

Schlussbericht, 5. April 2018

Erneuerbare Energien in der Industrie

Fallanalysen, Hochrechnung und
Empfehlungen



energie schweiz

Unser Engagement: unsere Zukunft.

Autoren

Anton Sres, eicher+pauli Bern AG

Joel Andres, eicher+pauli Bern AG

Beat Nussbaumer, eicher+pauli Bern AG

Auftraggeber

Hanspeter Nützi, BFE

Erich Bötsch, BFE

**Diese Studie wurde im Auftrag von EnergieSchweiz erstellt.
Für den Inhalt sind alleine die Autoren verantwortlich.**

Adresse

EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE
Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen. Postadresse: 3003 Bern
Infoline 0848 444 444. www.energieschweiz.ch/beratung
energieschweiz@bfe.admin.ch, www.energieschweiz.ch

Inhalt

1	Zusammenfassung	5
2	Einleitung	8
2.1	Ausgangslage	8
2.2	Zielsetzung	8
2.3	Lösungsansatz	8
2.4	Grundlagen	9
3	Einführung	9
4	Energiebedarf Industrie	10
4.1	Datengrundlage.....	10
4.2	Energiebedarf Branchen	11
4.3	Eingesetzte Energieträger	12
5	Technologien für EE in der Industrie	14
5.1	Kurzbeschreibung Technologien	14
5.2	Technologiematrix.....	15
6	Beispiele von erneuerbarer Wärmeerzeugung	15
6.1	Solarthermie konzentrierend	15
6.2	Solarthermie nicht konzentrierend	16
6.3	Wärmepumpe mit Grundwasser	18
6.4	Wärmepumpe für Abwärmenutzung	19
6.5	Hochtemperatur-Wärmepumpe	20
6.6	Biomasse: Holzschnitzel mit kleiner Leistung	21
6.7	Biomasse: Holzschnitzel mit grosser Leistung.....	22
6.8	Biomasse: Holz und Müllerei-Nebenprodukte	23
6.9	Biomasse: Holzkraftwerk (Contracting).....	24
6.10	Biomasse: Holzkraftwerk (in Planung)	25
6.11	Biogas: Vergärung von Abfällen und Hofgülle (in Planung).....	26
6.12	Biogas: Vergärung von Abfällen	27
7	Hochrechnung zusätzliches Potential von EE	28
7.1	Theoretisches Potential EE.....	28

7.2	Technisches Potential	29
7.3	Zusätzliches Potential	30
8	Hemmnisse und Treiber	32
8.1	Identifizierte Hemmnisse aus der Umfrage.....	32
8.2	Hemmnisse Literaturrecherche	32
8.3	Treiber	33
9	Fazit und Empfehlung für weiteres Vorgehen	35
10	Literaturverzeichnis	37
11	Anhang	39

1 Zusammenfassung

Mit der Vorstudie «Erneuerbare Energien in der Industrie» soll das wirtschaftliche Potential der erneuerbaren Energien (EE) in bestimmten Industriezweigen in Abhängigkeit der Rahmenbedingungen bestimmt und mögliche Fördermassnahmen aufgezeigt werden. Dabei liegt der Fokus auf dem thermischen Energiebedarf.

Um Struktur in die Vielzahl von Betrieben zu bringen, wurde die Branchenstruktur der jährlich erscheinenden Helbling-Statistik «Energieverbrauch in der Industrie und im Dienstleistungssektor» [1] vom BFS verwendet. Die Industrie ist in 12 Branchen aufgeteilt, die von den Produkten und dem Energieverbrauch ähnlich sind. Nicht alle Branchen wurden bei der Untersuchung berücksichtigt. Vielmehr wurden jene ausgewählt, die einen hohen thermischen Energiebedarf auf nicht zu hohem Temperaturniveau und einen kleinen Anteil an EE haben. Es sind die Branchen:

- Nahrungsmittel
- Textil/Leder
- Chemie/Pharma
- Metall/Geräte
- Maschinen
- Andere Industrien
- Bau

Ausgehend von Umfragen und Interviews bei Moderatoren der Energieagentur der Wirtschaft (EnAW), einer Analyse der rapportierten EnAW-Massnahmen sowie e+p-eigenen Projekten wurden aussagekräftige, repräsentative und multiplizierbare Beispiele recherchiert, welche aufzeigen, wie in der Industrie vermehrt erneuerbare Energien eingesetzt werden können. Die Erhebungen ergaben, dass vorwiegend folgende Technologien für EE zum Einsatz kommen:

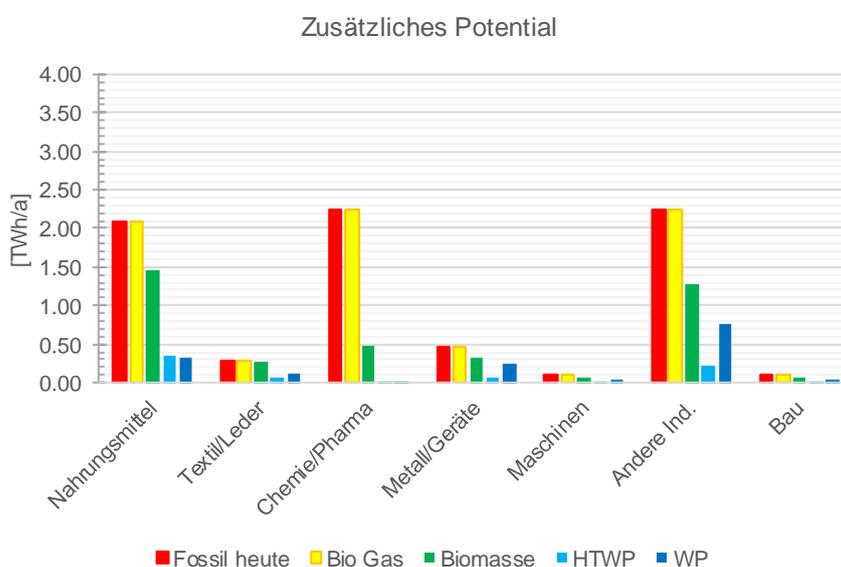
- Biomassefeuerungen (erster Linie Energieholz)
- Biogas (aus eigener Produktion)
- Hochtemperaturwärmepumpen (Nutzung von interner Prozessabwärme)
- Solarkollektoren (Vakuumröhren und konzentrierende Kollektoren, P+D-Anlagen)

Während die Solarkollektoren sich für spezielle Situationen eignen, haben sich die anderen Technologien auf einem breiteren Gebiet bewährt. Folgende «Best Practice» Lösungen konnten dokumentiert werden:

- Nahrungsmittel:
 - Dampferzeugung mit Biomasse
 - Backen mit Biomassefeuerung (Wärmeträger Thermoöl)
 - Hochtemperaturwärmepumpen für Abwärmenutzung von Kälteprozessen
- Chemie, Pharma:
 - Bezug von Dampf oder Fernwärme von Dritten

Um das zusätzliche Potential für erneuerbare Energien in der Industrie aufzuzeigen, wurde eine Hochrechnung durchgeführt. Als Datenbasis für den Energiebedarf wurde die BFE interne EnAW-Datenbank anonymisiert genutzt. Sie deckt etwa 80% des in der Helbling-Statistik aufgeführten Energiebedarfs und hat verlässlichere resp. detaillierte Daten zu erneuerbaren Energieträgern.

Für die Hochrechnung des zusätzlichen Potentials wurde einerseits der Temperaturbedarf für Prozesse und die erreichbaren Temperaturniveaus der Technologien mit EE sowie der bereits eingesetzten nichtfossilen Brennstoffe berücksichtigt. Eingesetzt wurden die Technologien mit Biogas, Biomassefeuerung, Wärmepumpen und Hochtemperaturwärmepumpen. Die resultierenden, zusätzlichen Potentiale einzelner Technologien sind in der folgenden Abbildung dargestellt:



Die Branchen «Nahrungsmittel» und «andere Industrien» weisen dank ihrem hohen Wärmebedarf bei Temperaturen unter 500°C und geringem Anteil an EE das grösste Potential auf. Der Wärmebedarf der ausgewählten Branchen beträgt total 10 TWh/a.

Von den EE-Energieträger hat Biogas mit der technischen Möglichkeit einer 1:1 Substitution von Erdgas das grösste Potential von 7.5 TWh/a (75%). Diesem steht jedoch ein Biogaspotential¹ von nur 2.3 TWh/a gegenüber.

Die Biomasse (in erster Linie Energieholz) hat mit ca. 4.0 TWh/a (40%) das zweitgrösste Potential. Das zusätzlich nutzbare Energieholzpotential ist mit 3.6 bis 6.6 TWh/a ausreichend [2].

An dritter Stelle folgt die Standardwärmepumpe mit 1.6 TWh/a (16%) für Raumheizung und Warmwasser.

Zuletzt folgt die Hochtemperaturwärmepumpe mit 0.7 TWh/a (7%). Da sie nur interne Prozessabwärme nutzt, ist ihr Einsatz begrenzt.

Die Potentiale sind grobe Schätzungen. Sie wurden für jeden EE-Energieträger isoliert bestimmt. Abhängigkeiten zwischen den Technologien wurden nicht berücksichtigt.

¹ Potential für 2030, aus Studie [8].

Mit der Recherche der «Best Practice» Beispielen wurden gleichzeitig Hemmnisse und Treiber beim Einsatz von EE im Industriebereich nachgefragt. Als wesentliche Hemmnisse ergaben sich:

- Tiefe Energiepreise der fossilen Energieträger
- Geforderte Payback unter 5 Jahren
- Raumangebot für Biomasseanlagen
- Trägheit von Feuerungen mit fester Biomasse
- Diskontinuierlicher Anfall an Sonne bei Solaranwendungen
- Sicherheits- und Hygieneanforderungen
- Vertragliche, langjährige Verpflichtungen

Als Treiber erwiesen sich folgende Punkte:

- Nachhaltigkeit im Leitbild des Unternehmens
- Förderbeiträge und Verkauf von Übererfüllungen bei CO₂-abgabebefreiten Unternehmen
- Wärmecontracting
- Verkauf von CO₂-Zertifikaten aus der Substitution von Erdgas und der Reduktion des Methanausstosses
- Gesetzliche Vorschriften
- Regionale Verankerung von Firmen
- Unsichere Preisentwicklung der fossilen Energieträger

Für eine Ausdehnung der Nutzung von erneuerbaren Energien in der Industrie erachten wir die Verstärkung folgender Treiber als erfolgsversprechend:

1. Firmen sollen vermehrt das Thema Nachhaltigkeit und Energie in ihre Leitbilder übernehmen. Die Förderung kann in Form eines «Motivationstrainings» sein, wo Vorteile, Vorgehen und Zielsetzungen vermittelt werden.
2. Kommunikation von «Best Practice» mit Lösungsbeispielen in den Bereichen
 - Wirtschaftlichkeit
 - Dynamik Wärmebedarf
 - Raumbedarf, Sicherheit, Hygiene
3. Die Zusammenarbeit von Contractoren und Industrie soll gefördert werden. Dazu müssten bestehende Probleme eruiert werden, wie z. B. der Umgang mit einem kurzfristigen Wegzug eines Produktionsbetriebes, und adäquate Lösungen gefunden werden (Versicherung für thermische Versorgung mit EE). Erfolgreiche Modelle, wie z.B. das «Nestlé» Biogasprojekt, können als «Best Practice» genutzt werden.

Um gezielter auf Unternehmer zugehen zu können, sind folgende Arbeiten sinnvoll:

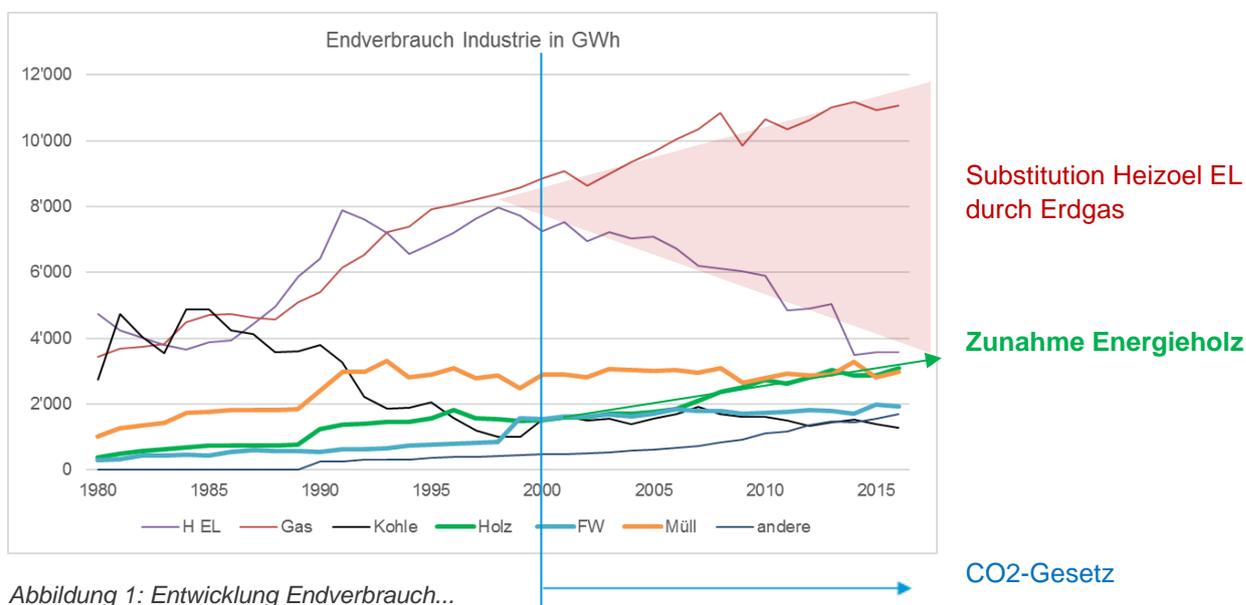
- Detailliertere Auswertung der EnAW Energiedatenbank in den Unterbranchen von «Nahrungsmittel», «Chemie/Pharma» und «andere Industrien» zur Eingrenzung der interessanten Zielgruppe
- Zusammenstellen der relevanten thermischen Prozesse der Zielgruppen
- Auswahlempfehlung Technologie EE und Vorgehensempfehlung für Zielgruppen (Checklisten, etc.)

2 Einleitung

2.1 Ausgangslage

Die Rahmenbedingungen im Energie- und Umweltbereich ergeben eine klare Ausrichtung hin zu einer massiv verstärkten Nutzung der erneuerbaren Energie (EE). Im Industriesektor wird 2016 der Wärmebedarf weiterhin zu $\frac{2}{3}$ durch die nicht erneuerbaren Energieträger Kohle, Erdöl und vor allem Erdgas gedeckt (exkl. Elektrizität).

Die Entwicklung zeigt, dass seit 2005 der Heizölanteil zu rund 50% durch Erdgas substituiert wurde. Nicht unwesentlich zu dieser Entwicklung beigetragen hat die 2003 eingeführte CO₂-Abgabe und die damit verbundenen Zielvereinbarungen mit einer Vielzahl der Industriebetriebe. Auch der deutliche Anstieg des Anteiles Holz im selben Zeitraum zeigt, dass die Industrie sich rasch an veränderte Rahmenbedingungen anpassen kann und muss.



Mit der stetigen Erhöhung der CO₂-Abgabe infolge Zielverfehlung sowie den auch nach 2020 möglichen CO₂-Kompensationsleistungen nehmen auch die Anreize für den Einsatz der EE im Industriesektor weiter zu.

