

MODELLFABRIK PAPIER „Roadmap-Bericht“



Mai 2023

MODELLFABRIK PAPIER „Roadmap-Bericht“



Inhalt

Motivation und Hintergrund	4
Gesellschafter und Forschungseinrichtungen	5
Roadmap Modellfabrik Papier	6
Arbeiten und Ergebnisse des Roadmap-Projekts	7
A. Forschungsagenda	7
1. Verfahren und Prozesse	10
2. Rohstoffe und Additive	12
3. Energieversorgungssysteme	14
4. Digitalisierung	16
B. Antragstellung Forschung und Finanzierung	20
Zusammenfassung und Fazit	21

Motivation und Hintergrund

Ein nachhaltiger Umgang mit dem Planeten ist entscheidend, um das Leben des Menschen auf der Erde langfristig zu sichern. Als eines von mehreren Risiken dafür wird aktuell die globale Erwärmung gesehen. Als Schlüsselfaktor, um diese Erwärmung zu entschleunigen, wird zum jetzigen Wissensstand eine Reduktion der Treibhausgasemission und damit verbunden des Energieverbrauchs gesehen. Von daher haben es sich viele Nationen zum Ziel gesetzt, Treibhausgasemission zu reduzieren und Energie einzusparen und sich zum Teil vertraglich dazu verpflichtet.¹ Einzelne Maßnahmen, um dieses Ziel zu erreichen, umfassen beispielsweise verpflichtende Reduktionsziele der jährlichen Emissionsbilanzierung des Bundes (z. B. für die Papierindustrie 4% p.a. zwischen 2021 und 2030) oder CO₂-Steuern.² Dadurch können viele Industrien zur Eindämmung der globalen Erwärmung beitragen.

Die Papierindustrie trägt mit ihren auf Birohstoffen basierenden Produkten bereits heute in vielerlei Hinsicht zum nachhaltigen Umgang mit dem Planeten (gemäß der Ziele für nachhaltige Entwicklung der UN, SDGs)³ bei und ist in vielen Anwendungsfeldern in der Lage, weniger nachhaltige Materialien zu ersetzen. Aufgrund der Energieintensität bietet sie noch ein deutliches Potential, ihren CO₂-Fußabdruck zu verbessern und somit die globale Erwärmung zu entschleunigen. Gelingt es, dieses Potential auszuschöpfen, kann die Nutzung von Papierprodukten noch stärker zum Erhalt eines für den Menschen komfortablen Klimas auf der Erde beitragen.

Der aktuelle Wissensstand ist dafür jedoch nicht ausreichend und innovative Ansätze sind gefragt, die idealerweise über die Einsparung von Energie hinaus die Gedanken der Bioökonomie, Zirkularität und Ressourcenschonung berücksichtigen.

Innovationen in der Papierindustrie bieten zwar zum einen große Chancen, sind zum anderen jedoch auch dringend nötig, um bevorstehende Herausforderungen des Sektors zu bewältigen. Dieser ist in Deutschland nämlich sowohl von Faser-Rohstoffen als auch von Primärenergieträgern stark abhängig und reagiert zum Teil sensibel auf unvorhersehbare Ressourcenengpässe und Preisschwankungen. Die aktuellen politischen Umstände, ausgelöst durch den russischen Überfall auf die Ukraine, und die energiepolitischen sowie daran anknüpfenden moralischen Folgen und Fragen sind nicht Thema dieses Berichts, können jedoch als ein aktuelles Beispiel dafür genannt werden, wie schnell und mit welch fatalen Folgen globale Systeme über einen Kipppunkt geraten können.

