

Deutsches Biomasseforschungszentrum

gemeinnützige GmbH



ドイツにおけるバイオマス産業用熱の現状と課題

Current Status and Issues of Biomass Industrial Heat in Germany

Dr.-Ing. Volker Lenz



International Symposium on Biomass Industrial Heat, Tokyo

13th January 2023

ドイツバイオマスリサーチセンター -スマート・バイオエネルギー- DBFZ – Smart Bioenergy



Bilder: Stefan Rauchhaus / DBFZ,
Nurtag, Mader Images / Schulz und
Schulz Architekten GmbH

- 統合、自由競争、需要志向のエネルギー供給
Integrated, free competition and demand-oriented energy supply
- バイオベース燃料の複合的な生産
Combined production of bio-based fuels
- 高効率でクリーンな技術開発
Development of high efficient and clean technologies
- 完全な包括的サステナビリティ・モニタリング Fully comprehensive sustainability monitoring
- バイオマスからの最適なバリューチェーン Optimal value chain from biomass

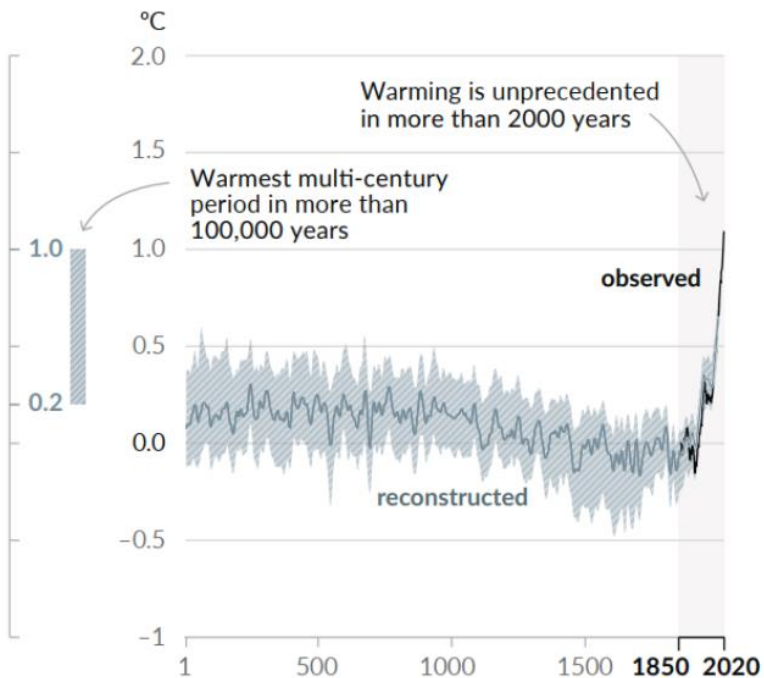


バイオエネルギーに関わるあらゆる問題を研究 Research on all issues related to bioenergy 2

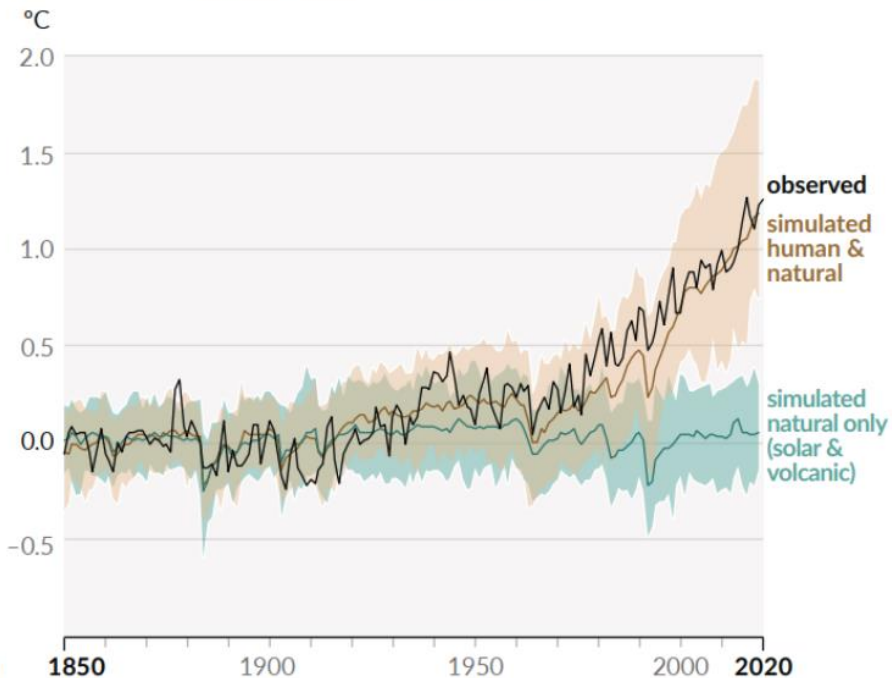
私たちは地球を暖めている

Changes in global surface temperature relative to 1850–1900

(a) Change in global surface temperature (decadal average) as **reconstructed** (1–2000) and **observed** (1850–2020)

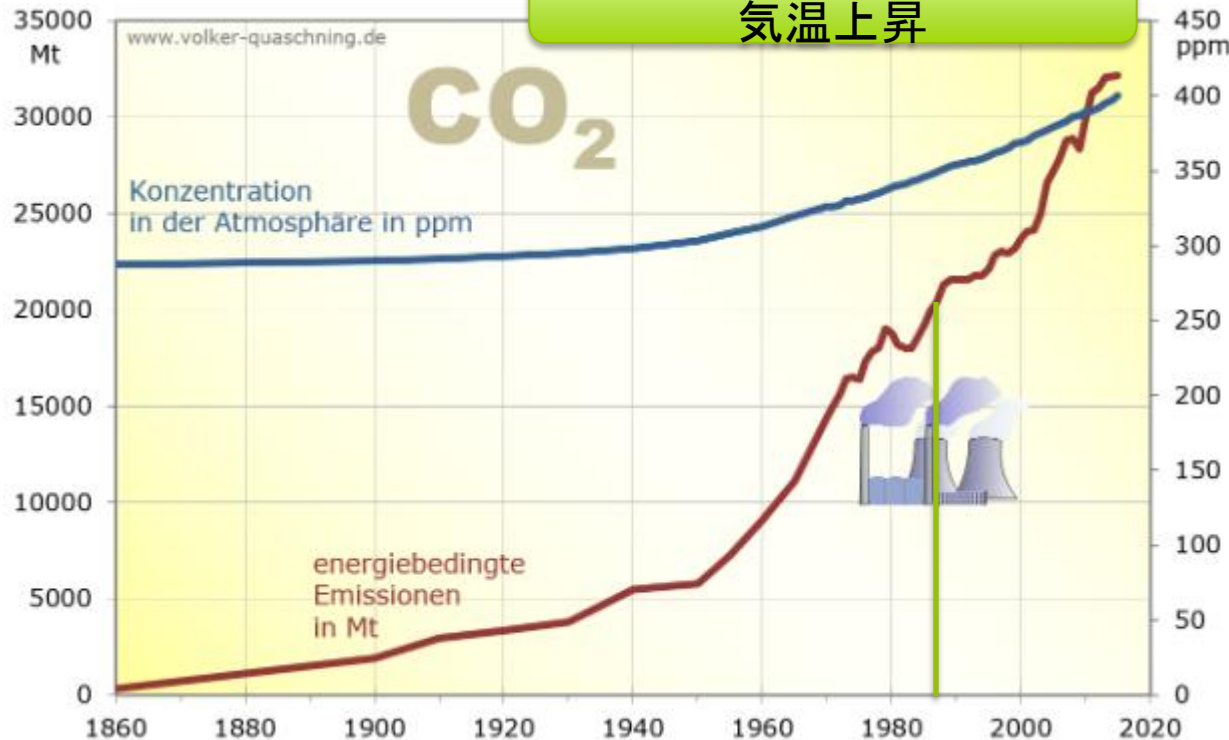


(b) Change in global surface temperature (annual average) as **observed** and simulated using **human & natural** and **only natural** factors (both 1850–2020)



急激な気候変動は私たちの世代に責任がある!

これまでに約1.1 °Cの
気温上昇



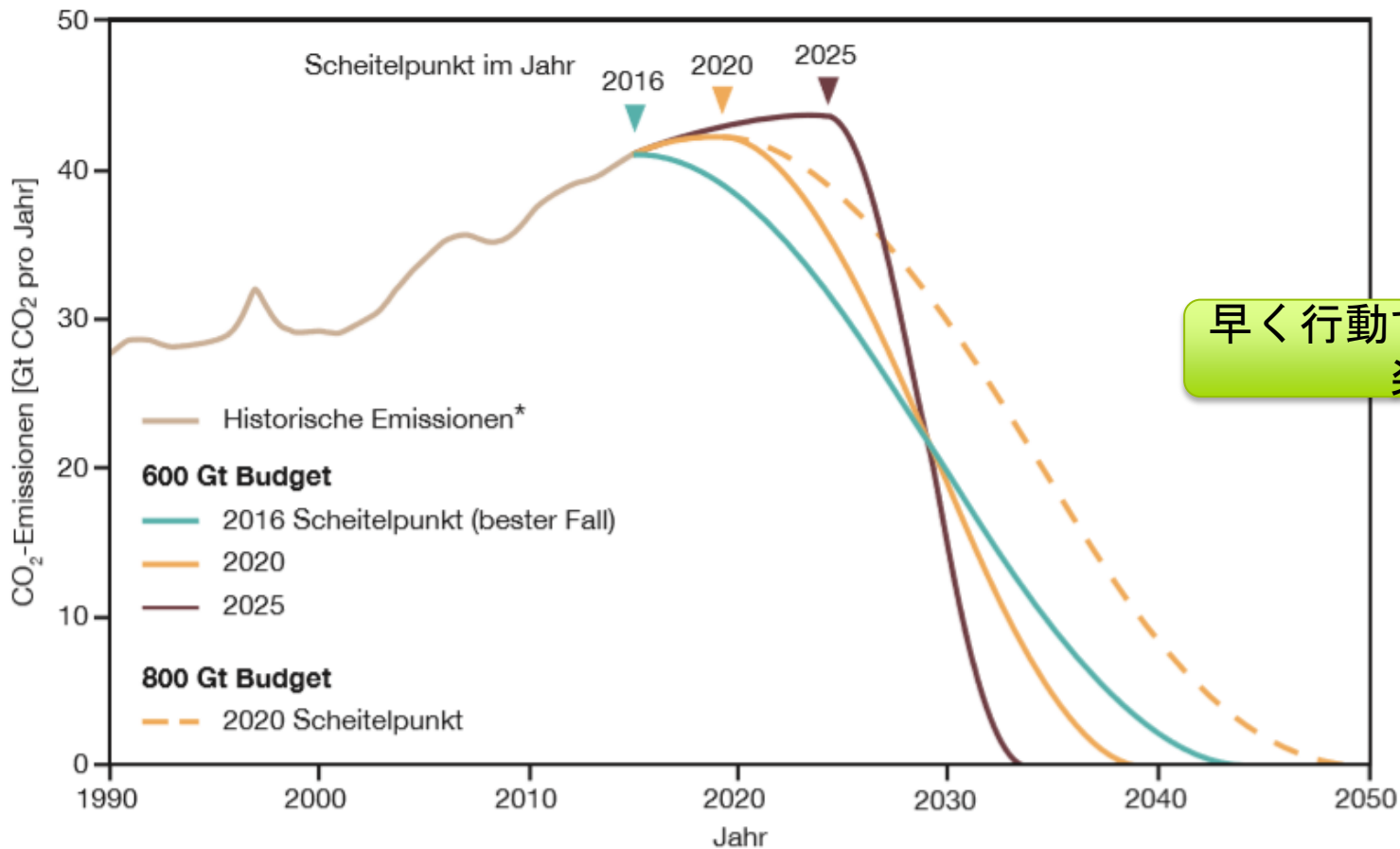
急激な気候変動は私たちの
世代に責任がある!

- SRU: 2031年から2040年にかけて、気候中立を達成する必要がある。
- 遅くとも2040年までに、完全に再生可能な熱供給
- ウクライナ紛争
- 洪水災害、干ばつ、熱中症、ハリケーン、森林火災を伴う気候変動

行動への圧力 気候保全是世界共通



1.5~2°C目標
達成度



早く行動すればするほど、
楽になる

ドイツにおける気候保護に関する決定事項 2021年



気候保護法2019と連動した2021年3月24日の 連邦憲法裁判所判決

- 政治家が拘束力をもって達成すべき1.5~2°C目標 → 2020年時点で6.7GtのGHG排出枠を残存させる。
- 気候保全は、他の基本的権利(特に市民的自由)と比較検討する必要がある。