Als gegenläufigen Einflussfaktor sind sicher die seit mehreren Jahren anhaltend tiefen Energiepreise auf Erdöl und Erdgas (insbesondere letzterer bei Grosskunden) zu nennen.

2.2 Zielsetzung

Mit der vorliegenden Vorstudie soll das wirtschaftlich vertretbare Potential der EE in der Industrie in Abhängigkeit der Rahmenbedingungen aufgezeigt und mögliche Fördermassnahmen empfohlen werden.

2.3 Lösungsansatz

Ausgehend von Umfragen und Interviews bei EnAW-Moderatoren, einer Analyse der rapportierten EnAW-Massnahmen und e+p-eigenen Projekten bei Fernwärmelieferanten sollen aussagekräftige, repräsentative und multiplizierbare Beispiele identifiziert werden, wie in der Industrie vermehrt erneuerbare Energien eingesetzt werden können.

Bei der Auswahl der Beispiele werden einerseits effektiv umgesetzte Fälle angeschaut, andererseits sollen auch technisch umsetzbare Projekte analysiert werden, welche bisher nicht zu Umsetzung kamen. Hier werden jeweils die Erfolgsfaktoren, spezielle Rahmenbedingungen oder auch die betrieblichen/wirtschaftlichen Hemmnisse dokumentiert, welche für die Potential-Hochrechnung relevant sind. Ein Fokus wird dabei auch auf die Temperaturanforderung und Dynamik der eingesetzten Prozesse gelegt (z.B. Sterilisation/Reinigung, Trocknung, BWW, +Kühlung etc.).

Die Abschätzung der jeweiligen EE-Potentiale der selektierten Beispiele erfolgt anhand von vorliegenden Analysen und Projekten von eicher+pauli sowie im Rahmen von «Interviews» mit EnAW-Moderatoren, welche in den selektierten Branchen Industriefirmen moderieren.

Mit dem skizzierten Lösungsansatz ergeben sich folgende Arbeitsschritte:

1. Kurzumfragen/-analysen für die Identifikation repräsentativer Beispiele/Systeme für das Potential zur Umstellung auf erneuerbare Energieträger bei Industrien
2. Analyse der Helbling-Erhebung und Feingliederung der Arbeitsstätten/Beschäftigte NOGA-2-stellig // Ergänzende Helbling-Auswertung der erhobenen (aber nicht repräsentativen) erneuerbaren Energieträger
3. Auswahl von neun repräsentativen Beispielen mit einem möglichst hohen Multiplikations-Potential
4. Systemanalysen, Interviews zu Industriebranchen, Falldokumentation, Abschätzung der Anzahl Betriebe/Beschäftigten, bei denen die jeweiligen Fälle auch umgesetzt werden könnten
5. Hochrechnung zusätzliches Potential EE, ausgehend von den untersuchten Beispielen/Fällen
6. Zusammenstellung möglicher Fördermassnahmen als Ableitung von «Best Practice» Beispielen
7. Vorschlag für das weitere Vorgehen (Erkenntnisse aus den analysierten Fällen; Bedarf an weitergehender Analyse anderer Fälle oder von nötigen Vertiefungen)

2.4 Grundlagen

Die Potentialanalyse baut auf folgenden Quellen auf:

- EnAW-Zielvereinbarungen, im speziellen neutrale Auswertung EnAW-Daten und Interviews von zehn EnAW-Moderatoren
- Bundesamt für Energie BFE, schweizerische Gesamtenergiestatistik 2016
- Energieverbrauch in der Industrie und im Dienstleistungssektor, Analysen und Perspektiven, Resultate, «Helbling Statistik» 2016
- Weissbuch Fernwärme Schweiz, FVS - eicher+pauli, 2014

3 Einführung

In der Industrie wird Wärme zur Hauptsache für Prozesse benötigt. Die Wärmemengen für Raumheizung und Warmwasser sind im Vergleich dazu meistens sehr klein.

Die Prozesse brauchen verschiedene Temperaturniveaus. Trocknungsprozesse in der Papierindustrie kommen mit 100°C und weniger aus, während die Temperaturen in Schmelzöfen jenseits von 1'000°C liegen. Für die EU wurde der Wärmeverbrauch 2012 für verschiedene Branchen der Industrie erfasst und den verschiedenen Temperaturniveaus zugeordnet ([3], Abbildung 2).

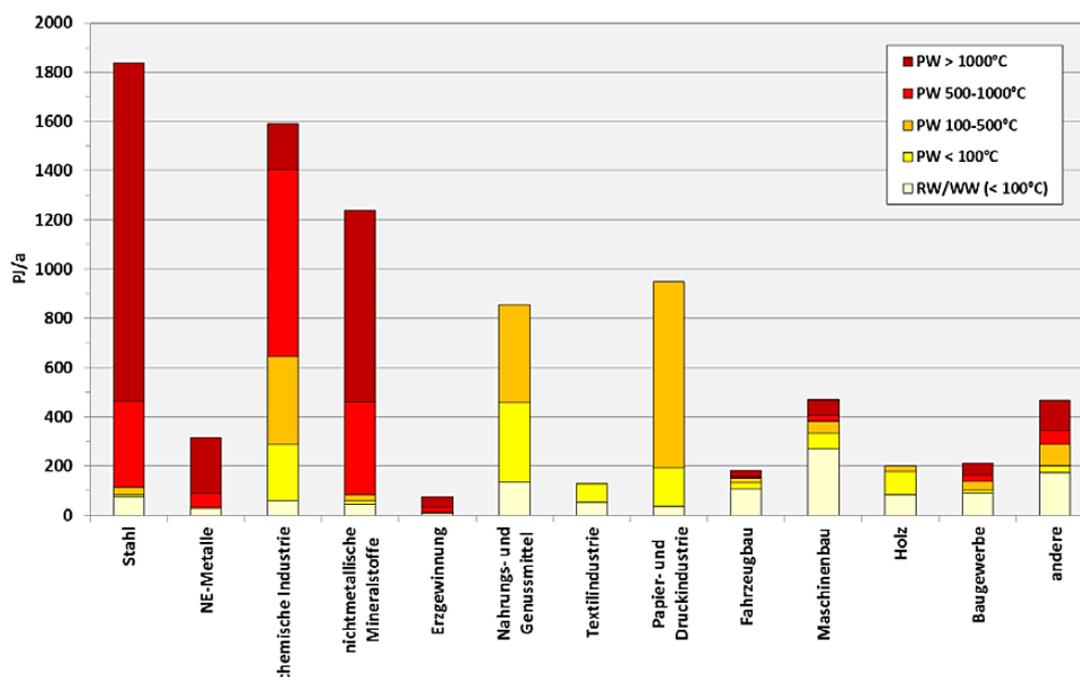


Abbildung 2: Energiebedarf für Wärmeerzeugung in der Industrie in der EU mit Angabe Temperaturniveau für 2012 [3].

Für die Erzeugung von erneuerbarer Wärme stehen verschiedene Technologien zur Verfügung. Sie unterscheiden sich unter anderem vom erreichbaren Temperaturniveau.

Konventionelle Wärmepumpen mit Umweltwärmequellen erreichen maximal 60 bis 70°C. Moderne Hochtemperaturwärmepumpen gehen bis 110°C. Eine Stufe höher kommt man mit Solarkollektoren (Vakuumröhren), die je nach Technologie bis zu 200°C erreichen.

Für Prozesse im oberen Temperaturbereich muss man schon Biomasse oder Biogas einsetzen. Während mit Biomasse² Prozesse bis ca. 400°C versorgt werden können, sind mit Biogas über 1'000°C möglich (siehe Tabelle 1). Mit erneuerbarer Elektrizität sind ebenfalls Temperaturen über 1'000°C möglich, allerdings ist diese Anwendung nicht Gegenstand unserer Betrachtung.

Die Temperaturanforderung von Prozessen limitieren generell die Einsatzmöglichkeiten von erneuerbarer Energie bei der Prozesswärmeerzeugung. Weitere Kriterien kommen innerhalb der Technologien bei individuellen Prozessen dazu, welche für einen Einsatz entscheidend sind. Die Technologien und Anwendungskriterien werden im Detail im Anhang aufgeführt.

² Thermoölanlagen bis max. 400°C (synthetisches Öl), Sattdampf Anlagen bis ca. 280°C (60bar).

4 Energiebedarf Industrie

4.1 Datengrundlage

Unsere Betrachtung befasst sich mit der thermischen Energie in der Industrie. Die Elektrizität wird daher ausgeklammert.

Für eine Einschätzung der aktuellen Situation von erneuerbarer Energie in der Industrie und zur Hochrechnung von Potentialen braucht es Verbrauchszahlen mit Angaben zu den eingesetzten Energieträgern.

Das Bundesamt für Energie publiziert seit 1999 jährlich den Energieverbrauch in der Industrie und im Dienstleistungssektor ([1], Helbling). Dazu werden jährlich 12'000 Arbeitsstätten zu ihrem Energieverbrauch befragt. Basierend auf dieser Stichprobe wird mittels Hochrechnung der Energieverbrauch von 19 Branchen berechnet. Folgende Energieträger werden erhoben:

- Elektrizität
- Flüssige Brennstoffe (Heizöl-extraleicht, mittel und schwer)
- Gasförmige Brennstoffe (Erdgas, Butan/Propan)
- Nah-/Fernwärme
- Kohle (Steinkohle/-koks, Braunkohle/-koks)
- Holz (Naturbelassenes Holz, Altholz/Holzabfälle)
- Industrieabfälle
- Anderes

Die Energieträger «Elektrizität», «Heizöl-extraleicht» und «Erdgas» werden hochgerechnet, die Energieträger «Kohle» und «Industrieabfälle» jedoch nicht, da die relevanten Mengen von einer geringen und überschaubaren Zahl von Unternehmen für die Energiegewinnung verwendet werden. Die Energieträger «Heizöl mittel» und schwer, «Butan/Propan», «Nah-/Fernwärme», «Holz» und «Anderes» werden somit erfragt, die Stichproben reichen jedoch für eine Hochrechnung nicht aus. Da mit «Fernwärme», «Holz» und «Industrieabfälle» erneuerbare Energieträger betroffen sind, ist eine verlässliche Aussage zum heutigen Anteil EE in der Industrie mit dieser Statistik nicht möglich.

Eine alternative Datengrundlage steht dem BFE mit den Energiedaten der EnAW³ zur Verfügung. Sie verfügt über eine detaillierte Erfassung der verwendeten Energieträger und deren Quantität. Verglichen mit der jährlichen BFE Statistik deckt sie rund 80% des Energiebedarfes der Sektoren Industrie und Dienstleistung ab⁴. Aus diesem Grund wird die EnAW-Datenbasis für unsere weitere Bearbeitung genutzt.

Die Aufteilung des Energieverbrauches in 19 Branchen wird von der BFE Statistik übernommen, da sie nach energetischen Gesichtspunkten zusammengestellt wurden. Zwei- bis vierstellige NOGA-Codes von Betrieben mit ähnlich grossem Energieverbrauch oder ähnlicher wirtschaftlicher Aktivität wurden nach Möglichkeit derselben Unterbranche zugeteilt ([4]).

³ Energie-Agentur der Wirtschaft

⁴ Informationen über VZA sind nicht enthalten.

Von den 19 Branchen sind 12 der Industrie zugeordnet und werden von uns verwendet (siehe Zuordnung NOGA zu Branchen im Kapitel 11 Anhang). Es sind dies folgende Branchen:

1. Nahrungsmittel (Nahrungs- und Futtermittel, Tabak, Getränke, Futtermittel)
2. Textil / Leder (Textilien, Bekleidung, Leder, Lederwaren und Schuhe)
3. Papier / Druck (Papier, Pappe und Waren daraus, Druckerzeugnisse)
4. Chemie / Pharma
5. Zement / Beton
6. Andere NE-Mineralien
7. Metall / Eisen
8. NE-Metalle
9. Metall / Geräte
10. Maschinen
11. andere Industrien
12. Bau (Hoch- und Tiefbau)

4.2 Energiebedarf Branchen

Mit den EnAW-Daten ist eine detaillierte Betrachtung des Energiebedarfes in den definierten Branchen möglich. Der aktuelle Stand des jährlichen Energieverbrauchs Elektrizität und Brennstoffe (ohne Treibstoffe) zeigt die nachfolgende Abbildung (Abbildung 3).

Ausser den Branchen «Metall/Eisen» und «Metall/Geräte» beträgt der Anteil an Brennstoffen mehr als 50% vom Energieverbrauch. Die Branchen «Nahrungsmittel», «Papier/Druck», «Chemie/Pharma», «Zement/Beton» und «andere Industrien» heben sich mit dem hohen Brennstoffverbrauch deutlich von den anderen Branchen ab. Sie bieten auf den ersten Blick die grössten Potentiale für EE an.

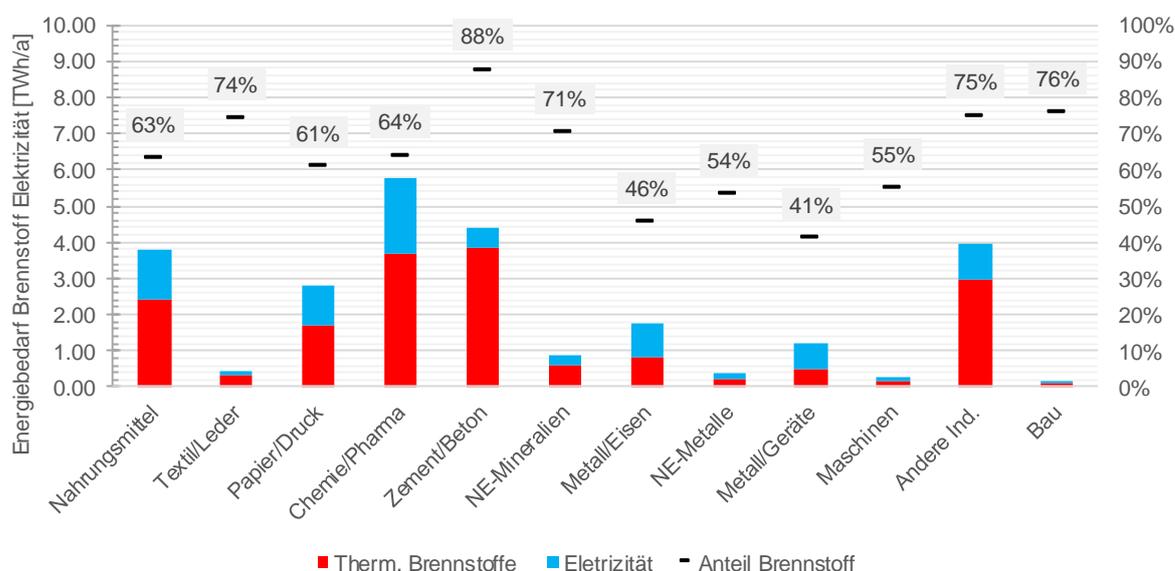


Abbildung 3: Bedarf thermische Brennstoffe und Elektrizität Industrie (EnAW 2016).