Abbildung 1 zeigt die Entwicklung der Papierindustrie seit 2000. Mit Ausnahme der Kapazität sind seit 2018 alle Handelskennzahlen deutlich abfallend. Die weitere Entwicklung dieser Tendenz ist aber als unrealistisch einzuschätzen, da im Zuge der 2021 in Kraft getretenen Single Use Plastic-Direktive (SUPD)⁴ und dem damit einhergehenden EU-weiten Verbot von Einwegplastik, Papierprodukte als Substitute immer stärker in den Fokus rücken. Zugleich summiert Abbildung 1 Tendenzen bezüglich der Faserrohstoffe: Aufgrund der hohen Exporte kann der Papierverbrauch in Deutschland nur über Importe abgedeckt werden. Bei steigenden CO₂-Emissionskosten aufgrund der Klimaziele auf nationaler Ebene, ist ein weiter wachsendes Ungleichgewicht der internationalen Kosten zu erwarten, was Importabhängigkeiten verstärkt. Neueartige Verfahren und Prozesse sowie innovative Funktionalisierung oder Additivierung, durch welche der Energieverbrauch der Papierproduktion reduziert werden kann, kann somit auch wirtschaftlich zur Stärkung deutscher Unternehmen beitragen. Jedoch bieten auch in den aktuellen Papierfertigerungsverfahren viele Prozesse ein enormes Potential Energie einzusparen.

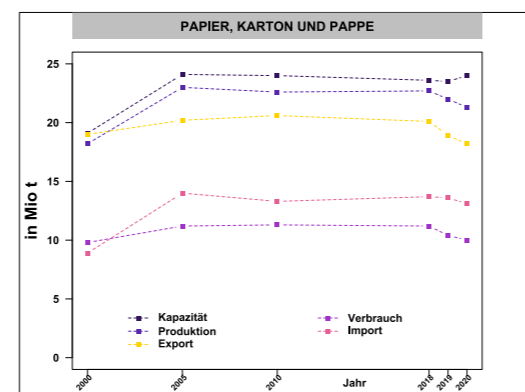


Abbildung 1: Entwicklung der Papierindustrie seit 2000.

¹ <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/klimaschutz-abkommen-von-paris.htm>

² <https://www.umweltbundesamt.de/>

³ <https://sdgs.un.org/goals>

⁴ https://environment.ec.europa.eu/topics/plastics/single-use-plastics/eu-restrictions-certain-single-use-plastics_en

Um die Grundlage für nachhaltige Lösungsansätze solcher Art zu erarbeiten, haben sich in der Modellfabrik Papier gGmbH 20 Unternehmen, 6 Forschungseinrichtungen und Partner zu einem einzigartigen Forschungsverbund zusammengeschlossen (s. Abbildung 2). Dieser wird in vorwettbewerblicher Forschung die wissenschaftlichen Grundlagen erarbeiten, um das Energiesparpotential der Papierindustrie in innovativen Ansätzen voll auszuschöpfen (Ziel: Energieverbrauch bei der Papierfertigung bis 2045 um mindestens 80 % senken). Die Wirtschaftsförderungsgesellschaft der Stadt Düren WIN.DN spielt dabei eine zentrale Rolle, da diese die Infrastruktur (Grundstücksfindung, Neubauplanung) der Modellfabrik Papier unterstützt und auch einen Interimsstandort bereitstellt, in dem die Forschungsarbeiten bereits vor Fertigstellung eines Neubaus zentral beginnen können.

Darüber hinaus trägt die Modellfabrik Papier maßgeblich dazu bei, den Strukturwandel im ehemaligen Braunkohlerevier Düren voranzutreiben, die Zerstörung von natürlichen Lebensräumen durch den Braunkohleabbau zu reduzieren und die Papierindustrie in Deutschland resilienter gegenüber Rohstoffknappheit, globalen politischen Entwicklungen und damit verbundenen Preisschwankungen aufzustellen.

Gesellschafter



Forschungseinrichtungen



Abbildung 2: Gesellschafter und unterstützende Forschungseinrichtungen der Modellfabrik Papier gGmbH.

