



FFE

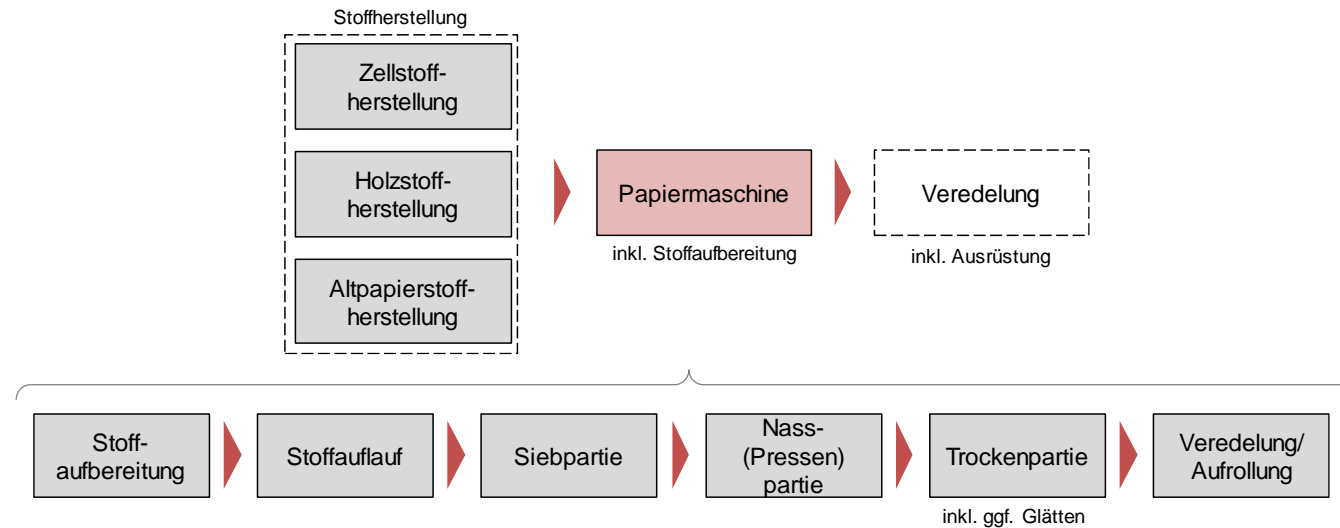
CO₂-Verminderung im Papiergewerbe

Andrej Guminski, Elsa Rouyrre, Manuel Wiener

27.11.2019

2019

Prozessablaufdiagramm Papiergewerbe (Papiermaschine)

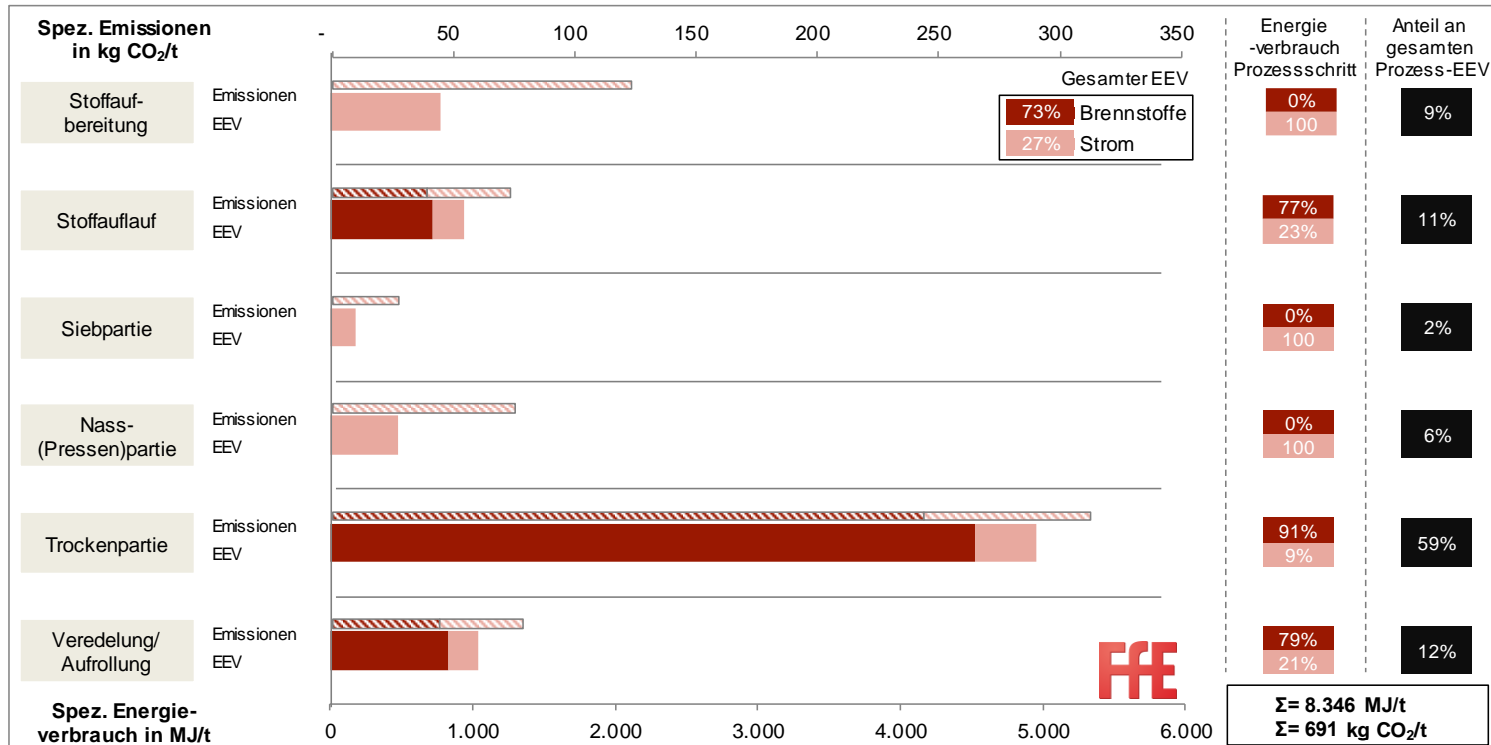


Prozessbeschreibung:

Die Herstellung von Papierprodukten gliedert sich grundsätzlich in drei Abschnitte. Der erste Abschnitt dient der Stoffherstellung von Primär- oder Sekundärfasern. Zellstoff und Holzstoff zählen zu den Primärfasern, Altpapierstoff stellt Sekundärfasern dar. Im zweiten Abschnitt erfolgt in der Papiermaschine die eigentliche Herstellung von Papier, Karton und Pappe. Im abschließenden Abschnitt der Veredelung erfolgt eine Oberflächenbearbeitung abhängig vom jeweiligen Papierendprodukt. Da sich der Produktionsablauf hinsichtlich der Papiersorte nur geringfügig unterscheidet, wird in diesem Vorhaben zunächst keine Unterscheidung nach der Papiersorte vorgenommen. Nachfolgend wird die Herstellung von Papier in der Papiermaschine beschrieben.

