

Strom aus Biomasse

Basiswissen-Dokument, Stand Januar 2018

1. Zusammenfassung

Biomasse ist aktuell in der Schweiz nach der Wasserkraft die wichtigste Energiequelle für die Produktion von erneuerbarem Strom. Gut 50 % der erneuerbaren Stromproduktion, die nicht aus Wasserkraft gewonnen wird, stammt aus Biomasse, grösstenteils aus der Verbrennung von Kehricht. Zur Biomasse werden Holz, landwirtschaftliche Biomasse und biogene Abfälle gezählt. Biomasse ist eine sehr heterogene Energiequelle, die mit unterschiedlichen Technologien (Verbrennung, Vergärung, Vergasung) in Wärme, Strom und Treibstoff umgewandelt werden kann. Langfristig wird für die Schweiz mit einem Stromproduktionspotenzial von rund 4 TWh gerechnet. Besondere Herausforderungen bei der Ausschöpfung des Potenzials liegen in der zuverlässigen Rohstoffbeschaffung und im gesicherten Wärmeabsatz beim Betrieb von Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen.

2. Heutige Situation in der Schweiz

Etwa 5 % des Schweizer Endenergieverbrauchs von 230 TWh werden durch Biomasse abgedeckt. Ein kleiner Teil davon wird zur Erzeugung von rund 1.7 TWh Strom verwendet.^{1,2} Somit beträgt der Anteil der Biomasse an der inländischen Stromproduktion nur etwa 3 %. Sie liefert dabei mehr als 50% der erneuerbaren Stromproduktion, die nicht aus der Wasserkraft kommt (Abbildung 1).

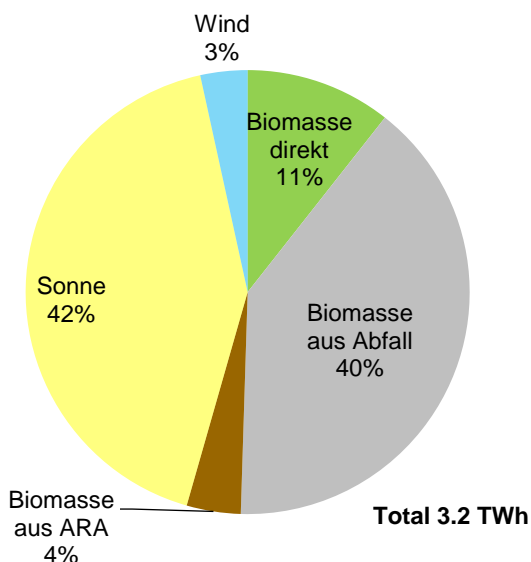


Abbildung 1: Netto-Elektrizitätsproduktion aus neuen erneuerbaren Energiequellen ohne Wasserkraft in der Schweiz 2016 (Quelle: BFE 2017b)

¹ Quelle: BFE 2017a

² Quelle: BFE 2017b

Der überwiegende Anteil des Biomassenstroms stammt aus Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA), der Rest aus Holzheizkraftwerken, Biogasanlagen und Abwasserreinigungsanlagen (ARA). Weil rund die Hälfte des Heizwerts von Kehricht aus organischen Abfällen stammt, wird 50 % des Stroms aus Kehrichtanlagen als erneuerbar gezählt. Die meisten Anlagen werden in Wärme-Kraft-Kopplung (WKK) betrieben. Da diese typischerweise nach dem Wärmebedarf geführt werden, erfolgt die Stromproduktion aus WKK-Anlagen mehrheitlich im Winter. Eine Ausnahme bilden Anlagen, die einen Bedarf an ganzjähriger Prozesswärme decken. Auch KVA werden ganzjährig betrieben, wobei die im Sommer erzeugte Wärme zum Teil ungenutzt bleibt.