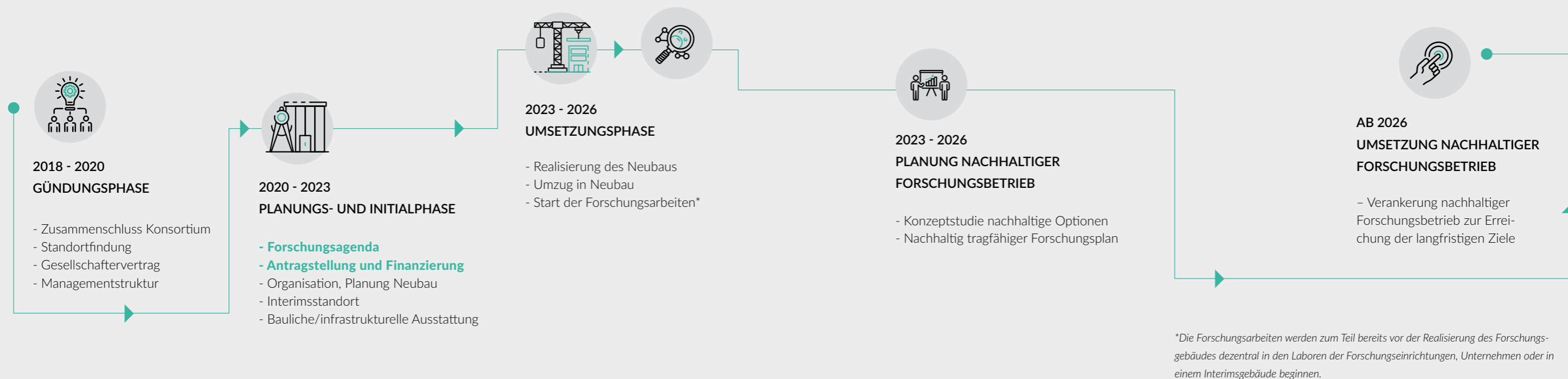


Abbildung 3: Grundlegender Entwurf einer Roadmap für die Modellfabrik Papier.

Roadmap Modellfabrik Papier

Um mit der Modellfabrik Papier erfolgreich zu sein, bedarf es eines strukturierten Arbeitsplans. Dazu wurde in mehreren Workshops, Umfragen und Diskussionen sowie in intensiver Projektarbeit vom gesamten Konsortium obenstehender grundlegender Entwurf eines strategischen Fahrplans (Roadmap) erarbeitet (s. Abbildung 3).

Ziel des Roadmap-Projekts ist es,

- konkrete Forschungsansätze näher zu beleuchten und vor dem Hintergrund des Standes der Wissenschaft und Technik sowie anhand erster Versuche zu bewerten, um damit die Forschungsagenda zu konkretisieren und mit einem konkreten Arbeitsplan zu füllen.**
- Einblicke in die Förderlandschaft und strategische Einbettung der Forschungsthemen zu gewinnen, um potenzielle Finanzierungsmöglichkeiten für die Arbeiten in der Modellfabrik zu eruieren.**

Diese resultierende Roadmap soll ständig aktualisiert und dynamisch neu ausgerichtet werden, sofern dies äußere Faktoren oder neue Erkenntnisse aus der Forschung nahelegen.

Arbeiten und Ergebnisse des Roadmap-Projekts



A. Forschungsagenda

Für die Evaluierung der Forschungsfelder und -themen in der Modellfabrik Papier sowie für die Bewertung der Forschungsergebnisse, ist es unabdingbar, den Energiebedarf und damit das Einsparpotential der einzelnen Prozessschritte während der Produktion für unterschiedliche Papierprodukte zum jeweils aktuellen Stand der Technik (BAT – Best Available Technology) genau zu kennen und eine „Referenzlinie“ zu bilden. Dazu wurden im Rahmen des Roadmap-Projekts vier Fabriken für die Produktion von Wellpappenrohpaper, Feinpapier, Zeitungspapier und Hygienepapier analysiert und ausgewertet. Beispielhaft ist in Abbildung 4 ein resultierendes Schema für die „Referenzfabrik Wellpappenrohpaper“ gezeigt. Eine Übersicht der wichtigsten Ergebnisse aller Referenzfabriken findet sich in Tabelle 1.

