

Renews Special

特別号 / 2014年2月

背景資料

ドイツ・再生可能エネルギー・エージェンシー



ドイツにおける木質バイオマスエネルギー

～現状と展望～

依頼：ドイツ連邦共和国

環境・自然保護・建設・原子力安全省



Federal Ministry for the
Environment, Nature Conservation,
Building and Nuclear Safety

協力：ドイツ・バイオマス研究センター（DBFZ）

Deutsches Biomasseforschungszentrum
gemeinnützige GmbH

DBFZ



Renewable
Energies
Agency

www.renewables-in-germany.com

著者：

ドイツ・再生可能エネルギー・エージェンシー：
Jörg Mühlenhoff、梶村 良太郎、Nils Boenigk

ドイツ・バイオマス研究センター（第5章）：
Dipl.-Wirtsch.-Ing. David Ziegler、Dr.-Ing. Janet Witt

翻訳：梶村 良太郎
翻訳校正：西村 健佑

2014年2月

発行：ドイツ・再生可能エネルギー・エージェンシー

Agentur für Erneuerbare Energien e. V.

Invalidenstr. 91

10115 Berlin, Germany

Tel.: +49 (0)30-200535-3

Fax: +49 (0)30-200535-51

kontakt@unendlich-viel-energie.de

特別号依頼：ドイツ連邦共和国・環境・自然保護・建設・原子力安全省（BMUB）

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz,

Bau und Reaktorsicherheit

Stresemannstraße 128 – 130

10117 Berlin, Germany

特別号協力：ドイツ・バイオマス研究センター（DBFZ）

Deutsches Biomasseforschungszentrum

gemeinnützige GmbH (DBFZ)

Torgauer Straße 116

04347 Leipzig

目次

1	はじめに	3
2	ドイツにおける木質バイオマスエネルギー利用の実態	4
2.1	エネルギー供給への貢献度（2012年）	4
	トピック：ドイツの暖房事情	5
2.2	木質バイオマスエネルギーの利用形態と利用量	5
2.3	政策目標および支援制度	9
3	ドイツの木材資源量と利用形態	10
3.1	森林木材蓄積量	10
3.2	木材利用の内訳	10
3.3	利用経路	11
4	利用ポテンシャル	13
4.1	林業系木質バイオマス	13
4.2	間伐材、剪定材	13
4.3	工業残材	14
4.4	廃棄木材	14
4.5	ショートローテーション栽培	14
5	木質バイオマスエネルギーにおける価格やコストの推移	15
5.1	燃料価格の推移	15
5.2	設備に対する投資コスト	19
5.3	エネルギー供給コスト	20
6	木質バイオマスエネルギーによる経済的価値の創造と雇用効果	22
7	自然保護と気候保全	24
7.1	木質バイオマスエネルギーと気候保全	24
7.2	木材利用と自然保護	24
8	まとめ	26
9	文献	27

1 はじめに

木材のエネルギー利用は遥か原始の焚き火にまで遡ることができ、今日のバイオエネルギーにおいてもなお重要な位置を占めている。生物由来の固形燃料である木材は、他の固形・液状・ガス状のバイオエネルギー資源と共に、ドイツのエネルギー供給に著しく貢献している。木質専焼の熱供給発電所や木質ペレット暖房装置、ガス化燃焼装置など、高効率の木質バイオマス燃焼技術による電力と熱の供給が可能となっている。地域で生産されるカーボンニュートラルな再生可能資源である木質バイオマスは、気候変動や化石燃料価格の高騰が懸念されている現在、ことさら注目を集めている。特に熱供給セクターでは、多くの一般住宅のほか、地方自治体や企業でも木質バイオマスエネルギーの導入がはじまっている。

本稿では、ドイツにおける木質バイオマスエネルギー利用の現状とポテンシャルを紹介し、自然保護・環境保護の観点から見た議論を採り上げる。まず、ドイツの木質バイオマスエネルギーの利用規模と形態、そして行政による助成体制の概要を紹介する（第 2 章）。続いて、ドイツの木材資源量とその利用経路（第 3 章）、各種木材資源のエネルギーポテンシャル（第 4 章）、木質燃料の価格推移と木質バイオマスエネルギーの供給コスト（第 5 章）、経済価値の創造と雇用効果（第 6 章）、環境保護・自然保護との関係性（第 7 章）について、順に紹介する。

2 ドイツにおける木質バイオマスエネルギー利用の実態

2.1 エネルギー供給への貢献度（2012年）

ドイツでは木質バイオマスエネルギーは主に熱供給に利用されており、電力供給への貢献度は比較的低い。バイオエタノールなどの動力燃料セクターにおいては、現在のところ特筆すべき利用例は存在しない。電力セクターでは、再生可能エネルギーが全体で2012年の総発電量の22.6パーセント、バイオマスのみでも7.0パーセントを占める（図1）。木質バイオマスによる発電は116億キロワット時に達し、全体の1.9パーセントを担っている。

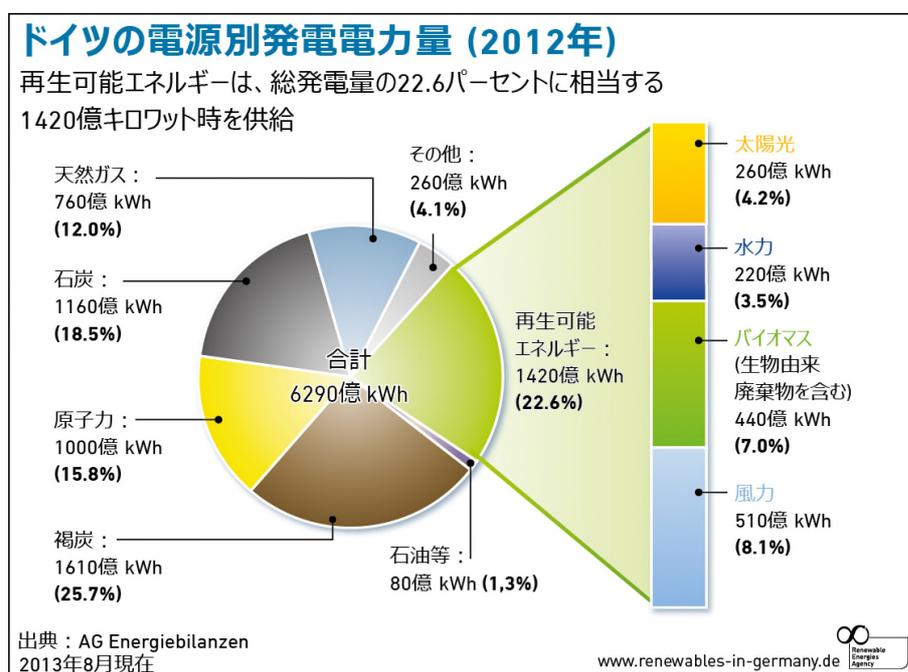


図 1

熱供給セクターでは、木質バイオマスは最も重要な再生可能エネルギー源である。2012年、全国の総熱利用量の7.4パーセントに相当する1027億キロワット時（*注1）が木質バイオマスによって生産されており、ごみ焼却施設で再利用される廃棄物系バイオマス（熱利用総量の0.7パーセント）も含めると、固形バイオマスは再生可能熱エネルギーの79.6パーセントを占めている（図2）。

*注1： 約883万石油換算トン。

ドイツでは熱量をキロワット時で表示するのが一般的（1億キロワット時 ≒ 8600石油換算トン）。

再生可能エネルギーによる熱供給 (2012年)

再生可能エネルギーはドイツの熱消費の10.2%を供給
最も重要な熱源はバイオマス

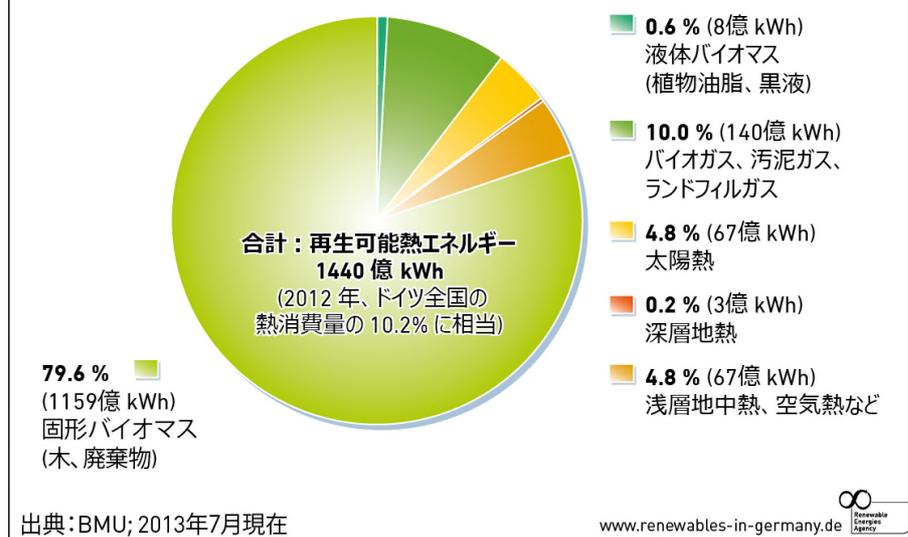


図 2

トピック：ドイツの暖房事情

ドイツは気候、建築、生活習慣などが日本と異なるため、家庭暖房を中心とした熱利用事情も大きく異なる。年間気温は日本の東北から北海道に近く、冬場は全館暖房が基本となるため、家庭の年間エネルギー利用の73パーセントが室内暖房となっている(2011年)。同年の日本家庭のエネルギー利用におけるの室内暖房の割合は、27パーセントである。また、オール電化が進む日本とは違い、暖房エネルギーのほとんどが灯油や天然ガス、そして近年ではバイオガスや木質バイオマスの燃焼によって供給されている。

2.2 木質バイオマスエネルギーの利用形態と利用量

木質バイオマスエネルギーには、主に伐採や製材時に発生する残材が利用されている。高品質の心材はマテリアル利用が主流で、建設業や家具生産などに出荷されている。エネルギー利用に出荷される森林木材の割合は比較的低く、主に低品質の辺材や枝葉などが用いられている。