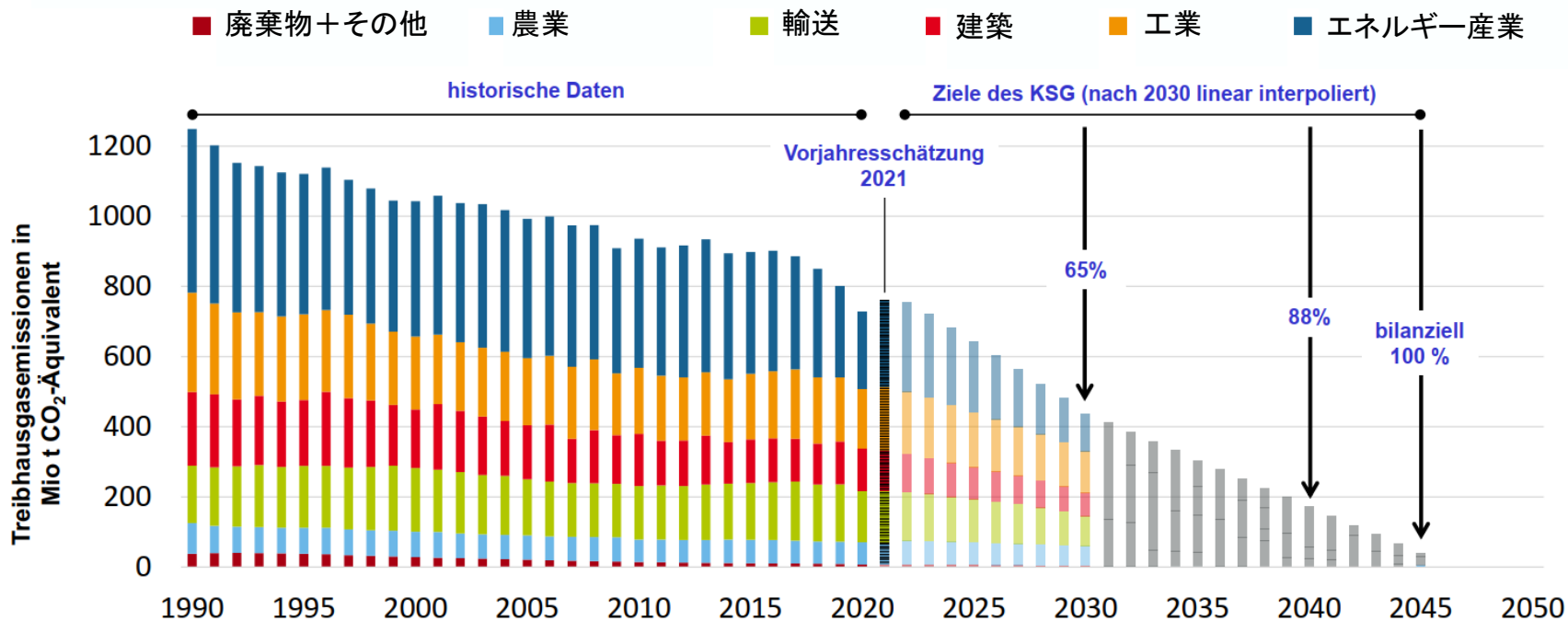
再生可能エネルギーの利用を大規模に推進し、化石燃料による火力発電所の新設を相次いで禁止(例: BEG、BEW・・・)。

化石燃料を使用するエネルギー変換装置の運転禁止は待ったなし

- エネルギー転換、特に熱転換は、産業プロセス熱供給の完全転換を含めて、加速しなければならないだろう
- バイオエネルギーは、空対水ヒートポンプと並行して、あるいはヒートポンプと共に、すぐに追加的な貢献をすることができます。
- しかしバイオエネルギーの持続可能性には、もはや量のバランスだけでなく、生物多様性も含まれる

エネルギー需給産業

ドイツのGHG排出量-歴史と目標値 連邦気候保護法



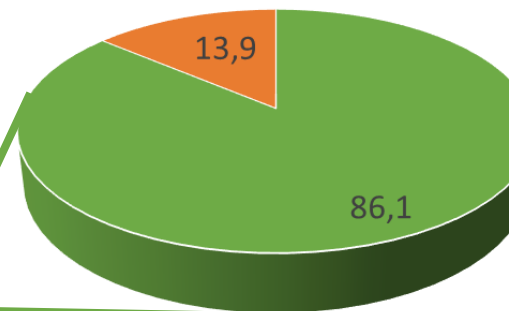
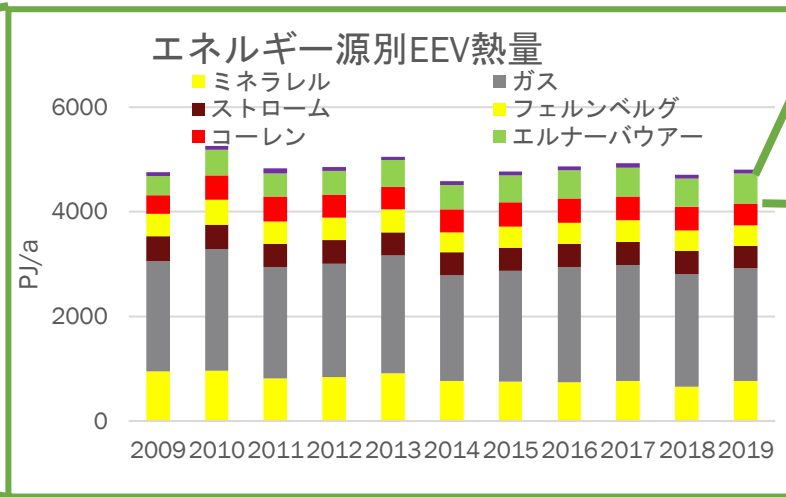
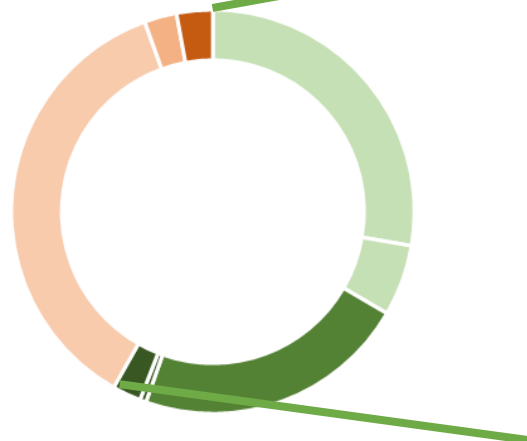
Historische Daten und VJS: Vorjahresschätzung (VJS) der deutschen Treibhausgas-Emissionen für das Jahr 2021. Umweltbundesamt, 15.3.2022

熱部門におけるバイオエネルギーの位置づけ

最終エネルギー消費量の約50%が熱

熱分野の再生可能エネルギー (~16,5%)

Endenergieverbrauch 2020 (%)



■ Bioenergie ■ Sonstige
再生可能エネルギーにおける
バイオマス (~86%)

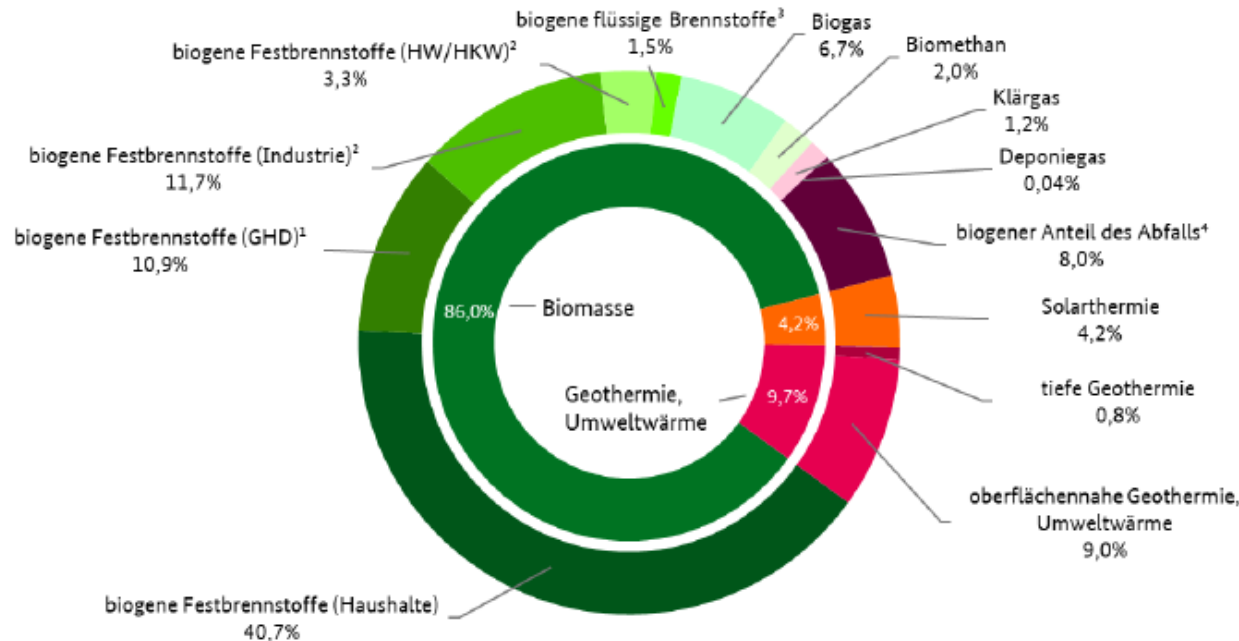
- Raumwärme
- Warmwasser
- Prozesswärme
- Klimakälte
- Prozesskälte
- Mech. Energie
- IKT
- Beleuchtung

ドイツにおけるバイオマスからの熱供給状況 2021年



2021年ドイツにおける冷暖房用再生可能エネルギーの最終エネルギー消費量

Gesamt: 199,4 Mrd. Kilowattstunden



産業用熱源 : 11.7

第3次産業(貿易、商業、サービス業)。10,9%

家庭での木材利用率 : 40,7%。

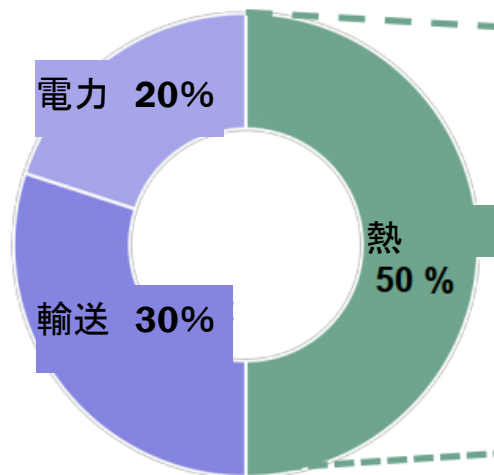
¹ GHD = Gewerbe, Handel, Dienstleistungen; ² inkl. Klärschlamm und Holzkohle; ³ inkl. Biokraftstoffverbrauch für Land- und Forstwirtschaft, Baugewerbe und Militär;

⁴ biogener Anteil des Abfalls in Abfallverbrennungsanlagen mit 50 % angesetzt

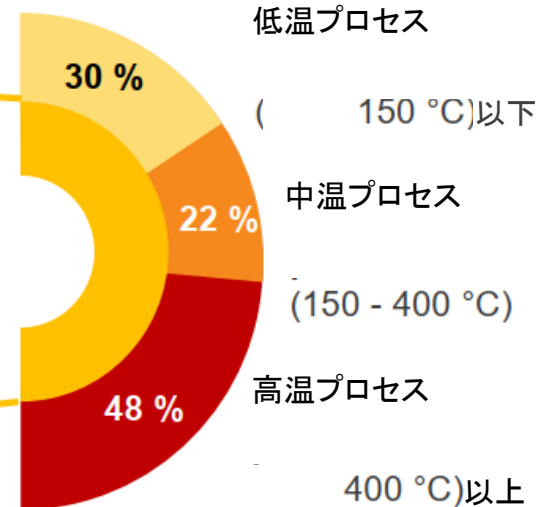
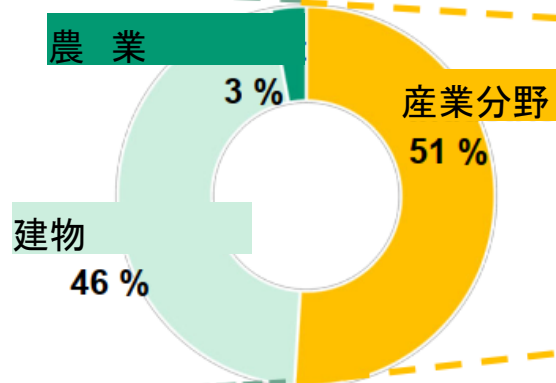
産業用熱の世界的な分類

データはIEA World Energy Balances Highlights 2021に基づく
「熱」には、暖房に使用される電気も含まれる

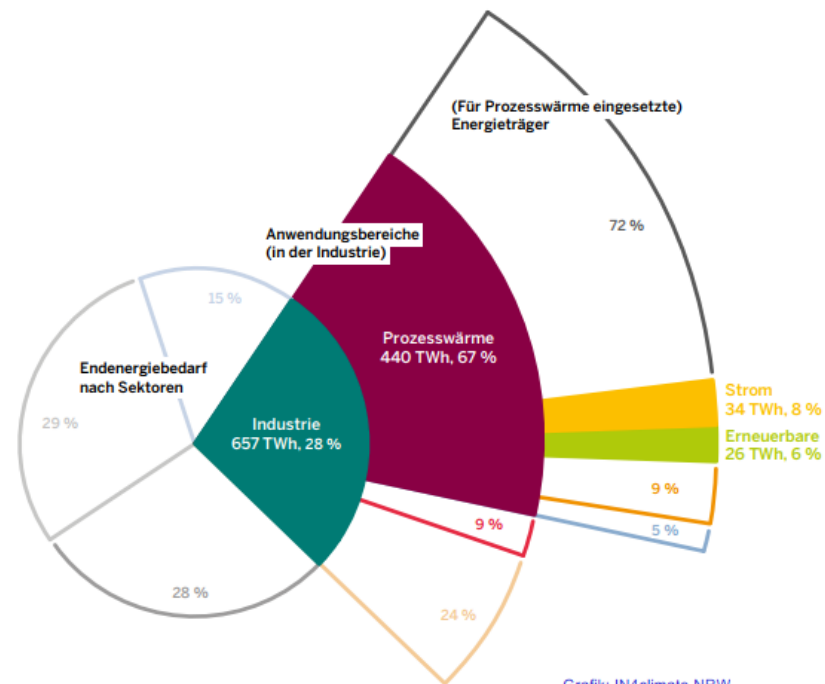
世界のエネルギー消費量
~116 000 TWh/a



世界の産業用熱消費量
~30 000 TWh/a



ドイツにおける産業転換はプロセス熱の転換



Industrie 657 TWh
Verkehr 637 TWh
Haushalte 670 TWh
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) 354 TWh