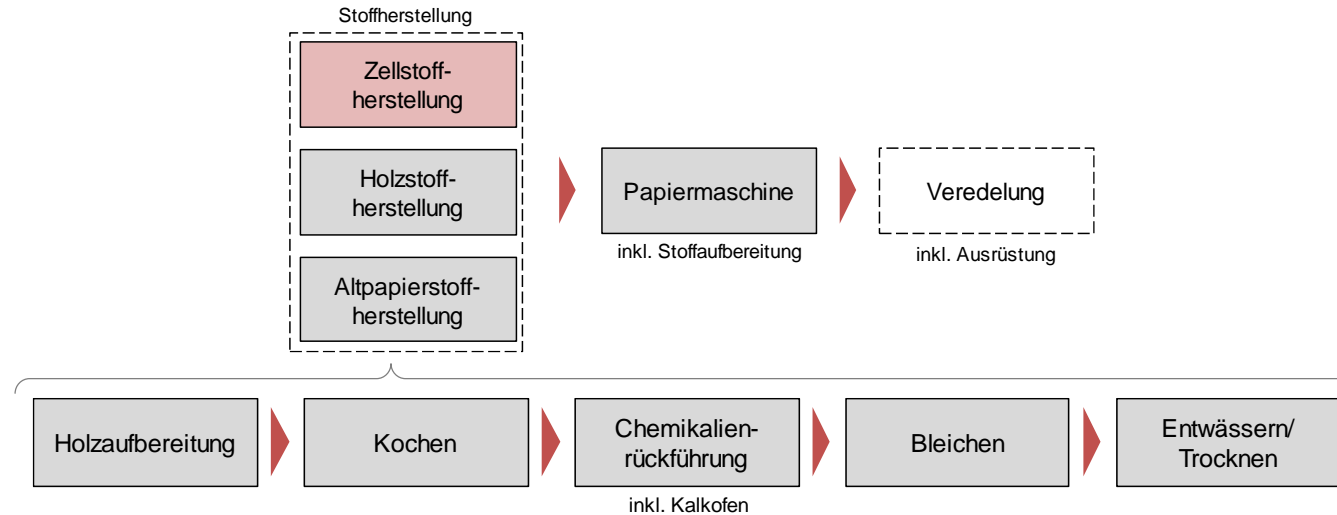
Die Produktion von Papier in der Papiermaschine ist in sechs Prozessschritte untergliedert. Da es sich nur in den wenigsten Fällen um eine integrierte Papierproduktion, das heißt Stoffherstellung und Papiermaschine handelt, muss der trocken angelieferte Faserstoff in einem ersten Schritt unter Zugabe von Wasser zu einer Fasersuspension aufbereitet werden /VDP 01 17/, /BLEC 01 13/. Anschließend folgt der Stoffauflauf, wo die Fasersuspension in den Einlaufspalt in Papierbahnbreite auf eine Siebpartie aufgebracht wird. Die Blattbildung und ein erster Schritt der Entwässerung finden in der Siebpartie statt. Die Fasersuspension besteht bei deren Eintritt noch bis zu 99 % aus Wasser und lediglich zu 1 % aus Fasern und Füllstoffen /BLEC 01 13/. Beim Austritt aus der Siebpartie reduziert sich der Wassergehalt bereits auf ca. 80 % /VDP 01 15/. Mittels mechanischer Entwässerung durch Pressen wird der Trockengehalt der entstehenden Papierbahn in der nachfolgenden Nasspresspartie weiter reduziert. Die mechanische Entwässerung ist mit einem geringeren Energieverbrauch als die thermische Trocknung verbunden, allerdings ergeben sich Grenzen bezüglich des maximal erreichbaren Trockengehalts. Durch den Wasserverlust steigt die Festigkeit der Papierbahn und es entsteht ein Faservlies mit einem Feuchteanteil von ca. 40 - 50 % /EAG 02 17/, /BLEC 01 13/. In der anschließenden Trockenpartie wird die Entwässerung der Papierbahn durch geeignete Wärmezufuhr weiter vorangetrieben. Grundsätzlich kommen verschiedene Trocknungsarten wie Kontakttrocknung, Konvektionstrocknung und Infrarottrocknung zur Anwendung. Die fertige Papierbahn verfügt je nach Papiersorte über einen Trockengehalt von 90 - 98 %. /BLEC 01 13/, /EAG 02 17/. Häufig sind bereits erste Veredelungsschritte wie Leimpressen, Glätten oder Streichen in die Papiermaschine integriert /VDP 01 15/. Der letzte Schritt der Papierherstellung ist der Rollapparat zur Aufrollung der hergestellten Papierbahn. Die Papierbahn wird hierbei auf ein meist mit Hartgummi beschichtetes Stahlrohr (Tambour) aufgewickelt /BLEC 01 13/.

Spezifischer Energieverbrauch in MJ/t und spezifische CO₂-Emissionen in kg CO₂/t der Papierherstellung (Papiermaschine)



- Durchschnittlicher Energieverbrauch von ca. 8.300 MJ pro Tonne Papier in 2014
- Deckung des Energiebedarfs zu ca. 73 % über Brennstoffe und zu ca. 27 % über Strom
- Trocknung stellt mit ca. 59 % den energieintensivsten Prozessschritt dar
- Durchschnittliche energiebedingte CO₂-Emissionen von ca. 700 kg pro Tonne Papier in 2014