エネルギー利用される木質バイオマス			
	林地残材や間伐材・剪定材	工業残材 (おが屑、木粉など)	廃棄木材
木質バイオマス燃料			
	ショートローテーション栽培 (ポプラ、ヤナギなど)	原木	
			
	木チップ	木質ペレット	シュレッダー木材
			
薪	木質ブリケット		

写真提供: AEE, FNR, BAV, C.A.R.M.E.N, TFZ, wendenergie.de, energie-pflanzen.info

ドイツでは全国の約四分の一の家庭で木質バイオマスが暖房に用いられている。主流となっているのは約1500万台の暖炉や薪ストーブなどだが、これらの単室暖房設備は通常、インテリアとしての位置付け強く、既存のセントラルヒーティングによる全館暖房を代替するものではない。しかし、近年一般家庭や企業でも木チップ、木質ペレット（図3）、薪などによる木質セントラルヒーティング設備が普及し始めている。2001年以降、連邦経済輸出管理庁（BAFA）所轄の市場活性化プログラム（Marktanreizprogramm、略MAP）による助成を受けている100kW以上の燃料自動供給式木質セントラルヒーティング設備だけで、25万台以上が稼働している（表1）。ドイツ全国で稼働している木質セントラルヒーティング設備の総数はこれを大きく上回るものと思われており、統計によっては最大70万台と推測されている。

表 1: ドイツにおける木質セントラルヒーティング設備 (2011 年)

設備の種類	木チップ暖房*	木質ペレット暖房*	薪暖房*	薪暖炉・薪ストーブ
総数 (台)	約 1 万 1000 (100 kW 以下)	約 15 万 5000 (100 kW 以下)	約 9 万 (100 kW 以下)	約 1500 万
設備容量	約 565 MW _{th} (*注 2)	約 2900 MW _{th}	約 2650 MW _{th}	不明
総エネルギー供給量	約 10 億 kWh _{th} (*注 3)	約 49 億 kWh _{th}	約 45 億 kWh _{th}	約 572 億 kWh _{th}
利用燃料	木チップ	木質ペレット	薪	薪、木質ブリケット

* 燃料自動供給式セントラルヒーティング設備。2001 年以降で市場活性化プログラム (MAP) による助成措置を受けた設備のみを把握。実際の設置台数はこれを大幅に上回るものと思われる。

出典: AEE

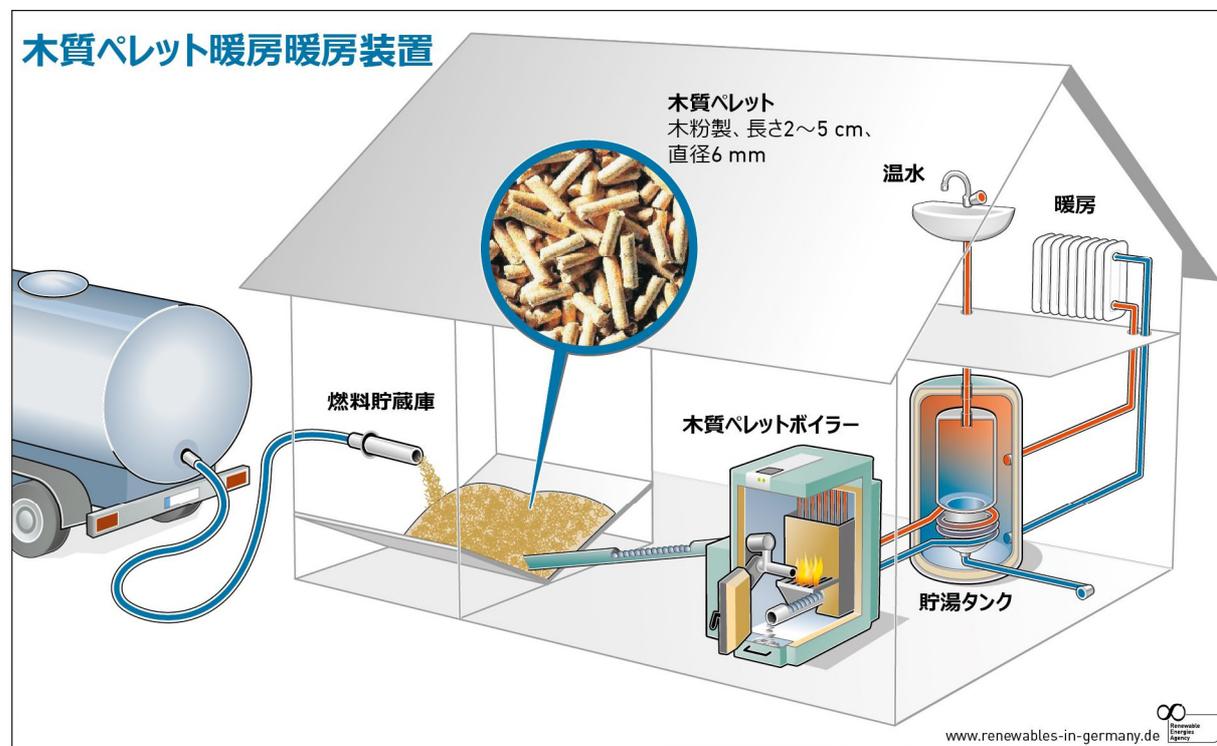


図 3

これら家庭用の中小規模設備に加えて、数メガワット級の大規模設備も各地で稼働している。木質バイオマスによる熱供給発電所 (約 360 基) や熱供給プラント (数千基) は通常、産業や自治体の地域熱網にエネルギーを供給している。熱供給発電所は、コージェネレーション方式で熱と電力の両方を生産し (図 4)、熱供給プラントは熱のみを生産して地域暖房網などに供給している。また、一部のごみ焼却施設や石炭・褐炭火力発電所では、バイオマス (木質、家庭ごみ、下水汚泥など) の混焼を行っている。

*注 2: 「MW_{th}」は「MW thermal」の略で、熱出力を指す単位。1MW_{th}は1メガワットの熱出力となる (1MW = 1000kW)。

*注 3: 「kWh_{th}」は「kWh thermal」の略で、熱量を指す単位。1kWh_{th}は1キロワット時の熱エネルギーとなる。

表 2: ドイツにおける大型の木質バイオマスエネルギー設備 (2011 年)

施設の種類の	木質専焼の熱供給発電所	木質専焼の熱供給プラント	バイオマスの混焼
総数 (基)	360 EEG 助成制度に把握されている 10kW 以上のガス化燃焼装置を含めると、推定 440	数千	87 (ごみ焼却施設と火力発電所)
設備容量	1505 MW _{el} (*注 4) ▪ 内、製紙・パルプ産業のプラントが約 220 MW _{el} ▪ 木質ガス化燃焼装置が約 23 MW _{el}	不明	1700 MW _{el} (ごみ焼却のみ)
エネルギー供給量	▪ 電力 89 億 kWh _{el} ▪ 熱 139 億 kWh _{th} + ▪ 製紙・パルプ産業より ▪ 電力 17 億 kWh _{el}	熱 およそ 165 億 kWh _{th}	ごみ焼却施設 ▪ 電力 50 億 kWh _{el} ▪ 熱 76 億 kWh _{th} + 火力発電所の バイオマス混焼 ▪ 電力およそ 20 億 kWh _{el}
利用燃料	▪ 廃棄木材のシュレッダー材 ▪ 林地残材や間伐材・剪定材、ショートローテーション木材を破碎した木チップ ▪ 樹皮、黒液など 紙・パルプ産業の廃棄物 ▪ 木質ペレット (小型プラントのみ)	▪ 木チップ ▪ 廃棄木材のシュレッダー材	▪ 廃棄木材のシュレッダー材 ▪ 木質ペレット ▪ 木チップ ▪ 家庭ごみ ▪ 下水汚泥

出典: DBFZ, BNetzA, UBA, AEE

*注 4: 1MW (メガワット) = 1000 kW。「MW_{el}」は「MW electric」の略で、電力を指す。
1MW_{el} は電力 1 メガワットとなる。