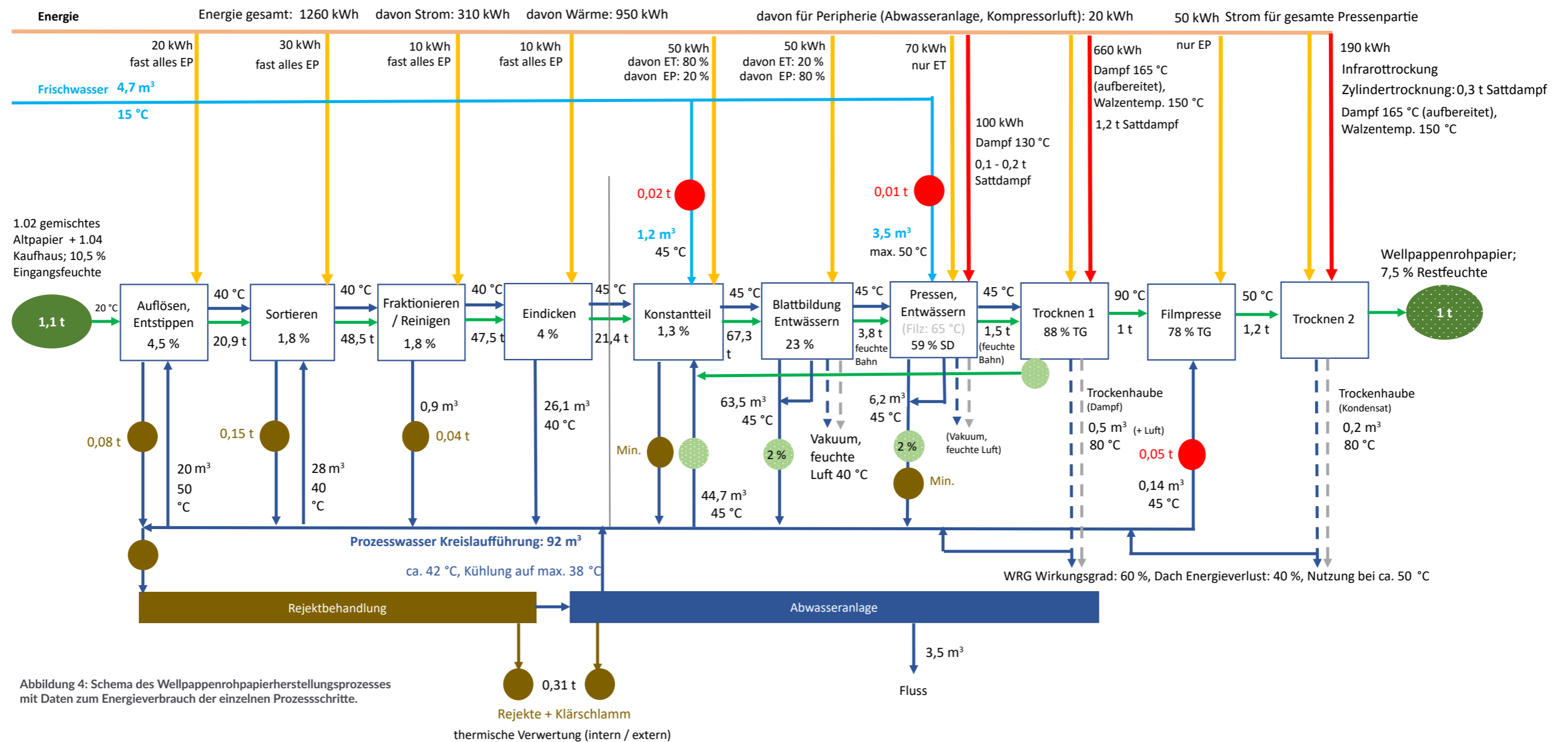


Abbildung 4: Schema des Wellpappenrohrpapierherstellungsprozesses mit Daten zum Energieverbrauch der einzelnen Prozessschritte.