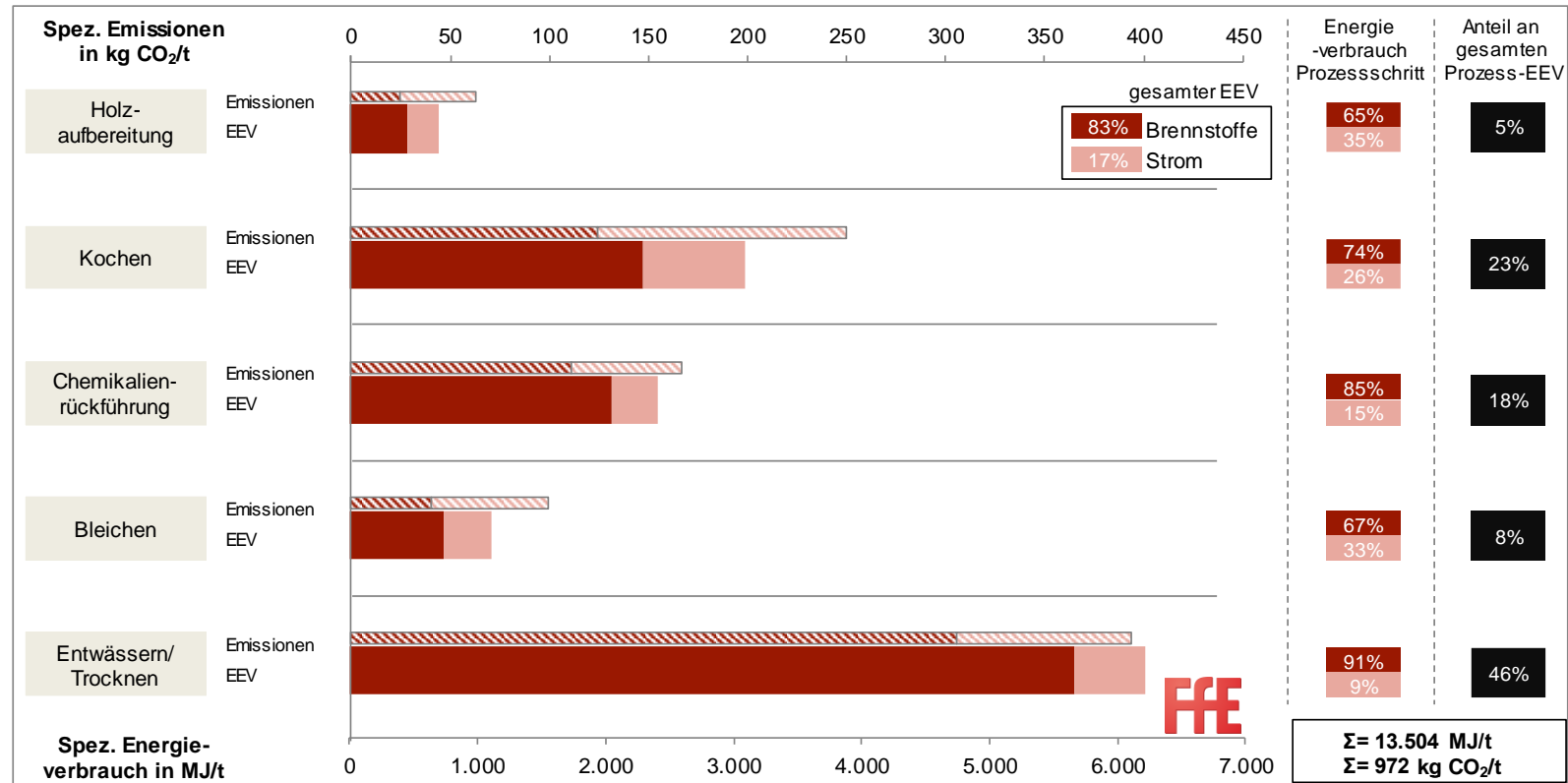
Prozessablaufdiagramm Zellstoffherstellung (Sulfatverfahren)



Prozessbeschreibung:

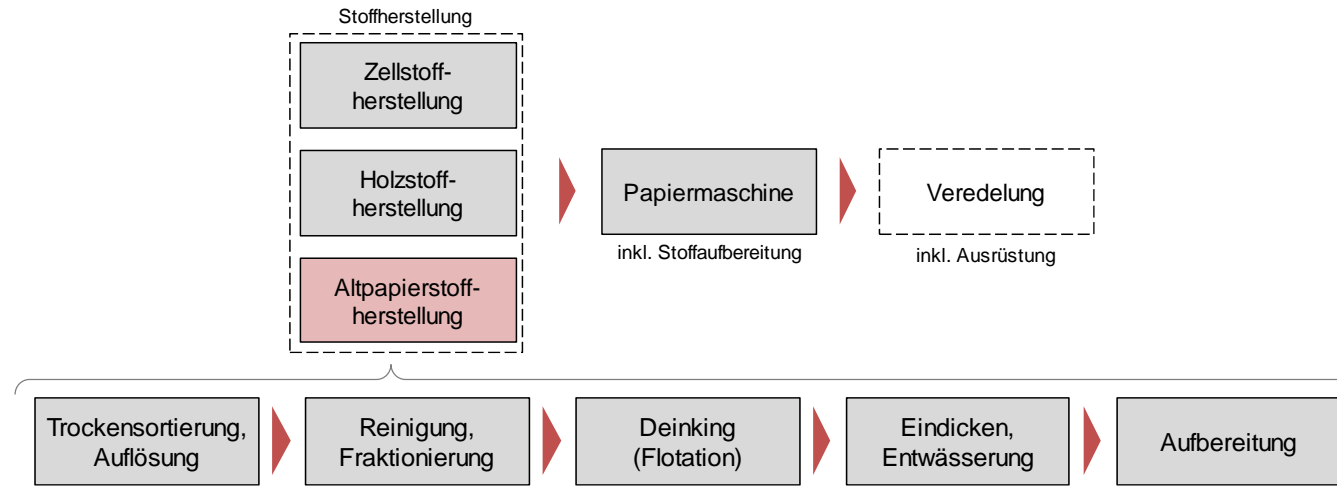
Die Holzaufbereitung stellt den ersten Prozessschritt der Zellstoffherstellung mittels des Sulfatverfahrens dar. Das angelieferte Rundholz wird in der Zellstofffabrik gesägt, entrindet, gewaschen und gehackt. In mehreren Prozessschritten entstehen Hackschnitzel als wichtigster Rohstoff der Produktion. /CHV 01 09/ In einem zweiten Prozessschritt werden die Hackschnitzel in einen Kocher aufgeschlossen. Dazu werden sie gemeinsam mit den Kochchemikalien Natriumsulfid und Natronlauge bei Temperaturen von 160-170° C unter Druck über mehrere Stunden gekocht. Dabei teilt sich das Holz in seine Bestandteile auf und Faserstoff und organischer Anteil der Suspension können extrahiert werden. /EOLB 01 09/ Während der Faseranteil sortiert, gereinigt, gegebenenfalls gebleicht und schließlich entwässert und getrocknet wird, durchlaufen die organischen Bestandteile – auch Schwarzlauge genannt (darunter v. a. die Kochchemikalien, Lignin und Wasser) - der Suspension die Laugenrückgewinnung. Dabei wird die Brennlauge, welche zu 80 – 85 % aus Wasser besteht, in der Eindampfungsanlage getrocknet. Im Zuge dessen steigt der Trockengehalt der Brennlauge auf 70 - 80 % an. /IEA 03 15/ Die getrocknete Brennlauge wird im Laugenkessel verbrannt. Im unteren Teil des Feuerraums wird das enthaltene Natriumsulfat zu Natriumsulfit reduziert und setzt sich als rotglühende Schmelze am Boden des Kessels ab. Diese Schmelze wird extrahiert und außerhalb des Laugenkessels in einer dünnen Lauge gelöst, wobei Grünlauge entsteht. Die Kochchemikalien können wieder dem Laugenkessel zum Kochen zugeführt werden. Im Laugenkessel entsteht Prozesswärme, welche sowohl für die Versorgung des gesamten Produktionsprozesses mit Wärme, als auch zur Verstromung in Turbinen, eingesetzt werden kann. Die entstandene Grünlauge wird im nachfolgenden Prozessschritt, der Kaustizierung, weiterverarbeitet. Unter Zugabe von Branntkalk entsteht aus dem Natriumkarbonat wieder Natronlauge, welche gefiltert und gereinigt als Weißlauge wieder dem Kochprozess zugeführt werden kann. Am Boden des Kaustizierbehälters setzt sich Kalziumkarbonat (Kalkschlamm) ab. Dieser wird gewaschen und entwässert und im nachfolgenden Kalkofen meist unter Zugabe eines fossilen Energieträgers (häufig Erdgas) zu Branntkalk gebrannt. /EOLB 01 09/, /IEA 03 15/ Durch das Rückbrennen zu Branntkalk (Calciumoxid) entsteht ein geschlossener Chemikalienkreislauf. /FFE 39 17/