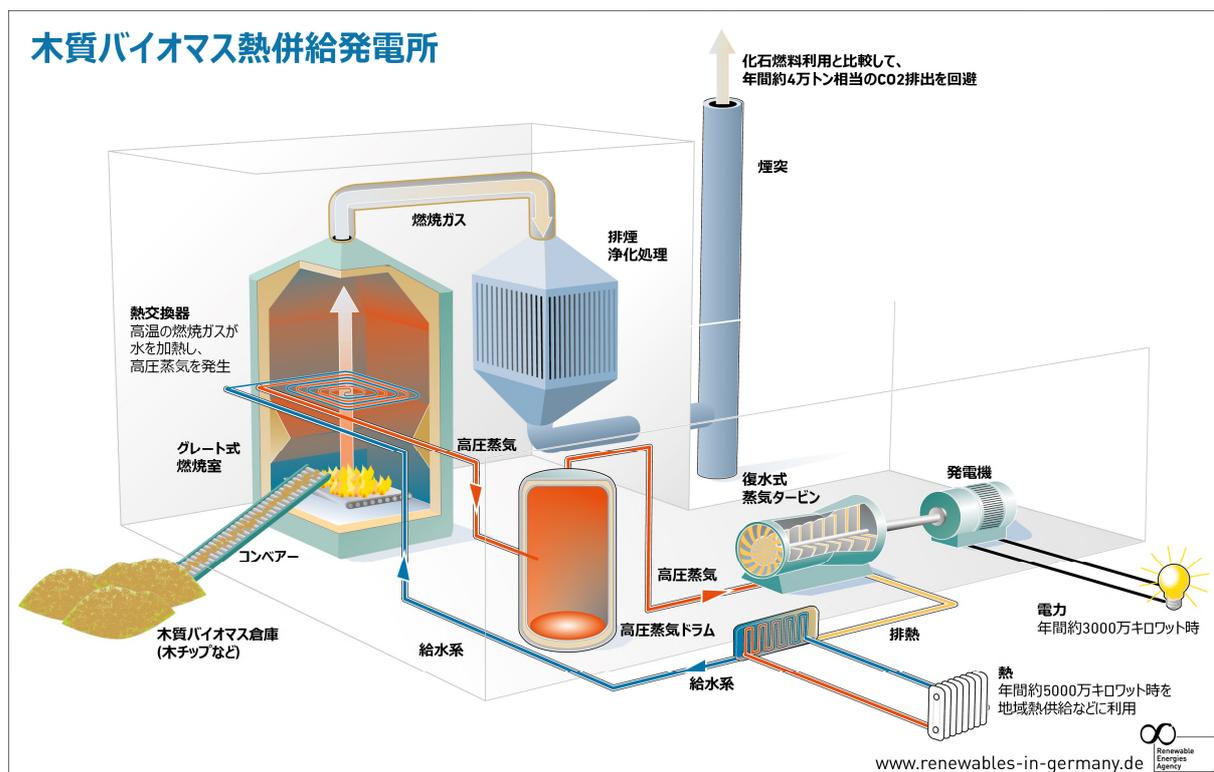


図 4

2.3 政策目標および支援制度

ドイツ連邦共和国の現政権（*注 5）は、今後の再生可能エネルギー導入について目標を設定している。2020 年までに電力消費の 35 パーセント以上、熱消費の 14 パーセント以上を再生可能エネルギーで供給すると定めている。また交通部門では、エネルギー消費の 10 パーセント以上をバイオ燃料などの再生可能エネルギーで賄うとしている。その後の目標としては、2025 年に電力消費の 40～45 パーセント、2035 年に 55～60 パーセントを再生可能エネルギーとして生産することが提案されている。

木質バイオマスによる発電は、再生可能エネルギー法（Erneuerbare-Energien-Gesetz、略 EEG）で支援される技術の一つである。EEG は、再生可能電力を 20 年間、キロワット時あたりの固定価格で買い取ることを保証しているため、投資リスクが低く、施設の新規建設につながっている。

木質バイオマスによる熱供給は、市場活性化プログラム MAP を中心に助成措置が執られている。MAP 助成制度は、燃料自動供給式の木質ペレットまたは木チップ暖房装置（セントラルヒーティング）などに対して投資補助を行っている。また、2009 年の再生可能エネルギー熱法（Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz、略 EEWärmeG）の施行以来、新築家屋は熱消費の一定の割合を再生可能エネルギーで賄うことが義務付けられている。木質ペレット暖房などは、同法の指定する技術として認められており、また木質専焼の熱供給プラントから供給を受ける地域暖房網もこれに相当する。

*注 5： 2013 年 12 月 17 日発足の第三次メルケル政権。
キリスト教民主連合（CDU）と社会民主党（SPD）の連立政権。

3 ドイツの木材資源量と木材利用

3.1 森林木材蓄積量

ドイツは国土の約 31 パーセントが森林であり、林業は農業に次いで二番目の広さの土地を専有している。しかし、森林は木材の調達源である以外に、気候保護や水域・土壌・地盤の保全に貢献し、人々のレクリエーションの場、そして多くの動植物の生息地として幅広い機能を果たしている。従って、持続可能な林業の実現には、これらの諸機能を損なわない営林が求められる。

ドイツには、300 年ほど前に「持続可能性」という概念が林業から生まれた歴史がある。それは再生する以上の木材を利用してはいけないという原則で、森林が持つ様々な機能を後世のために維持する意味を持っている。この持続可能性は、連邦森林法（Bundeswaldgesetz）でも明文化されている。現在、ドイツの森林木材の絶対蓄積量は歴史的にも、地域比較でも高い水準を維持しており、伝統的に森林国とされている北欧諸国を上回っている。国立の農村地域林業水産研究所であるフォン・テューネン研究所（von-Thünen-Institut、略vTI 研究所）が 2008 年に行ったインベントリー調査によると、34 億立方メートル以上の木材が森林に蓄積されており、年間約 1.14 億立方メートルずつ成長している。

3.2 木材利用の内訳

ドイツの森林から実際に収穫される木材のうち、54 パーセントが製材工業に、24 パーセントがエネルギー利用に、13 パーセントが木質ボードなどの木質材料の生産に出荷される（図 5）。

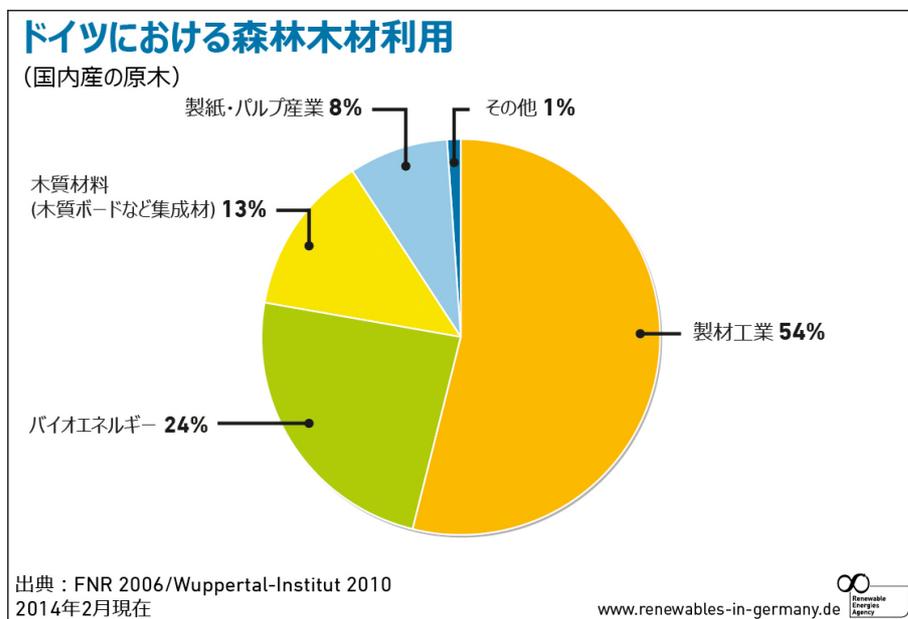


図 5

しかし、この数字はあくまで収穫木材の一次利用を表しており、全木材資源の最終利用量とは異なる。なぜなら製材産業では木粉やおが屑など大量の工業残材が発生しており、その一部がエネルギー生産に再利用されているからである。さらに、上記収穫量に含まれていない廃棄木材や間伐材・剪定材もエネルギー生産に利用されている。

それに対して、ハンブルグ大学の木質資源バランス調査（Holzrohstoffbilanz）はすべての木材資源の目的別利用量を把握している（図 6）。同調査によると、木質資源のエネルギー利用量は 2005～2010 年の間に 2000 万立方メートルの増加を記録し、2011 年は約 7000 万立方メートルとなっている（廃棄木材、間伐材・剪定材などを含む）。2009 年にマテリアル利用量と同程度に達し、2010 年には初めてエネルギー利用量が若干上回っている。このエネルギー利用量急増の原因としては、化石燃料価格の上昇が挙げられる。また、冬の寒冷期が長引いた 2008 年と 2010 年は家庭暖房用の木質燃料の需要が上昇している。それ以前の期間においては、バイオエネルギーに対する助成制度の充実が消費増加につながっている。2007 年以降のマテリアル利用量の一時急落は、2008 年の経済金融危機が原因である。

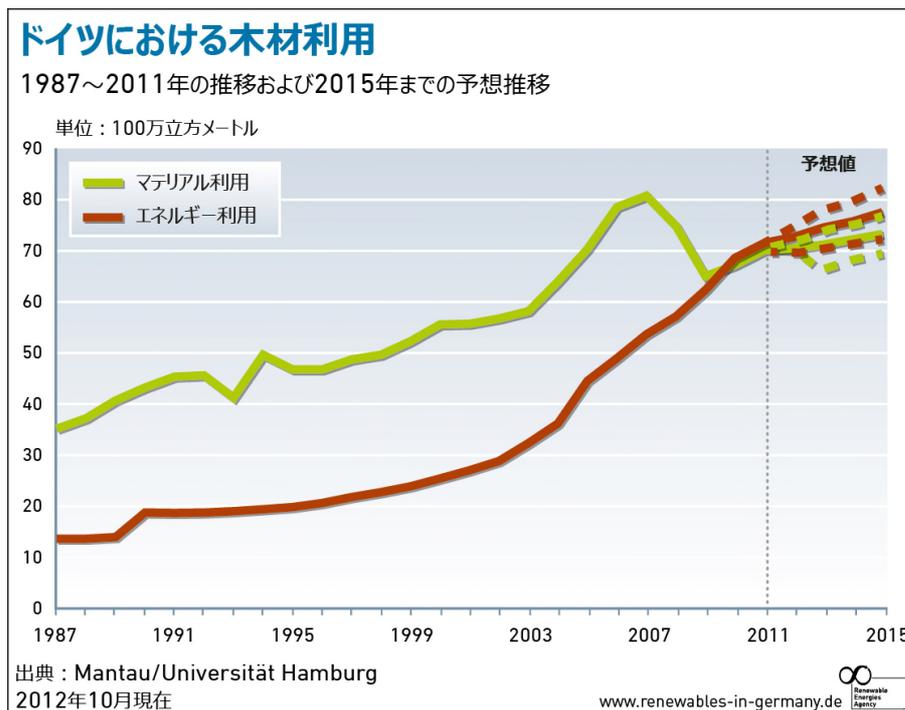


図 6

3.3 利用経路

木質バイオマスは森林で収穫もしくは残材や廃棄物として回収された後、通常は特定の燃料として加工される。例えば、おが屑や木粉はプレス処理を経て、木質ペレットや木質ブリケットとして出荷される。燃料はその後、木質ペレット暖房設備などで燃焼され、最終エネルギーとして電力または熱という形態で最終消費者へと供給される。どの木質バイオマスがどのような経路で利用・処理されて行くかを、図 7 に示す。