4.3 Eingesetzte Energieträger

Die folgende Abbildung zeigt den Bedarf an Brennstoffen und die Anteile von verschiedenen Energieträgerkategorien (Abbildung 4). Die Einteilung der vier Kategorien in fossil oder nicht fossil sowie die berücksichtigten Energieträger wurden von der Datenbank folgendermassen übernommen:

- **Fossil:** Erdgas, Heizöl EL, Heizöl HS, Braunkohle, Steinkohle, Propan, Butan, Petrokoks, Koks, Acetylen, Diesel (Brennstoff), Ethan, Ethanol und Methanol konventionell, diverse fossile Brennstoffe (nicht näher definiert)
- **Nicht fossil:**
 - **Fernwärme:** nicht näher definiert (Annahme mehrheitlich EE)
 - **Regenerierbar:** Biogas (Eigenproduktion), Holzschnitzel, Pellets, Stückholz, therm. Sonnenenergie, diverse biogene Brennstoffe (nicht näher definiert)
 - **Abfall:** Altholz, Altöl, Altpapier, Altpneu, Bleicherde, CSS, Destilatrückstände, Kunststoffe, Lösungsmittel, Papierfangstoff NS, Tierfett, Tiermehl, Trockenschlamm, VOC Restgase

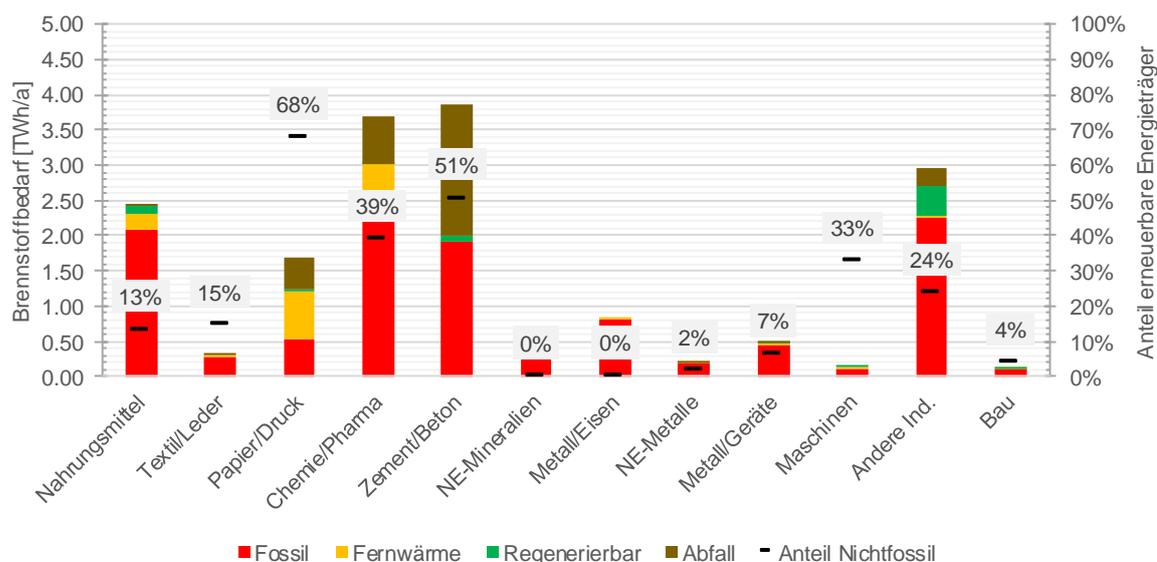


Abbildung 4: Bedarf thermische Energie und Anteile verschiedener Kategorien Energieträger sowie der Anteil an erneuerbaren Energieträger (EnAW 2016).

Neben der Aufteilung zeigt die Abbildung auch den heutigen Anteil an nichtfossilen Energieträgern. Über alle Branchen beträgt der nicht fossile Anteil bei den Brennstoffen rund 33%.

Das Potential für den Einsatz von EE schätzen wir für einige Branchen als gering ein. Zum Beispiel besteht die Branche «Papier/Druck» aus der Sicht des thermischen Energieverbrauchs einerseits aus der energieintensiven Papier- und Kartonherstellung und andererseits aus der wenig intensiven Druckereien. Die Anzahl an Arbeitsstätten in der Herstellung von Papier ist in den letzten zehn Jahren von 14 auf 10 geschrumpft. Die verbliebenen nutzen laut Statistik für die Wärmeproduktion schon einen hohen Anteil an EE von 68%.

Die Branche «Zement/Beton» enthält die energieintensiven Zementfabriken⁵. Sie benötigen Temperaturen bis über 1'400°C und verbrennen heute schon einen grossen Anteil an nicht-fossilen Brennstoffe von 51% (Trockenklärschlamm, Altreifen, Kunststoffabfälle, Altöl, Lösungsmittel, Tiermehl etc.).

Die Branchen «NE-Mineralien», «Metall/Eisen» und «NE-Metalle» brauchen ebenfalls Hochtemperaturwärme, um Metalle und Glas zu schmelzen. Für Metalle wird dazu oft Elektrizität eingesetzt, somit schliessen wir diese aus unserer Betrachtung aus.

Die genannten Branchen werden für die weiteren Betrachtungen nicht weiter berücksichtigt. Die restlichen Branchen, nachfolgend aufgelistet, versprechen mehr Erfolg. Besonders die Nahrungsmittelindustrie mit ihrem grossen Wärmebedarf bei tiefer bis mittlerer Temperaturanforderung ist vielversprechend.

- Nahrungsmittel
- Textil / Leder
- Chemie / Pharma
- Metall / Geräte
- Maschinen
- Andere Industrien
- Bau

⁵ 6 Standorte schweizweit

5 Technologien für EE in der Industrie

5.1 Kurzbeschreibung Technologien

Normale Wärmepumpen (WP) lassen sich in der Industrie für Raumheizungen (z.B. Montage- und Fertigungshallen in der Maschinenindustrie) und Warmwasser einsetzen. Sie machen dort Sinn, wo keine Hochtemperaturwärme benötigt wird. Als Wärmequellen dienen Grundwasser, Erdsonden, Luft oder Abwärme.

Hochtemperaturwärmepumpen (HTWP) erreichen höhere Temperaturen als konventionelle Wärmepumpen. Ab Stange sind Modelle erhältlich die Temperaturen bis 110°C erreichen [5]. In der Forschung zielt man auf höhere Temperaturen bis 160°C. Da der Temperaturhub bestimmend für die Effizienz (COP) ist, wird als Wärmequelle betriebsinterne Abwärme genutzt. Das Leistungsspektrum geht bis 20 MW.

Biomassefeuerungen können für Prozesse mit Temperaturen bis 400°C eingesetzt werden. Solche Anlagen können in grosser Leistung realisiert werden (mehrere MW). Als Brennstoff wird in erster Linie Energieholz (Pellets, Hackschnitzel, Alt- und Restholz) genutzt. Möglich sind auch weitere Brennstoffe, z.B. Abfälle aus der Lebensmittelproduktion (Müllereinebenprodukte), die nicht als Futter oder sonstigen Zwecke genutzt werden können. Mittels Heiz- und Heisswasser sowie Dampf und Thermoöl lässt sich die Wärme in verschiedenen Prozessen nutzen. Knackpunkte sind der Platzbedarf für Brennstoff, die Brennstofflogistik und die Trägheit solcher Anlagen.

Biogas ist bei entsprechender Aufbereitung dem Erdgas ebenbürtig und kann entsprechend als Substitut eingesetzt werden.

Power-to-Gas dient für die Erzeugung von H₂ oder CH₄ aus Elektrizität. Da es sich hier um den Einsatz erneuerbarer Energien handelt, muss auch die Elektrizität aus erneuerbaren Energien stammen. In der Industrie kommt die Anwendung von Wasserstoff für die Wärmeerzeugung heute nicht zur Anwendung. Der Wirkungsgrad bei der Methanherzeugung liegt, bezogen auf den Heizwert des Methans, unter 50%. Zudem muss das notwendige CO₂ von extern an die Produktionsstätte gebracht werden. Die Kosten erneuerbarer Elektrizität aus Wasserkraft liegen inkl. der Netzkosten und aller Abgaben bei einem industriellen Einsatz aktuell etwa bei 12 Rp/kWh. Dies würde zu Methankosten führen, welche im Bereich von 30 Rp/kWh liegen dürften. Daher kommt der Einsatz von Power-to-Methan aus Effizienz- und Wirtschaftlichkeitsgründen in der Industrie nicht in Frage.

Die Nutzung von thermischer Solarenergie ist grundsätzlich sehr sinnvoll. Man erreicht mit Vakuumkollektoren 190°C und mit konzentrierenden Kollektoren 250°C. Jedoch ist sie flächenintensiv und damit beschränkt in der Leistung. Der Ertrag ist abhängig vom Standort und vom Prozess. Sie kann im speziellen Fall eine gute Lösung sein, aber wahrscheinlich nie grossflächig eingesetzt werden. Diese Aussage wird von einer Studie über das Potential solarer Prozesswärme in Deutschland gestützt [6]. Diese Studie kam zum Resultat, dass das technische Potential bei rund 3% des industriellen Wärmebedarfes liegt.

Laut der Studie [7] «Machbarkeit solarunterstützter Wärmenetze in Kanton St. Gallen» hängen die Wärmegestehungskosten von Solaranlagen stark von den Randbedingungen ab. Sie können einen grösseren Einfluss auf die Gestehungskosten haben als die Kollektorfeldgrösse bzw. Kollektoranzahl. Die aufgeführten Wärmegestehungskosten für Vakuumröhren-

kollektoren weisen in der Studie einen weiten Bereich von 8 bis 26 Rp/kWh (ohne Subventionen) auf. Dabei ist zu beachten, dass solche Anlagen immer zusätzlich zu einer Wärmeenergieerzeugung erstellt werden. Wirtschaftlich können diese Anlagen nur sein, wenn sie genügend günstige Wärme produzieren, die die Mehrkosten kompensieren.

Wärme aus der Erde durch Nutzung mit Tiefengeothermie kann eine Temperatur über 100°C erreichen. Damit ist sie auch für die Industrie nutzbar. Diese Technologie ist jedoch für die Schweiz noch nicht genügend entwickelt, um sie in Betracht zu ziehen.

5.2 Technologiematrix

Die besprochenen Technologien sind in der folgenden Technologiematrix zusammengefasst. Neben der möglichen Einsatztemperatur sind auch der Gesteigungspreis Wärme (Kapital, Energie und WU) sowie die Übertragungsmedien und eine Auswahl an Industrieprozessen mit Temperaturbereichen eingetragen. Mit der Matrix lässt sich ablesen, für welchen Prozess welche Technologie bezogen auf die Temperatur in Frage kommt.

Temperatur [°C]		60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	500	600	700	800	900	1000	>1000			
Technologie																													
Erdgas/Heizöl																													
Wärmepumpe																													
Hochtemperatur WP																													
Biomassefeuerung Holz																													
Biomassefeuerung Andere																													
Biogas (Methan)																													
Solarkollektor konzentrierend																													
Solarkollektor Vakuum																													
Zukunft																													

Bereich Gesteigungspreis [Rp/kWh]		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29			
Technologie																													
Erdgas/Heizöl																													
Wärmepumpe																													
Hochtemperatur WP																													
Biomassefeuerung Holz																													
Biomassefeuerung Andere																													
Biogas (Methan)																													
Solarkollektor konzentrierend																													
Solarkollektor Vakuum																													

Temperatur [°C]		60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	500	600	700	800	900	1000	>1000			
Übertragungsmedien																													
Heizwasser																													
Heisswasser																													
Dampf																													
Thermoöl																													

Prozesse mit Temperaturbedarf		60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	500	600	700	800	900	1000	>1000	
Brauchwarmwasser (60°C)																											
Heizen Gebäude (bis 80°C)																											
Waschen (40-90°C)																											
Clean in Place Getränke (CIP)																											
Sterilisieren (100 - 140°C)																											
Kochen (70 - 120°C)																											
Milch UHT (ca. 5 Sekunden 130°C)																											
Milch Pasteurisieren (15 Sekunden 85°C)																											
Pasteurisieren allgemein (60-140°C)																											
Trocknen Nahrungsmittel (40-240°C)																											
Sterilisation Anlagen 120°C 20 Minuten																											
Aufkonzentrieren Vakuum																											
Primärluft Sprühtrockner 300-400°C																											
Eindampfender Treibdampf 180°C																											
Backen 200-300°C																											
Einbrennlackierung 140 - 240°C																											
Destillieren																											
Schmelzen Metalle																											
Tauchbäder vor Lackieren Heizkörper																											

Tabella 1: Übersicht Technologien EE, mit Temperaturbereich, Wärmegestehungskosten, Übertragungsmedien und eine Auswahl an Prozessen in der Industrie (Dunkelblau=Gebäudetechnik, Hellblau=Nahrungsmittelbranche, Beige=diverse).

6 Beispiele von erneuerbarer Wärmeerzeugung

In Kapitel 5 konnte gezeigt werden, dass die Technologien zur Erzeugung erneuerbarer Prozesswärme vorhanden sind. Für die Potentialabschätzung stellt sich nun die Frage, welche Anteile an der Prozesswärme die verschiedenen Technologien decken können. Dazu wurden Industriebetriebe recherchiert, welche erneuerbare Energien bereits einsetzen. Bei der Recherche wurden zudem Treiber und Hemmnisse für erneuerbare Prozesswärme ermittelt, auf welche in Kapitel 8 eingegangen wird. Für jede in Kapitel 5 beschriebene Technologie ist nachfolgend ein konkretes Beispiel aufgelistet.

6.1 Solarthermie konzentrierend

6.1.1 "Best Practice" Cremo, Villars-sur-Glâne (NOGA 1051)

Die Cremo SA in Villars-sur-Glâne ist spezialisiert auf die Verarbeitung von Milch zu Kaffee-rahm, Butter und Käse. Pro Jahr verarbeiten 825 Mitarbeitenden 480'000 Tonnen Milch (inkl. der Standorte Steffisburg, Lucens, Sierre und Lausanne).

Thermische Prozesse:

- Pasteurisieren
- Reinigen
- Heizen

6.1.2 Beschreibung Technik

Total neun Kollektoren konzentrieren die Sonne auf einer Spiegelfläche von 581m². Das Kollektorfeld kann zwei Verbraucherwärmenetze auf zwei verschiedenen Temperaturniveaus bedienen, 105°C oder 150°C. Die Kollektoraustrittstemperatur liegt dazu bei 120°C oder 160°C. Die Wärme kann sowohl direkt vom Prozess abgenommen oder in das Firmen-Nahwärmenetz eingespeist werden. Ein zusätzlicher Speicher war deshalb nicht notwendig.

Anteil substituierte fossile Energie am Gesamtverbrauch: 0.8%

Anteil substituierte fossile Energie am Prozess: 1.3%

Temperatur [°C]	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	500	600	700	800	900	1000	>1000
Technologie																									
Solarkollektor konzentrierend																									
Prozesse mit Temperaturbedarf																									
Heizen Gebäude (bis 80°C)																									
Milch UHT (ca. 5 Sekunden 130°C)																									
Milch Pasteurisieren (15 Sekunden 85°C)																									

6.1.3 Identifizierte Treiber

- Neubau
- Fördergelder
- Leitbild Energie erlaubt Mehrkosten

6.1.4 Weitere Projektbeispiele

- Fromagerie de Saignelégier
- Lataria Engiadinaisa, Bever

6.2 Solarthermie nicht konzentrierend⁶

6.2.1 «Best Practice» Zehnder Group, Gränichen (NOGA 2521)

In Gränichen produzieren knapp 250 Angestellte der Zehnder Group AG Heizkörper. Vor der Lackierung müssen die Heizkörper in beheizten Tauchbädern vorbehandelt werden. Die Tauchbäder müssen dabei auf eine Temperatur von 60 °C beheizt werden. Knapp 40% des Gesamtwärmebedarfs wird für diesen Prozess aufgewendet.