TABELLE 1. VERGLEICHENDE WERTE DER REFERENZFABRIKEN

Referenzfabrik	Pro Tonne Endprodukt		
	Energieverbrauch in kWh	Wasserverbrauch in m³	Prozesswasser Kreislauf in m³
Feinpapier	Energie gesamt: 2.060 Davon Wärme: 1.250 Davon Strom: 810	Frischwasser: 10,3 Austrag über AWA: 9	54
Zeitungspapier	Energie gesamt: 2.360 Davon Wärme: 1.450 Davon Strom: 910	Frischwasser: 8 Austrag über AWA: 7	205
Wellpappenrohrpapier	Energie gesamt: 1.260 Davon Wärme: 950 Davon Strom: 310	Frischwasser: 4,7 Austrag über AWA: 3,5	92
Hygienepapier	Energie gesamt: 2.380 Davon Wärme: 1.600 Davon Strom: 780	Frischwasser: 4 Austrag über AWA: 3	518

Diese Studien liefern die Grundlage für zukünftige Modellierungsprojekte und bestätigen, dass die Trocknungs- und Entwässerungsprozesse zum aktuellen Stand der Technik besonders energieintensiv sind. Um diese Prozesse effizienter zu gestalten und somit die CO₂-Bilanz der Papierherstellung signifikant zu senken, ergeben sich folgende Ansätze:

- I. **Neue Verfahren und Prozesse,**
- II. **Faser- bzw. Rohstoffe und Additive,**
- III. **Innovative Energieversorgungssysteme,**
- IV. **Prozessoptimierung mittels Digitalisierung**

Diese Themenkomplexe wurden in zahlreichen Diskussionen auch hinsichtlich weiterer Schwerpunkte als die zentralen Forschungsfelder der Modellfabrik Papier identifiziert. Im Rahmen des Roadmap-Projekts wurden Erkenntnisse aus der Forschung, die eine Weiterverfolgung in Forschungsarbeiten der Modellfabrik Papier erfahren könnten, identifiziert. Entsprechende Beispiele für solche diskutierten und beleuchteten Ansätze werden im Folgenden kurz zusammengefasst.

1. Verfahren und Prozesse

Grundsätzlich ist es ein naheliegender initialer Ansatz, energieintensive Verfahrens- und Prozessschritte durch verbesserte neue, innovative und energiesparende Möglichkeiten zu ersetzen. Die Arbeiten des Roadmap-Projekts fokussierten sich in diesem Forschungsfeld deshalb darauf, veröffentlichte Ansätze aus der Forschung zu analysieren und zu entscheiden, ob diese Ansätze in weiteren Forschungsarbeiten im Rahmen der Modellfabrik vertieft untersucht und ggf. verbessert bzw. für die Anwendung in der Papierindustrie erprobt werden sollen. Einige Ergebnisse aus diesen Arbeiten werden in folgenden Abschnitten beispielhaft dargestellt.

PRESSEN-/ENTWÄSSERUNGSVERFAHREN

Wenn es gelingt, effizienter zu entwässern und den Trockengehalt nach der Pressenpartie zu erhöhen, muss in der Folge weniger Energie für die Trocknung aufgewendet werden.