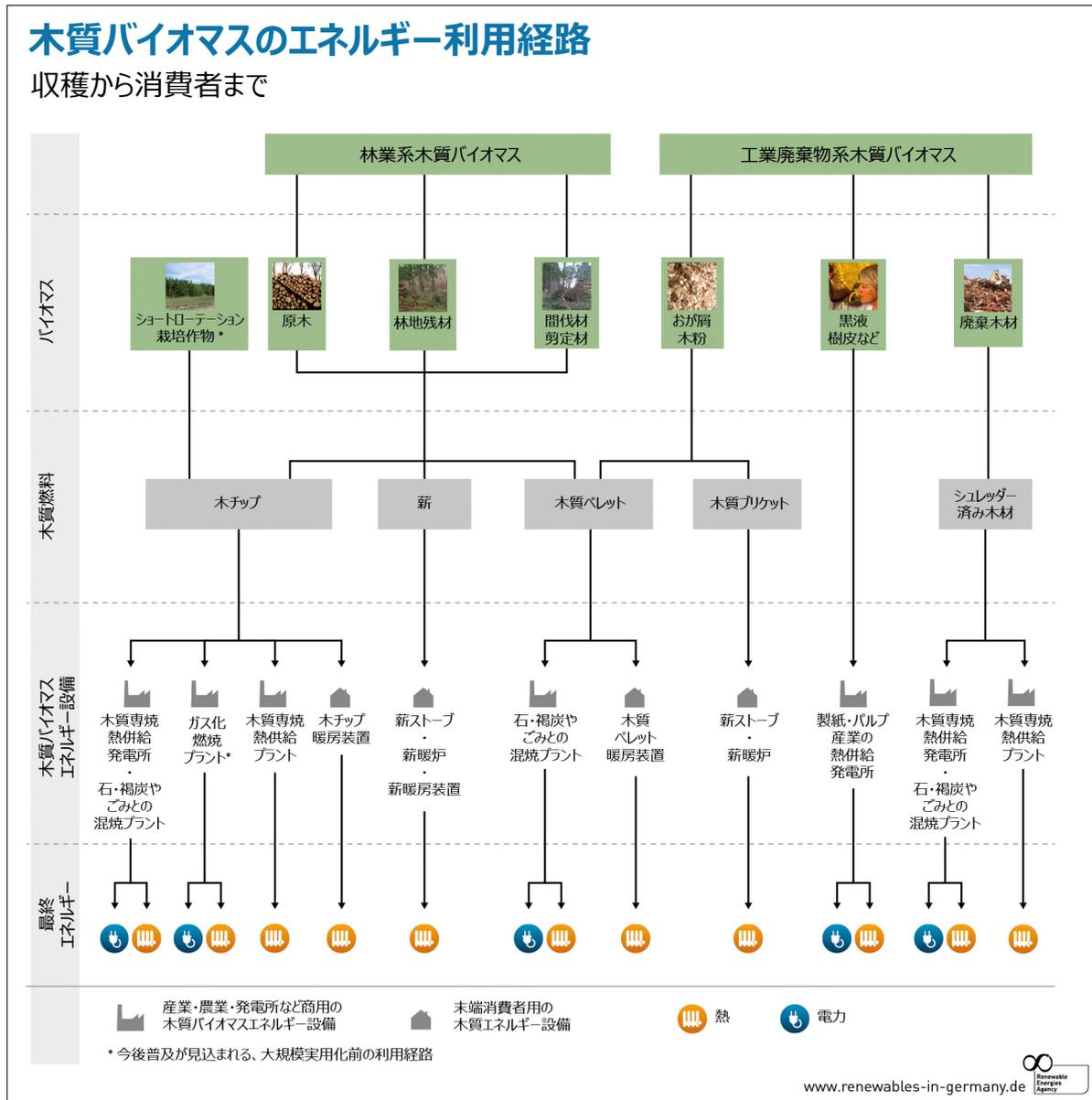


図 7

4 利用ポテンシャル

ドイツ連邦環境省の長期シナリオ 2011 (Langfristszenarien 2011) によると、2011 年当時の政府が定めた再生可能エネルギー導入目標を達成するためには、木質バイオマスのエネルギー利用量も 2030 年まで増加を続ける必要がある。ドイツは大量の木材資源を蓄積しており、年間の成長量は伐採量を上回っている。また、2009 年発表の政府森林報告書 (Bundeswaldbericht) は、今後 15~20 年間は蓄積量が増加するという見通しを立てている。しかし持続可能な林業の原則に即して森林を維持しつつ、木質バイオマスのエネルギー利用と木材のマテリアル利用の両方が長期的に可能かどうか、検証する必要がある。本章では、エネルギー利用が可能なドイツの木質バイオマスの利用ポテンシャルの推計値を紹介する。

4.1 林業系木質バイオマス

林業系木質バイオマスとは、持続可能性基準を考慮した上で森林から収穫でき、エネルギー生産に利用できる全ての木材を指す。まず挙げられるのが、収穫される森林木材のうち、既にエネルギー生産に利用されている木材である (図 5 参照)。ドイツバイオマス研究センター (DBFZ) は、この木質バイオマスの利用可能量 (*注 6) を 24 万 5600TJ (*注 7) と推測している。

木材の収穫や森林の管理の際には、枝葉や梢端などの林地残材が多量に発生する。ドイツ連邦食料農業省の森林・木材クラスター調査によると、収穫される木材のうち実際に利用されるのは 58 パーセントで、14 パーセントは収穫時の損失となり、28 パーセントは林地残材となる。この木材はマテリアル利用に適していないため、16 万 4700TJ という大きなエネルギー利用可能量が推測されている。さらに、現在はエネルギー利用にもマテリアル利用にも充てられていない、未利用の森林成長木材に活用のポテンシャルがある。しかし、この木材は特定の制約を考慮しないと、エネルギー利用の見通しは立たない。まず自然保護区域やアクセスが困難な地域の木材は利用が著しく限定される。さらに森林成長の一部は森林生態系の管理保全計画などに含まれているため、伐採は不可能である。また、土壌栄養が貧しい地域では、林地残材の一部を森林に放置しておかなければならない。

林業系木質バイオマスの利用可能量：	51 万 1400 TJ
内、	
… 既にエネルギー利用されている木材：	24 万 5600 TJ
… 林地残材：	16 万 4700 TJ
… 未利用の森林成長木材：	10 万 1100 TJ

出典: DBFZ

4.2 間伐材・剪定材

木質バイオマスは、森林以外でも生産されている。本稿で言う「間伐材・剪定材」とは、公園の樹木や街路樹の手入れ、道路上の支障木の除去などに由来する木質バイオマスを指すもので、道路・線路の周辺や河原、農園の周辺地帯など多くの場所で発生している。この間伐材・剪定材は、マテリアル利用に適していな

*注 6： 利用可能量とは、理論的に利用できるバイオマスの潜在的エネルギー（賦存量）ではなく、制度上や技術的な制約を考慮した、実際に燃料として利用できるエネルギー量。

*注 7： 1 TJ (テラジュール) = 1 兆 J (ジュール)

いものの、エネルギー利用資源としての開発も進んでいない。ドイツでは道路周辺の樹木や茂み・植え込みなどだけで年間 30 万トンの排出量が見込まれている。

4.3 工業残材

直接エネルギー利用されるものを除いて、森林木材はまず製材産業や製紙・パルプ産業で建材、家具、木質材料、紙などに加工される。その加工過程に沿って多くの残材が排出され、おが屑、木粉、木チップ、黒液、樹皮などは、熱消費の多い製紙・パルプ産業の熱供給プラント、そして一般の木質専焼熱併給発電所や木質ペレット暖房設備などで燃焼させることができる。

工業残材由来の木質バイオマスの利用可能量

合計：	5 万 7000 TJ
-----	-------------

出典: DBFZ

4.4 廃棄木材

ドイツでは使い古した家具、扉、梱包材や建築廃材などの廃棄木材が年間推定約 800 万トン発生しており、現在その約三分の二がエネルギー利用されている。2002 年の廃棄木材条例 (Altholzverordnung) は、廃棄木材を有害物質の付着度によって分類して再利用することを定めている。汚染度の低い木材は再びマテリアル利用することが許されており、逆に汚染度の高いものは高度な排煙浄化装置を備えた特殊な発電所や熱供給プラントでの燃焼が義務付けられている。主に電気出力 10MW 以上の大型発電施設がこれに該当する。しかし、実際にエネルギー生産に再利用されている廃棄木材は低汚染また非汚染のものが主流である。これらの木材はどのような設備でも燃焼できるためである。DBFZ は、ドイツの廃棄木材系バイオマスの利用可能量を 11 万 6600TJ と推定している。

廃棄木材系バイオマスの利用可能量

合計：	11 万 6600 TJ
-----	--------------

出典: DBFZ

4.5 ショートローテーション栽培

ポプラやヤナギなどのショートローテーション栽培は、耕作者にとっていくつもの実利をもたらす。まず、木材の需要と価格は安定した動きを見せており、実質的な市場が存在していること。ショートローテーション栽培は通常の農業と比べて肥料の使用量が少なくすむため、農地に適さない土地、そして農園の周辺や境界地でも営むことができる。米麦の栽培は作付け、刈り入れなど一年周期でコストが発生するが、ショートローテーション栽培は植付けの周期が 20 年、収穫周期が 3~4 年と長く、主に初期の農園の開墾・植付けなどにコストが集中する。また、ショートローテーション栽培作物は、一般的に農作業が手薄な冬季に収穫されるため、農場の労働負荷の分散にもつながる。植付け・耕作が 20 年周期ということは、土壌の回復や侵食防止、そして土地の生物多様性向上など自然保護上の効果も期待できる。なお、ショートローテーション栽培は農場に視覚的な区切りやコントラストをもたらすため、単調になりがちな農業景観の改善にも貢献する。

5 木質バイオマスエネルギーにおける価格やコストの推移

本章では、ドイツにおける木質燃料の価格推移と、大小の木質バイオマスエネルギー設備の投資コストを概観する。また、木質バイオマスによるエネルギー供給コストも設備別に示す。