Prozesswärme 440 TWh
Sonstige Wärme^a 58 TWh
Elektrizität^b 159 TWh

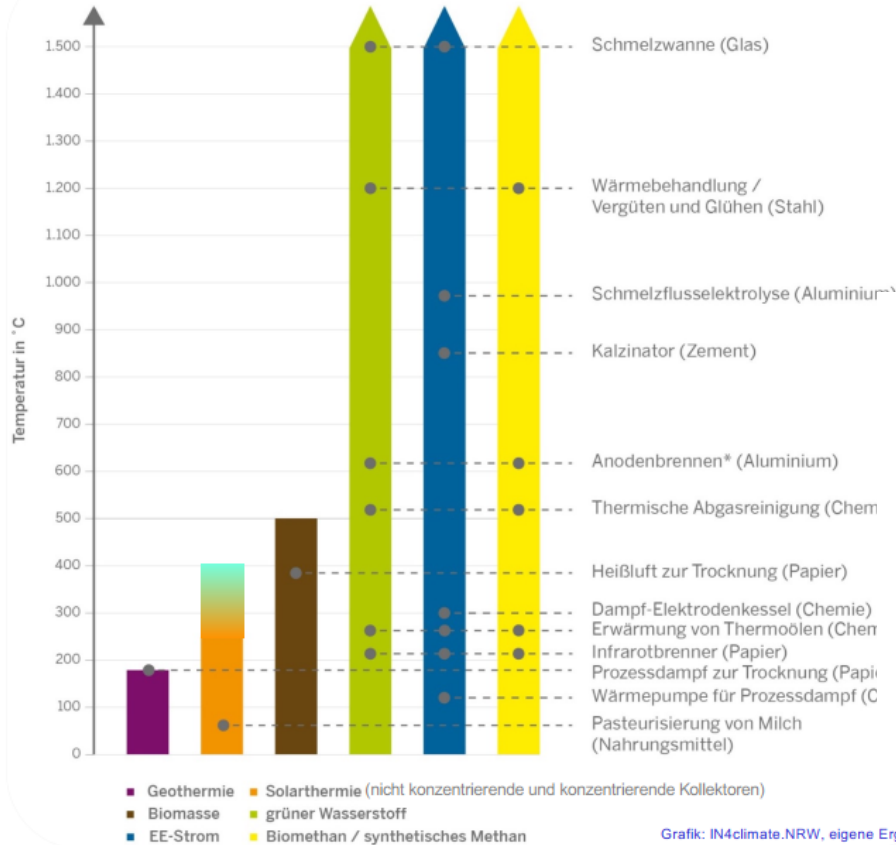
Grafik: IN4climate.NRW

fossile Energieträger^c 317 TWh
Strom^d 34 TWh
Erneuerbare^e 26 TWh
Fernwärme 42 TWh
Sonstige 21 TWh

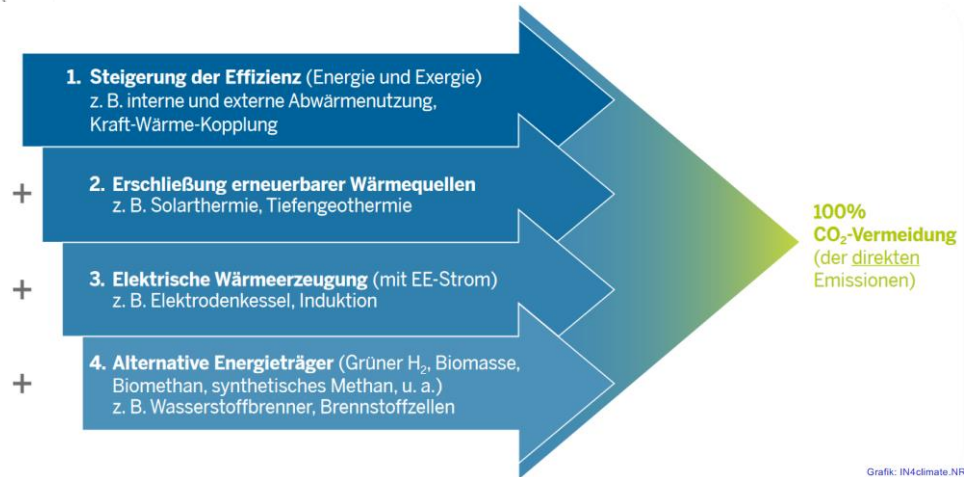
- **ドイツの最終エネルギー総需要の19% (2020年)が産業プロセス熱に使用された**
- **このうち、再生可能エネルギーや再生可能エネルギーによる電力供給は、まだほんの一部に過ぎない**

- a) Hierunter fallen u. a. Raumwärme (z.B. Hallenbeheizung) und Warmwasser.
- b) Hierunter fallen z. B. mechanische Energie (für Pumpen oder Antriebe), Beleuchtung, Informationstechnik und Kommunikation.
- c) Mineralöl, Gas und Kohle
- d) Strom verursacht in der Anwendung keine Emissionen. Da es sich hierbei um den Strommix aus dem Netz handelt, sind allerdings der aktuelle EE-Anteil und die resultierenden CO₂-Emissionen bei der Stromerzeugung zu berücksichtigen.
- e) Unter Erneuerbare fallen z. B. Biomasse, Geothermie und Solarthermie

再生可能熱の利用可能温度と潜在的な適用分野



脱炭素化のための4ステップモデル



ドイツにおける木材利用

森林伐採 (GER)

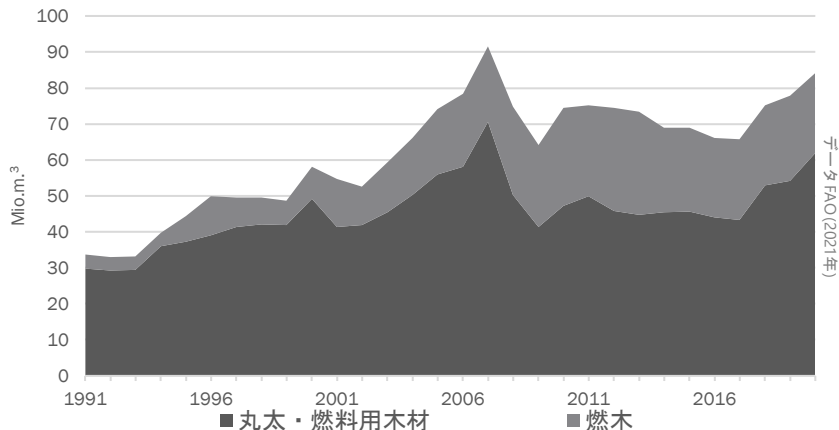
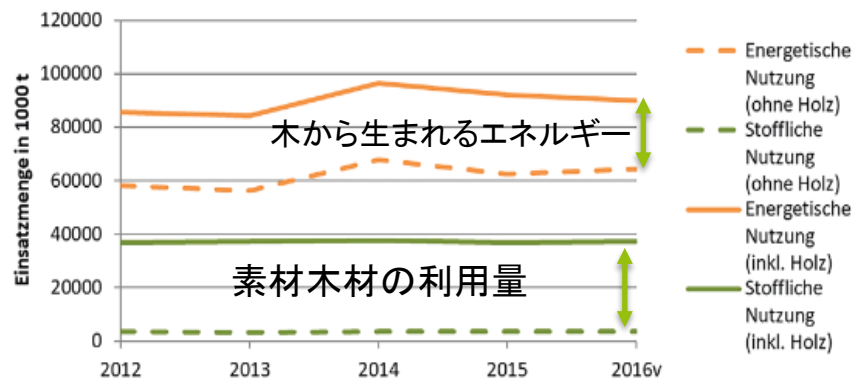


Abb. 4.5 | Einsatzmengen von Biomasse für die energetische und stoffliche Nutzung in t atro



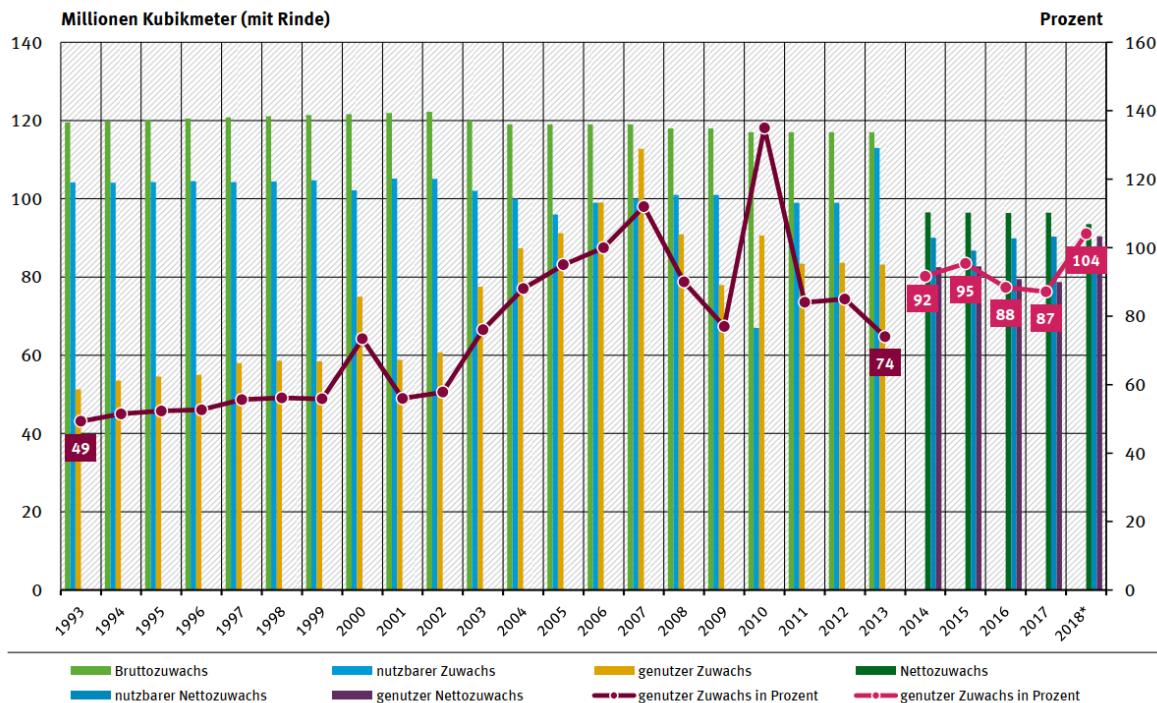
v - vorläufig | Quelle: eigene Darstellung

素材とエネルギーの使用量はほぼ同じ

ドイツにおける木材の可能性



Anteil der Nutzung des nutzbaren Zuwachses



ドイツでの幹材伐採の様子。

成長（理論的バイオマスポテンシャル）と利用の比較

- 1993年：成長の49%を利用
- 2007:成長の112%を利用
- 2009年以降：増分の約80%を使用
- 2018年～2020年：利用率>増分（計画外利用）



Bundesministerium für Digitales und Verkehr

バイオクラフト・プロジェクト



Eberswalde University for Sustainable Development

International Institute for Applied Systems Analysis IIASA www.iiasa.ac.at

木質エネルギーは地域限定で、限られた範囲でしか拡大できない！？

Die Daten, die in der Abbildung dargestellt sind, wurden für die Jahre 2003 bis 2013 auf Basis der Revision der Tabelle 13.2 der UGR überarbeitet.
* vorläufige Angaben

Quelle: Statistisches Bundesamt, Umwelt und Wirtschaft, Kapitel 6.4, Tabelle 13.2 (Zeitreihe 1993-2013); Statistisches Bundesamt (2019), Umweltökonomische Gesamtrechnung - Waldgesamtrechnung, Berichtszeitraum 2014-2017, Tabelle 2 "Physische Holzvorratsbilanz" (Zeitreihe 2014-2017)

ドイツにおける将来の木質エネルギーポテンシャル

2020 ドイツで木材伐採が成長する水準にある

約50%が直接エネルギーとして使用される

特に最終顧客や薪（熱）発電設備での低温機器向け

今後の変更点

生物多様性の目標は何年も無視されてきた→森林を気候変動に強い混交林に転換しなければならない+もっと手つかずの地域（最大30%）を計画し、もっと枯れ木を森林に残すべき！？

2045年の気候ニュートラルには、農業と林業からのマイナス排出が必要。ドイツは2030年に2000万トン、EUはドイツから3400万トンを予測⇒新規成長の約20~30%は森林に残すか、それに応じて森林面積を拡大する必要がある（+200~300万ha）。