3. Stand und weitere Entwicklung der Technik

Der Biomasse-Rohstoff lässt sich grob in drei Kategorien aufteilen:

- **Holz:** Waldholz, Rest-/Altholz, Holz aus Landschaftspflege
- **Landwirtschaftliche Biomasse:** Hofdünger, Ernterückstände, Energiepflanzen
- **Biogene Abfälle:** Grünabfälle, Kehricht, Abwasser, Lebensmittel- und Fleischabfälle, Nicht-Holz aus Landschaftspflege (z.B. Rasenschnitt)

Es wird zwischen drei Konversionspfaden unterschieden:

- **Verbrennung:** Weit verbreitet und technisch ausgereift ist die Verbrennung von holzartiger Biomasse in Holzfeuerungsanlagen zur reinen Wärmeproduktion oder in Holzheizkraftwerken (HHKW) und Kehrichtverbrennungsanlagen zur kombinierten Wärme- und Stromproduktion (Wärme-Kraft-Kopplung WKK).
- **Vergärung:** Feuchte Biomasse bzw. Klärschlamm aus Abwasserreinigungsanlagen kann unter Sauerstoffabschluss in einem Vergärungsprozess zu einem methanhaltigen Mischgas (Biogas bzw. Faulgas) abgebaut werden. Nach entsprechender Reinigung kann das Gas vor Ort in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) verstromt werden. Die Vergärung in landwirtschaftlichen oder industriellen Biogasanlagen ist technisch weitgehend ausgereift.
- **Vergasung:** Bei der noch jungen Vergasungstechnologie wird holzartige Biomasse bei hohen Temperaturen in brennbare Gase umgewandelt. Das Gas wird anschliessend verstromt. Für einen wirtschaftlichen Betrieb muss auch die Wärme verwertet werden können.

Bei der Verbrennung von Biomasse ist es aus ökonomischen und ökologischen Gründen sinnvoll, ab einer thermischen Leistung von etwa 1 MW kombiniert Strom und Wärme zu erzeugen. Der elektrische Wirkungsgrad ist stark von der eingesetzten Technologie und der thermischen Leistung abhängig. Die Wärme aus grösseren Verbrennungsanlagen ($> 10 \text{ MW}_{\text{th}}$) kann über einen Dampfprozess zu rund 20 bis 25 % in Strom gewandelt werden. Kleinere Feuerungsanlagen arbeiten mit einem ORC-Prozess (Organic Rankine Cycle Prozess), bei dem nicht Wasser, sondern ein organisches Arbeitsmittel zum Antrieb der Turbine verdampft wird. Solche Anlagen erzielen elektrische Wirkungsgrade von rund 12 bis 18 %. Synthetisches Methan kann in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) mit einem elektrischen Wirkungsgrad von bis zu 43 % verstromt werden. Bei Holzgas liegt dieser Wert aufgrund des tieferen Brennwertes bei rund 41 %.

4. Potenzial

Verschiedene Studien zum Potenzial der erneuerbaren Energie in der Schweiz wurden vom Energie Dialog Schweiz zusammengefasst.³ Es wurde insbesondere das erwartete Potenzial verglichen, welches ökologische, wirtschaftliche und soziale Aspekte berücksichtigt. Weiter hat das Bundesamt für Energie (BFE) im Rahmen der Energieperspektiven 2050 Potenzialstudien erstellt. Diese betrachten unter anderem die zeitliche Entwicklung von Kosten, Technologien, Klima, politischen Massnahmen und Investitionszyklen.⁴ Das vom BFE geschätzte ökologische Potenzial berücksichtigt die Gesamtökobilanz der Energiegewinnung aus Biomasse sowie deren Konkurrenzsituation zur Nahrungsmittelproduktion. Deshalb basiert es vor allem auf der Verwertung von Reststoffen aus der landwirtschaftlichen Produktion, biogenen Abfällen und Waldholz und nur zu einem geringen Teil auf Energiepflanzen.

Unter Berücksichtigung des langfristig sinkenden Wärmebedarfs und einer erhöhten zukünftigen Nutzung von Biotreibstoffen schätzt das BFE das maximal realisierbare Ausbaupotenzial für Strom aus Holz und Biogas zurzeit auf 4 TWh.⁵ Unter zusätzlicher Berücksichtigung eines Ausbaus der Stromproduktion aus Abwasserreinigungsanlagen und KVA – das Potenzial wird gemäss BFE auf rund 1 bis 2 TWh geschätzt – erscheint ein Stromproduktionspotenzial von 2.5 TWh bis 4 TWh als realisierbar. Herausforderungen sind die gesellschaftliche Akzeptanz, die Rentabilität und die Verfügbarkeit gesicherter Wärmeabnehmer. Die in den oben erwähnten Studien abgeschätzten Potenziale sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Potenzial (TWh)	2017	2035	2050
Erwartet Energie Dialog Schweiz		5	
ökologisch (BFE)			4
Erwartet (VSE)	1.6	2.5 – 4	2.5 – 4

Tabelle 1: Potenzial für Stromproduktion aus Biomasse-Anlagen in der Schweiz.