5.1 燃料価格の推移

以下、木質燃料各種（廃棄木材、木質ペレット、木チップ、薪、木質ブリケット）のドイツ市場における価格推移を紹介する（*注8）。出典は、欧州経済情報サービス EUWID 社発表の市場情報、中央農業資源マーケティング開発ネットワーク（C.A.R.M.E.N）の市場観察、ドイツエネルギー木材・木質ペレット協会（DEPV）、バイエルン州農林省直属の更新資源技術促進センター（TFZ）、専門誌「Brennstoffspiegel」、FOEX 社の価格指数「Pellet Nordic CIF」である。地域によって利用可能な資源量、燃焼技術、品質、取引量などが異なるため、それぞれの燃料価格を直接比較することは難しい。参考までに、燃焼装置の規模によって異なる燃料利用を紹介する：

- 小規模設備：出力 100 キロワット以下の木質バイオマス暖房装置は主に薪、木質ブリケット、含水率 30 パーセント程度の木チップ、高品質ペレットを利用している。
- 出力 100 キロワット以上の大規模設備（熱併給発電所や熱供給プラント）は主に商業目的で運用されており、主に薪、含水率 50 パーセント程度の木チップ、廃棄木材（チップ化されたものやシュレッダー木材）、そして工業品質ペレットを利用している。

廃棄木材

図 8 に廃棄木材の平均価格と地域による価格幅を示す。廃棄木材条例（Altholzverordnung）によると、廃棄木材は 4 つの等級に分類される。A1 等級は機械的な加工処理以外は施されていない木材で、木以外の物質をほとんど含まないものを指す。等級が下がる（ただし、つけられた数字は増えていく）に連れて、塗料、ニス、保存剤など含有量が多くなる。どの等級の排気木材も、2009 年から 2011 年半ばにかけて価格の上昇が見られた後、流通量と天候の回復とともに若干低下している。冬の寒期が比較的短く、早い時期から建設残材が燃料市場に流通したうえ、前年の長い寒期から消費者が燃料を多く備蓄していたことが主な理由である。また、廃棄物焼却による廃棄木材需要の低下もあり、木質バイオマス・エネルギープラントの点検などが重なっていたため、値下がり傾向が続いた。今後はしかし、欧州全域で廃棄木材の需要が高まると見込まれている。

*注 8：工業品質ペレットについては欧州市場の数字を紹介。

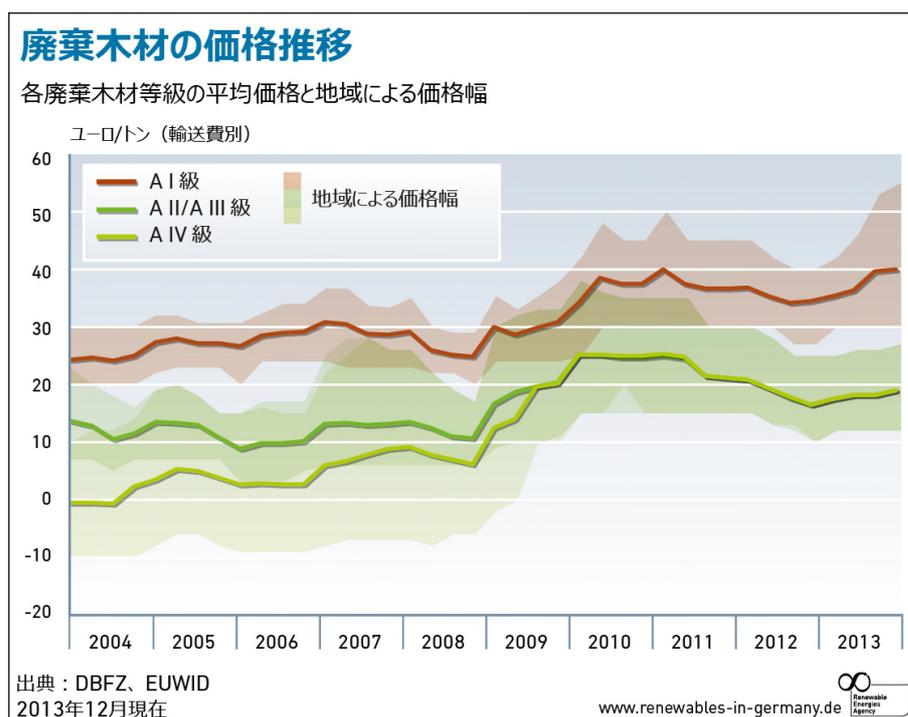


図 8

木チップと間伐材・剪定材（シュレッダー済み）

小口消費者用の木チップは、2004～2011 年の間に価格が倍増している。木チップ燃焼型の木質バイオマス設備が急増したことが原因であるが、近年は上昇傾向が弱まっている。公園や緑地、街路樹の手入れなどで発生する間伐材・剪定材は、価格面でも品質でも、極めて不均一である（工業残材や林地残材を原料とする木チップには、品質面で劣る）。多量の樹皮や土砂などの異物を含んでいる場合もあり、特殊な燃焼技術が必要としている。図 9 に示すとおり、木チップと間伐・剪定材の価格は過去二年間、プラントの出力クラスにかかわらず安定している。今後は微増傾向を見込む声もあるが、地域の市場状況などによって大きく左右されるため、正確な予測は難しい。図 9 に示す価格は、木チップまたはシュレッダー済み間伐・剪定材を含水率 0%とし、見掛け体積（*注 9）80 立方メートルの量を 20 キロメートル輸送配達した場合を基準に算出した消費者価格（税別）である。

*注 9：木材の実質体積ではなく、チップを山積みにしたときの、隙間を含む体積。

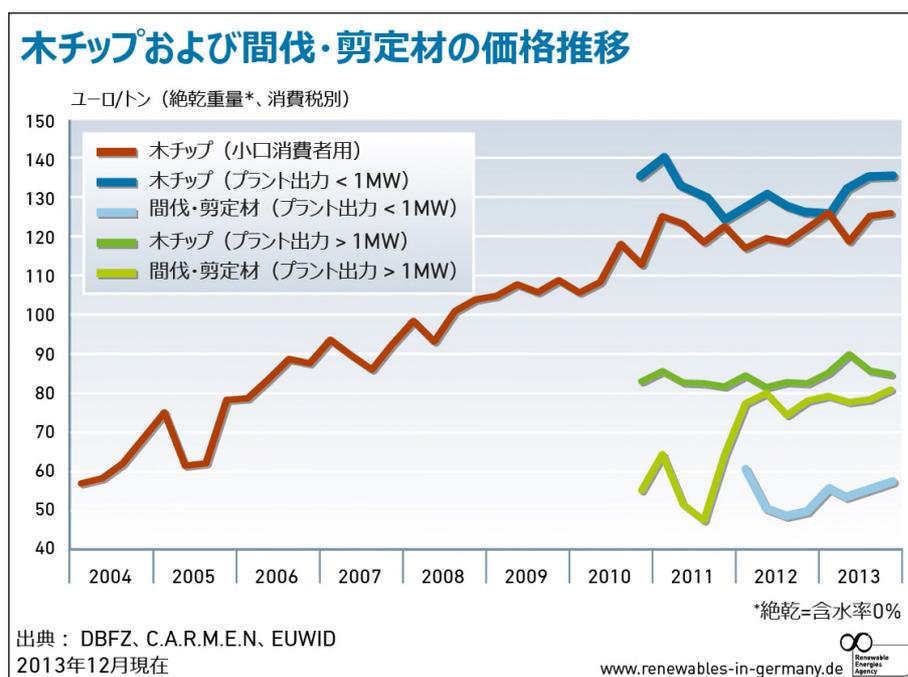


図 9

木質ペレットと木質ブリケット

図 10 に、木質ペレットと木質ブリケットの価格推移を示す。木質ペレットは、2000 年以降ドイツ市場に流通し始めた。家庭暖房など小規模設備用の高品質ペレットは工業用ペレットに比べて価格上昇がより顕著に表れている。その理由は、小口消費者向けの物流にかかるコストだけではなく、小規模暖房設備の燃料品質基準（灰分や微粉率など）を満たす必要があるためである。小規模暖房設備の燃料には、高度かつ頑健な燃烧技術や排煙浄化技術を備えている大規模プラントのための工業用ペレットと比べて、より厳しい品質基準が適用されている。

高品質ペレットの価格推移は、中央農業資源マーケティング開発ネットワーク（C.A.R.M.E.N）とドイツエネルギー木材・木質ペレット協会（DEPV）の市場観測が情報源となっている。毎月全国の木質ペレット製造業者にアンケートをとり、未梱包ペレット 5 トンを 50 キロメートル輸送配達した場合の価格（消費税 7% 込）を調査している。高品質ペレットの価格は 2013 年初頭に初めて穴なしの木質ブリケットの価格を上回っているが、木質ペレットの需要増加が原因である。木質ブリケットの価格動向はここ数年安定している。2009 年以前は価格観測が行われていなかったため、グラフの数値は連邦統計局（Statistisches Bundesamt）の生産者物価指数をもとに算出した推測値である。全体的には木質ブリケットも高品質ペレットも季節価格の季節変動がはっきりと見て取れる。