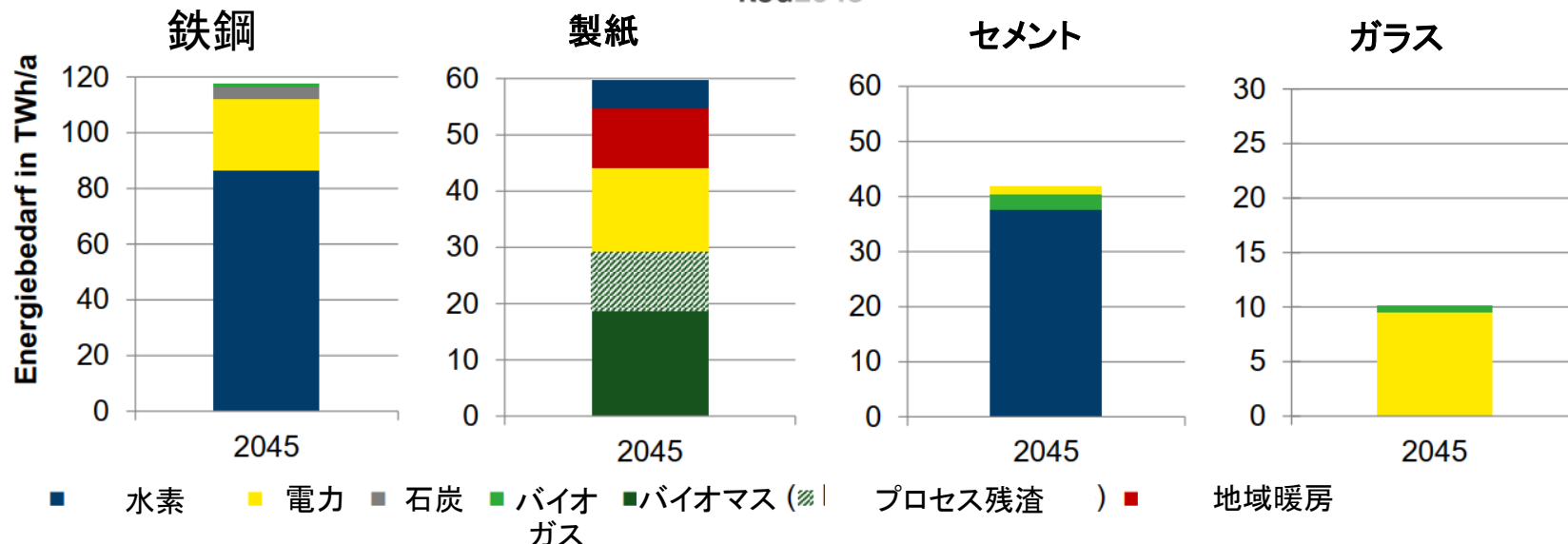
木造建築戦略、バイオエコノミー戦略では、材料となる伐採の拡大が必要

ドイツでは、輸入を伴わない一次木材のエネルギー的利用可能量が大幅に減少する（現在約90 TWh/aから、おそらく20 TWh/aに減少する）。

プロセス熱シナリオドイツ KSG45

ドイツにおける温室効果ガスニュートラルなエネルギーシステムでの産業発展

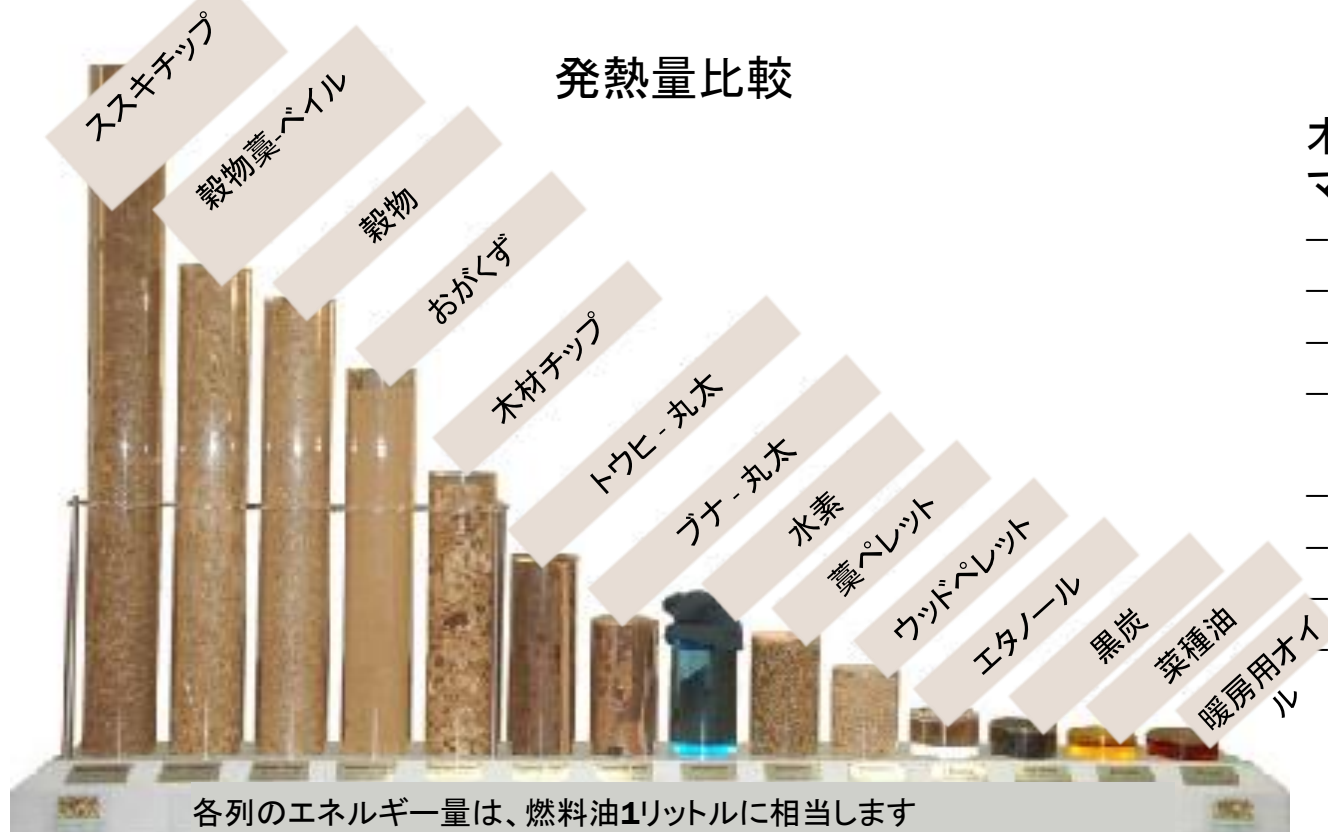
100
KSG2045



水素とバイオマスはドイツ産業の脱化石化のための重要なエネルギーキャリア

代替燃料

発熱量比較



木材と比較すると、代替バイオマス燃料は。

- 低比重エネルギー密度
- 高灰分
- スラグ
- 腐食の危険性が高い (C-content)
- NOx排出量の増加
- PM排出量の増加
- より不均質な特性
- より高い価格

ドイツにおけるバイオマスの可能性と利用



MITTELWERTE

Jahr 2015

Einheit Mio. t TM

Einzelbiomassen 77

THEORETISCHES
BIOMASSEPOTENZIAL

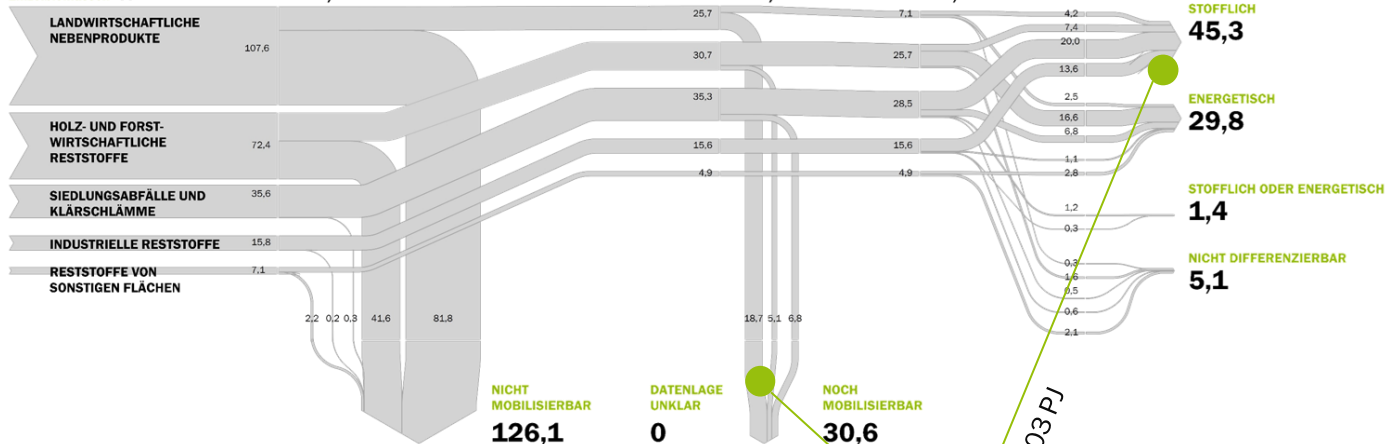
238,4

TECHNISCHES
BIOMASSEPOTENZIAL

112,3

GENUTZTES
BIOMASSEPOTENZIAL

81,7



77
バイオマス

5
セクター数

1.113
計算要素

最小/最大
利用可能な値

オンラインデータレポジトリ
<http://webapp.dbfz.de>

最小 602 pj ... **1.037 pj** ... 最大 1.471 pj

革新的な燃料選択



前提状況：一次林バイオマスのエネルギー利用をこれ以上増やすべきではない(資金面でのインセンティブなし)
- 連邦環境省、環境保護団体 ...

可能な解決策

廃材を高品質燃料に加工する 剪定枝

フローラフェューエル社工場



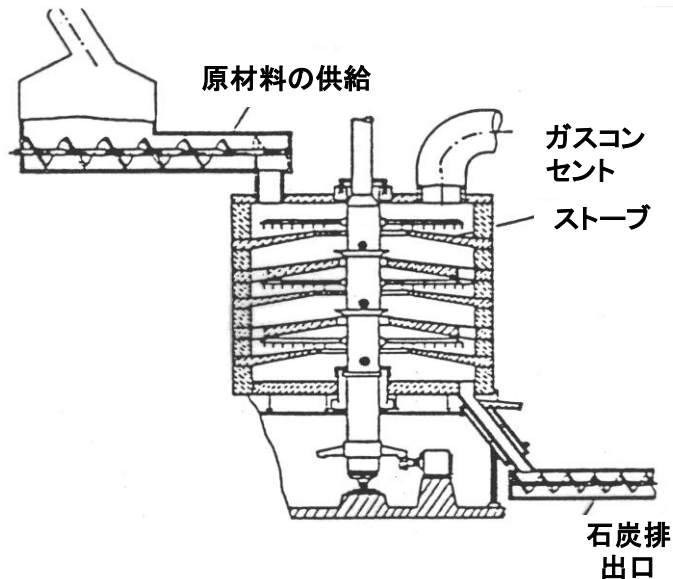
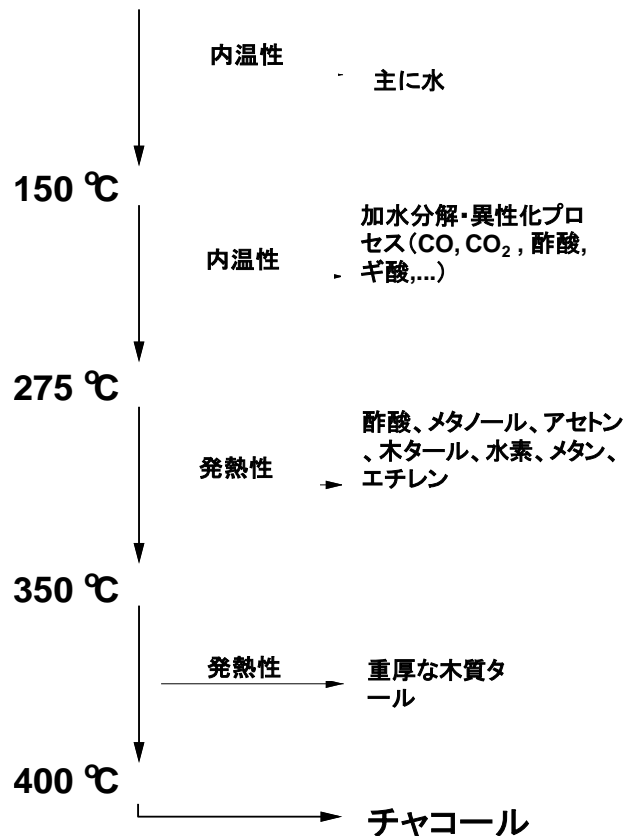
洗淨
混合
調節
コンパクト化



Torrefaction トレファクション

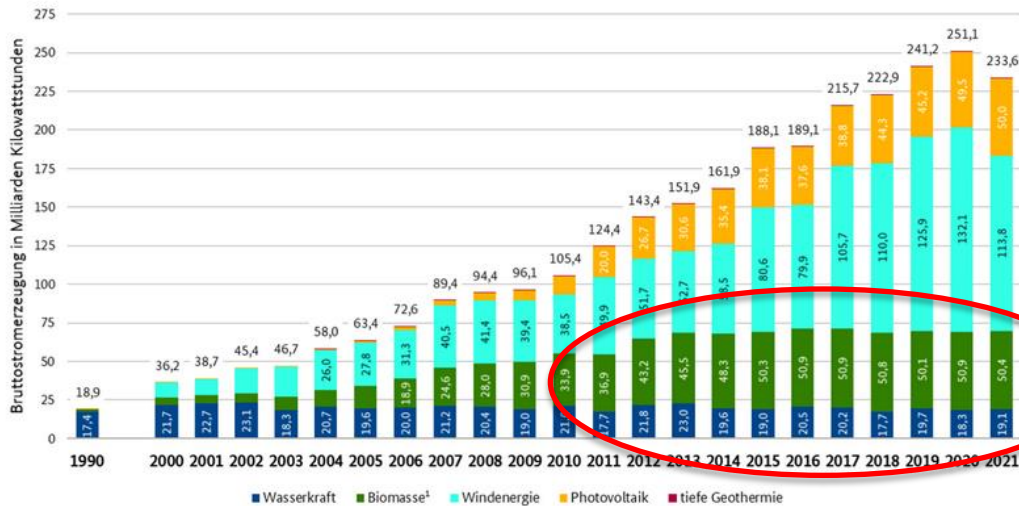


木炭の生産



エクスカッション:ドイツにおける再生可能エネルギー発電の進展

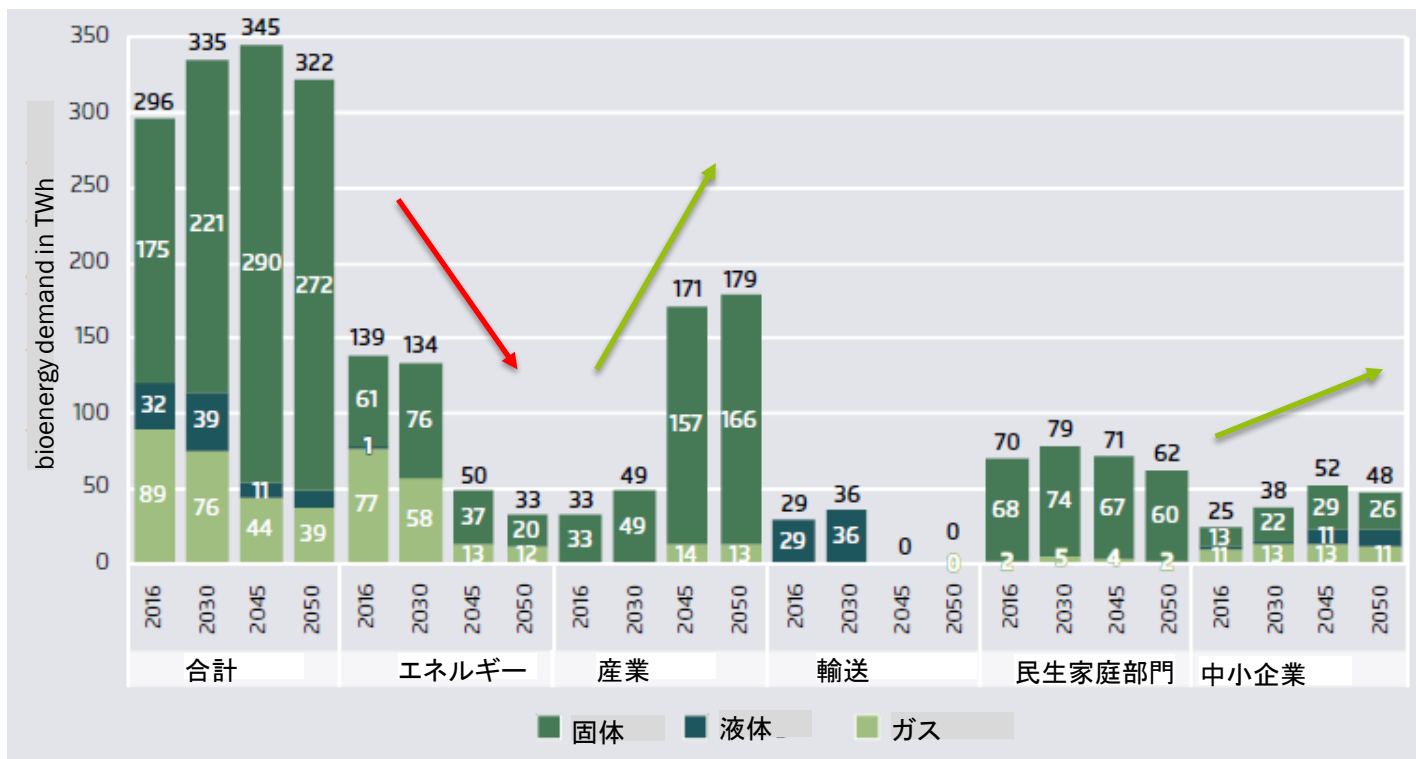
Entwicklung der Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland



- 2013年以降、資金が大幅に減少したため、バイオマス発電の大幅な増加はない
- 最初の本質バイオマス発電所が稼働を停止した
- ドイツだけでなく欧州レベルでも、本質バイオマス発電から脱却する方向へ政治的な変化が見られる

¹ inkl. feste, flüssige und gasförmige Biomasse, Klärschlamm sowie dem biogenen Anteil des Abfalls (in Abfallverbrennungsanlagen mit 50 % angesetzt, ab 2008 nur Siedlungsabfälle)
BMWK auf Basis Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat); Stand: Februar 2022

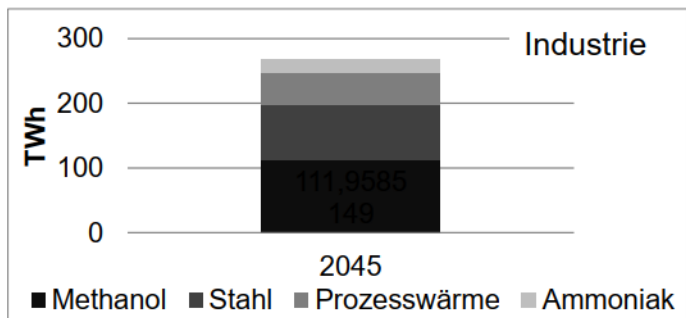
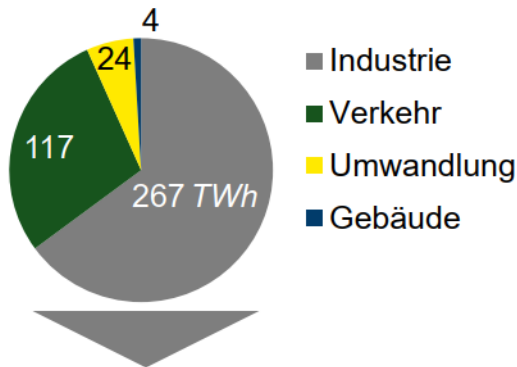
ドイツにおける将来のバイオマス利用のシナリオ比較



- ドイツの見通し：
- ・ 電力用木材の使用量削減
 - ・ 産業用熱の利用が大幅に増加
 - ・ 中小企業向けの熱利用が若干増加

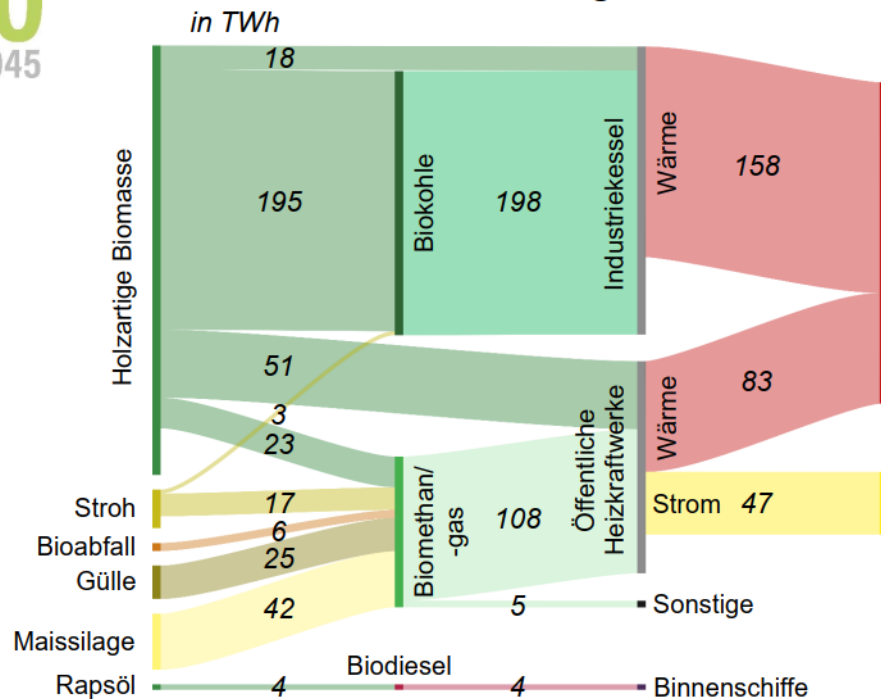
プロセス熱シナリオドイツ KSG45

Industrieller Wasserstoffbedarf in 2045 in DE



100
KSG2045

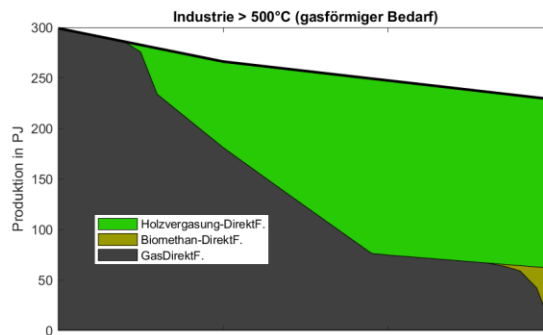
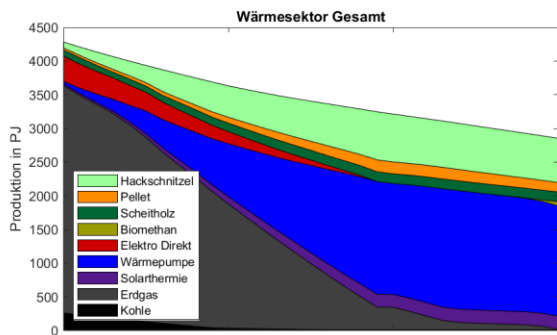
Biomasseverwendung



ドイツにおける将来のバイオマス利用のシナリオ

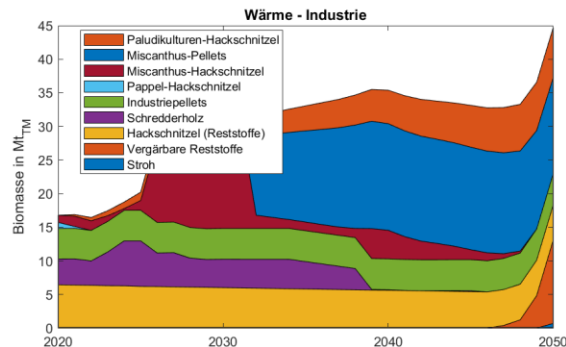
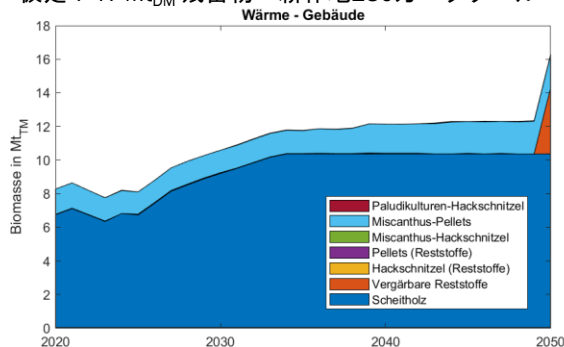


2050年までの様々なシナリオにおいて、長期的かつコスト的に最適なバイオマス利用を実現するための強固な洞察力*。



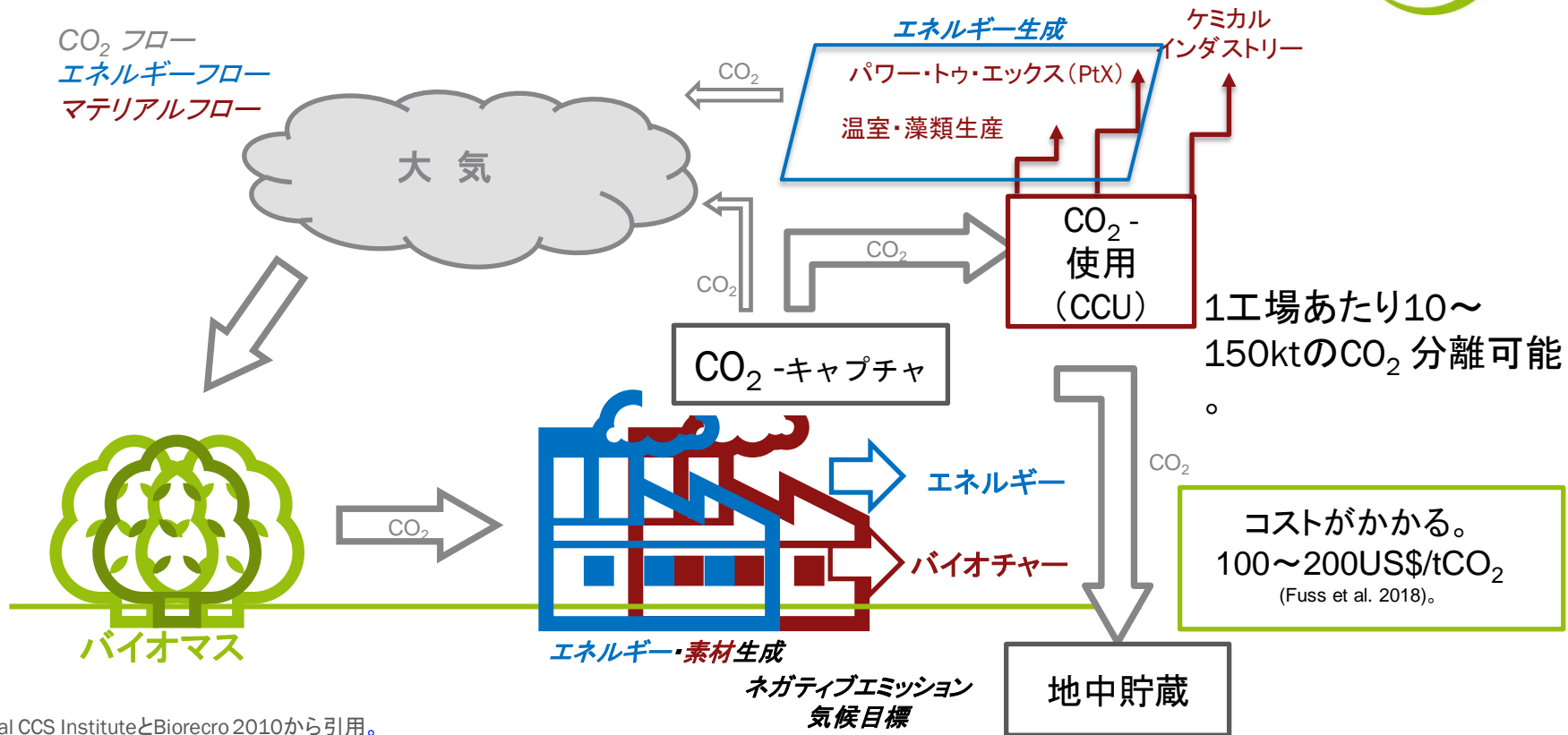
*DBFZ/ UFZ プロジェクト SoBio: ドイツの将来のエネルギーシステムにおけるバイオマスの最適なエネルギー利用のための戦略。モデルBenOptによるエネルギーシステムのモデル化

仮定: 47 Mt_{DM} 残留物 + 耕作地230万ヘクタール



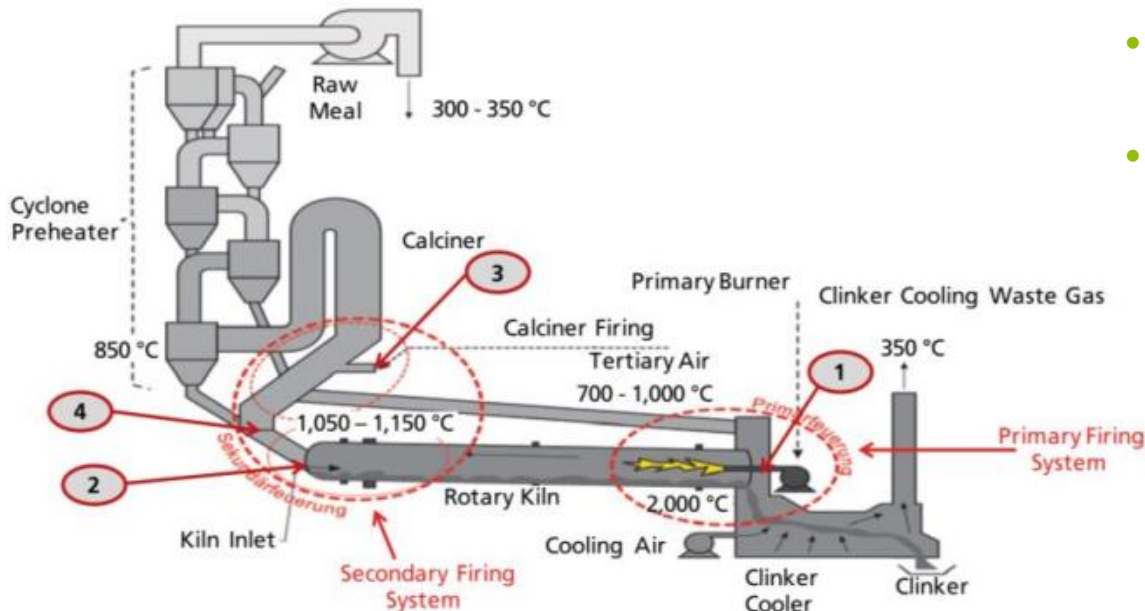
- 産業界の高温熱利用における木質系残渣
- 発酵残渣は、高温産業、地域暖房、ビルディングなど脱炭素化が困難な様々なセクターにおいて、長期的にフレキシブルなバイオメタンとして利用可能。
- 高温の熱利用だけでなく、電力分野でも柔軟に対応できる栽培バイオマス。