5. Einschätzung zu Leistungsverfügbarkeit und Energiequalität

Die Abschätzung der Leistungsverfügbarkeit für das Winterhalbjahr erfolgt gemäss den Annahmen, die in den BFE-Energieperspektiven gemacht wurden.⁶ Die Leistungsverfügbarkeit von Biomasseanlagen richtet sich nach der Verfügbarkeit von Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen (WKK). Im Mittellastbereich ist eine WKK-Anlage im Winter zu 100 % verfügbar, im Sommer jedoch aufgrund des tieferen Wärmebedarfs nur zu ca. 35 %. Mit Biomasse betriebene WKK-Anlagen erreichen jährlich 5'000 bis 7'000 Betriebsvolllaststunden. Damit ergibt sich die folgende Leistungsverfügbarkeit im Winterhalbjahr:

³ Quelle: ETS 2009

⁴ Quelle: BFE 2011

⁵ Quelle: BFE 2011

⁶ Quelle: BFE 2007

Verfügbare Leistung [MW]	2017	2035	2050
Grundlast	260	400 - 650	400 - 650
Mittellast	260	400 - 650	400 - 650
Spitzenlast	0	0	0
Systemdienstleistung	teilweise (z.B. KVA)	teilweise	teilweise

Tabelle 2: Leistungsverfügbarkeit der Technologie im Winterhalbjahr bis 2050.

6. Gestehungskosten

Ein Überblick über die durchschnittlichen heutigen und erwarteten Investitions- und Stromgestehungskosten bis 2050 ist in Tabelle 3 gegeben. Die Bandbreite der Stromgestehungskosten aus Biomasse ist sehr gross und reicht von etwa 7 Rappen pro kWh in KVA bis über 60 Rappen pro kWh in landwirtschaftlichen Biogasanlagen.

Bei der Ermittlung der Stromgestehungskosten fliessen die Investitionskosten, Betriebs- und Unterhaltskosten, Brennstoffkosten, der elektrische Wirkungsgrad und die Betriebsstunden ein. Von grosser Bedeutung ist auch der Wärmepreis. Zurzeit orientiert sich der Wärmepreis in der Regel am Wärmepreis aus fossilen Brennstoffen und liegt im Bereich von ca. 8 bis 10 Rappen pro kWh. Die Wirtschaftlichkeit der Anlagen wird in der Regel nur über die kostendeckende Einspeisevergütung (KEV) erreicht.

Gemäss BFE wird für die Investitionskosten der etablierten Technologien, also HHKW und Biogas-BHKW, nur eine moderate Kostendegression erwartet. Bei der Holzvergasung werden sich die Kosten aufgrund technischer Verbesserungen deutlich reduzieren. Allgemein wird jedoch angenommen, dass das technische Kostensenkungspotenzial durch steigende Rohstoffpreise kompensiert oder gar überkompensiert wird. Die Betriebs- und Unterhaltskosten werden für HHKW auf 4 bis 7 % und für Biogasanlagen auf 10 bis 15 % der Investitionskosten geschätzt

Bei den Rohstoffkosten für die Biomasse sind aus Sicht des Anlagenbetreibers zwei Fälle zu unterscheiden. So muss er beispielsweise für Waldholz derzeit rund 3 bis 4 Rappen pro kWh Energieinput bezahlen, während er bei Grüngutabfällen Erträge in Form von Entsorgungsgebühren realisieren kann. Künftig dürfte sich die Wirtschaftlichkeit von Biomasseanlagen hingegen wegen steigender Nachfrage nach Biomasse tendenziell verschlechtern, sei es durch steigende Energieholzpreise oder sinkende Entsorgungsgebühren für energetisch wertvolle Abfallprodukte.

Technologie	Investitionskosten (CHF/W _{el})			Stromgestehungskosten (Rp./kWh _{el})		
	2011	2035	2050	2011	2035	2050
Holzheizkraftwerk	7-9,5	7-9,5	7-9,5	15-25	10-15	10-15
KVA	4,4	4	4	7-8	7-8	7-8
Landwirtschaftliche Biogasanlage	7,5-13	6,2	6	20-70	18-25	18-25
Industrielle Biogasanlage	6-11	3,5	3,25	15-45	16	16
ARA	3,75-5,5	3,3-5	3-4,75	12-22	12-22	12-22
Holzvergasung	11-14	6.5-9	6-7,5	20-25	15-20	15-20

Tabelle 3: Zusammenfassung der durchschnittlichen Investitions- und Stromgestehungskosten für verschiedene Technologien (Quellen: BFE 2007, BFE 2007a)

Der Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen VSE schätzt die Gestehungskosten bis 2050 aufgrund von Projektdaten, insbesondere bei Holzheizkraftwerken, eher etwas höher ein.