Thermische Prozesse:

- Raumheizung
- Erhitzen Tauchbäder

6.2.2 Beschreibung Technik

Die 400m² Vakuumröhrenkollektoren von Ritter Solar erzeugen 110°C heisses Wasser, welches in zwei Wärmespeichern gepuffert wird. An sonnigen Tagen kann die Anlage bis zu 50% des Wärmebedarfs decken. Bei Schlechtwetter kommt Erdöl und Propan zum Einsatz.

Anteil substituierte fossile Energie am Prozess: 6%

Temperatur [°C]	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	500	600	700	800	900	1000	>1000	
Technologie																										
Solarkollektor Vakuum	■	■	■	■																						
Prozesse mit Temperaturbedarf																										
Heizen Gebäude (bis 80°C)	■	■																								
Tauchbäder vor Lackieren Heizkörper	■																									

6.2.3 Identifizierte Treiber

- Nachhaltigkeit im Leitbild des Unternehmens
- Akzeptanz eines Paybacks über 5 Jahre
- Eine Prozessanalyse (Pinch) zeigte das Potenzial für Solarthermie auf

6.2.4 Weitere Projektbeispiele

- Colas (Strassenbau), Yverdon
- Universitätsspital Genf (HUG)

⁶ Rapp Gebäudetechnik AG, Zehnder Group

6.3 Wärmepumpe mit Grundwasser

6.3.1 «Best Practice» Druckerei von Ah, Sarnen (NOGA 1812)

Die Druckerei von Ah in Sarnen benötigt für die Produktion ausschliesslich elektrische Energie für die Druckmaschinen. Thermische Energie wird sowohl für die Kühlung der Maschinen als auch für Raumwärme im Winter benötigt.

Thermische Prozesse

- Raumheizung
- Brauchwarmwasser

6.3.2 Beschreibung Technik

Die Grundwasserwärmepumpe wird im Sommer für die Kühlung der Druckmaschinen, der Produktionsräume und der Büros eingesetzt. Die Räume werden im Winter mit der Abwärme der Druckmaschinen beheizt. Mit der Grundwasserwärmepumpe wird parallel Wärme erzeugt, welche nebst dem eigenen Wärmebedarf der Druckerei von Ah auch den des benachbarten Wohn- und Industriegebäudes deckt.

Anteil substituierte fossile Energie am Prozess: 100%

Temperatur [°C]	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	500	600	700	800	900	1000	>1000
Technologie																									
Wärmepumpe																									
Prozesse mit Temperaturbedarf																									
Heizen Gebäude (bis 80°C)																									
Brauchwarmwasser (60°C)																									

6.3.3 Identifizierte Treiber

- Zielvereinbarung
- Fördergelder

6.3.4 Weitere Projektbeispiele

- Verschiedene Beispiele mit unterschiedlichen Wärmequellen sind auf der Homepage der Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz FWS aufgeführt (www.fws.ch).

6.4 Wärmepumpe für Abwärmenutzung

6.4.1 «Best Practice» Coop Verteilzentrale Bern (NOGA 1812)

Bis 2010 betrieb die Coop Verteilzentrale in Bern eine eigene Kehrrechtverbrennungsanlage, welche jährlich ca. 3'000 Tonnen Abfall verwertete und Dampf für die Absorptionskältemaschine sowie die Raumheizung erzeugte. In der Verteilzentrale befindet sich nebst gekühlten und ungekühlten Lagerplätzen eine Gebindewaschanlage und ein Rechenzentrum.

Thermische Prozesse:

- Raumwärme
- Brauchwarmwasser
- Gebindewaschanlage

6.4.2 Beschreibung Technik

Die Abwärme aus dem Rechenzentrum sowie aus der gewerblichen Kälteerzeugung wird den Wärmepumpen zugeführt, welche die Abwärme auf ein für Raumwärme- und Brauchwarmwassererzeugung nutzbares Temperaturniveau hebt. Die Wärmepumpen haben eine Wärmeleistung von 1.3 MW und können 80 % des Wärmebedarfs für Raumwärme und Warmwasser abdecken.

Anteil substituierte Energie am Prozess: 80%

Temperatur [°C]	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	500	600	700	800	900	1000	>1000
Technologie																									
Wärmepumpe																									
Prozesse mit Temperaturbedarf																									
Heizen Gebäude (bis 80°C)																									
Brauchwarmwasser (60°C)																									

6.4.3 Identifizierte Treiber

- Ersatz der betriebsinternen KVA
- Nachhaltigkeit im Leitbild des Unternehmens
- Eine Prozessanalyse zeigte das Potenzial zur Verknüpfung der Wärme und Kälte auf

6.4.4 Weitere Projektbeispiele

- Autobahnraststätte Grauholz (inkl. Erdsondenspeicher)
- SIKA Zürich

6.5 Hochtemperatur-Wärmepumpe⁷

6.5.1 «Best Practice» Schlachtbetrieb Zürich (NOGA 1011)

Der Schlachtbetrieb Zürich befindet sich in einem historischen Gebäude inmitten der Stadt. 500 Mitarbeiter verarbeiten jährlich 30'000 Tonnen Fleisch. Wärme wird hauptsächlich für die Erzeugung von Warmwasser zur Reinigung und zum Heizen benötigt.

Thermische Prozesse:

- Reinigen (Hygiene)
- Brauchwarmwasser
- Raumheizung

6.5.2 Beschreibung Technik

Die Hochtemperaturwärmepumpe nutzt die Abwärme der Kälteproduktion und der Druckluft-erzeugung, um Brauchwarmwasser und Heizwasser mit einer Vorlauftemperatur von bis zu 90°C zu erzeugen. Die Wärmeauskoppelungen sind über einen geschlossenen Kühlwasser-kreislauf miteinander verbunden und werden zu einem Abwärme-Pufferspeicher transpor-tiert, der von der Wärmepumpe als Energiequelle genutzt wird. Ergänzt wird die Anlage durch eine Gasheizung.

Die Heizleistung beträgt 800 kW bei 90/30°C. Der erreichte COP liegt bei 3.4. Verwendet wird CO₂ als Kältemittel.

Anteil substituierte fossile Energie: 30%

Temperatur [°C]	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	500	600	700	800	900	1000	>1000
Technologie																									
Hochtemperatur WP																									
Prozesse mit Temperaturbedarf																									
Heizen Gebäude (bis 80°C)																									
Brauchwarmwasser (90°C)																									

6.5.3 Identifizierte Treiber

- Nachhaltigkeit im Leitbild der Stadt Zürich als Eigentümerin der Liegenschaft

6.5.4 Weitere Projektbeispiele (IEA Annex 35 final Report)

- Schokoladenproduktion: Kombination Heizen und Kühlen (UK)
- Milchpulverproduktion: 80°C aus 40°C Abwärme (DK)

⁷ Quelle: ewz, Dürr Therema (nicht mehr operativ)

6.6 Biomasse: Holzschnitzel mit kleiner Leistung⁸

6.6.1 «Best Practice» Molkerei Biedermann (NOGA 1051)

Die Molkerei entstand 1986 und wurde im Jahr 2000 grundlegend modernisiert. Die 110 Mitarbeiter verarbeiten jährlich 49'000 Tonnen Rohmilch zu Drinkmilch, Rahm, Jogurt und weiteren milchbasierten Produkten. Wärme wird für die Pasteurisierung, Reinigung und Heizung benötigt.

Thermische Prozesse:

- Milch Pasteurisieren
- Milch UHT
- Reinigen
- Heizen

Temperatur [°C]	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	500	600	700	800	900	1000	>1000			
Technologie																												
Biomassefeuerung Holz																												
Prozesse mit Temperaturbedarf																												
Heizen Gebäude (bis 80°C)																												
Brauchwarmwasser (60°C)																												
Milch UHT (ca. 5 Sekunden 130°C)																												
Milch Pasteurisieren (15 Sekunden 85°C)																												

6.6.2 Beschreibung Technik

Der Betrieb des Holzkessels erfolgt als Grundlastkessel während des ganzen Jahres im Zweischichtbetrieb (5'700 Betriebsstunden pro Jahr). Zur Deckung der Spitzenlast, welche insbesondere bei der Reinigung anfällt, sind zwei 5m³ grosse Energiespeicher installiert. Für die Spitzenlastabdeckung (Produktion) wird automatisch der zweite Heizkessel, der mit Heizöl befeuert wird, zugeschaltet.

Die Holzheizung hat eine Leistung von 240 kW und befindet sich im Technikraum und das Schnitzelsilo mit 140m³ Füllinhalt (reicht für ca. 14 Tage Betrieb) befindet unter dem Vorplatz.

Anteil substituierte fossile Energie: 81%

6.6.3 Weitere Projektbeispiele

- Elsa, Molkerei in Estavayer-le-Lac
- Biotta, Frucht- und Gemüsesäfte (in Planung)

⁸ Quelle: Solaragentur, Molkerei Bischofszell, eisenbart-partner AG

6.7 Biomasse: Holzschnittel mit grosser Leistung⁹

6.7.1 « Best Practice » Elsa Estavayer-le-Lac (NOGA 1051)

Die Elsa verarbeitet im Werk in Estavayer-le-Lac täglich 700 Tonnen Milch zu UHT-Milch, Joghurt und Käse. Damit ist die 1955 gegründete Molkerei die schweizweit grösste an einem Einzelstandort. Insgesamt arbeiten 600 Mitarbeitende am Standort in Estavayer-le-Lac.

Thermische Prozesse:

- Milch Pasteurisieren
- Milch UHT
- Reinigen
- Heizen

Temperatur [°C]	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	500	600	700	800	900	1000	>1000
Technologie																									
Biomassefeuerung Holz																									
Prozesse mit Temperaturbedarf																									
Heizen Gebäude (bis 80°C)																									
Brauchwarmwasser (60°C)																									
Milch UHT (ca. 5 Sekunden 130°C)																									
Milch Pasteurisieren (15 Sekunden 85°C)																									

6.7.2 Beschreibung Technik

Der Bedarf an Dampf variiert in der Produktion stark, da das Unternehmen viele verschiedene Produkte herstellt und die zu verarbeitenden Milchmengen grossen Schwankungen unterliegen. Holzfeuerungen benötigen für die Leistungsanpassung deutlich mehr Zeit als fossile Erzeuger, weshalb weiterhin vier Gas- bzw. Heizölkessel für die Spitzenlastproduktion eingesetzt werden. Trotzdem kann die mit 7.5 MW grösste Schweizer Holzschnittelfeuerung zur Dampferzeugung 60% des Energiebedarfs decken.

Anteil substituierte fossile Energie: 60%

6.7.3 Identifizierte Treiber

- Nachhaltigkeit im Leitbild des Unternehmens
- CO₂-Zielvereinbarung und die Möglichkeit, Überfüllungen zu verkaufen
- Förderbeiträge

6.7.4 Weitere Projektbeispiele

- Molkerei Biedermann, Bischofszell
- Biotta (in Planung)

⁹ Elsa, Haustech Magazin, eicher+pauli AG

6.8 Biomasse: Holz und Müllerei-Nebenprodukte¹⁰

6.8.1 «Best Practice» Coop Bäckerei Schafisheim (NOGA 1071)

In Schafisheim betreibt Coop die grösste Bäckerei der Schweiz. Während sechs Tagen pro Woche produzieren 600 Mitarbeitende im Dreischichtbetrieb jährlich 60'000 Tonnen Brot und Backwaren.

Thermische Prozesse:

- Backen
- Frittieren
- Bedampfen

Temperatur [°C]	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	500	600	700	800	900	1000	>1000		
Technologie																											
Biomassefeuerung Andere																											
Prozesse mit Temperaturbedarf																											
Backen 200-300°C																											

6.8.2 Beschreibung Technik

Im Neubau Biomassezentrale wird weltweit erstmals staubförmiger Biomasse-Brennstoff aus Müllerei-Nebenprodukte (MNP) in Kombination mit feuchten Holzschnitzeln für die Thermoöl-Erhitzung auf knapp 285°C eingesetzt.

Die MNP werden zu Pellets gepresst und vermischt mit Hackschnitzel verbrannt. In Schafisheim werden nur 1.5% des Gesamtanfalls an MNP in der Schweiz verwertet. Das Potential dieser Technologie ist entsprechend gross. Des Weiteren fallen beispielsweise bei der Verarbeitung von Getreide brennbare Reststoffe an, welche nicht als Futtermittel verwendet werden und entsprechend verfeuert werden könnten.

Die Biomassefeuerung ist eine Pilotanlage mit einer Leistung von 2.9 MW. Die Spitzendeckung erfolgt mit 2 x 3.5 MW.

Anteil substituierte fossile Energie: 70%

6.8.3 Identifizierte Treiber

- Nachhaltigkeit im Leitbild des Unternehmens
- CO₂-Zielvereinbarung und die Möglichkeit, Überfüllungen zu verkaufen
- Förderbeiträge

6.8.4 Weitere Projektbeispiele

- Meyerhans Mühlen in Villmergen (MNP)
- Coop Grossbäckerei in Gossau (nur Holzschnitzel und Thermoöl)

¹⁰ eicher+pauli AG

6.9 Biomasse: Holzkraftwerk (Contracting)¹¹

6.9.1 “Best Practice” Nitrochemie Wimmis AG (NOGA 2051)

Die Nitrochemie Wimmis AG erzeugt Chemie für die Papierentsäuerung und Treibladungspulver. Einen Teil der benötigten Wärme liefert die Oberland Energie AG, welche mittels einer Alt- und Restholzverbrennung Prozessdampf erzeugt.

Thermische Prozesse:

- Nitrierung

6.9.2 Beschreibung Technik

Die Oberland Energie AG betreibt in Spiez ein Biomassezentrum. Es besteht aus einer Vergärungsanlage, einem Kompostierwerk und einer Alt- und Restholzfeuerung.

Die Verbrennung des Alt- und Restholzes erfolgt in zwei Kesseln, die den Dampf erzeugen (6 + 6 Tonnen Dampf pro Stunde). Daraus wird der Prozessdampf zur Nitrochemie Wimmis AG geliefert, während mit einer separaten Leitung zum ABC-Labor Spiez die jahreszeitlichen Schwankungen der Fernwärmeleitungen seitens der Biogasanlage ausgeglichen werden können.

Die Redundanz und die Spitzenlast deckt eine Ölheizung.

Anteil substituierte fossile Energie: 82%

6.9.3 Identifizierte Treiber

- Business Case Contracting
- Synergien mit Biomasse-Verwertung/Entsorger
- Hohe, konstante Bandlast

6.9.4 Weitere Projektbeispiele

- Ems Chemie, Domat-Ems
- DSM, Sisseln (Holzheizkraftwerk, erzeugt Dampf und Strom, befindet sich im Bau)
- Zuckerfabrik Aarberg (Holzheizkraftwerk, erzeugt Dampf und Strom, befindet sich im Bau)

¹¹ eicher+pauli Bern AG

6.10 Biomasse: Holzkraftwerk (in Planung)

6.10.1 «Best Practice» Zuckerfabrik Aarberg (NOGA 1081)

Die Zuckerfabrik in Aarberg verarbeitete im Jahr 2016 rund 700'000 Tonnen Rüben zu 120'000 Tonnen Zucker. Die Rüben werden dazu gewaschen, verkleinert, ausgepresst und mit Kalkmilch und Kohlensäure gemischt. Zurück bleibt der Rohsaft aus Wasser und Zucker. Das Wasser wird nun durch Energiezufuhr verdampft.