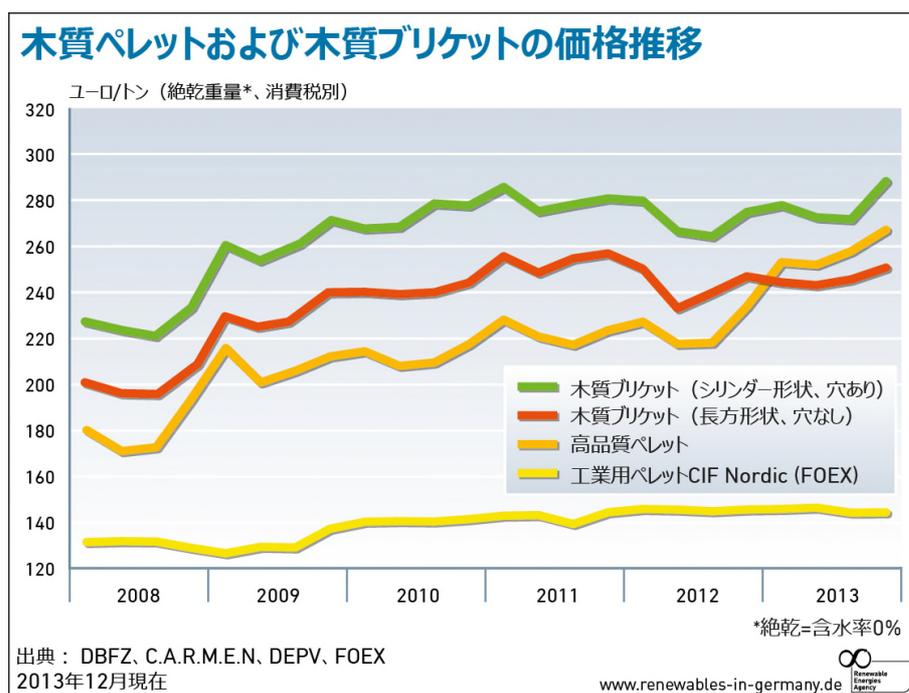


図 10

薪

バイエルン州農林省直属の更新資源技術促進センターTFZ は毎年二回、28 の薪業者（森林所有者、燃料販売業、民間林業など。公共林業やホームセンターは含まれていない）を対象にアンケートを調査を実施して、薪の全国平均価格を公表している。平均価格はオークやブナの硬材を 33cm 長の薪とし、積上げ体積（*注 10）6 立方メートルを 10 キロメートル輸送配達した場合を基準に計算されている。図 11 に示すとおり、価格は 2005 年以降ゆるやかな上昇傾向にある。ただし、個人や森林所有者が自給自足で生産・消費している薪が相当量あり、この統計に把握されていないことに注意しなければならない。

*注 10：木材の実質体積ではなく、薪を積み上げたときの隙間を含む体積。

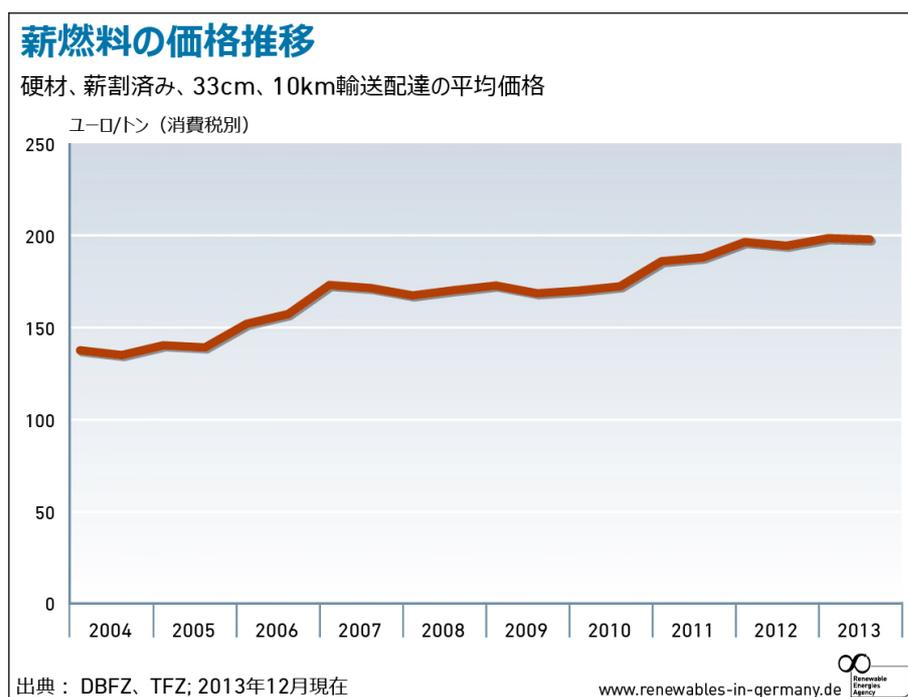


図 11

5.2 設備に対する投資コスト

ここで紹介する木質バイオマスエネルギー生産設備に対する投資コストは、更新資源専門エージェンシー（FNR）発表の市場情報と、DBFZ 独自のバイオマスエネルギー・データベースを参照している。図 12 に示すとおり、薪ガス化暖房装置、木質ペレット暖房装置、木チップ暖房装置の小・中規模セントラルヒーティング設備の定格熱出力あたりの投資コストは、大規模設備と比べて価格幅が小さい。木質バイオマスから熱以外に電力も生産する熱併給発電所は主に発電優先で運用されているため、投資コストを定格電気出力あたりで示している。これらの設備の定格電気出力あたりの投資コストは、発熱と比べて大幅に高いことがわかる。またどの種類の設備も、規模が大きいくほど定格出力あたりの投資コストが低くなることが表れている。

熱供給プラントや熱併給発電所は、設備の燃焼・発電技術によって投資コストが大きく異なる場合があるため、価格幅も広がっている。また、これらの大型プラントは既成品でない場合が多く、個別の設備の設計や建造などにかかるコストが様々な条件に左右されている。そのため、既成品が主な家庭用設備と比べて、全体的に投資コストの価格幅が広がっている。

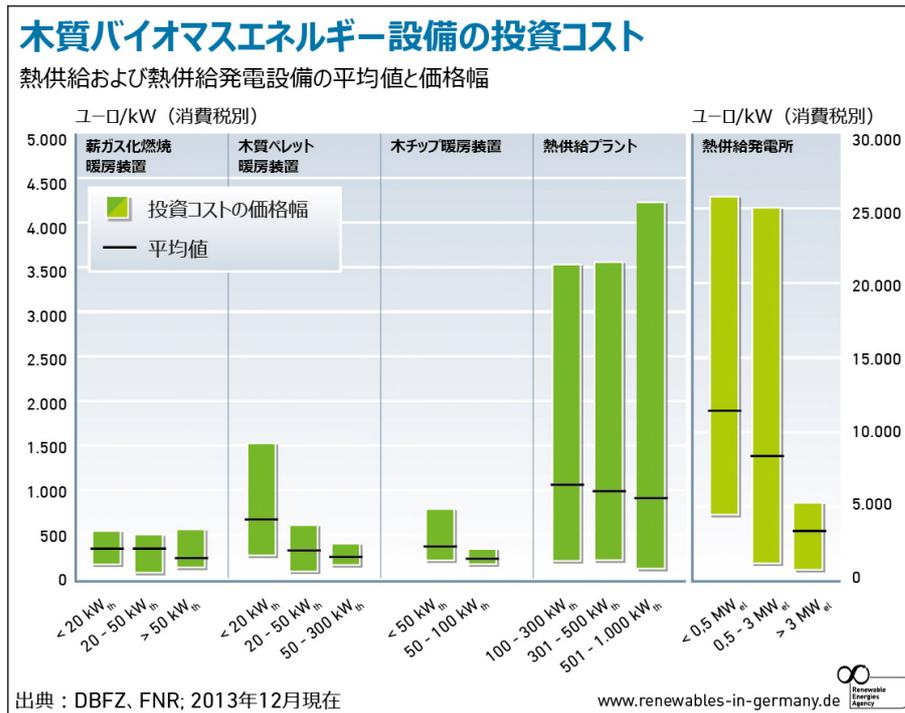


図 12

5.3 エネルギー供給コスト

図 13 は主な木質バイオマスエネルギー設備のエネルギー供給コストを表している。数値は、年間を通じて設備運用にかかる総コストをもとに計算されている。計上されるコストには

- 資本コスト（設備投資、設備維持）
- 消費コスト（燃料、補助材料、廃棄物処理）
- 運用コスト（人件、メンテナンス、排ガスモニタリング）
- その他（保険、管理、賃借など）

が含まれている。定格熱出力 50 キロワット未満のセントラルヒーティング設備の中では、木質ペレット暖房装置の発熱コストが 1 キロワット時あたり 12~16.5 ユーロセントと価格幅が最も広がっている。それと比べて、木チップ暖房装置は 1 キロワット時あたり 10~12 ユーロセントと低い。定格出力数百キロワット~千キロワット以上の大型熱供給プラントの場合、低品質の燃料を利用できるほかスケール・メリットなどもあり、その発熱コストは 1 キロワット時あたり 10 ユーロセント以下とさらに低くなる。

木質バイオマスによる発電のコストは、発熱と比べてコストの価格幅が広い。実験機や実証機も含めた木質ガス化燃焼装置 5 機を調査したところ、電力 1 キロワット時あたりの発電コストが 18~44 ユーロセントとなった。つまり、助成制度などを考慮しても一部の設備では収益をあげられる営業運転は不可能ということになる。定格出力 4 メガワットの蒸気タービンと 1 メガワットの有機ランキンサイクル設備は、比較対象となる設備が市場に存在しないため、複数の年間全負荷相当運転時間を仮定して試算した数字を使用している。年間 7700 時間の全負荷相当運転時間を仮定すると、蒸気タービンによる発電コストは 1 キロワット時あたり 18.4 ユーロセントとなり、3500 時間を仮定すると 28.9 ユーロセントに上る。有機ランキンサイクル設備は同じ仮定負荷で 1 キロワット時あたり 19.0~34.9 ユーロセントの発電コストとなっている。