BeCCSを用いた産業用アプリケーション



バイオマスエネルギー利用によるマイナスエミッション

- GHG 排出が内在する可能性のある工業的高温プロセスは、バイオマス利用を含むCO₂の捕捉に適している。



- 他の多くの産業でも、水素は有望と思われる
- 小型燃焼プラントの分野では、残留コークス(Cリッチアッシュ)の増量と土壌への取り込みにより、マイナス排出(+土壌改良)につながる可能性がある

灰回収と石炭回収の比較

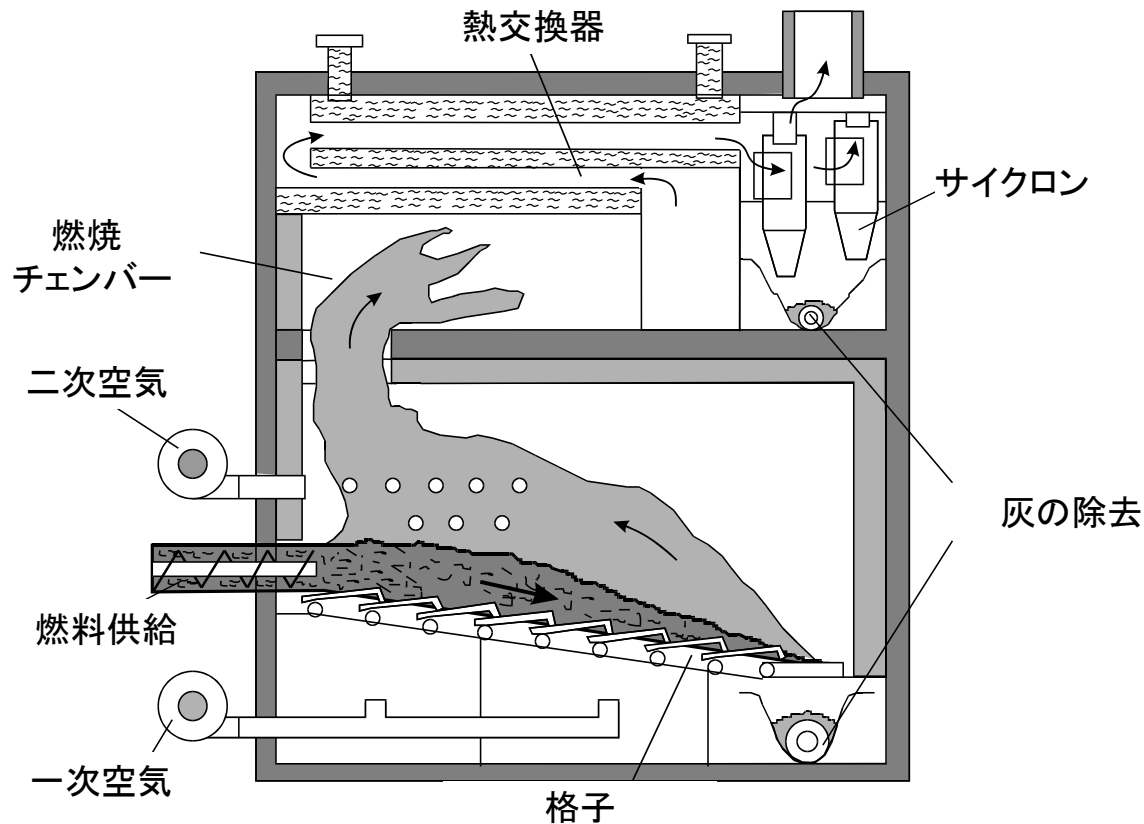
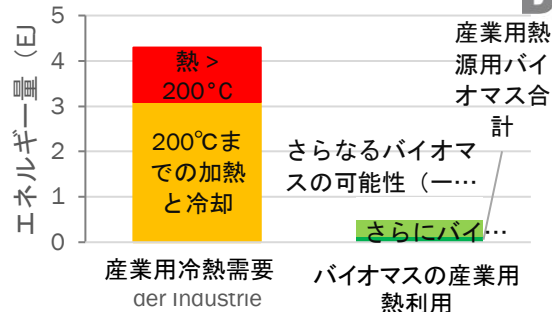


Bild:Pyreg <https://pyreg.com/de/unsere-technologie/>

結論：産業界におけるバイオエネルギーの役割

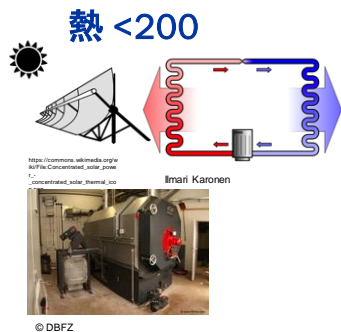


+ ビル暖房



中間的な結論。バイオマスは貯蔵可能で、フレキシブルに利用でき、入手可能である
しかし、量に限りがあり、コストがかかる。

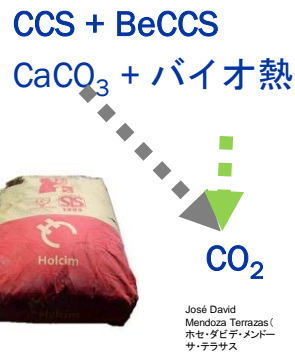
結論：付加価値のある特定の用途にのみ使用する



ハイブリッド技術



+ バイोजェニックシリカ





スマートバイオエナジー - 持続可能な社会のためのイノベーション

パートナー

Prof. Dr. mont. Michael Nelles

ダニエラ・スレン博士

ピーター・コルナツ博士 (Agr.)

フォルカー・レンツ博士

フランツィスカ・ミュラー＝ランガー博士

インゴ・ハルトマン博士 (理学博士)

**DBFZ Deutsches
Biomasseforschungszentrum
gemeinnützige GmbH**

Torgauer Straße 116

D-04347 Leipzig

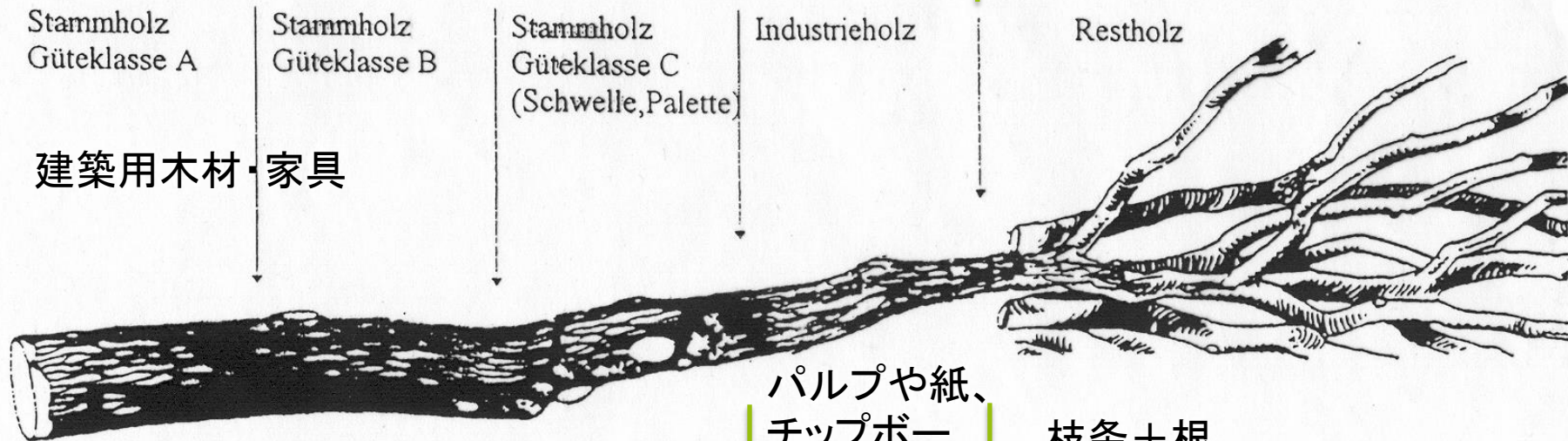
Tel.: +49 (0)341 2434-112

E-Mail: info@dbfz.de

www.dbfz.de

木材の品質

か細い



建築用木材・家具

木材産業における製品または木材の輸出に使用される

パルプや紙、チップボード、エネルギー用の木材チップに使用されます。

枝条 + 根

コンポスト (Biomeiler) と エネルギーチップを選別する

エネルギーキャリア固有の特性



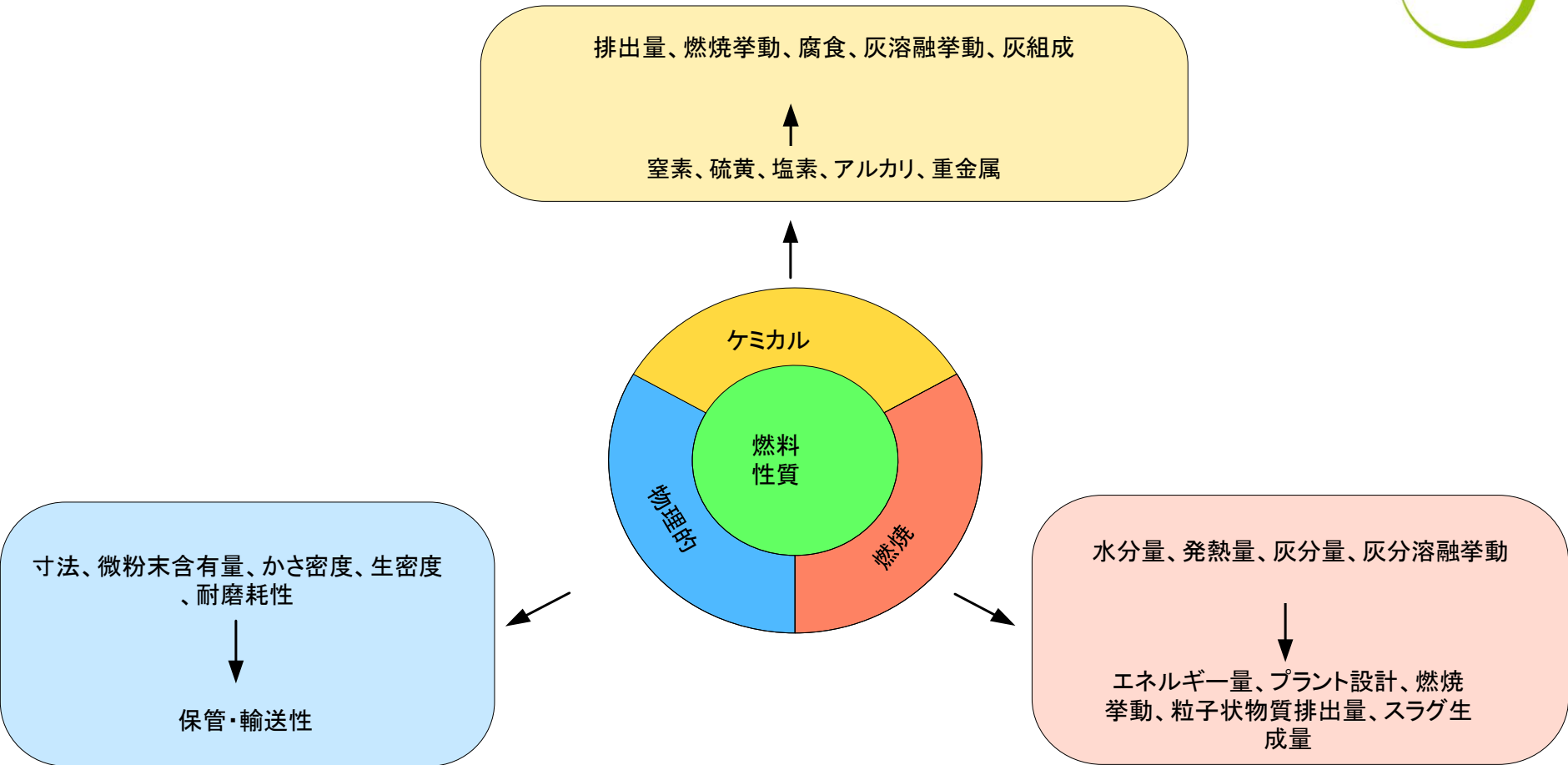
		木質バイオマス		草本系バイオマス			
パラメーター	単位	ウッドペレット ¹	トウヒ材 (樹皮付き) ²	ススキ ³	麦わら ³	アシ ⁴	アシ Glossy Grass ⁴
水分量	[重量% (生)]	≤10	13	8,3	11	9,5	13
発熱量 ,Hu	MJ/kg (wf)]	≥18,0	18,8	17,7	17,0	17,2	16,2
灰分含有 量	[wt% (wf)	≤0,50	0,6	3,2	6,4	4,0	8,5