Thermische Prozesse

- Trocknen Nahrungsmittel
- Elektrizitätserzeugung
- Wärmeauskopplung für Fernwärme

Temperatur [°C]	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	500	600	700	800	900	1000	>1000	
Technologie																										
Biomassefeuerung Holz																										
Prozesse mit Temperaturbedarf																										
Trocknen Nahrungsmittel (40-240°C)																										
Fernwärme																										
Elektrizitätserzeugung																										

6.10.2 Beschreibung Technik

Zukünftig soll der Wärmebedarf der Zuckerfabrik während der Kampagnen zu 55 % und ansonsten vollständig durch die Verbrennung von Altholz gedeckt werden. Dazu ist ein 33 MW Holzheizkraftwerk in Planung, welches jährlich ca. 50 GWh Prozessdampf, ca. 14 GWh Wärme für das Fernwärmenetz und ca. 67 GWh Elektrizität erzeugt. Die CO₂-Einsparungen belaufen sich auf 14'000 Tonnen pro Jahr.

Anteil substituierte fossile Energie: 60%

6.10.3 Identifizierte Treiber

- Business Case Contracting
- KEV

6.10.4 Weitere Projektbeispiele

- Renergie (Versorgung Perlen Papier)
- HHKW Forsthaus Bern (Fernwärme und Elektrizität)
- HHKW Ilanz

6.11 Biogas: Vergärung von Abfällen und Hofgülle (in Planung)¹²

6.11.1 Beschreibung Nestlé Konolfingen (NOGA 1051)

In Konolfingen produzieren rund 600 Mitarbeitende während sieben Tage pro Woche Säuglingsnahrung aus Milch. Dazu verarbeiten sie täglich 260'000 Liter Milch.

Thermische Prozesse:

- Sprühtrocknen
- Milchverarbeitung

Temperatur [°C]	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	500	600	700	800	900	1000	>1000		
Technologie																											
Biogas (Methan)																											
Prozesse mit Temperaturbedarf																											
Primärluft Sprühtrockner 300-400°C																											
Eindampfender Treibdampf 180°C																											

6.11.2 Beschreibung Technik

Mit dem Projekt «Grün-Emmental» will Nestlé beim Werk in Konolfingen den CO₂-Ausstoss um 50% reduzieren. Das Ziel ist die Errichtung von mehreren dezentralen Biogasanlagen bei lokalen Bauern, welche darin ihre Hofgülle zu Biogas verarbeiten. Nestlé liefert zusätzliche Biomasse in Form von Nährlösung aus der probiotische Bakterienproduktion. Zurzeit muss diese zu entfernten Abwasserreinigungsanlagen transportiert werden.

Die Landwirte als Betreiber und Besitzer der Anlagen können das Biogas zu einem auf 20 Jahre festgelegten Fixpreis an Nestlé verkaufen. Nestlé rechnet zurzeit mit einem Preis von 10 Rp/kWh, was dem Landwirt eine Rendite von 4% ermöglichen könnte.

Zurzeit werden Landwirte für die Erstellung einer Pilot-Anlage gesucht.

Anteil substituierte fossile Energie: bis zu 50%

6.11.3 Identifizierte Treiber

- Nachhaltigkeit im Leitbild des Unternehmens
- KEV
- Verkauf von CO₂-Zertifikaten aus der Substitution von Erdgas und der Reduktion des Methanausstosses.

6.11.4 Weitere Projektbeispiele

- Keine

¹² Nestlé, Grün Emmental

6.12 Biogas: Vergärung von Abfällen¹³

6.12.1 Beschreibung Louis Dizler (NOGA 1039)

Die Louis Dizler AG produziert in Möhlin verschiedene Tiefkühl-Gemüse, -Früchte und Marroniprodukte für die Grossverbraucher.

Thermische Prozesse:

- Blanchieren
- Erhitzen
- Heizen

Temperatur [°C]	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	500	600	700	800	900	1000	>1000	
Technologie																										
Biogas (Methan)																										
Prozesse mit Temperaturbedarf																										
Heizen Gebäude (bis 80°C)																										
Brauchwarmwasser (60°C)																										
Kochen (70 - 120°C)																										

6.12.2 Beschreibung Technik

1995 errichtete Dizler eine Kläranlage zur Abwasser-Vorreinigung. Hier entstehen pro Jahr etwa 80'000 m³ Biogas. Der Kanton Aargau machte Dizler von Anfang an zur Auflage, den grössten Teil des Biogases in der Heizzentrale (3.3 MW) zu verwerten. Aufgrund des schwankenden Heizwerts des Biogases wird dieses mit fossilem Erdgas vermischt und verbrannt. So kann 95 % des anfallenden Biogases verwertet werden.

Anteil substituierte fossile Energie: 9 %

6.12.3 Identifizierte Treiber

- Gesetzliche Vorschrift zur Nutzung des Biogases durch den Kanton

6.12.4 Weitere Projektbeispiele

- Brauerei Locher, Appenzell

¹³ Louis Dizler, Weishaupt AG

7 Hochrechnung zusätzliches Potential von EE

7.1 Theoretisches Potential EE

Mit den folgenden Betrachtungen wird das Potential der besprochenen Technologien mit erneuerbaren Energien in den ausgewählten Branchen abgeschätzt. Als Datenbasis dient die in Kapitel 4 vorgestellte EnAW-Datenbank.

Grundlegend für die Abschätzung des Potentials ist das Temperaturniveau der benötigten Wärme, das limitierend auf den Einsatz von Technologien wirkt. Daher wurde der Wärmebedarf der Branchen anhand der Studie [3] in Temperaturniveaus eingeteilt¹⁴ (Abbildung 5).

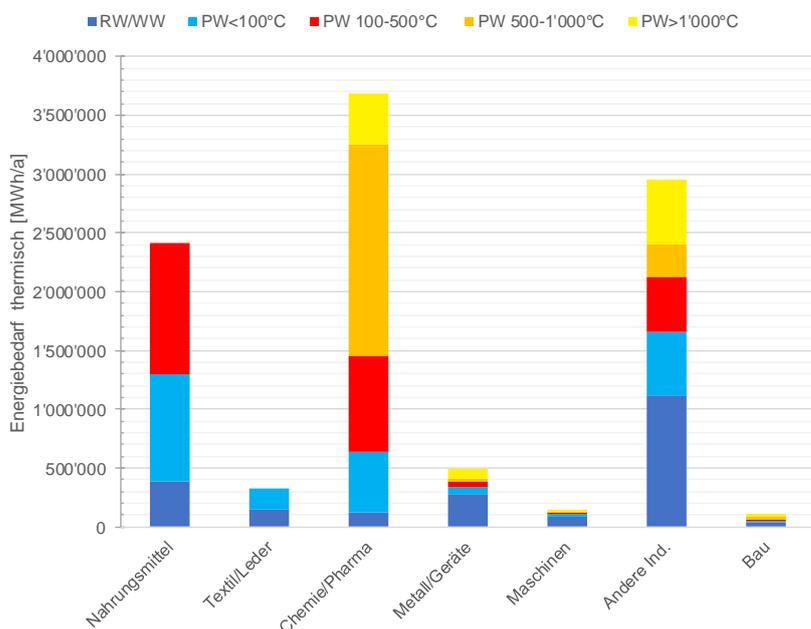


Abbildung 5: Wärmebedarf der betrachteten Branchen, aufgeteilt in Temperaturniveaus.

Der gesamte thermische Energiebedarf der betrachteten Branchen liegt bei rund 10 TWh/a. Das sind 59% aller erfassten Branchen der EnAW-Datenbank. Die Aufteilung dieser 10TWh/a nach Temperaturniveaus zeigt folgende Abbildung 6.

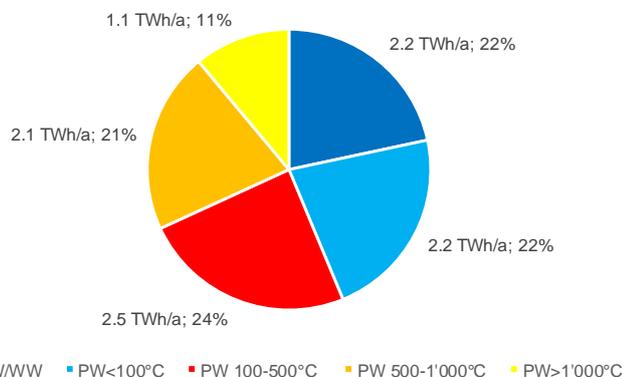


Abbildung 6: Aufteilung des thermischen Energiebedarfes in Temperaturklassen.

¹⁴ Annahme: Daten aus der EU korrespondieren mit der CH.

Dem Energiebedarf auf verschiedenen Temperaturniveaus stehen die Wärmeerzeuger mit ihrem technisch machbaren Temperaturniveau gegenüber. Das schränkt deren Einsatz ein und muss bei der Potentialabschätzung berücksichtigt werden. In der folgenden Tabelle 2 sind die besprochenen Technologien und erreichbaren Temperaturniveaus mit den oben verwendeten Temperaturklassen zusammengefasst. Damit kann jede Technologie maximal den Energiebedarf innerhalb seiner Temperaturklasse decken und ergibt so im ersten Schritt eine erste obere Grenze für das theoretische Potential.

	RW/WW	PW<100°C	PW 100-500°C	PW 500-1'000°C	PW > 1'000°C
Technologie für EE					
Biogas (Methan)	Ja	Ja	Ja	Ja	ja
Biomasse (Energieholz, Abfall)	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein
Hochtemperatur Wärmepumpe	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein
Standard Wärmepumpe	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein
In der Statistik bereits eingesetzte EE					
Fernwärme	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein
Regenerierbar	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein
Abfall	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein

Tabelle 2: Technologien und Einsatzbereich in den Temperaturklassen. Annahmen für die Potentialabschätzung.

Das Potential für Solarkollektoren wurde nicht abgeschätzt, da das Potential gemäss Beispielanlagen sehr tief bei 1 bis 6% liegt und die Schweiz generell nicht für den grossflächigen Einsatz von Sonnenkollektoren in der Industrie geeignet ist. Sie sind für Spezialfälle geeignet wo Standort, verfügbare Fläche für Kollektoren und Prozesswärmebedarf und -profil zusammenpassen.

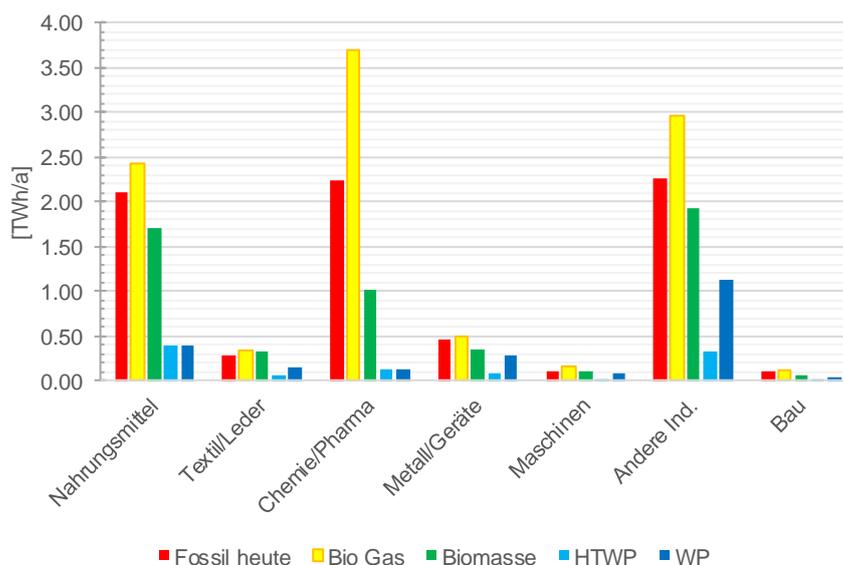


Abbildung 7: Theoretisches Potential

7.2 Technisches Potential

In Kapitel 5 sind Einschränkungen und erreichte Deckungsgrade besprochen worden. Sie beschränken das Potential je nach Technologie noch weiter. Berücksichtigt haben wir den Sachverhalt folgendermassen:

Biogas kann Erdgas und Heizöl ohne technologische Einschränkung ersetzen. Daher gehen wir davon aus, dass das theoretisch auch dem technischen Potential entspricht.

Die Biomassefeuerungen haben technische Einschränkungen in der Dynamik. Bei grossen Laständerungen sind sie träge und können deswegen in Dampfprozessen, besonders in den Branchen «Nahrungsmittel» und «Chemie/Pharma», den Bedarf nicht alleine decken¹⁵. Die gezeigten Beispiele zeigen einen Deckungsgrad von 60 bis 80%. Wir setzen daher den Deckungsgrad bei den beiden genannten Branchen auf 70% des theoretisch möglichen. In der Textil- und Lederbranche gehen wir davon aus, dass 100% gedeckt werden können, da sie nur Wärme unter 100°C benötigen und vorhandene Dynamik mit Speichern bewältigt werden kann. Für die restlichen Branchen setzen wir 90% ein, da der grösste Teil des Wärmebedarfes auf Raumwärme und Warmwasser fallen. Weiter technische Einschränkungen, wie Platzbedarf etc., wurden nicht berücksichtigt.

Die Hochtemperaturwärmepumpen kommen gemäss der Studie [5] für Abwärmenutzungen in Frage. Daher kann diese Technologie nicht den ganzen, sondern nur einen Teil des Wärmebedarfes decken resp. reduzieren. Wir schätzen in der Nahrungsmittelbranche ein Deckungsgrad von 30% aufgrund des Beispiels. Für die restlichen Branchen gehen wir von einem tieferen Deckungsgrad von rund 20% aus.

Normale Wärmepumpen können für die Bereitstellung von Raumwärme (z.B. Hallenheizung von Maschinenfabriken) und Warmwasser eingesetzt werden. Sie nutzen die verfügbare Umweltwärme (z.B. Grundwasser) und können den Bedarf zu 100% decken.

Die mit den genannten Annahmen abgeschätzten technischen Potentiale einzelner Technologien sind in der folgenden Abbildung 8 dargestellt.

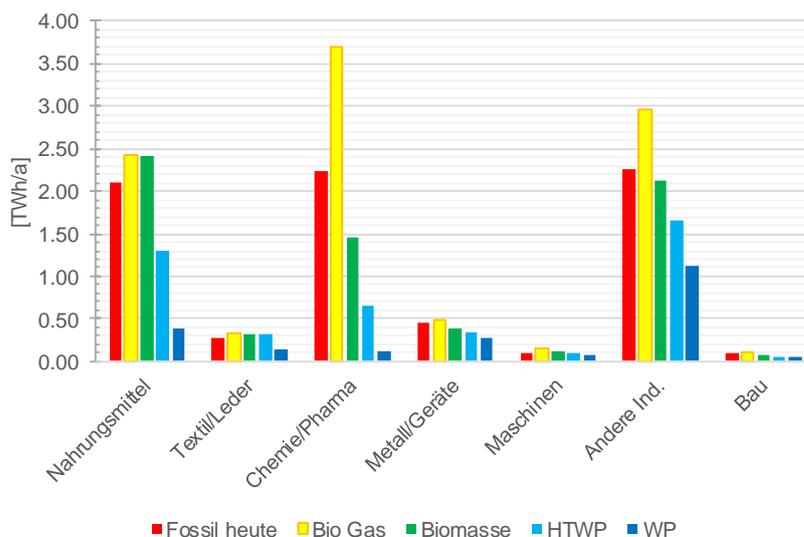


Abbildung 8: Technisches Potential einzelner Technologien

¹⁵ Es besteht die Möglichkeit, Speicher einzusetzen, zum Beispiel Dampfspeicher oder kombinierte Heisswasser/Dampfspeicher.