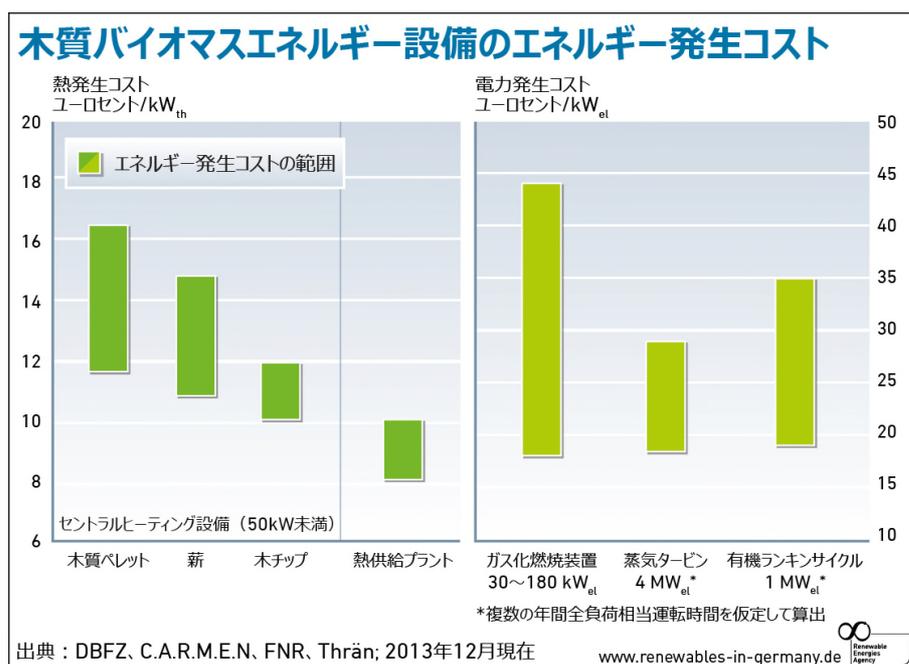


図 13

今後の傾向としては、技術的成熟度の高い熱供給プラントでは大きなコストダウンは難しいとみられる。逆にガス化燃焼装置などは比較的新しい技術で、更なる技術開発と適正な行政措置によっては大幅な発電コスト低減が期待できるとされている。しかし、現在はドイツのエネルギー政策が改革期を迎えており、研究開発主体の多くが活動をためらいがちな傾向にある。

6 木質バイオマスエネルギーによる経済的価値の創造と雇用効果

2000年代の初頭は木材価格が低く、ドイツの自治体の多くにとって所有森林から利益が上がらないために自治体財政への負担となっていた。木質バイオマスによる発電と熱供給は、自治体が所有している森林の経済価値を向上させている。ただし、木質バイオマスエネルギーは林業だけではなく、発電所や暖房設備の設置と運用、木質燃料の生産などといった分野でも経済価値と雇用を生み出している。例えば木質専焼発電所は、バリュー・チェーンの大部分が同じ自治体や地域に集中している。設備の計画、設置、メンテナンス、燃料の供給、そして実際の運転を担うそれぞれの業者は多くの場合、設備立地の周辺に所在している。これら企業は営業利益を収め、被雇用者は所得を、自治体は営業税（Gewerbesteuer）、付加価値税（Umsatzsteuer）、そして所得税（Einkommenssteuer）の一部を収入として得ている。

このような、再生可能エネルギーによる経済的価値の創造効果について、エコ経済研究所（Institut für Ökologische Wirtschaftsforschung、略称 IÖW）が推計調査を行っている。それによると、木質バイオマスエネルギー設備の建設と運用から直接創造される経済価値は、2012年の全国合計で約10億ユーロで、そのうち約6.6億ユーロが自治体レベルで発生している（表3）。木質燃料の生産からは全国合計で約10.5億ユーロ、自治体レベルで7.5億ユーロの経済価値が創造されている（表4）。木質バイオマスエネルギーによる直接的な雇用創出は、全国合計で1万2800人のフルタイム雇用相当人数となっている。これらの数値は設備の建設や運用、燃料生産から発生する直接効果であり、それに先行する部品生産や輸送などにおける間接的な波及効果は含まれていない。

表3：2012年ドイツにおける木質バイオマスエネルギー設備による直接的な経済的価値創造と雇用効果

設備の種類	利益 (税引き後)	被雇用者の純 所得	自治体 の税収 入	経済価値 創造 (自治体レ ベル 合計)	州の 税収入	経済価値創造 (州レベル 合計)	連邦の税・ 賦課金収入	経済価 値創造 (全国合 計)	雇用効果 (*注11)
[単位：百万ユーロ]									[単位：人]
木質専焼 熱供給発電所	179	144	39	362	47	409	137	546	4511
熱供給プラント*	52	145	15	212	21	233	75	307	2645
セントラルヒーティング設備**									
木質ペレット	15	38	4	57	7	64	30	95	1238
薪	5	16	2	23	4	27	14	41	522
木チップ	2	6	1	9	1	10	5	15	199
合計	254	349	60	663	80	743	261	1004	9115
*ドイツ復興金融公庫 KfW による助成を受けた設備の数を元に算出。									
**MAP による助成を受けた設備の数を元に算出しているため、数値は実際より低めに見積られている。									

出典: IÖW

*注11：フルタイム雇用相当人数

表 4：2012 年ドイツにおける木質バイオマスエネルギー燃料生産による直接的な経済創造と雇用効果

設備の種類	利益 (税引き 後)	被雇用者の純 所得	自治体 の税収 入	経済価値 創造 (自治体レ ベル 合計)	州の 税収入	経済価値創 造 (州レベル 合計)	連邦の税・ 賦課金収入	経済価 値創造 (全国合 計)	雇用効果 (*注 10)
	(単位：百万ユーロ)								(単位：人)
木質ペレット	32	20	7	58	11	69	24	93	871
木チップ	33	10	3	46	7	53	14	67	528
薪	580	38	33	651	102	753	137	890	2347
合計	645	68	42	754	120	874	176	1050	3746

出典: IOW

7 自然保護と気候保全

森林は木質バイオマスの供給源であると同時に貴重な生態系空間であり、二酸化炭素の吸収源でもある。本章では、そのような自然保護や気候保全に対する、ドイツの木質バイオマスエネルギーの位置づけを概観する。

7.1 木質バイオマスエネルギーと気候保全

vTI 研究所の森林インベントリー調査は、ドイツの森林を重要な炭素吸収源、そして気候保全に必要不可欠な存在と位置づけている。京都議定書の署名国であるドイツは、森林増加を温室効果ガス排出削減として算入できるため、同調査を行った。それによると、ドイツの森林には合計 12 億トンの炭素が蓄積されており、森林土壌も含めると 22 億トンとなる。

木質燃料は木材に蓄積されている二酸化炭素のみを排出するため、伐採が増加量を上回らない持続可能な林業による木質バイオマスエネルギーはカーボンニュートラルということになる。その結果、森林を維持しながら、化石燃料の燃焼による多量の二酸化炭素排出回避を実現している。木質バイオマスエネルギーによる軽微な二酸化炭素排出（図 14）は燃焼ではなく、設備の建設や燃料の輸送、加工などで発生するものである。こうして、木質バイオマスエネルギーは 2012 年、電力と熱供給の両セクターで合計 4260 万トン（二酸化炭素換算）の温室効果ガス排出を削減している。それは再生可能エネルギー全体による気候保全貢献の 29 パーセントに相当する。

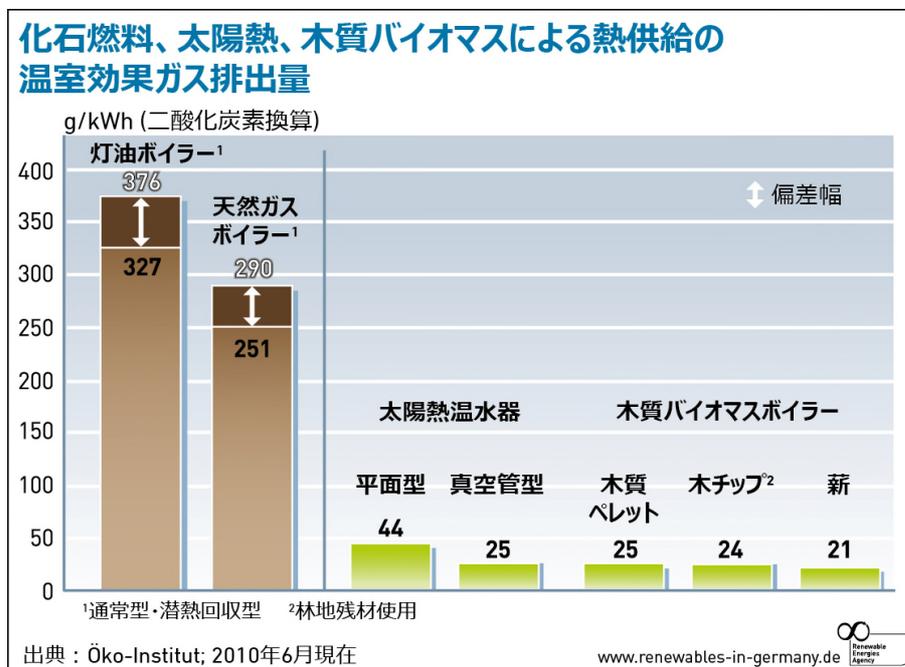


図 14

7.2 木材利用と自然保護

今日、森林に対しては木材産業やエネルギー政策、気候変動対策など各方面からの需要が高まっている。そんな中で如何に持続可能な林業を継続できるのかが問われている。ドイツの森林はトウヒ、マツ、ブナ、オークを中心に構成されている。2008 年のインベントリー調査によると、広葉樹の割合が増える傾向が続いて

おり、樹齢も平均して上がっている。自然保護と生物多様性の観点からは、この広葉樹林の長期維持が望ましいと指摘されている。それは高齢樹木や枯れ木が森林の生物多様性や土壌の栄養環境にとって重要な役割を果たしていることが理由で、同じような理由から林地残材の利用過多に対しても懸念が指摘されている。

行政的措置

森林の生物多様性を保全するために、ドイツでは連邦レベルでいくつもの行政施策を実施している。2007年の「生物多様性国家戦略」（Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt）や、2000年に連邦と全16州、そしていくつかの非政府組織（NGO）が共同で企画したセクター戦略「林業と生物多様性」（Forstwirtschaft und biologische Vielfalt）などである。これらの戦略の主な目的は、種組成が多様な近自然型森林の拡大、老齢木や枯死木を生産林に混在させる持続可能な林業などである。また、EUレベルでは生息地域指令（Habitat-Richtlinie）が「Natura 2000」と呼ばれる自然保護地域を設定しており、ドイツでは森林面積の16パーセントにあたる180万ヘクタールがそのような区域として指定されている。これらの地域では、林業やその他の開発に対して特定の制約が定められている。なお、持続可能な林業はドイツ連邦森林法で義務付けられている。

