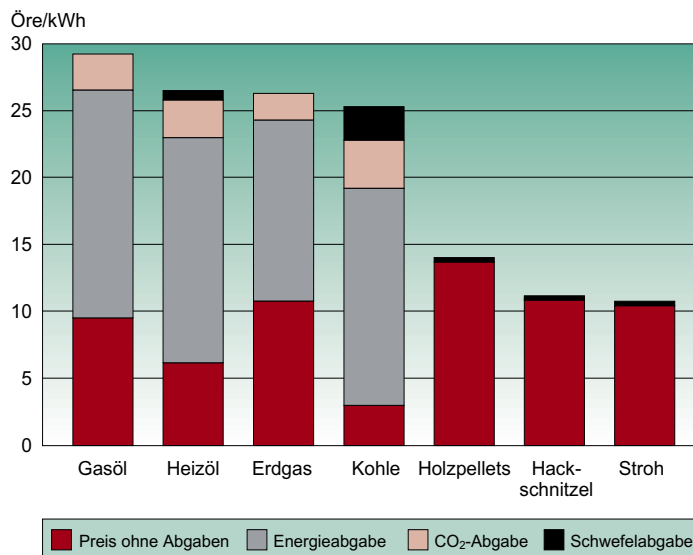


Schaubild 1: Brennstoffpreise Anfang 1999 für die Fernwärmeerzeugung (einschl. Abgaben, aber ohne MWSt. (4).

werden staatliche Zuschüsse gewährt. Die Ordnung umfasst Zuschüsse für die Umstellung von Fernwärmewerken auf Heizkraftwerke mit Biobrennstoffen und für die Förderung der Biobrennstoff-Nutzung in Gebieten ohne kollektive Versorgung. Jährlich können Zuschüsse in Höhe von DKK 25 Millionen gewährt werden.

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 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

PJ/Jahr

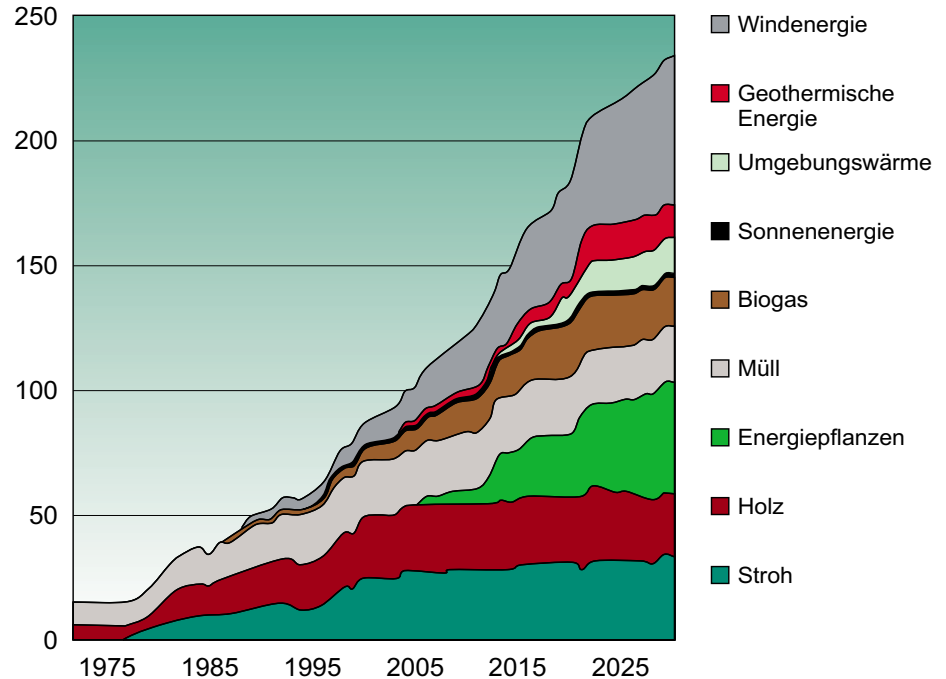


Schaubild 2: Der Energi 21-Vorschlag zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen bis zum Jahr 2030 (2).

men "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, das jährlich 40.000 Tonnen Stroh und 5-10.000 Tonnen Holzhackschnitzel verbraucht. Werke in Maribo-Sakskøbing und in Avedøre bei Kopenhagen sind im Bau.

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 Handlungsplan Energi 21 wird diese führende Position erhalten und festigen.