7. Umwelt/Klima

Die Treibhausgasemissionen einer Biogasanlage, die über den gesamten Lebenszyklus emittiert werden, betragen je nach Brennstoff zwischen 7 und 180 Gramm CO₂-Äquivalente pro kWh. Für Biogas-WKK beträgt der CO₂-Ausstoss rund 77 g CO₂-Äquivalente pro kWh.⁷

Beim Betrieb von Holzheizkraftwerken sind die durch die Verbrennung erzeugten Feinstaubemissionen potenziell problematisch und dürfen gesetzliche Emissionsgrenzwerte nicht überschreiten. In der Luftreinhalteverordnung (LRV) sind strenge Grenzwerte für staubförmige Emissionen aus Holzverbrennungsanlagen vorgeschrieben.⁸

Grossprojekte können wegen Bedenken bezüglich zusätzlichen Verkehrs der Rohstofflogistik oder Geruchsemissionen auf eine mangelnde gesellschaftliche Akzeptanz stossen.

8. Rahmenbedingungen

Biomasseanlagen können von der kostendeckenden Einspeisevergütung (KEV) profitieren. Die Vergütungsdauer beträgt 20 Jahre, wobei nur die Nettostromproduktion (Bruttoproduktion abzüglich Eigenverbrauch der Anlage) vergütet wird. Für Biomasseanlagen ist keine Absenkung der Vergütung vorgesehen.⁹ KVA und Klärgasanlagen werden mit dem Inkrafttreten des neuen Energiegesetzes ab 2018 nicht mehr mit der KEV gefördert. Neue Anlagen können jedoch ein Gesuch um einen Investitionsbeitrag stellen.¹⁰

⁷ Quelle: PSI 2010

⁸ Quelle: LRV 2017)

⁹ Quelle: KEV 2017a

¹⁰ Quelle: KEV 2017b

Der Landwirtschaftsbonus wird für Biogasanlagen gewährt, wenn der Anteil nicht-landwirtschaftlicher Co-Substrate (biogene Abfälle) und Energiepflanzen höchstens 20 % beträgt. Für die energetische Nutzung von Holz wird ein Holzbonus gewährt. Für WKK-Anlagen mit Gasprozess und Brennstoffzellen wird ein WKK-Bonus gewährt, falls die externe Wärmenutzung die Mindestanforderungen um 20 % übersteigt.¹¹

9. Bewertung und SWOT-Analyse

Bewertungskriterium	2017	2035	2050
Investitions- und Geste- hungskosten	Gestehungskosten bei KVA in Nähe Markt- preis, andere Techno- logien deutlich darüber.	Gestehungskosten bei KVA in Nähe Markt- preis, andere Techno- logien deutlich darüber.	Gestehungskosten bei KVA in Nähe Markt- preis, andere Techno- logien deutlich darüber.
Umweltverträglichkeit	tieferer CO ₂ -Belastung als CH-Strom-Mix. tiefe Staubemissionen bei grossen Verbren- nungsanlagen	tiefe CO ₂ -Belastung. Tiefe Staubemissionen bei grossen Verbren- nungsanlagen	tiefe CO ₂ -Belastung. Tiefe Staubemissionen bei grossen Verbren- nungsanlagen
Verfügbarkeit der Energie	v.a. Mittellast, wärme- geführt. Hauptsächlich Winter, wenig im Sommer	v.a. Mittellast, wärme- geführt. Hauptsächlich Winter, wenig im Sommer	v.a. Mittellast, wärme- geführt. hauptsächlich Winter, wenig im Sommer
Produktionspotenzial	ca. 1,7 TWh (ca. 3 % des Strombedarfs)	2,5-4 TWh bei Aus- schöpfung des ökologi- schen Potenzials	2,5-4 TWh bei Aus- schöpfung des ökologi- schen Potenzials
Gesellschaftliche Akzeptanz	moderat (Ge- ruchsemissionen, Ver- kehr, Ökobilanz, Kon- kurrenz mit Nahrungs- mitteln)	moderat	moderat
Politische Akzeptanz	Moderat	Moderat	Moderat

Tabelle 4: Bewertung der Stromproduktion unter Verwertung von Biomasse nach verschiedenen Kriterien für die Zeiträume 2017, 2035 und 2050. Grün: gut, orange: genügend, rot: schlecht.