任意協定

森林木材のエネルギー利用については、ドイツエネルギー木材・木質ペレット協会（DEPV）とドイツ自然保護連盟（NABU）が「持続可能なエネルギー用森林木材収穫のためのガイドライン」を発表している。木質バイオマスエネルギーのために森林を「切り尽くしてはならない」という前提のもと、樹冠から根株までを丸ごと利用する全木利用および皆伐を慎むことや、地域に合った近自然型の種組成の森づくりを呼びかけている。木材や木質製品が持続可能な林業から産出されていることを消費者に証明するためには、森林管理協議会（Forest Stewardship Council、略FSC）やPEFC（Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes）などによる認証制度が普及している。生産者または生産地域の森林が一定の持続可能性基準を満たしていれば、製品に認証マークをつけることが許されている。

8 まとめ

森林は木材資源を生み出す生産林であると同時に、気候保護や水域・土壌・地盤環境の保全に貢献し、人々の娯楽の場、そして多くの動植物の生息地として多種多様な役割を果たしている。これらの機能は互いに相反するものではなく、調和の中で発展させていかなければならない。現在、ドイツの森林木材の絶対蓄積量は 34 億立方メートル以上という歴史的に高い水準を維持しており、地域比較でも伝統的な森林国である北欧諸国を上回っている。その量は毎年 1 ヘクタールあたり約 11 立方メートルずつ増加している。そのため、木材のエネルギー利用とマテリアル利用を拡大しながら、木材資源や木質製品を輸出することも可能である。このような森林利用は森林の世代交代を促すため、危険な森林老朽化を妨げ、炭素吸収の観点からも好ましい発展である。

木質バイオマスエネルギーは特に熱供給セクターで気候保全に大きく貢献している。温室効果ガスの排出削減は、再生可能エネルギーによる削減量全体の約 3 分の 1 にあたる。ドイツが国際協定で誓約している温暖化対策目標や政府の再生可能エネルギー導入目標を達成するためには、木質バイオマスエネルギーは今後も成長を続ける必要がある。価格が上昇を続ける天然ガスや原油など化石燃料に比べても、中期的には安価な熱供給が可能とされているため、更なる拡充の経済的メリットも存在している。ドイツは、今後も木質バイオマスによる電力、熱の供給を拡大できるだけの資源を蓄積している。中でも剪定材・間伐材の再利用とショートローテーション栽培には相当なポテンシャルが見込まれる。林地残材の再利用も拡大の余地があるが、生態学上の理由から一部を森林に残置しておく必要がある。また、家屋の省エネルギーフォームや古い暖房設備の買い替えなどによって、消費者側のエネルギー効率が向上すると、同量の木質燃料でより大きな効果を得ることが可能となる。

木質バイオマスのエネルギー利用とマテリアル利用は、種類の異なる木材資源を利用するため、どちらも衝突することなく発展が可能である。競合が発生し得る部分もあるが、基本的には利用する木材の品質や価格帯の違いから、比較的独立した市場が形成されている。例えば、剪定材や林地残材のエネルギー利用が増加しても、高品質な木材を必要とするマテリアル利用にはほとんど影響しない。しかし、木質ボードなど木質材料の生産は、同じ工業残材（おが屑など）を利用する木質ペレット生産との競合関係が強まっている。もっとも、木質バイオマスエネルギーの増加にもかかわらず産業用木材の価格は長年に渡って安定しており、木質材料の原料供給は十分に確保されていると考えられる。その他の分野で、今後木質バイオマスエネルギーとの原料競合が発生したとしても、上記の木質バイオマスの利用ポテンシャルを適切に開発すれば、依然持続可能な状態で木材需要を賄うことができる。売り上げや雇用が長年伸び悩んでいたドイツの林業と木材産業の中であって、木質バイオマスエネルギーは重要な経済的支柱となっている。これらの産業はドイツの農村や山間地域で経済的・社会的に大きな役割を果たしており、木質バイオマスのエネルギー利用は今後、雇用確保に大きく貢献すると考えられている。

9 文献

- AFZ – Der Wald: Inventurstudie 2008, Nr. 20/2009, 19.Oktober 2009.
- Agentur für Erneuerbare Energien (AEE): Potenzialatlas Bioenergie in den Bundesländern. Berlin, Januar 2013.
- AEE: Renews Spezial Ausgabe 66. Holzenergie. Bedeutung, Potenziale, Herausforderungen. Berlin, April 2013.
- Bienge, Katrin (Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie, WI): Kaskadennutzung: Optimierte Nutzung nachwachsender Rohstoffe zur Steigerung der Ressourceneffizienz. Vortrag, Iserlohn, 25. März 2010.
- Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV): Holzmarktberichte 2009-2011. <http://www.bmelv-statistik.de>
- BMELV: Waldbericht der Bundesregierung 2009. Berlin, Juni 2009.
- BMELV: Bundeswaldinventur 2, 2008. <http://www.bundeswaldinventur.de>
- BMELV: Cluster Forst und Holz. Sonderdruck der im Holz-Zentralblatt von 2006 – 2008 veröffentlichten Ergebnisberichte der Teilstudien. Bundesweite Clusterstudie des BMELV im Rahmen der „Charta für Holz“. Berlin, Oktober 2008.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Leitstudie 2008. Weiterentwicklung der „Ausbaustrategie Erneuerbare Energien“ vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas. Berlin, Oktober 2008.
- BMU: Erneuerbare Energien in Zahlen. Nationale und internationale Entwicklung. Berlin, Juli 2013.
- C.A.R.M.E.N.: <http://www.carmen-ev.de/infothek/preisindizes/hackschnitzel>
- C.A.R.M.E.N.: <http://www.carmen-ev.de/infothek/preisindizes/holzpellets>
- C.A.R.M.E.N.: Wärmegestehungskosten:
<http://www.carmen-ev.de/biogene-festbrennstoffe/biomasseheizwerke/wirtschaftlichkeit/474-waermegestehungskosten>
- Deutsches Biomasse Forschungszentrum (DBFZ): EEG-Monitoring 2011. Leipzig, März 2012.
- DBFZ: Globale und regionale räumliche Verteilung von Biomassepotenzialen. Status Quo und Möglichkeit der Präzisierung. Anhang I – Regionale Biomassepotenziale. Leipzig, März 2010.
- DBFZ: Identifizierung strategischer Hemmnisse und Entwicklung von Lösungsansätzen zur Reduzierung der Nutzungskonkurrenzen beim weiteren Ausbau der energetischen Biomassenutzung. Leipzig, Februar 2009.
- Deutscher Energieholz- und Pellet-Verband (DEPV)/Naturschutzbund Deutschland (NABU): Leitlinien für eine nachhaltige Energieholzgewinnung im Wald. Berlin, Mai 2009.
- DEPV: Preisentwicklung Pellets 2008-2013
http://www.depv.de/de/home/marktdaten/pellets_preisentwicklung
- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)/Institut für Energie- und Umweltforschung (IfEU)/WI: Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien. Stuttgart / Heidelberg / Wuppertal, März 2004.
- DLR/Fraunhofer IWES/Ingenieurbüro für neue Energien (IfnE): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. Stuttgart/Kassel/Teltow, März 2012.
- EUWID Neue Energien: EUWID Neue Energien 03/2011 Bd. 03/2011
- EUWID Neue Energien: Marktbericht für Altholz Bd. 2004-2013
- EUWID Neue Energien: Marktberichte für LPH und HHS 2010-2013
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) <http://www.fnr.de>

- FNR (Hrsg.): Hackschnitzelheizungen Marktübersicht. Rostock, 2012.
- FNR (Hrsg.): Marktübersicht Scheitholzvergaser-/Kombikessel. Rostock, 2012.
- FNR(Hrsg.): Pelletheizungen Marktübersicht. Rostock, 2013.
- FNR (Hrsg.): Heizen mit Holz. Rostock, 2013.
- FOEX: Preis Index PIX Pellet Nordic CIF. <http://www.foex.fi>
- Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW): Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte durch den Ausbau Erneuerbarer Energien. Berlin, August 2013.
- Mantau, Udo (Infro/Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft): Holzrohstoffbilanz Deutschland. Entwicklungen und Szenarien des Holzaufkommens und der Holzverwendung von 1987 bis 2015. Hamburg, Oktober 2012.
- Mantau, Udo (Infro/Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft): Energieholzverwendung in privaten Haushalten 2010. Marktvolumen und verwendete Holzsortimente. Hamburg, Mai 2012.
- Mantau, Udo (Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft): Holz – Potenzial und Verfügbarkeit. Konferenzbeitrag, 3. BtL-Kongress, Berlin, 15. Oktober 2008.
- Oehmichen, Katja, et al (von-Thünen-Institut): Inventurstudie 2008 und Treibhausgasinventar Wald. Landbauforschung. vTI Agriculture and Forestry Research. Sonderheft 343.
- Seintsch, Björn (von-Thünen-Institut, vTI): Holzbilanzen 2009 und 2010 für die Bundesrepublik Deutschland. Hamburg, August 2011.
- Seintsch, Björn (vTI): Entwicklungen des Clusters Forst und Holz zwischen 2000 und 2007. Hamburg, Mai 2010.
- TFZ: Aktuelle Scheitholzpreise 2004-2013, <http://www.tfz.bayern.de/festbrennstoffe/energetischenutzung/035134/index.php>
- Thrän, D. (Hrsg.), Pfeiffer, D. (Hrsg.), M. Zeymer, M. , Herrmann, A. , Oehmichen, K. : Effizient, umweltverträglich, dezentral – Neue Konzepte für die Nutzung von biogenen Festbrennstoffen, Teil 1. Leipzig, 2013.
- Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie: Kaskadennutzung von nachwachsenden Rohstoffen. Ein Konzept zur Verbesserung der Rohstoffeffizienz und Optimierung der Landnutzung. Wuppertal, August 2009.