7.3 Zusätzliches Potential

Die bereits eingesetzten EE in der Statistik (siehe Abbildung 9) haben ebenfalls ihren Temperaturbereich, wo sie eingesetzt werden können. Eine Einschätzung für welche Temperaturbereiche sie sich eignen, ist in der vorhergehenden Tabelle 2 gegeben.

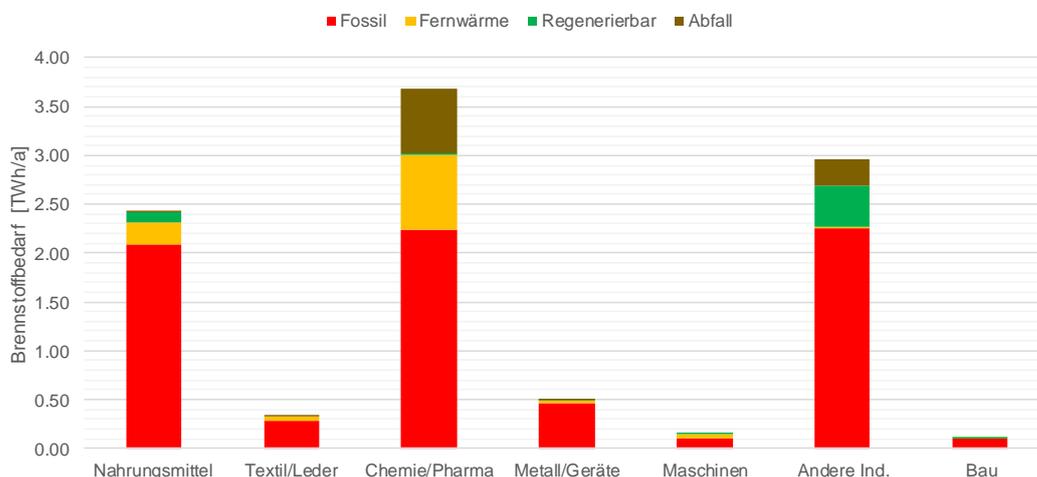


Abbildung 9: Anteil erneuerbare Energieträger nach Branchen.

Diese bereits eingesetzten, nichtfossilen Brennstoffe reduzieren das technische Potential und zudem das zusätzliche Potential, das noch auszuschöpfen ist. Um dies genau zu berechnen, bräuchte es Angaben dazu, wieviel davon in welchem Temperaturbereich eingesetzt wird. Da diese Angaben fehlen, wurde der Betrag der eingesetzten, nichtfossilen Brennstoffe pro Branche prozentual gemäss Abbildung 5 in jeder Temperaturklasse berücksichtigt. Die damit erhaltenen Resultate sind in der folgenden Abbildung 10 resp. Tabelle 3 aufgeführt.

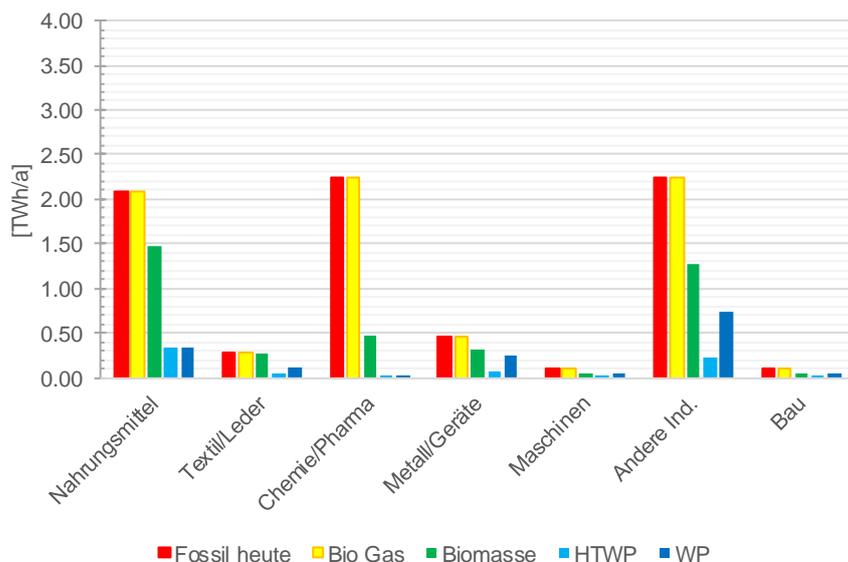


Abbildung 10: Zusätzliches Potential der ausgewählten Branchen.

Zusätzliches Potential	Fossil heute [TWh/a]	Potential Biomasse [TWh/a]	Potential HTWP [TWh/a]	Potential Bio Gas [TWh/a]	Potential WP [TWh/a]
Nahrungsmittel	2.09	1.46	0.34	2.09	0.33
Textil/Leder	0.28	0.28	0.06	0.28	0.13
Chemie/Pharma	2.24	0.48	0.00	2.24	0.00
Metall/Geräte	0.46	0.32	0.06	0.46	0.25
Maschinen	0.10	0.06	0.01	0.10	0.05
Andere Ind.	2.25	1.28	0.22	2.25	0.75
Bau	0.10	0.06	0.01	0.10	0.04
Total	7.54	3.95	0.70	7.54	1.56

Tabelle 3: Zusätzliches Potential erneuerbare Energie.

Die Branchen «Nahrungsmittel» und «andere Industrien» weisen dank ihrem hohen Wärmebedarf unterhalb 500°C und bisherig geringem Anteil an EE das grösste zusätzliche Potential auf.

Wegen der technischen Möglichkeit, von gereinigtem Biogas die fossilen Energieträger 1:1 zu substituieren, weist es mit den genannten Annahmen das grösste Potential aus. Dieser Flexibilität steht aber die geringe Verfügbarkeit gegenüber. Die Kompogas-Studie [8] geht von einem ökologisch nutzbaren Potential von 2.3 TWh/a im Jahr 2030 aus. Damit könnte maximal nur ein Drittel des ausgewiesenen Potentials gedeckt werden, vorausgesetzt es wird nur in der Industrie eingesetzt.

Das Potential von Energieholz liegt bei 16 - 19 TWh/a. Im Jahr 2016 lag der Bruttoverbrauch bei 13 TWh/a, womit das Potential erst zu 70 – 80 % ausgenutzt ist. Die ausgewiesenen 3.95 TWh/a können also genutzt werden.

Die ausgewiesenen Potentiale zeigen das Maximum pro Technologie, da sie isoliert von den anderen ermittelt wurden. Zusammengezählt ergeben sie mit ca. 14 TWh/a nicht ganz das Doppelte des heutigen fossilen Anteils. In der Realität wird jede Technologie innerhalb ihrer Grenzen wachsen bis maximal der Anteil Fossil null ist.

Im Idealfall wäre aus dem jetzigen Blickwinkel mit erster Priorität die interne Abwärmenutzung mit HTWP den Brennstoffbedarf zu minimieren. Der restliche Wärmebedarf ist nach Möglichkeit mit Biomasse zu decken, ausser der reine Raumwärmeteil, der auch mit normalen WP gedeckt werden kann.

Das Biogas ist schlussendlich für den Teil Dynamik und Hochtemperaturprozess einzusetzen, wo Biomasse nicht geeignet ist.

Wegen dem kleinen Biogaspotential und der gegenseitigen Konkurrenzierung der anderen Technologien innerhalb ihres Temperaturbereichs kann der fossile Anteil der betrachteten Branchen nicht vollständig mit EE substituiert werden.

8 Hemmnisse und Treiber

8.1 Identifizierte Hemmnisse aus der Umfrage

Während der Recherche zu den Beispielprojekten konnten die Hemmnisse für den vermehrten Einsatz erneuerbarer Energien in der Industrie mit verschiedenen Akteuren diskutiert werden. Nachfolgend sind diejenigen Hemmnisse aufgeführt, welche sowohl die externen als auch die internen Ingenieure am meisten gewichten.

Energiepreis für fossile Energieträger

Die Brennstoffkosten für Öl und Gas sind insbesondere für Grossbezüger derart tief, dass sich die Umrüstung auf erneuerbare Energien in den seltensten Fällen finanziell lohnt. Die niedrigen Brennstoffpreise sind nicht nur ein Hemmnis für die Nutzung von erneuerbaren Energien, auch Effizienzmaßnahmen rechnen sich bei niedrigen Brennstoffpreisen in vielen Fällen nicht.

Vorgaben Payback

Zudem sind die Vorgaben bezüglich Payback der Investition in der Industrie teilweise unter 5 Jahren. Erneuerbare Wärmeenergie rechnet sich aufgrund der hohen Anschaffungskosten meist erst bei einer längeren Betrachtungsdauer.

Bauliche und technische Hemmnisse

Die Wärmeenergie aus solarthermischen Anlagen fällt diskontinuierlich an und muss entsprechend gespeichert werden können. Auch Biomassefeuerungen benötigen bei hohen Deckungsgraden zusätzlichen Speicher, da Biomassefeuerungen mehr Zeit für die Leistungsanpassungen als fossile Feuerungen benötigen.

Die geringe Energiedichte von erneuerbaren Energieträgern führt zu einem erhöhten Lagerbedarf (bspw. Holz) oder erhöht die Komplexität der Steuerungen (Erdgas-/Biogasbrenner).

Bauliche Hemmnisse treten auch bei Neubauten auf. Die Planungszeit wird aus Kostengründen so gering wie möglich gehalten, wobei der zeitliche Mehraufwand für eine Lösung mit erneuerbaren Energien oft nicht in Kauf genommen wird.

8.2 Hemmnisse Literaturrecherche

Für eine möglichst vollständige Abbildung der Hemmnisse wurde anhand einer Internetrecherche nach Studien zu diesem Thema im deutschsprachigen Raum gesucht.

Der deutsche Bundesverband erneuerbare Energie (BEE) hat in seiner Studie mit verschiedenen Akteuren aus Industrie und Forschung versucht, die wichtigsten Hemmnisse zu identifizieren. Diese sind in Abbildung 11 dargestellt. Zusätzlich zu den bereits von uns identifizierten Hemmnissen im technischen und finanziellen Bereich beleuchtet die Studie auch die Hemmnisse aus psychologischer Sicht bezüglich Nutzerverhalten, Präferenzen und Informationsdefiziten [Referenz].

Auch die schweizerische Akademie der technischen Wissenschaften (SATW) recherchierte zum Thema. Im Bericht zu den «Herausforderungen auf dem Weg zur Vollversorgung durch erneuerbare Energien» wurden insbesondere die finanziellen Hemmnisse untersucht. Interessant sind die Aussagen bezüglich der Energiepreise. Gemäss SATW sind Preiserhöhungen für die Industrie durchaus verkraftbar, sofern sie alle Konkurrenten gleichermassen trifft.

Entscheidend ist, dass die Energiepreise vorhersehbar sind. Denn die Versorgung mit Energie wird teurer, unabhängig davon, ob sie auf konventionellen oder neuen erneuerbaren Energien beruht. Zitat: «Noch schwerwiegender - und daher keine Alternative – wäre es, infolge akuter Knappheit oder ökologischer Grenzen einen Energiemangel oder enorm hohe Preise in Kauf zu nehmen. Jede fehlende Kilowattstunde kostet mehr als ihre Bereitstellung durch erneuerbare Energien» [9].

INFORMATIONSDERFIZITE	FINANZIELLE HEMMNISSE	NUTZERVERHALTEN
Mangelnde Kenntnisse	Zugang zu Finanzierung	Rebound
Informationsüberflutung	Renditeerwartung	Fehlendes Feedback
Kurzfristiges Denken	Risikoaversion	Gewohnheiten
Geringe Priorität	Investor-Nutzer-Dilemma	
Informationsdefizite der ausführenden Personen	Keine „Kostenwahrheit“	
EINSTELLUNGEN, PRÄFERENZEN	RECHTLICHE HEMMNISSE	TECHNISCHE HEMMNISSE
Unannehmlichkeiten	Tarifstruktur	Verfügbarkeit von Technologien
Mangelnde Motivation	Administrativer Aufwand	Bauphysik
Präferenz für „sichtbare Maßnahmen“	Eigentümerstrukturen	Platzmangel
Vorbehalte	Duldungspflichten	Denkmalschutz

Abbildung 11: Identifizierte Hemmnisse des deutschen Bundesverbands erneuerbare Energie BEE

8.3 Treiber

Trotz den aufgeführten Hemmnissen wurden in verschiedenen Industriebetrieben fossile Energien durch erneuerbare Energien ersetzt. Die folgenden Treiber konnten identifiziert werden:

Leitbild des Unternehmens

Die in Kapitel 6 aufgeführten Beispielprojekte konnten nur realisiert werden, weil die Unternehmen höhere Payback Zeiten akzeptierten oder bereit sind, für erneuerbare Energien einen Mehrpreis zu bezahlen. Dabei ist die öffentliche Meinung gegenüber dem Unternehmen mitentscheidend. Vermehrt empfinden Konsumenten die Nutzung erneuerbarer Energie als wichtig und belohnen nachhaltige Unternehmen mit ihrem Kaufverhalten. Nachhaltiges Wirtschaften ist Teil der Unternehmensphilosophie und entsprechend im Leitbild verankert. Dies kann als Haupttreiber für die bisher umgesetzten Projekte betrachtet werden.

Ein Beispiel sind die Detailhändler Coop und Migros. Coop hat sich 2008 das Ziel gesetzt, bis 2023 CO₂ neutral zu sein. Coop setzt sich eine monetäre Grenze von 150 CHF pro Tonne jährlich eingespartem CO₂, die eine alternative Lösung gegenüber einer konventionellen Lösung mehr kosten darf.

Migros hat sich ähnliche Ziele gesetzt. So will sie bezogen auf 2010 bis 2020 in der M-Industrie rund 21% weniger Treibhausgase ausstossen. Bis zum Jahr 2040 will sie Energie

100% erneuerbar nutzen. Eine fixe Grenze für zulässige Mehrinvestitionen wie bei Coop gibt es nicht. Sie liegt aber im Bereich von 100 bis 150 CHF pro Tonne eingespartem CO₂.

Fördergelder

Die bestehenden Fördermodelle helfen bei der Überwindung der hohen Anschaffungskosten erneuerbarer Wärmeerzeuger. Fortlaufende Unterstützungen, wie die KEV¹⁶, helfen, die Mehrkosten der erneuerbaren Wärme auf ein wettbewerbsfähiges Niveau zu senken.

Wärmecontracting

Die hohen Anschaffungskosten und die baulichen Hindernisse werden beim Contracting ausgelagert. Ist ein Wärmenetz oder ein Wärmecontractor vorhanden, werden die etwas höheren Energiekosten von vielen Industriebetrieben akzeptiert. Hier spielt auch die bessere Vorhersehbarkeit beim Energiepreis eine wichtige Rolle.

Zertifikathandel

Ein funktionierender CO₂-Zertifikathandel kann die Investitionen in erneuerbare Wärmeerzeuger antreiben. Durch die Pflicht der Treibstoffimporteure, einen Teil der durch Treibstoffe emittierten Treibhausgase mittels Schweizer CO₂-Zertifikaten zu kompensieren, ergeben sich für die Industrie zusätzliche Investitionsmöglichkeiten. Werden die Treibstoffimporteure mit dem neuen CO₂-Gesetz weiter in die Pflicht genommen, wirkt dieser Mechanismus ähnlich wie die Fördergelder.