Spezifischer Energieverbrauch in MJ/t und spezifische CO₂-Emissionen in kg CO₂/t der Zellstoffherstellung (Sulfatverfahren)



- Durchschnittlicher Energieverbrauch von ca. 13.500 MJ pro Tonne Zellstoff in 2014
- Deckung des Energiebedarfs zu ca. 83 % über Brennstoffe und zu ca. 17 % über Strom
- Entwässern/ Trocknen stellt mit ca. 46 % den energieintensivsten Prozessschritt dar
- Durchschnittliche energiebedingte CO₂-Emissionen von ca. 1.000 kg pro Tonne Zellstoff in 2014

Prozessablaufdiagramm Altpapierstoff

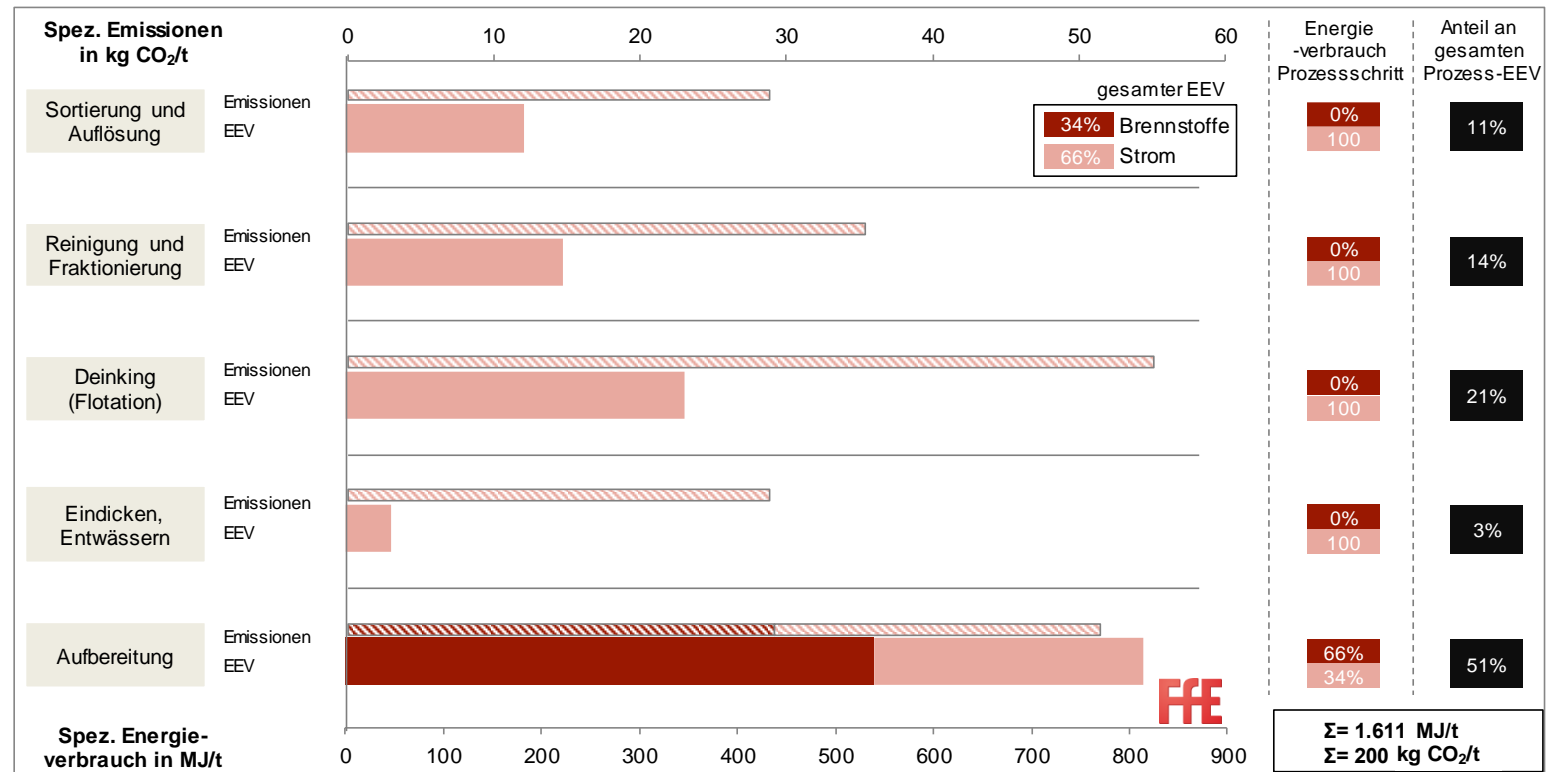


Prozessbeschreibung:

Der Prozess zur Herstellung von Altpapierstoff lässt sich im Allgemeinen in fünf Prozessschritte unterteilen. Im ersten Prozessschritt wird das gesammelte Altpapier durch Trockensortierung von möglichen Störstoffen befreit. Außerdem erfolgt eine Kategorisierung des gesammelten Altpapiers in braune, graue, bedruckte und beschichtete Pappen, Kartonagen sowie bunte Papiere. Das Ziel dieser Sortierung ist das Herausfiltern sogenannter Deinkingware dar, von welcher in einem nachfolgenden Prozessschritt des De-Inkens die Druckfarbe entfernt werden muss. Im sogenannten Pulper wird das Altpapier unter Zugabe von Wasser und Chemikalien (wie z. B. Natronlauge) durch mechanische Beanspruchung in einzelne Fasern aufgelöst. Dabei wird das Altpapier in einem großen Rührbottich so lange umgewälzt, bis die Bindungen zwischen den Fasern aufbrechen und eine Fasersuspension entsteht. Weitere Fremdstoffe werden durch anschließende nasse Sortierverfahren herausgetrennt. /EU 04 15/

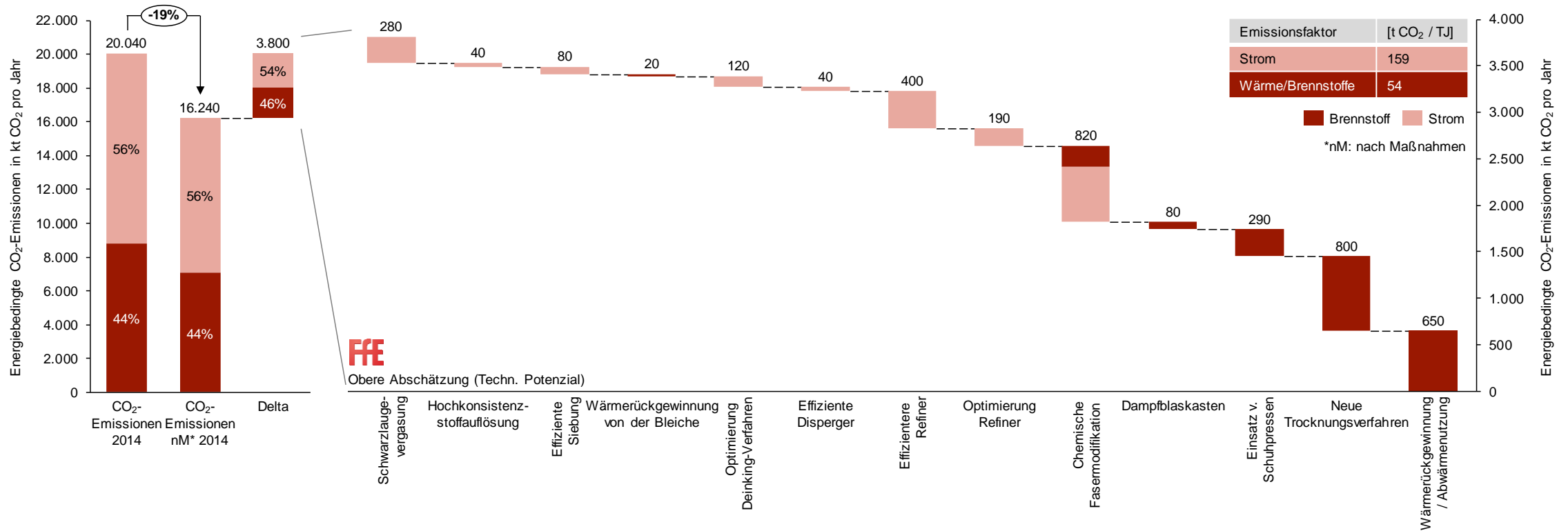
Der zweite Prozessschritt beinhaltet weitere Reinigungs- und Fraktionierungsschritte der Fasersuspension. Dabei kommen eine Reihe überwiegend mechanischer Verfahren wie die Sortierung, Siebung, Filtration und Fliehkraftabscheidung (u. a. Dickstoff- und Schwerteilreinigung, Druck- und Schlitzsortierung) zum Einsatz. /BLEC 01 13/ Durch das anschließende Deinking (engl. de-ink = „Tinte entfernen“) wird die Druckfarbe aus dem Altpapier entfernt. Das bedeutendste Verfahren stellt das Flotationsdeinking dar. Hierbei werden in den Flotationszellen unter Zugabe von Chemikalien die Benetzbarkeit der Farbpartikel und die Oberflächenspannung des Wassers verändert. Beim Eintrag von Luft in die Fasersuspension heften sich die freien Druckfarbenpartikel dadurch an Luftblasen an. Es bildet sich ein Schaum, welcher die Farbpartikel auffängt und anschließend abgetrennt werden kann. /BLEC 01 13/ Der vierte Prozessschritt stellt die mechanische Eindickung bzw. Entwässerung der Fasersuspension bis zu einer Stoffdichte von ca. 30 % dar. Die Eindickung ist vor allem für das nachfolgende Dispergieren erforderlich. /BLEC 01 13/, /CHV 01 13/ Im abschließenden Prozessschritt der Aufbereitung werden die aus Altpapier gewonnenen Faserstoffe weiter aufbereitet, um so eine Qualität ähnlich der von Primärfaserstoffen zu erreichen. Durch Reibungsbeanspruchung im Disperger werden restliche Druckfarbenpartikel entfernt und weitere Störstoffe zerkleinert. Hierdurch erfährt der Altpapierstoff bereits eine erste Bleiche. Gleichzeitig wird die Suspension durch Dampfzufuhr bis auf Temperaturen um 100° C erwärmt. Dadurch lassen sich Störstoffe leichter entfernen bzw. zerkleinern und der Faserstoff erfährt eine schonende Behandlung. /CHV 01 13/ Durch Zusatz von Chemikalien oder einem weiteren Flotationsschritt kann dem Weißeverlust durch das Dispergieren entgegengewirkt und der Weißegrad gesteigert werden. Ein weiterer Vorteil des Dispergierens besteht in einer gesteigerten Faser-Faser-Bindung, welche die Qualität des Altpapierstoffs erhöht. /BLEC 01 13/

Spezifischer Energieverbrauch in MJ/t und spezifische CO₂-Emissionen in kg CO₂/t der Altpapierstoffherstellung