¹¹ Quelle: KEV 2011

extern	Chancen <ul style="list-style-type: none"> - Neue Technologien - Biogaseinspeisung in Erdgasnetz erlaubt dezentrale Nutzung bei Bedarf 	Risiken <ul style="list-style-type: none"> - Nutzungskonflikte mit Nahrungsproduktion - kaum Senkung der Gestehungskosten erwartet - mangelnde Akzeptanz in Bevölkerung
intern	Stärken <ul style="list-style-type: none"> - umweltfreundliche Wärme- und Stromproduktion - Förderung (KEV) - viel Know-how bei EVU - ausgereifte Technologien vorhanden 	Schwächen <ul style="list-style-type: none"> - hohe Gestehungskosten - Standorte mit Wärmeabnahme limitiert - Rohstoffpotenzial z.T. lokal ausgeschöpft - limitiertes Gesamtpotenzial in der Schweiz

Tabelle 5 SWOT-Analyse

10. Die wichtigsten Zahlen im Überblick

Kennzahl	Jahr	Quelle	Wert
Endenergieverbrauch	2016	BFE 2017a	237.2 TWh
Energienutzung aus Biomasse	2016	BFE 2017b	12.9 TWh
Anteil Biomasse am Schweizer Endenergieverbrauchs	2016	BFE 2017b	5.4 %
Landeserzeugung Elektrizität	2016	BFE 2017a	61.6 TWh
Erneuerbare Elektrizitätsproduktion ohne Wasserkraft	2016	BFE 2017a	3.16 TWh
Anteil Erneuerbarer Elektrizitätsproduktion ohne Wasserkraft	2016	BFE 2017a	5.1 %
Elektrizitätsproduktion aus Biomasse	2016	BFE 2017a	1.72 TWh
Anteil Biomasse an Ern. Elektrizitätsproduktion ohne Wasserkraft	2016	BFE 2017a	54 %

11. Quellenverzeichnis

- LRV 2017 Luftreinhalte-Verordnung vom 16. Dezember 1985 (Stand 1. April 2017)
- BFE 2007 Die Energieperspektiven 2035 – Band 5, Analyse und Bewertung des Elektrizitätsangebotes, Bundesamt für Energie BFE, Bern, Juni 2007
- BFE 2007a Wirtschaftlichkeit von heutigen Biomasseanlagen, Bundesamt für Energie BFE, Bern, 2007
- BFE 2010 Strategie für die energetische Nutzung von Biomasse in der Schweiz, Bundesamt für Energie BFE, Bern, 2010
- BFE 2011 Grundlagen für die Energiestrategie des Bundesrates, Aktualisierung der Energieperspektiven 2035; Frühjahr 2011, Bundesamt für Energie BFE, Bern, 2011
- BFE 2017a Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2016, Bundesamt für Energie BFE, Bern, 2017
- BFE 2017b Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien, Ausgabe 2016, Vorabzug, Bundesamt für Energie BFE, Bern, 2017
- ETS 2009 Erneuerbare Energien: Übersicht über Studien und Einschätzung zu den erwarteten inländischen Potenzialen für die Strom-, Wärme- und Treibstoffproduktion in den Jahren 2035 u. 2050, Grundlagenpapier für die Energie-Strategie 2050. Energie Dialog Schweiz (ETS), Zürich, 2009.
- KEV 2011 Richtlinie kostendeckende Einspeisevergütung (KEV), Art. 7a EnG, Biomasse Anhang 1.5 EnV, Version 1. Oktober 2011
- KEV 2017a Richtlinie kostendeckende Einspeisevergütung (KEV), Art. 7a EnG, Allgemeiner Teil, Art. 3d, Stand 1.1.2017
- KEV 2017b Kostendeckende Einspeisevergütung: Informationen für Projektanten von Biomasse-, Windkraft-, Kleinwasserkraft- und Geothermieanlagen, Bundesamt für Energie BFE, 22. Mai 2017
- PSI 2010 Nachhaltige Elektrizität: Wunschdenken oder bald Realität? PSI Energie-Spiegel Nr.20, Juni 2010