炭の特性

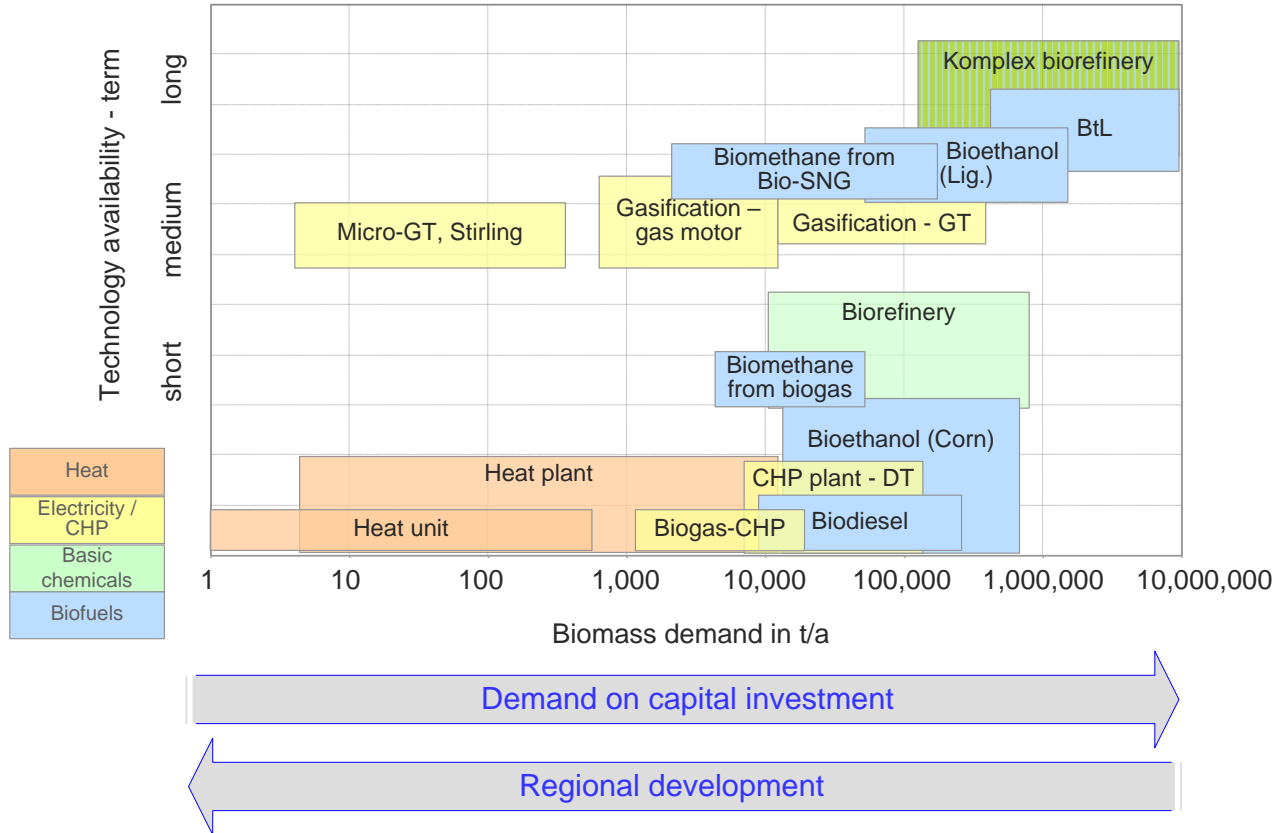


温度(°C)	構成			収量 木質乾物換算で
	C (%)	H (%)	O (%)	
200	52,3	6,3	41,4	91,8
250	70,6	5,2	24,2	65,2
300	73,2	4,9	21,9	51,4
400	77,6	4,4	18,0	40,6
500	89,2	3,1	7,7	31,0
600	92,2	2,6	5,2	29,1
800	95,4	1,1	3,5	26,7
1 000	96,6	0,5	2,9	26,5

燃料特性 - 概要と影響



技術概要



熱市場におけるバイオマス利用のシミュレーション (BioPlanW)

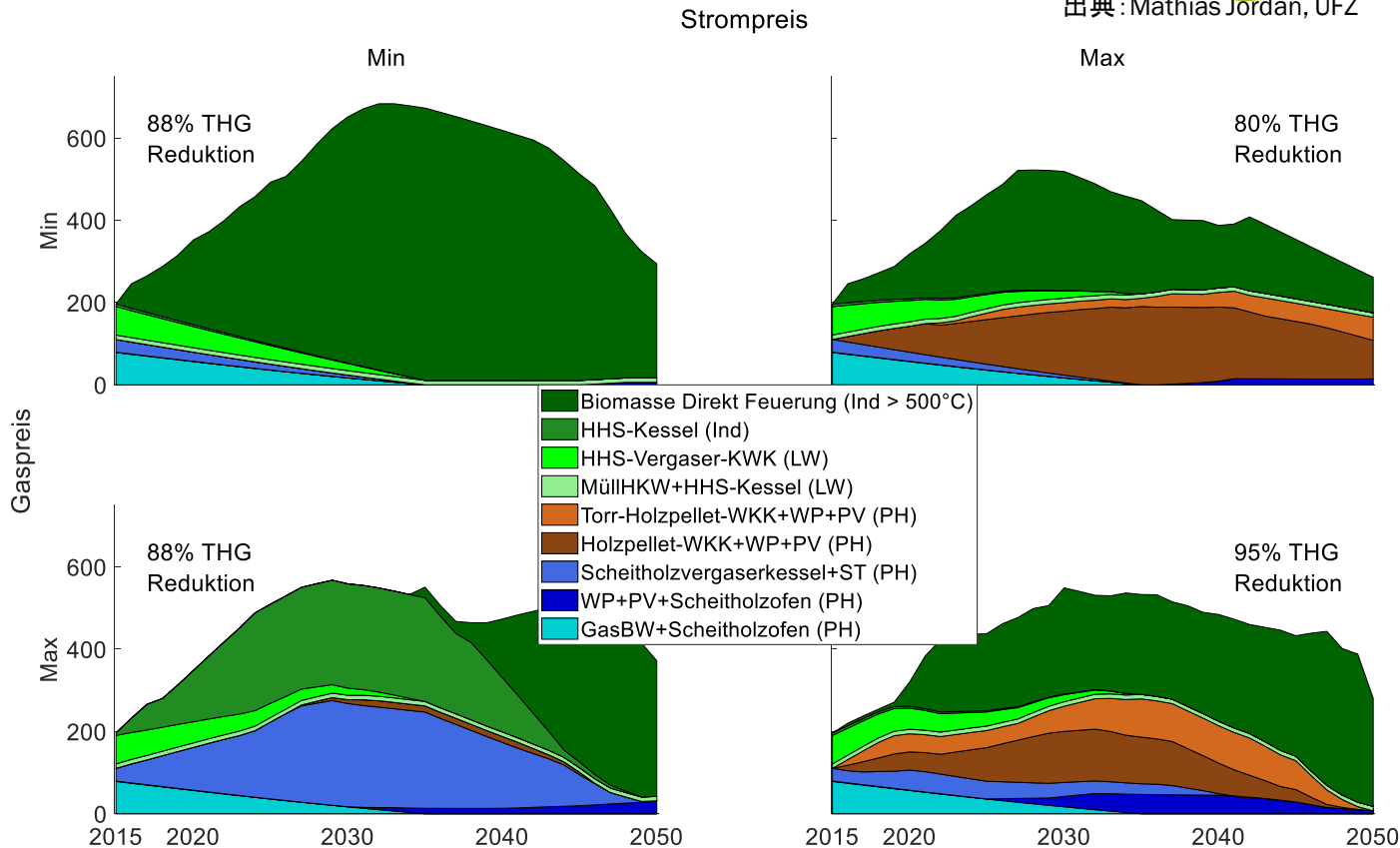


出典: Mathias Jordan, UFZ



52 バイオマスなど再生可能エネルギーによる熱供給の供給シナリオ

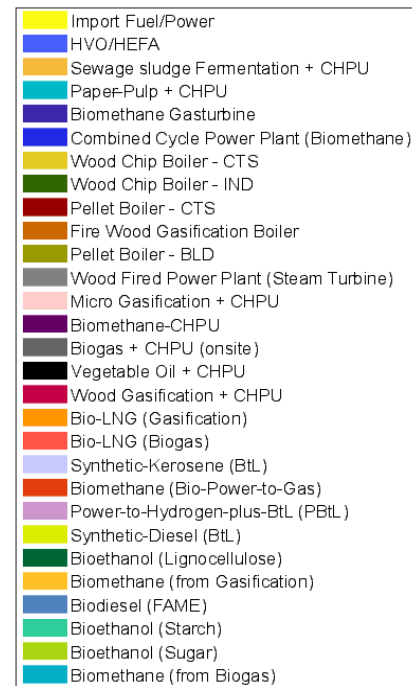
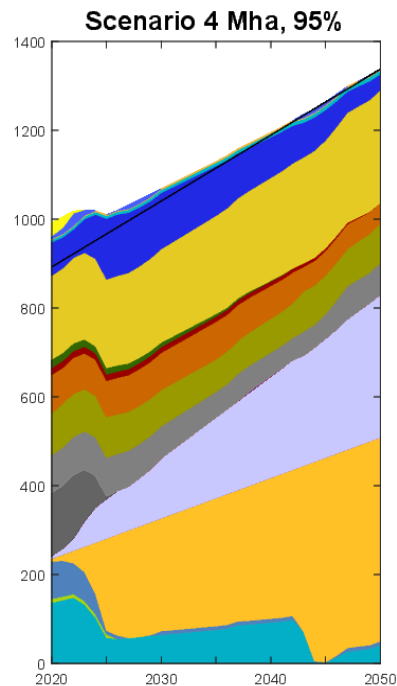
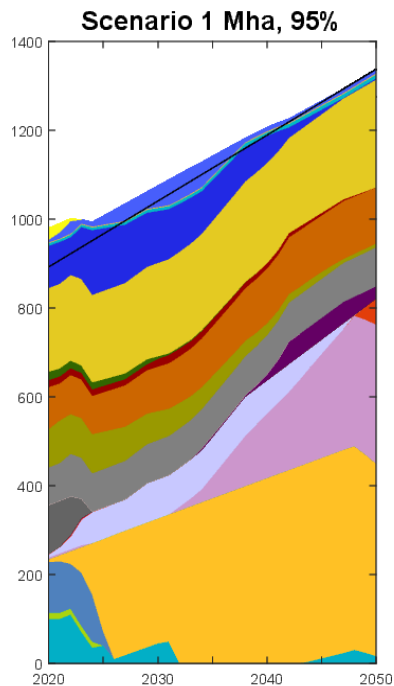
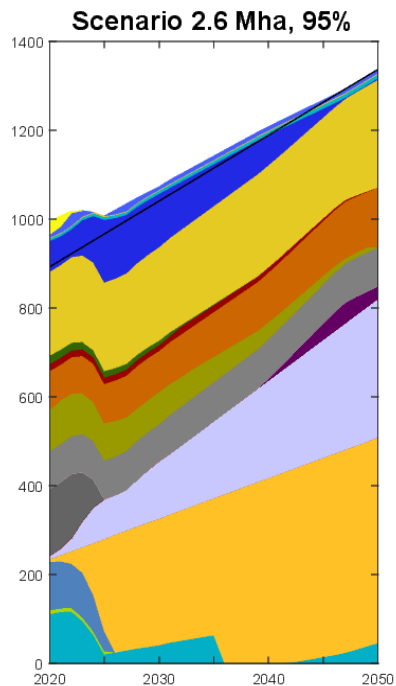
不確実な展開下でのバイオエネルギー技術のソリューションスペース



95%REシナリオ - バイオエネルギーの視点

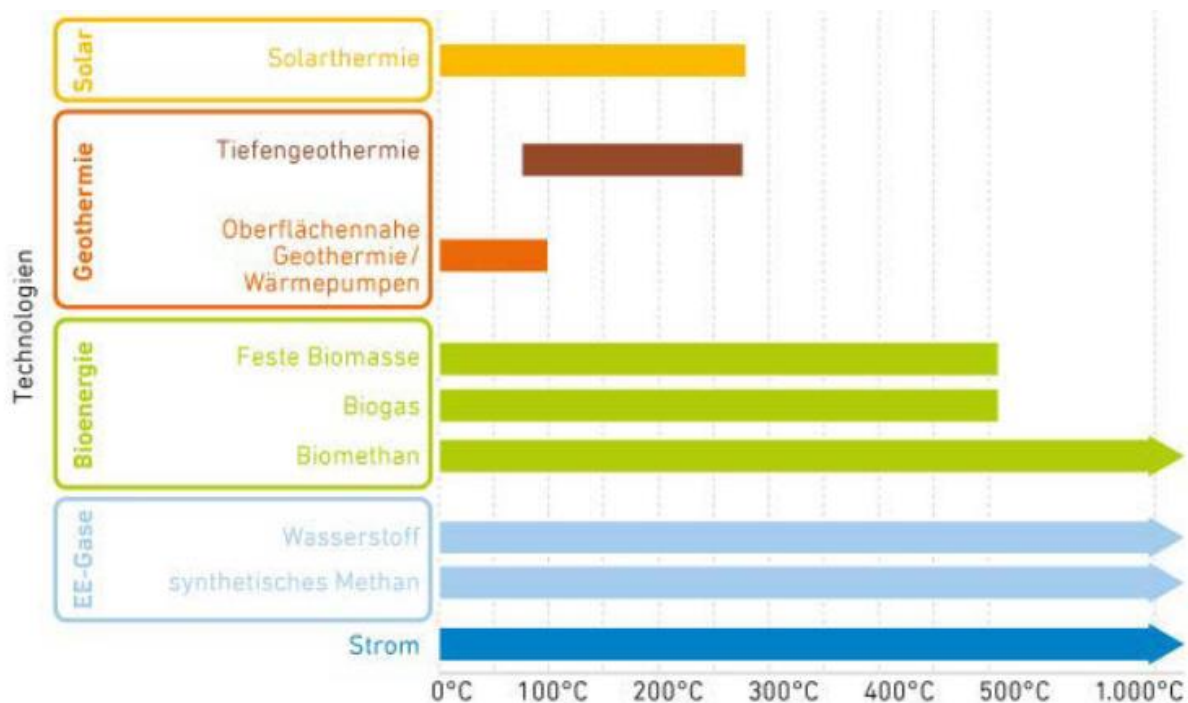


Total power, heat and fuels (PJ)