- Durchschnittlicher Energieverbrauch von ca. 1.600 MJ pro Tonne Altpapierstoff in 2014
- Deckung des Energiebedarfs zu ca. 34 % über Brennstoffe und zu ca. 66 % über Strom
- Aufbereitung stellt mit ca. 50 % den energieintensivsten Prozessschritt dar
- Durchschnittliche energiebedingte CO₂-Emissionen von ca. 200 kg pro Tonne Altpapierstoff in 2014

Auswirkungen von CO₂-Verminderungsmaßnahmen auf die CO₂-Emissionen in der Papierherstellung (Papiermaschine)



Herleitung des maximalen technischen CO₂-Verminderungspotenzials der Effizienzmaßnahmen im Papiergewerbe (1)

| Kurzbezeichnung | Beschreibung | Maximales technisches Potenzial und Zukunftsfähigkeit |
|--|--|---|
| Schwarzlaugervergasung (Zellstoffherstellung mittels Sulfatverfahren) | Die Schwarzlaugung bei der Zellstoffherstellung wird grundsätzlich getrocknet und zur Energiegewinnung im Laugenkessel verbrannt. Allerdings haben die Laugenverbrennungskessel aufgrund thermodynamischer Beschränkungen einen niedrigen elektrischen Wirkungsgrad von 10 - 15 %. Eine Alternative zu dieser Nutzungsart stellt die Schwarzlaugervergasung dar. Die Vergasung der Schwarzlaugung ermöglicht die Nutzung einer Anlage mit Kraft-Wärme-Kopplung, was bei gleichbleibender Wärmeerzeugung die Stromerzeugung deutlich erhöht. /EOLB-01 09/, /FLEI-01 12/, /EU-04 15/ | <i>Maximales technisches Potenzial: 300 kt CO₂/a</i> <i>Herleitung:</i> - Spez. Einsparpotenzial Strom: 478 kWh / t Zellstoff (Erzeugung von Strom) /FLEI-01 12/, /EU-04 15/ - Anwendungsfaktor: 100 % /FLEI-01 12/ |
| Hochkonsistenzstoffauflösung (Altpapierstoff) | Durch eine Erhöhung der Stoffdichte von 5 - 7 % auf 10 - 20 % kann bei der Stoffauslösung Energie eingespart werden. Dies liegt daran, dass durch den niedrigen Wassergehalt die Reibungskräfte zwischen den Fasern wesentlich höher sind und so ein gutes Auflösen des Gemisches bei geringerem Energieaufwand möglich ist. /CHV-01 10/, /EU-04 15/, /EANRW-01 1/ | <i>Maximales technisches Potenzial: <100 kt CO₂/a</i> <i>Herleitung:</i> - Spez. Einsparpotenzial Strom: 7 kWh/t Altpapierstoff /EU-04 15/, /EANRW-01 1/, /FLEI-01 12/ - Anwendungsfaktor: 70 % /FLEI-01 12/ |
| Effiziente Siebung (Altpapierstoff) | Bei der Siebung werden aus der Suspension Verunreinigungen und Fremdstoffe im Altpapier beseitigt. Energieeinsparmaßnahmen können sich unter anderem durch eine Erhöhung der Stoffdichte sowie durch die Nutzung von Siebkörben mit höherer Abscheideleistung ergeben. Dadurch kann bei geringerer Drehzahl dieselbe Menge an Altpapierstoff mit gleichbleibender Qualität gesiebt werden. /EU-04 15/, /FLEI-01 12/ | <i>Maximales technisches Potenzial: 100 kt CO₂/a</i> <i>Herleitung:</i> - Spez. Einsparpotenzial Strom: 12 kWh/t Altpapierstoff /EU-04 15/, /FLEI-01 12/ - Anwendungsfaktor: 80 % /FLEI-01 12/ |
| Wärmerückgewinnung von der Bleiche (Altpapierstoff) | Das Abwasser aus der Bleiche der Altpapierstoffherstellung hat eine erhöhte Temperatur. Diese kann durch Wärmetauscherlösungen beispielweise zum Aufheizen von Frischwasser genutzt werden. /EOLB-01 09/, /FLEI-01 12/ | <i>Maximales technisches Potenzial: <100 kt CO₂/a</i> <i>Herleitung:</i> - Spez. Einsparpotenzial Wärme (Brennstoff): 8 kWh/t Altpapierstoff /EU-04 15/, /FLEI-01 12/ - Anwendungsfaktor: 80 % /FLEI-01 12/ |
| Optimierung Deinking-Verfahren (Altpapierstoff) | Die Flotation stellt einen der energieintensivsten Prozessschritte des Deinkings in der Altpapieraufbereitung dar. Durch eine bessere Regulierung der Pumpen sowie eine reduzierte Flussgeschwindigkeit der Suspension lassen sich Energieeinsparungen realisieren. /FLEI-01 12/ | <i>Maximales technisches Potenzial: 100 kt CO₂/a</i> <i>Herleitung:</i> - Spez. Einsparpotenzial Strom: 14 kWh/t Altpapierstoff /FLEI-01 12/, - Anwendungsfaktor: 100 % /FLEI-01 12/ |

Herleitung des maximalen technischen CO₂-Verminderungspotenzials der Effizienzmaßnahmen im Papiergewerbe (2)