Auch für die Produktion von Biogas aus landwirtschaftlicher Produktion könnte der Zertifikathandel den nötigen Anstoss geben. Zurzeit ist der administrative Aufwand für die Validierung mit CHF 10'000.00 bis 20'000.00 pro Landwirtschaftsbetrieb viel zu aufwändig. Eine Lösung wäre z.B. eine fixe CO₂-Reduktion pro Grossvieheinheit, deren Gülle fermentiert wird. Dazu wäre ein verbesserter Austausch zwischen den Bundesämtern BFE, UVEK und BLW wünschenswert.

Gesetzliche Vorschriften

Gesetzliche Vorschriften zur Nutzung erneuerbarer Energien können die Nutzung von EE fördern. Ein Beispiel ist die Auflage zur Klärung des Abwassers mit anschliessender Nutzung des Biogases (Kapitel 6.12). Eine weitere Möglichkeit sind Auflagen auf kommunaler Ebene. Eine Anschlusspflicht an Wärmeverbände oder die Vorgabe von Energieträgern können rein fossilen Lösungen entgegenwirken.

Regionale Verankerung

Bei kleineren Molkereien kann beobachtet werden, dass die regionale Verankerung eines Unternehmens zu einer vermehrten Nutzung von lokal verfügbaren Energien führt. Statt fossile Energien zuzukaufen, können die Bauern, welche oftmals Waldbesitzer sind, die benötigte Energie selbst liefern, womit die Wertschöpfung in der Region verbleibt.

¹⁶ Die KEV ist nur für die Stromproduktion aus erneuerbaren Energien. Neue Anlagen können nicht mit KEV rechnen da diese ausläuft und nur noch Anlagen welche bereits eine positive Zusage haben in den Genuss von KEV kommen werden.

Unsichere Preisentwicklung fossiler Energieträger

Die letzten Jahre zeigten, wie unsicher die Preisentwicklung von fossilen Energieträger sein kann. Wie in Kapitel 8.2 erwähnt, ist aber für die Industrie u.a. entscheidend, dass der Energiepreis vorhersehbar ist. Daher ist besonders für Firmen mit regionaler Verankerung eine Versorgung mit EE bei akzeptabler Wirtschaftlichkeit ein Thema.

9 Fazit und Empfehlung für weiteres Vorgehen

Das Kapitel 5 hat gezeigt, dass es Technologien gibt, mit denen EE in der Industrie, wenn auch mit Einschränkungen, eingesetzt werden kann. Dies zeigen auch die «Best Practice» Beispiele in Kapitel 6.

Die Hochrechnung hat gezeigt, dass Biomasse und Biogas die grössten Potentialen haben, um fossile Energieträger zu substituieren. Die Begrenztheit des Biogaspotentials verhindert in den betrachteten Branchen die völlige Substitution der heutigen fossilen Energieträger.

Stellt man die Treiber den Hemmnissen gegenüber, sieht man, dass sie ihnen entgegenwirken. So wirken den günstigen Energiepreisen von fossilen Energieträgern und kurzen Paybackzeiten, die Treiber Fördergelder, Wärmecontracting und Zertifikathandel entgegen.

Die Treiber Fördergelder und Zertifikathandel verkleinern den Unterschied in der Wirtschaftlichkeit von fossilen und erneuerbaren Wärmeerzeugungen. Ein ökologisches Leitbild in der Firma hilft dann verbleibende Mehrkosten eher zu akzeptieren. Eine ökologische Haltung wurde bei den umgesetzten Beispielen als Haupttreiber identifiziert.

Mit einem Wärmecontracting müssen keine Investitionen getätigt werden. Es wird ein vorhersehbarer Wärmepreis für den Bezug über eine längere Zeitspanne festgelegt. Die Branchen «Nahrungsmittel» und besonders «Chemie/Pharma» weisen schon einen markanten Anteil an Fernwärme auf. Dies weist auf eine vorhandene Akzeptanz für solche Wärmeversorgungslösung hin. Bei den Lösungen mit Contractoren fallen zwei «Best Practice» Beispiele auf.

Das Modell «Nestlé» verbindet die sinnvolle Entsorgung von firmeninternen Bioabfällen mit der Nutzung lokal vorhandener Biomasse auf Bauernhöfen zu einer Lösung für die Erhöhung der EE. Sollte das Modell Erfolg haben, könnte es bei mehrfacher Anwendung bei anderen Firmen neben der Erhöhung von EE in der Industrie auch die Nutzung des Biogaspotentials vorantreiben.

Der Standortwahl des Biomassezentrums der Berner Oberland Energie AG zeigt ebenfalls, wie die EE in der Industrie gefördert werden kann. Hat es neben der Industrie als Prozesswärmeabnehmer auch weitere Objekte, die mit einer Fernwärmeleitung mit Raumwärme versorgt werden, kann das u.U. auch technische Vorteile haben, indem mit der Fernwärme eine Bandlast für die Biomassefeuerung geschaffen wird.

Für das weitere Vorgehen schlagen wir Massnahmen zur Verbreitung des Haupttreibers vor. Firmen sollen vermehrt das Thema Nachhaltigkeit und Energie in ihre Leitbilder übernehmen. Das könnte in Form eines «Motivationstrainings» eingebracht werden, wo Vorteile, Vorgehen und Zielsetzungen vermittelt werden.

Die Zusammenarbeit von Contractoren und Industrie soll ebenfalls gefördert werden. Contractoren erstellen und betreiben Wärmeerzeugungsanlagen mit möglichst hohem Anteil EE. Die Branchen «Nahrungsmittel» und «Chemie/Pharma» sind dazu am geeignetsten.

Dazu müssten bestehende Probleme eruiert werden, wie zum Beispiel der Umgang mit einem kurzfristigen Wegzug oder Stilllegung eines Produktionsbetriebes, und Lösungen gefunden werden (Versicherung für thermische Versorgung mit EE). Modelle, wie das «Nestlé» Biogas, sollen bei Erfolg verbreitet werden.

Um gezielter auf Unternehmer zugehen zu können, sind folgende Arbeiten sinnvoll:

- Detailliertere Auswertung der EnAW Energiedatenbank in den Unterbranchen von «Nahrungsmittel», «Chemie/Pharma» und «andere Industrien» zur Eingrenzung der interessanten Zielgruppe. Als Beispiel folgende Graphik für die Auswertung «Nahrungsmittel»

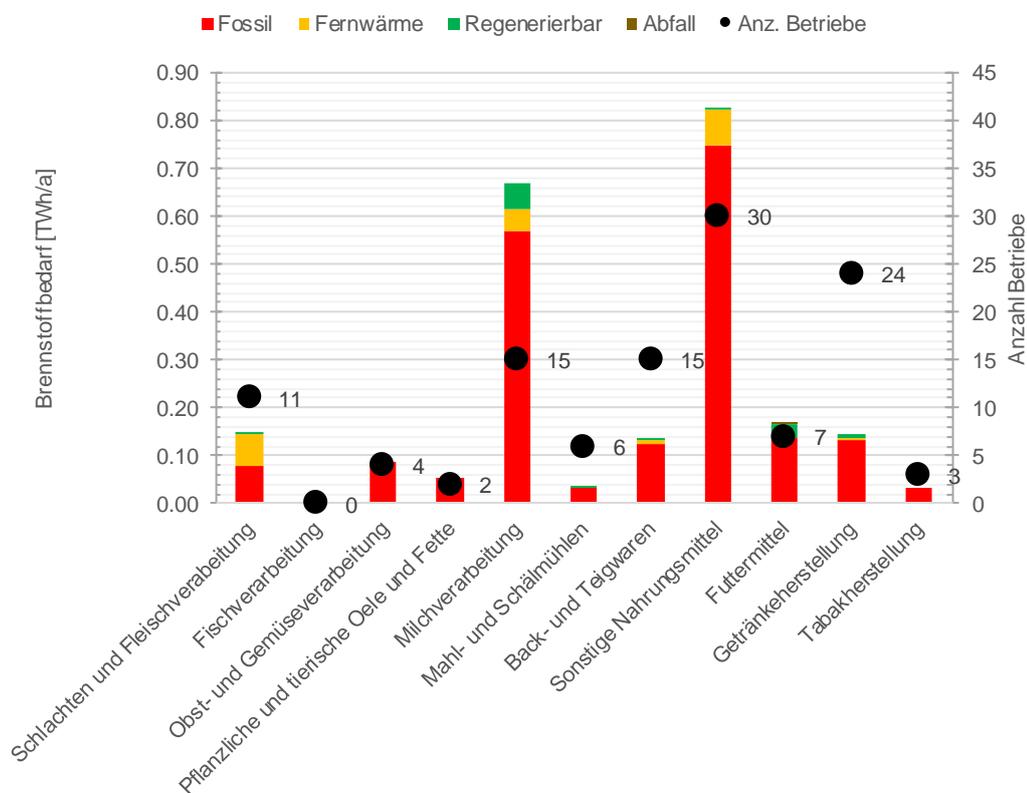


Abbildung 12: Beispiel Auswertung Branche "Nahrungsmittel"

- Zusammenstellen der relevanten thermischen Prozesse der Zielgruppen
- Auswahlempfehlung Technologie EE / Vorgehensempfehlung für Zielgruppen (Checklisten, etc.)

10 Literaturverzeichnis

- [1] L. Sauvin, R. Scherer, M. Ferster und S. Muff, „Energieverbrauch in der Industrie und im Dienstleistungssektor,“ Bundesamt für Energie (BFE), Bern, 2016.
- [2] B. f. Energie, „bfe.admin.ch,“ 24 04 2014. [Online]. Available: http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_368896985.pdf&endung=Strategie des Bundes zur Holzenergie im Rahmen der Energiestrategie 2050. [Zugriff am 15 02 2018].
- [3] T. Naegler, S. Simon, M. Klein und H. Gils, „Potentiale für erneuerbare Energien in der industriellen Wärmeerzeugung,“ Deutschland.
- [4] M. Ferster, „Methodenbericht EVS I – Energieverbrauchsstatistik 2002 bis 2007,“ Bundesamt für Statistik (BFS), Neuchâtel, 2013.
- [5] Wolf, Flatau und Radgen, „Bundesamt für Energie BFE,“ 14 06 2017. [Online]. Available: http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_200494201.pdf&endung=Rahmenbedingungen für die Anwendung von Grosswärmepumpen in der Schweizer Industrie. [Zugriff am 18 01 2018].
- [6] C. Lauterbach, B. Schmitt und K. Vajen, „Potential solarer Prozesswärme in Deutschland.,“ Universität Kassel, Kassel, 2011.
- [7] I. Mojic, F. Ruesch und M. Haller, „Machbarkeit solarunterstützter Wärmenetze im Kanton St. Gallen,“ BFE, 2017.
- [8] Kompogas AG, „Vergärbare Abfälle in der Schweiz,“ 2010.
- [9] Frost, Berg, Dupont, Gysler, Kiener, Minsch und Wokaun, „satw.ch/energie,“ 02 2011. [Online]. Available: <http://www.satw.ch/publikationen/schriften/ErnEnergien.pdf>. [Zugriff am 30 01 2018].
- [10] Wilk, Windholz, Hartl und Fleckl, „klimafonds.gv.at,“ 2017. [Online]. [Zugriff am 16 01 2018].
- [11] P.-E. Müller, „Bundesamt für Energie,“ 2003. [Online]. Available: http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_153367454.pdf&endung=Energie im beruflichen Unterricht - Solartechnik. [Zugriff am 15 01 2018].
- [12] O. Energiesparverband, „solar-process-heat.eu,“ [Online]. Available: <http://www.solar-process-heat.eu/en/publications/>. [Zugriff am 18 01 2018].
- [13] H. e. al, „fvee.de,“ 2009. [Online]. Available: http://www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Themenhefte/th2009/th2009_05_04.pdf. [Zugriff am 17 01 2018].
- [14] H. Eicher, Erneuerbare Energien - Umweltfreundliche Versorgung, Faktor Verlag, 2014.

- [15] Nussbaumer, Weinhofer und Hennemann, „14. Holzenergie-Symposium - Verwendungsoptionen und neue Entwicklungen,“ Holzenergie-Symposium, Arbon, 2016.
- [16] V. Quaschnig, Regenerative Energiesysteme, München: Hanser Verlag, 2013.
- [17] „H2 Energy AG,“ [Online]. Available: [htt.://www.h2energy.ch](http://www.h2energy.ch). [Zugriff am 29 01 2018].
- [18] W. Steinmann, „Bundesamt für Energie BFE,“ 08 2002. [Online]. Available: [http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_738401946.pdf&endung=Positionspapier Holzenergie - Ziele und Prioritäten zur Nutzung des Energieträgers Holz für Forschung, Demonstration und Marktbearbeitung in der Schweiz](http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_738401946.pdf&endung=Positionspapier+Holzenergie+-+Ziele+und+Prioritäten+zur+Nutzung+des+Energieträgers+Holz+für+Forschung,+Demonstration+und+Marktbearbeitung+in+der+Schweiz.). [Zugriff am 18 01 2018].
- [19] H. Eicher und A. Sres, „Speicherung von Strom aus erneuerbaren Energien im Kanton Thurgau,“ 2017.

11 Anhang

Verzeichnis der Anhänge:

- Anhang 1 NOGA Zuordnung der Branchen
- Anhang 2 Beschreibung der Technologien für EE

Anhang 1 NOGA Zuordnung der Branchen

Für die Zuordnung des Energieverbrauches zu den Branchen wurde der NOGA–Code der jeweiligen Firma verwendet. Die Zuordnung zu den Branchen erfolgte analog zu der BFE Statistik [1]. Die Definition zeigt die folgende Tabelle.

Tabelle T3: Definition der 19 Branchen der EVS (auf Basis NOGA2008)

Branchen		Zwei- oder vierstelliger NOGA-Code
Nahrungsmittel	1	10 11 12
Textil / Leder	2	13 14 15
Papier / Druck	3	17 18
Chemie / Pharma	4	20 21
Zement / Beton	5	23.32 23.51 23.52
Anderer NE-Mineralien	6	23.11-14 23.19 23.20 23.31 23.41-44 23.49 23.61-65 23.69 23.70 23.91 23.99
Metall / Eisen	7	24.10 24.20 24.31-34 24.51 24.52
NE-Metalle	8	24.41-46 24.53 24.54
Metall / Geräte	9	25.11 25.12 25.21 25.29 25.30 25.50 25.61 25.62 25.71-73 25.91-94 25.99 26 27.11 27.12 27.20 27.31 27.32 27.33 27.40 27.90 28.23 29.31
Maschinen	10	25.40 27.51 27.52 28.11-15 28.21 28.22 28.24 28.25 28.29 28.30 28.41 28.49 28.91-96 28.99 30.40
Anderer Industrien	11	07 08 09 16 22 29.10 29.20 29.32 30.11 30.12 30.20 30.30 30.91 30.92 30.99 31 32
Bau	12	41 42 43
Handel	13	45 46 47 95
Gastgewerbe	14	55 56
Kredit / Versicherungen	15	64 65 66.11 66.12 66.19 66.21 66.22 66.30
Verwaltung	16	66.29 84
Unterricht	17	85.10 85.20 85.31 85.32 85.41 85.42 85.51-53 85.59
Gesundheits- / Sozialwesen	18	75 86 87 88
Anderer Dienstleistungen	19	33 36 37 38 39 49..50..51 52 53 58 59 60 61 62 63 68 69 70 71 72 73 74 77 78 79 80 81 82 85.60 90 91 92 93 94 96

Abbildung 13: Zuordnungstabelle von NOGA zur Branche [1].