出典: タトバイオレポート (BMW) または DBFZ のホームページで閲覧可能

再生可能な熱源による達成可能な温度



Quelle: DLR 2016
Stand: 6/2017

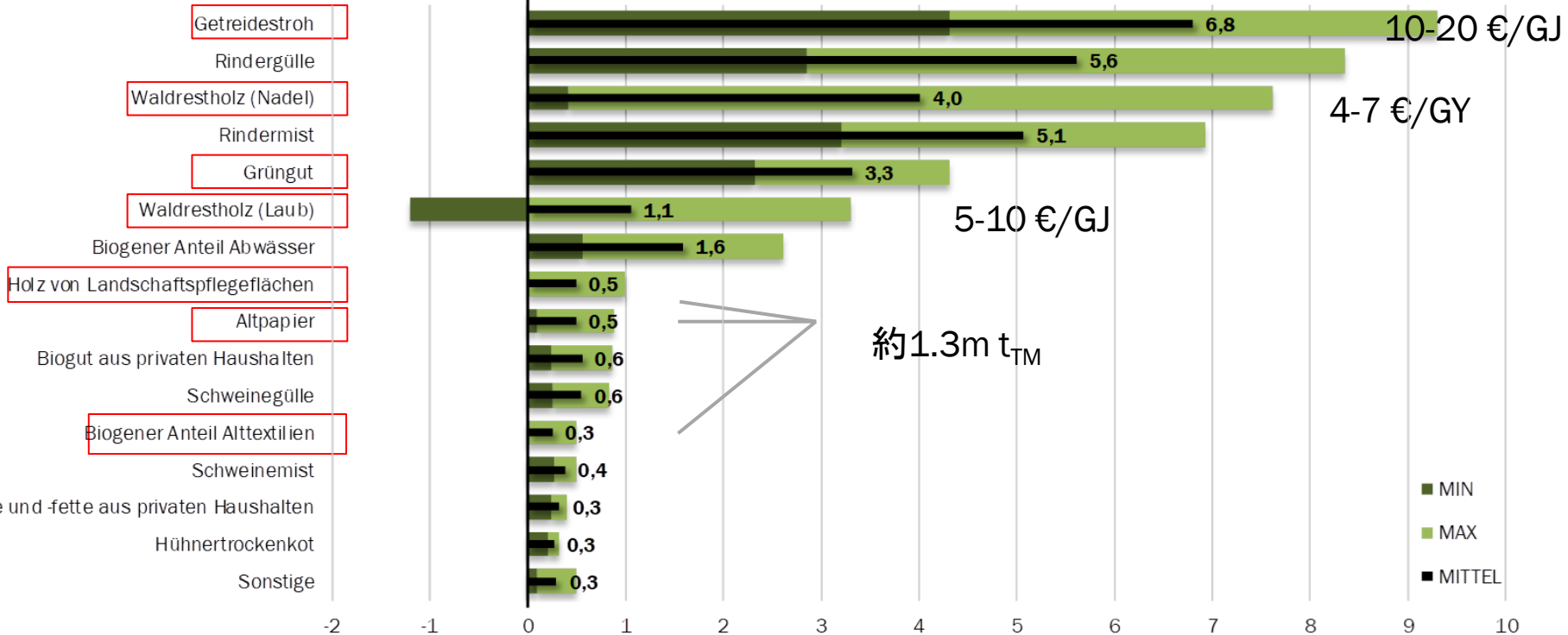
© 2017 Agentur für Erneuerbare Energien e.V.

Top 15

MOBILISIERBARES TECHNISCHES BIOMASSEPOTENZIAL

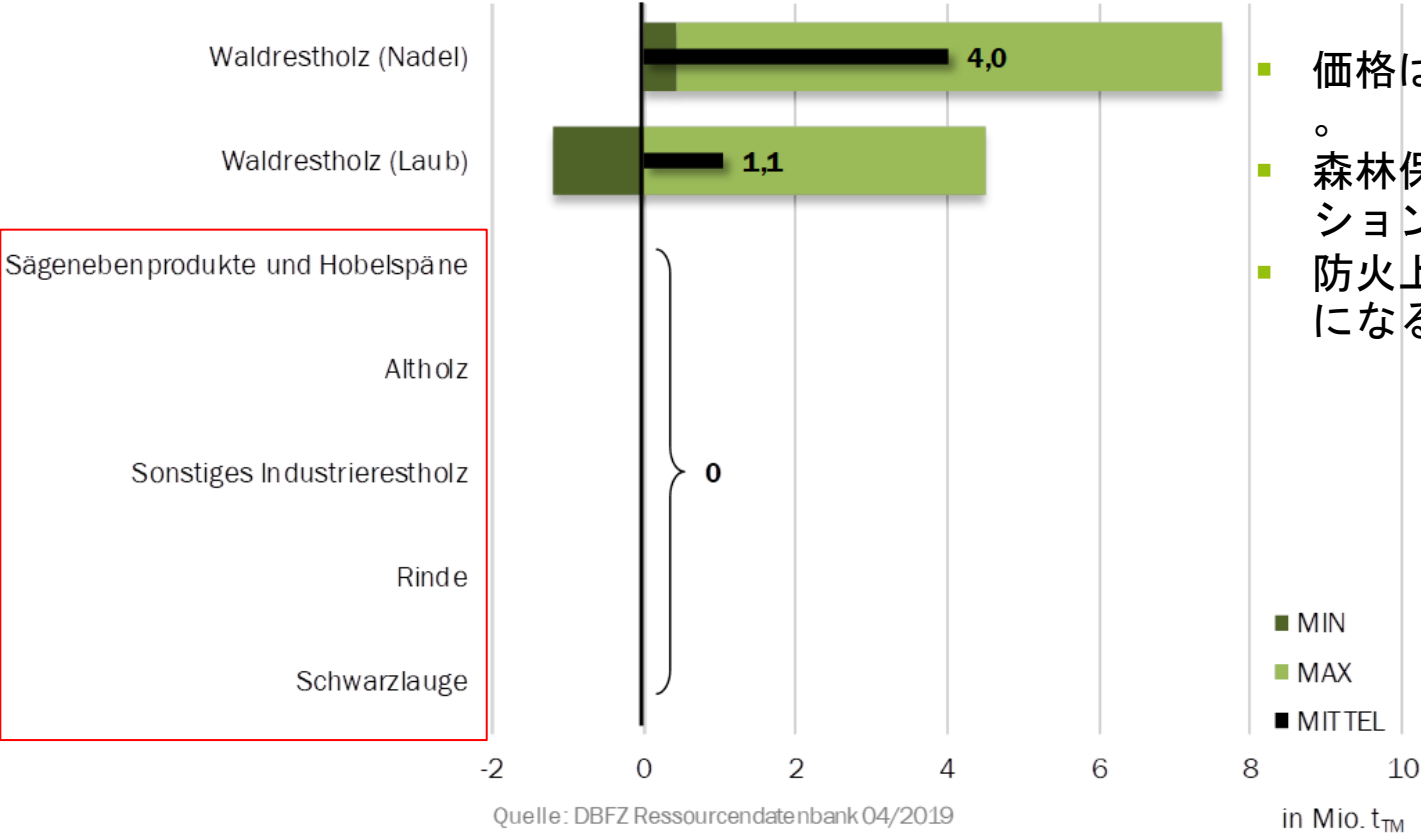
Reststoffe/Nebenprodukte/Abfälle [Mio. t_{TM}]

Deutschland - Bezugsjahr 2015

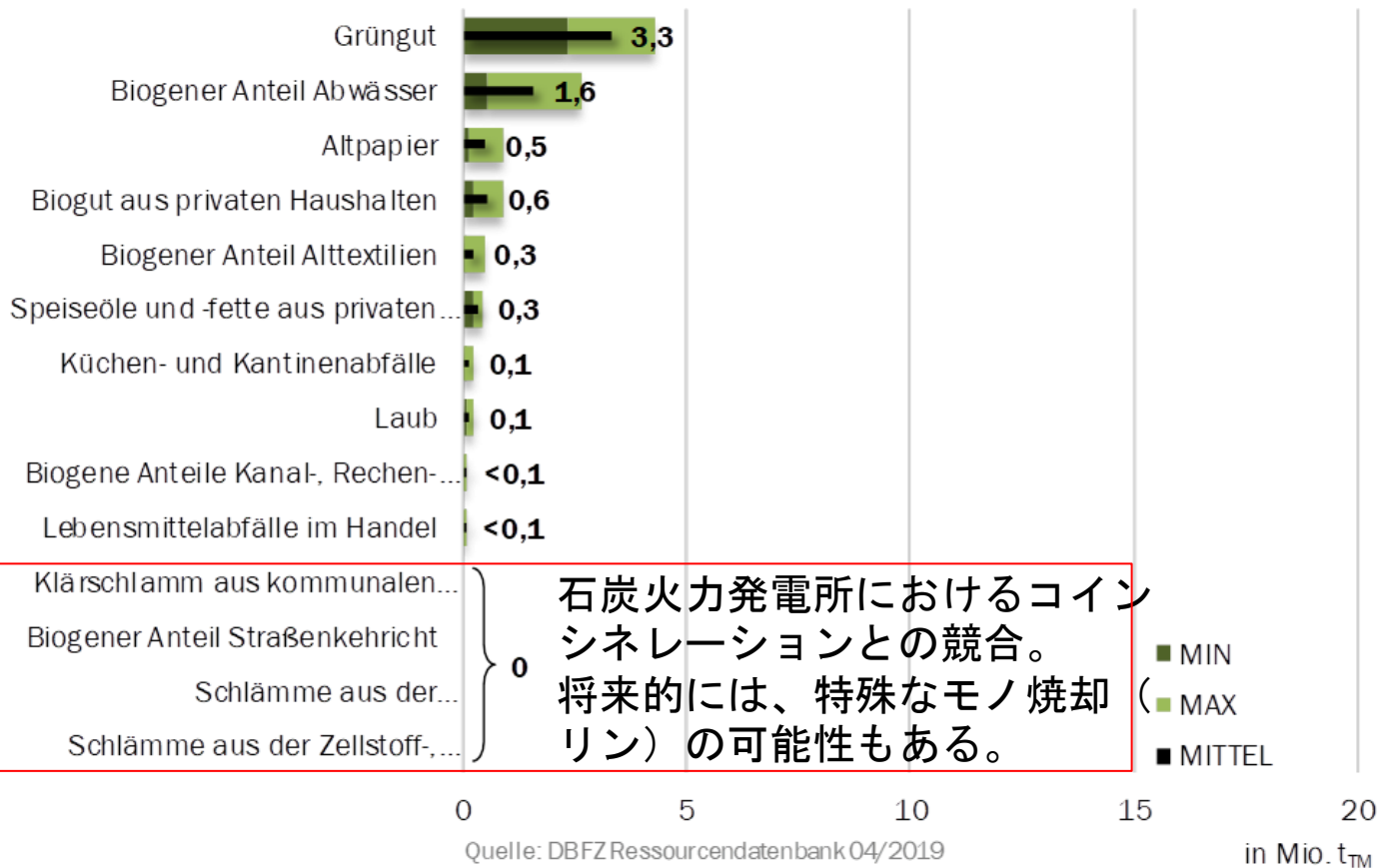


約1.3m t_{TM}

2020年までの価格



- 価格は丸太より若干安い程度。
- 森林保護に関するディスカッション
- 防火上の理由や災害時に有利になる可能性があります。



ドイツにおけるバイオマスエネルギー使用量 2020



熱	発電量 (PJ) (2020年時点)	発電量 (PJ) (2023年見通し)	一次エネルギー換算値 (PJ) (2020年時点)	一次エネルギー換算値 (PJ) (2023年見通し)
生物起源固体燃料 ^a :				
- 熱のみ	365	394~397	464 ^l	501~505 ^l
- CHP熱	108	103~114	59	56~63
バイオガス (主にCHP熱)	69	66~69歳	4,4b ^{III,VII,VIII}	4.8~5.4b ^{III,VII,VIII}
液状バイオエネルギー源	10,8 ^b	12.6~14.4 ^b	11,7 ^{b,II}	14~16歳 ^{b,II}
合計	553	576~594	539	576から589まで
パワー	発電量 (PJ) (2020年時点)	発電量 (PJ) (2023年見通し)	一次エネルギー換算値 (PJ) (2020年時点)	一次エネルギー換算値 (PJ) (2023年見通し)
生物由来の固体燃料。				
- バイオマス	41	37~43	165 ^{IV}	151~175 ^{IV}
- 廃棄物	21	20~22歳	37 ^V	36~38歳 ^V
バイオガス				
- CHPプロセス	110	104から108	445 ^{VI;VII}	421~436 ^{VI;VII}
- バイオメタン	9	9~10	40VII ^{VIII;IX}	38~41VII ^{VIII;IX}
液状バイオエネルギー源	1,1	1.1~1.4	3 ^{VI,X}	3~4 ^{VI,X}
合計	182	171から184	690	649から694
燃料	PJでの使用状況	PJでの使用状況	一次エネルギー	一次エネルギー

^a廃棄物の生物起源画分を含む^bバイオガスおよび植物油
CHPのバイオマス一次エネルギー換算値は発電量に含まれ、^cCHP熱を含む。^l 燃焼プラントにおける固体バイオマス変換の熱への利用度は、一室炉75およびボイラー80%。^{III} バイオメタンの熱への変換効率90%^{IV} 固形バイオマスの熱を伴わない電気への変換効率31%、木材ガス化CHPの部分CHP25%35%^V 固形有機廃棄物の電気への変換効率部分CHP20%、熱クレジットi.v.バイオマスボイラーへの変換効率80%;^{VI} CHPにおけるバイオガスの電気への変換効率38%および植物油CHP40%;^{VII} 消化器におけるバイオマス分解効率65% (バイオガス基質中のバイオマス分のみを考慮);^{VIII} 変換効率バイオメタン改良90%;^{IX} CHPにおけるバイオメタンの電力への変換効率40%;^X バイオ燃料の生産残渣は、動物の飼料として、あるいはエネルギーとして利用されるため、再生可能な一次エネルギーの投入として、製品のエネルギー分のみが考慮されます。

冷暖房需要とバイオマス利用の比較(2015～2018年データ)



	世界	EU	ドイツ
冷暖房の総需要 ^{a)}	200 EJ	22.0 EJ	4.3 EJ
工業用プロセス熱需要 (>200°C) ^{a)}	-50 EJ	4.1 EJ	1.2 EJ
バイオマスポテンシャル	56-160 EJ	33 EJ ^{a)}	1 EJ
暖房用バイオマス	41.7 EJ	3.7 EJ	0.5 EJ
産業プロセス熱に利用されるバイオマス (全体)	-3.5 EJ	-1 EJ	0.1EJ

出典 : Volker Lenz, Nora Szarka, Matthias Jordan, Daniela Thrän: Status and Perspectives of Biomass Use for Industrial Process Heat for Industrial Industrialized Countries, 2020, DOI: 10.1002/ceat.202000077.

a) ユーラシア大陸を含む