| Kurzbezeichnung | Beschreibung | Maximales technisches Potenzial und Zukunftsfähigkeit |
|--|---|---|
| Effiziente Disperger (Altpapierstoff) | Dispergieren ist ein Schritt der Nachbearbeitung der aufbereiteten Altpapierfasern mit dem Ziel, die einzelnen Fasern zu trennen, Fremdpartikel zu zerkleinern und die Faseroberflächen zu reinigen. /CHV-01 13/ Durch ein Umrüsten alter Disperger auf moderne Technik (z. B. Hochzahngarnituren) können bedeutende Einsparungspotenziale von bis zu 20 % realisiert werden. /FLEI-01 12/ | <p><i>Maximales technisches Potenzial: <100 kt CO₂/a</i></p> <p><i>Herleitung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Spez. Einsparpotenzial Strom: 6 kWh/t Altpapierstoff /FLEI-01 12/ - Anwendungsfaktor: 70 % /FLEI-01 12/ |
| Effizientere Refiner (Papiermaschine) | Bei ungünstigen Betriebsbedingungen können die Leerlaufverluste für 30 - 50 % des Energieverbrauchs der Refiner verantwortlich sein. Abhilfe schaffen können einerseits der Einsatz neuer effizienterer Refiner oder eine Optimierung der Betriebsweise bestehender Refiner. /EU-04 15/ Ein Beispiel für ein neues Refinerkonzept stellt der sog. Papillon-Refiner dar, durch welchen sich die Leerlaufverluste laut Hersteller um bis zu 40 % reduzieren lassen /AND-01 16/. Durch die sinkenden Leerlaufverluste lassen sich signifikante Energieeinsparungen realisieren. /EU-04 15/ | <p><i>Maximales technisches Potenzial: 400 kt CO₂/a</i></p> <p><i>Herleitung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Spez. Einsparpotenzial Strom: 33 kWh/t Papier /FLEI-01 12/, /EU-04 15/ - Anwendungsfaktor: 95 % /FLEI-01 12/ |
| Optimierung Refiner (Papiermaschine) | | <p><i>Maximales technisches Potenzial: 200 kt CO₂/a</i></p> <p><i>Herleitung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Spez. Einsparpotenzial Strom: 21 kWh/t Papier /FLEI-01 12/ - Anwendungsfaktor: 70 % /FLEI-01 12/ |
| Chemische Fasermodifikation (Papiermaschine) | Entgegen dem konventionellen Ansatz, nach welchem eine erhöhte Bindefähigkeit der Fasern überwiegend durch mechanische Mahlung ermöglicht wird, kann dies auch durch chemische Behandlung der Fasern (=Fasermodifikation) erfolgen. Ein solcher Ansatz wirkt den Nachteilen der mechanischen Verfahren (u. a. hoher Energieverbrauch zur Entwässerung) entgegen. /EJWW-02 10/, /EU-04 15/, /FLEI-01 12/ | <p><i>Maximales technisches Potenzial: 800 kt CO₂/a</i></p> <p><i>Herleitung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Spez. Einsparpotenzial Strom: 46 kWh/t Papier /FLEI-01 12/ - Spez. Einsparpotenzial Wärme: 51 kWh/t Papier /FLEI-01 12/ - Anwendungsfaktor: 100 % /FLEI-01 12/ |

Herleitung des maximalen technischen CO₂-Verminderungspotenzials der Effizienzmaßnahmen im Papiergewerbe (3)

| Kurzbezeichnung | Beschreibung | Maximales technisches Potenzial und Zukunftsfähigkeit |
|--|---|--|
| Dampfblaskasten (Papiermaschine) | Die Entwässerungsleistung in der Nasspresspartie hängt von der Viskosität des Wassers ab. Steigt die Temperatur des Wassers, so sinkt dessen Viskosität und die Entwässerungsleistung im Bereich der Presse steigt. Die Temperaturerhöhung wird durch Einsatz des Dampfblaskastens geschaffen (Bedampfen der Papierbahn). Je höher der Trockengehalt der Papierbahn nach der Presspartie ist, desto weniger (thermische) Energie ist zur Trocknung notwendig. /FLEI-01 12/, /VOI-01 12/, /CHV-02 09/ | <p><i>Maximales technisches Potenzial: 100 kt CO₂/a</i></p> <p><i>Herleitung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Spez. Einsparpotenzial Wärme: 50 kWh/t Papier /FLEI-01 12/, /EU-04 15/ - Anwendungsfaktor: 36 % /FLEI-01 12/ |
| Einsatz von Schuhpressen (Papiermaschine) | Die Schuhpresse ist ein Modul für die (Nass-) Pressenpartie. Durch die spezielle Form der Schuhpresse und eine Verlängerung der Niplänge in der Papiermaschine können eine intensivere Entwässerung und damit eine Steigerung des Trockengehalts der Papierbahn vor dem Eintritt in die Trockenpartie erreicht werden. Da vor allem die thermische Trocknung mit einem hohen Energieaufwand verbunden ist, können dadurch Energie- und Emissionsminderungen realisiert werden. /CHV-01 15/, /BLESL-01 13/, /FLEI-01 12/ | <p><i>Maximales technisches Potenzial: 300 kt CO₂/a</i></p> <p><i>Herleitung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Spez. Einsparpotenzial Wärme: 152 kWh/t Papier /FLEI-01 12/, /EU-04 15/ - Anwendungsfaktor: 43 % /FLEI-01 12/ |
| Neue Trocknungsverfahren (Papiermaschine) | Da die Trockenpartie den energetisch aufwendigsten Prozessschritt der Papiermaschine darstellt, bietet sich hier grundsätzlich ein großes Einsparungspotenzial. In der Literatur werden zahlreiche verschiedene Konzepte diskutiert, welche energetisch effizientere Trocknung versprechen. Dazu zählen unter anderem die Impulstrocknung, die Dampf-/ Pralltrocknung sowie die Kondensationsband-Trocknung. /FLEI-0 12/ Allerdings werden diese neuen Trocknungsverfahren auch teilweise unterschiedlich bewertet. | <p><i>Maximales technisches Potenzial: 800 kt CO₂/a</i></p> <p><i>Herleitung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Spez. Einsparpotenzial Wärme: 183 kWh/t Papier /FLEI-01 12/, /EU-04 15/ - Anwendungsfaktor: 100 % /FLEI-01 12/ |
| Wärmerück-gewinnung / Abwärmennutzung (Papiermaschine) | Wärmerückgewinnung sowie die Nutzung von Abwärme ist in der Papierindustrie bereits sehr weit fortgeschritten. Große Einsparungspotenziale werden hierbei vor allem im Bereich der Abwärme von den Refinern und des Mahlens sowie in der Trockenpartie realisiert. Nichtsdestotrotz bestehen zusätzliche Potenziale vor allem bei der Nutzung von Niedertemperaturwärme sowie dem Dampfsystem. /FLEI-01 12/ | <p><i>Maximales technisches Potenzial: 700 kt CO₂/a</i></p> <p><i>Herleitung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Spez. Einsparpotenzial Wärme: 298 kWh/t Papier /FLEI-01 12/ - Anwendungsfaktor: 50 % /FLEI-01 12/ |
| Alle Maßnahmen | Summe der Maßnahmen | <p>Maximales technisches Potenzial: 3.800 kt CO₂/a</p> |