Anhang 2 Beschreibung der Technologien für EE

Der erste Schritt hin zur erneuerbaren Prozesswärme ist die Analyse der energetischen Ausgangssituation des Betriebes. Aufbauend auf dem Ist-Stand kann der Energieeinsatz auf Prozessebene so weit wie technisch und ökonomisch sinnvoll, reduziert werden. Mögliche Ansätze sind die Anpassung von Prozessparametern und die geeignete Auswahl von energieeffizienten Prozesstechnologien nach dem Stand der Technik.

Der nächste Schritt ist die Evaluierung der Systemoptimierung. Dabei geht es vor allem um die Wärmeintegration. Es werden potentielle Wärmequellen (Prozessabwärme, Anlagenabwärme) mit Wärmesenken über Wärmetauscher verknüpft. Tools wie die Pinch-Analyse können dazu eingesetzt werden. Dann kann der nun optimierte Energiebedarf mit erneuerbarer Prozesswärme abgedeckt werden. [10]

Nachfolgend werden Technologien vorgestellt, welche erneuerbare Prozesswärme nach heutigem Stand erzeugen können und auf dem Markt verfügbar sind. Wichtigster Indikator für die Wahl der Wärmeerzeugung ist die damit erreichbare Prozesstemperatur. Als grafische Hilfestellung ist dazu bei jeder Technologie der Temperaturbereich angegeben, welcher erreicht werden kann.

Solarthermie

Einleitung

Aus ökologischer Sicht ist die solare Wärmeproduktion jeder anderen Wärmeerzeugung vorzuziehen. Jährlich trifft auf der Schweiz etwa 200-mal so viel Sonnenenergie auf, wie im gesamten Land verbraucht wird [11]. Die einfallende Strahlung schwankt jedoch zwischen 1000 W/m² an einem klaren Sommertag und etwa 100 W/m² an einem trüben Wintertag. Die Auslegung der Solaranlage mit Speicher ist entsprechend anspruchsvoll.

Voraussetzungen für den Einsatz

Nachfolgende Checkliste dient als erste Abschätzung, ob der Einsatz von solarer Prozesswärme eine sinnvolle Möglichkeit darstellen könnte [12]:

- Erforderliche Wärmenutzungstemperaturen unter 90°C
- Freie Dach- oder Bodenfläche (noch besser: Dachsanierung oder Neubau)
- Ausrichtung der Dachflächen (Süd, Südost, Südwest)
- Platz für die Installation eines Pufferspeichers
- Werden im Sommer fossile Energien zur Produktion von Wärme benötigt?
- Wird Prozesswärme von März bis September an min. 5 Tagen pro Woche benötigt?
- Ist ein Payback > 5 Jahre akzeptabel?

Beschreibung

Diese Technologie muss immer ergänzend zu einem zweiten Erzeugersystem mit genügend Leistung installiert werden. Die Investitionskosten der Anlage sind hoch und stark von der Grösse der Anlage abhängig. Nachfolgend werden die solarthermischen Anlagen vorgestellt, welche zurzeit zur Erzeugung von Prozesswärme zum Einsatz kommen.

Konzentrierende Solarthermie

Bei der konzentrierenden Solarthermie wird die Solarstrahlung mittels Spiegeln auf einen Absorber konzentriert. Die Spiegel werden dem Sonnenstand nachgeführt. Theoretisch können Temperaturen bis 500°C erreicht werden. Aus Effizienzgründen werden die bisher in der Schweiz installierten Anlagen zwischen 120°C und 190°C betrieben. Der jährliche Wärmeertrag liegt bei 325 bis 380 kWh/m².

Die konzentrierende Solarthermie kann nur mit direkter Solarstrahlung Wärme erzeugen. Je nach Standort (bspw. Schweizer Mittelland) beträgt der diffuse Anteil an der Solarstrahlung im Jahresschnitt über 50%. Die am besten geeigneten Standorte sind dementsprechend das Wallis, das Tessin und das Engadin.

Die Parabolrinnenkollektoren können schlüsselfertig geliefert und installiert werden. Aufgrund der geringen Systemerfahrungen in der Schweiz ist von einer verlängerten Planungs- und Optimierungsphase auszugehen.

Nicht konzentrierende Solarthermie

Vakuumflach- oder Vakuumröhrenkollektoren werden für Prozesstemperaturen unter 120°C verwendet. Gegenüber konzentrierenden Anlagen kann der diffuse Anteil der Strahlung zu einem grossen Teil genutzt werden. Dies wirkt sich besonders im tiefen Temperaturbereich

positiv aus. Im hohen Temperaturbereich werden die konzentrierenden Anlagen eingesetzt, da dort der Effekt der Sonnenstandnachführung überwiegt [13].

Die Installation ist gegenüber konzentrierenden Anlagen einfacher, da auf eine Nachführung am Sonnenstand verzichtet werden kann.

Die Betriebstemperaturen liegen zwischen 60 und 190°C. Der jährliche Wärmeertrag bei ca. 250 kWh/m².

Die Vakuumflach- und Vakuumröhrenkollektoren sind marktreif und werden schlüsselfertig geliefert und installiert.



Abbildung 14: Parabolrinnenkollektoren auf dem Dach der Lalaria Engadinaisa SA in Bever zur Erzeugung von Prozesswärme für die Milchverarbeitung



Abbildung 15: Vakuumröhrenkollektoren bei der Kerzenfabrik Fischer AG in Root zur Warmhaltung des Paraffins

Hochtemperatur Wärmepumpe

Einleitung

Die im Rahmen der industriellen Produktion eingesetzte Energie wird grösstenteils in Wärme gewandelt. Ist das Temperaturniveau dieser Wärme zu gering, wird sie als Abwärme an die Umgebung abgegeben. Mit der Wärmepumpentechnik besteht die Möglichkeit, diese Wärme auf ein nutzbares Temperaturniveau anzuheben und sie so erneut zu nutzen [5].

Voraussetzungen für den Einsatz

Wenn nachfolgende Punkte erfüllt sind, sollte der Einsatz einer Hochtemperatur-Wärmepumpe geprüft werden:

- Erforderliche Wärmenutzungstemperaturen unter 150°C
- Ist eine Wärmequelle vorhanden (bspw. Abwärme aus Kältemaschinen)?
- Weisen Wärmequelle und Wärmesenke eine zeitliche Überdeckung auf?
- Wird ein Payback > 5 Jahre akzeptiert?

Beschreibung

Hochtemperaturwärmepumpen mit Vorlauftemperaturen von unter 110°C sind zurzeit (Stand Februar 2018) in einem breiten Leistungsspektrum von wenigen kW_{th} bis zu mehreren MW_{th} erhältlich. Bis zum Jahr 2020 ist mit einer Steigerung der erreichbaren Temperaturen auf 130°C, eventuell sogar auf 160°C, zu rechnen [5].

Aufgrund der geringen spezifischen CO₂-Emissionen des Schweizer Strommixes können die Wärmepumpen zukünftig einen wichtigen Beitrag zur Energiewende leisten. Die Verfügbarkeit von Informationen zu Anwendungsmöglichkeiten, zur Planung und zum Betrieb ist noch unzureichend.



Abbildung 16: Rotationswärmepumpe für die Erzeugung von Wärme bis 150°C. Quelle: Ygnis

Biomassefeuerung

Einleitung

Ein wesentlicher Vorteil von Biomasse (insb. Holz) gegenüber anderen erneuerbaren Energieträgern ist, dass es sich für den Einsatz von (exergetisch hochwertiger) Hochtemperatur- und Bandenergieanwendungen eignet. Holz sollte deswegen weniger für (exergetisch niederwertige) Raumwärme und Wassererwärmung, sondern vermehrt für Prozesswärme und Wärmekraftkopplungsanlagen eingesetzt werden [14].

Der Energieholzverbrauch liegt bei rund 12.4 TWh pro Jahr (2012). Dem steht ein kurz- bis mittelfristiges Potenzial von etwa 16 – 19 TWh pro Jahr gegenüber, welches energetisch verwertet werden kann, ohne unsere Wälder zu übernutzen oder andere, höherwertige Verwendungszwecke des Holzes zu konkurrenzieren [2].

Des Weiteren fallen in der Lebensmittelindustrie biogene Abfälle an, welche in einer Feuerung verwertet werden können. Beispiele dazu sind Müllereinebenenprodukte (MNP), Getreideabgang, Schalen der Kaffeebohnen sowie Nussreste. Das energetische Potential dieser Energieträger liegt bei 1.25 TWh pro Jahr [15].

Voraussetzungen für den Einsatz

Wenn nachfolgende Punkte erfüllt sind, sollte der Einsatz einer Biomassefeuerung geprüft werden:

- Erforderliche Wärmenutzungstemperaturen bis maximal 500 °C
- Genügend freie Fläche für die Installationen (Silo, Filter, Pufferspeicher)
- Bedarf an Bandlast

Beschreibung

Biomassefeuerungen sind in einem breiten Leistungsspektrum von wenigen kW_{th} bis zu mehreren MW_{th} erhältlich. Die Prozesswärmeerzeugung mittels Biomassefeuerung ist gut erprobt und wird in der Schweiz bereits an mehreren Produktionsstandorten eingesetzt. Der Energieaufwand für die Bereitstellung und den Transport des Energieholzes sind vergleichsweise gering. Der grösste Energieaufwand fällt bei der Trocknung an. Bei der Feuerung unterscheidet sich insbesondere die Form des Bioenergieträgers:

Hackschnitzel

Hackschnitzel werden üblicherweise aus Waldrestholz, Schwachholz oder aus Schnittgut aus der Landschaftspflege erzeugt. Abhängig vom verwendeten Kessel können die Hackschnitzel noch waldfeucht oder nur getrocknet verbrannt werden. Aufgrund der schwankenden Qualität der Hackschnitzel (Nadel oder Laubholz, Feuchtigkeitsgehalt etc.) benötigt die Hackschnitzelheizung eine aufwändige Steuerung.

Pellets

Für die Herstellung von Pellets werden üblicherweise Hobelspäne oder Sägemehl unter hohem Druck durch ein Sieb gepresst. Das holzeigene Lignin sorgt dafür, dass sich die Einzelteile zu Pellets binden. Der Energieaufwand dazu beträgt ca. 2.7 % des Energieinhalts der Pellets [16].

Pellets sind in Grösse und Feuchtegehalt genormt, was den Steuerungsaufwand für die Verbrennung reduziert. Die gleichbleibende Qualität des Brennstoffs erlaubt einen zuverlässigen

und vollautomatischen Betrieb. Zudem ist das benötigte Raumvolumen für denselben Energieinhalt bei Pellets fast 4-mal geringer als bei Hackschnitzel.

Der Preis für Pellets ist aufgrund des aufwändigeren Herstellungsverfahrens ca. 25 % höher im Vergleich zu Hackschnitzel.



Abbildung 17: Hackschnitzelheizung
Quelle: Schmid Energy Solutions



Abbildung 18: Pelletheizkessel
Quelle: Döpik

Biogas

Einleitung

Biogas entsteht durch die Vergärung von Biomasse. Dabei wandeln Bakterien in einem anaeroben Prozess die biogenen Stoffe in Methan, Kohlendioxid und Wasser um. Aus einer Tonne kommunalen oder gewerblichen Grünabfällen lassen sich ca. 100 m³ Biogas erzeugen. Der Ertrag hängt jedoch stark vom biogenen Abfall ab und muss für genauere Berechnungen detailliert untersucht werden [14]. Beispiele für biogene Abfälle in der Industrie sind:

- Kaffeesatz
- Kräuterextrakt
- deklassierte Lebens- und Futtermittel und/oder Rohkomponenten
- Rüstabfälle
- Fettschlämme
- unbedenkliche Abwässer mit hoher organischer Fracht

Voraussetzungen für den Einsatz

Biogas eignet sich für alle Prozesse, die bisher mit Erdgas betrieben wurden. Die Einsatzmöglichkeiten sind entsprechend vielfältig. Wird Biogas in einer eigenen Produktionsanlage erzeugt, muss beachtet werden, dass der Energieinhalt von Rohbiogas geringer ist als derjenige von Erdgas.

Beschreibung

Je nach erforderlichem Temperaturniveau kann das Biogas in folgenden Prozessen umgewandelt werden:

Wärme kraftkopplung WKK

Wärme kraftkopplungsanlagen sind meist Blockheizkraftwerke (BHKW), die aus einem Verbrennungsmotor und einem Generator bestehen. Die genutzte Abwärme stammt aus der Motorenkühlung und dem Abgas (ca. 90 °C). Blockheizkraftwerke können das Rohbiogas direkt verwerten.

Gaskessel

Zur Erwärmung von Wasser, Thermoöl und zur Dampferzeugung kann das Biogas in einem Gaskessel verbrannt werden. Rohbiogas ist ein Gemisch verschiedener Stoffe und entspricht nicht Erdgasqualität. Für die Verbrennung in einem Gaskessel muss dieses entweder aufbereitet oder dem Erdgas anteilmässig beigemischt werden.



Abbildung 19, Biogas BHKW. Quelle IWK



Abbildung 20: Erdgas- und Biogasbrenner Brauerei Locher. Quelle Weisshaupt

Wasserstoff

Einleitung

Schon heute werden weltweit mehr als 30 Mio. Tonnen Wasserstoff für zahlreiche Anwendungen in der Industrie eingesetzt. Beispiele sind:

- Düngemittel und Strengstoffherstellung
- Lebensmittelzusatzstoff (Fetthärtung z.B. für die Herstellung von Margarine)
- Wasserstoff zur Kühlung von Generatoren in Kraftwerken
- Verhüttung von metallischen Erzen (Wasserstoff als Reduktionsmittel)
- Flachglasherstellung
- Wärmebehandlung von Metallen
- Halbleiter- und Elektronikfertigung

Auf Basis erneuerbarer Energie hergestellter Wasserstoff ist heute (noch) nicht erhältlich. Wasserstoff wird zurzeit hauptsächlich ($\approx 90\%$) mittels Dampfreformation unter Verwendung von Kohlenwasserstoffen erzeugt. Dabei wird Erdgas, Biomasse oder Erdöl in mehreren Schritten aufgespalten. Die Prozesse benötigen sowohl hohe Temperaturen als auch hohe Drücke [17].

Erneuerbarer Wasserstoff wird mittels elektrischem Strom erzeugt. Wasser wird dabei in einem Elektrolyseur in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff aufgetrennt. Der so erzeugte Wasserstoff wird als erneuerbar bezeichnet, wenn erneuerbarer Strom für die Elektrolyse verwendet wird. Da erneuerbarer Strom aus Sonne und Wind fluktuierend anfällt, kann dieser Prozess zudem zur Stabilisierung des Stromnetzes verwendet werden (Power to Hydrogen). In der Schweiz produziert die Axpo erneuerbaren Wasserstoff für den Betrieb von Brennstoffzellenfahrzeugen.

Voraussetzungen für den Einsatz

Erneuerbarer Wasserstoff unterscheidet sich nicht von konventionellem Wasserstoff und kann somit überall dort eingesetzt werden, wo bereits Wasserstoff aber auch Erdgas für Prozesse benötigt wird.

Beschreibung

Bisher keine Verwendung in der Industrie. Der erneuerbar produzierte Wasserstoff wird für den Antrieb von Brennstoffzellenfahrzeugen verwendet.