Quellen

- BLEC-01 13** Blechschmidt, Jürgen: Taschenbuch der Papiertechnik. München: Carl Hanser Verlag München, 2013
- BLESL-01 13** Blesl, Markus; Kessler, Alois: Energieeffizienz in der Industrie in: Springer Verlag. Berlin Heidelberg: Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER), Universität Stuttgart, EnBW Energie Baden-Württemberg AG, Forschung und Innovation, Karlsruhe, 2013.
- CHV-01 09** Viel mehr als Zellstoff in: Papier + Technik (Ausgababe 12-1/2009-10) verfügbar unter: <http://www.papierundtechnik.de/pt/live/fachartikel/detail/54.html> (Abruf: 01.06.2017). Heidelberg: Dr.Curt Haefner-Verlag, 2009
- CHV-01 10** Der Hochkonsistenz-Pulper in: Papier + Technik (Ausgabe: 09/2010) verfügbar unter: <http://www.papierundtechnik.de/pt/live/archiv/artikel/detail/32396531.html> (Abruf: 01.06.2017). Heidelberg: Dr.Curt Haefner-Verlag, 2010
- CHV-01 13** Dispergieren in: Papier + Technik (Ausgabe: 01/2013) verfügbar unter: <http://www.papierundtechnik.de/pt/live/archiv/artikel/detail/33285468.html> (Abruf: 01.06.2017). Heidelberg: Dr.Curt Haefner-Verlag, 2013
- CHV-01 15** Die Schuhpresse in: Papier + Technik (Ausgabe: 08/2015) verfügbar unter: <http://www.papierundtechnik.de/pt/live/archiv/artikel/detail/34119951.html> (Abruf: 01.06.2017). Heidelberg: Dr.Curt Haefner-Verlag, 2015
- CHV-02 09** Optimieren durch Zusatzaggregate in: Papier + Technik (Ausgabe: 02/2009) verfügbar unter: <http://www.papierundtechnik.de/pt/live/fachartikel/detail/45.html> (Abruf: 01.06.2017). Heidelberg: Dr.Curt Haefner-Verlag, 2009
- EAG-02 17** Papierherstellung in: EnArgus-Wiki verfügbar unter: https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/d1711107-2/*/*/Papierherstellung.html?search=papierherstellung&scope=all&op=Wiki.getwiki (Abruf: 01.06.2017) Archived by WebCite® at: <http://www.webcitation.org/6qtc9FFco>. Jülich: Forschungszentrum Jülich GmbH, 2017
- EANRW-01 10** Effiziente Energienutzung in der Papierindustrie - Nützliche Informationen und Praxisbeispiele für Unternehmen. Wuppertal: EnergieAgentur.NRW, 2010
- EJWW-02 10** Erhard, Klaus; Arndt, Tiemo; Miletzky, Frank: Einsparung von Prozessenergie und Steuerung von Papiereigenschaften durch gezielte chemische Fasermodifizierung in: European Journal of Wood and Wood Products (August 2010, Volume 68, Issue 3). Berlin: Springer-Verlag, 2010

- EOLB-01 09** Kramer, Klaas Jan; Masanet, Eric; Tengfang, Xu; Worrell, Ernst: Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Pulp and Paper Industry - An ENERGY STAR® Guide for Energy and Plant Managers. Berkeley, Kalifornien: Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Lab, 2009
- EU-04 15** Suhr, Michael u.a. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board. Luxembourg: Europäische Kommission, 2015
- FFE-38 17** Duer, Werner (Zellstoff Pöls AG): Experteninterview am 23.02.2017 - CO2-Vermindeung im Papiergewerbe: Herstellung von Zellstoff. München: FFE GmbH, 2017
- FFE-39 17** Lemke, Jost (thyssenkrupp Industrial Solutions): Experteninterview am 20.04.2017 - CO2-Vermindeung in der Industrie. München: FFE GmbH, 2017
- FLEI-01 12** Fleiter, Tobias; Fehrenbach, Daniel; Worrell, Ernst; Eichhammer, Wolfgang: Energy efficiency in the German pulp and paper industry - A model-based assessment of saving potentials in: Energy. Amsterdam: Elsevier, 2012
- FLEI-02 12** Fleiter, Tobias: The adoption of energy-efficient technologies by firms - An integrated analysis of the technology, behavior and policy dimensions. Karlsruhe: Fraunhofer Verlag, 2012
- IEA-03 15** Börjesson, Martin; Ahlgren, Erik: Pulp and Paper Industry. Paris: International Energy Agency Energy Technology Systems Analysis Programme (IEA ETSAP), 2015
- IETD-02 17** Pulp and Paper - Benchmarks in: The Industrial Efficiency Technology Database (IETD) verfügbar unter: <http://ietd.iipnetwork.org/content/pulp-and-paper#benchmarks> (Abruf: 02.06.2017) Archived by WebCite® at: <http://www.webcitation.org/6qwdxEIE9>. Washington, D.C. (USA): Institute for Industrial Productivity, 2017
- ISI-05 13** Fleiter, Tobias; Schломann, Barbara; Eichhammer, Wolfgang: Energieverbrauch und CO2-Emissionen industrieller Prozesstechnologien - Einsparpotentiale, Hemmnisse und Instrumente in: ISI Schriftenreihe "Innovationspotentiale". Stuttgart: Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI), 2013

Quellen

- ROS-01 17** Zahlen und Fakten - Zellstoff Rosenthal in: <http://www.zpr.de/NumbersAndFacts.aspx> (Abruf: 03.06.2017) Archived by WebCite® at: <http://www.webcitation.org/6qxyq3hlW>. Blankenstein (Saale): Zellstoff - und Papierfabrik Rosenthal Gesellschaft mit beschränkter Haftung, 2017
- STEN-01 17** Zahlen und Fakten - Zellstoff Stendal in: <http://www.zellstoff-stendal.de/NumbersAndFacts.aspx> (Abruf: 03.06.2017) Archived by WebCite® at: <http://www.webcitation.org/6qxytMutm>. Arneburg: Zellstoff Stendal GmbH, 2017
- UBA-02 16** Icha, Petra: Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 bis 2015. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt (UBA), 2016
- UBA-13 16** Juhrich, Kristina: CO2-Emissionsfaktoren für fossile Brennstoffe. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, 2016
- VDP-01 15** Papier machen - Industrielle Papierproduktion. Bonn: Verband Deutscher Papierfabriken e.V., 2015
- VDP-01 16** Papier 2016 - Ein Leistungsbericht. Bonn: Verband Deutscher Papierfabriken e.V., 2016
- VDP-01 17** Standorte und Produktionsstätten der VDP-Mitgliedsunternehmen 2017. Bonn: Verband Deutscher Papierfabriken, 2017
- VOI-01 12** OnQ ModuleSteam - Der innovative Dampfblaskasten. Heidenheim: Voith Paper Holding GmbH & Co. KG, 2012