PRESSEN-/ENTWÄSSERUNGSVERFAHREN

Ziel:
Erhöhung des Trockengehalts nach der Pressenpartie

Idee:
Erhöhung der Beweglichkeit des Wassers oder Erhöhung des Druckgradienten zwischen Bahn und Filz

- Mögliche Lösungsansätze:**
- Viskositätssenkung durch Erwärmung der nassen Bahn mittels Dampfblasenkasten
 - Filze mit geringem bzw. richtungsabhängigen Strömungswiderständen
 - Ultraschallentwässerung
 - Elektroentwässerung
 - Lokaler Unterdruck auf Filzrückseite durch Presswalze mit schaltbaren Mikrokavitäten
 - Einblasen von Dampf in Filz vor Pressen
 - Unterdruckzone hinter der Schuhpresse
 - Modifizierung des Pressenfilzes durch hygroskopische Additive oder partiell beheizbare Zonen

THERMISCHE UND ALTERNATIVE TROCKNUNGSVERFAHREN

Bei herkömmlicher Bahnbildung auf Basis einer Wasser-Faser-Dispersion stehen keine Alternativen zur thermischen Trocknung bereit. Somit fällt beim thermischen Trockenprozess immer ein an Wasserdampf gebundener Abwärme-Strom an. Dabei sind über 75 % der Energie in Form von Verdampfungswärme gespeichert. Das höhere Temperaturniveau gegenüber der Umgebungsluft ist energetisch nachrangig.⁵ Somit ergibt sich eine vielversprechende Entwicklungschance, die Verdampfungswärme durch Rekondensation effizienter zurückzugewinnen.

THERMISCHE TROCKNUNGSVERFAHREN

Ziel:
Verdampfungswärme durch Rekondensation zurückgewinnen

Funktionsprinzip:
Erhöhung der Beweglichkeit des Wassers oder Erhöhung des Taupunktes/Erhöhung der Dampfbelastung der Haubenluft oder Erhöhung der Temperaturdifferenz

- Mögliche Lösungsansätze:**
- Optimierung der Ablufthaube mithilfe von Strömungsmodellen (CAE-Werkzeuge – FEM)
 - Luftmenge der Ablufthaube reduzieren
 - Entfeuchtung der Abluft über frischwassergespeiste Kondensatoren
 - Einsatz kälterer Kühlmedien
 - Stoffoffene Wärmepumpen/Brüdenkompression
 - Modifizierung des Pressenfilzes durch hygroskopische Additive oder partiell beheizbare Zonen

Außerdem wurden Ansatzmöglichkeiten diskutiert und hinterfragt, wie man Wasser auf alternative Weise entfernen könnte.

ALTERNATIVE TROCKNUNGSVERFAHREN

Ziel:
Energieaufwand minimieren

Idee:
Erleichterte Verdampfung durch Erhöhung von Druckgradienten oder Wasserbeweglichkeit

- Mögliche Lösungsansätze:**
- Heißlufttrocknung
 - Trocknung mit überhitztem Dampf
 - Sorptionswärmepumpen
 - Mikrowellen- oder Infrarottrocknung
 - Trocknung mithilfe überkritischer Trägermedien

FASERVORBEHANDLUNGSVERFAHREN

Ein wesentlicher Energieaufwand wird in der Papierfertigung in die Faservorbehandlung, insbesondere in die Mahlung der Fasern, investiert. Dies dient dazu, die Binde-fähigkeit der Fasern zu erhöhen und dem späteren Papier somit eine hohe Festigkeit zu geben.

FASERVORBEHANDLUNGSVERFAHREN

Ziel:
Festigkeitsausbildung mit minimalem Energieaufwand

Funktionsprinzip:
Additivierung statt Mahlung

- Mögliche Lösungsansätze:**
- Polyelektrolyt-Multilayering

WASSERFREIE TEILPROZESSE

Da der größte Energieaufwand – wie oben beschrieben – in der Entfernung des Mediums Wasser fließt, ist es naheliegend, bei der Papierfertigung ganz oder teilweise auf Wasser zu verzichten.

WASSERFREIE TEILPROZESSE

Ziel:
Zu entfernendes Wasser minimieren

Idee:
Vermeidung von Wasser im Herstellungsprozess

- Mögliche Lösungsansätze:**
- Optimierte Trockenzerfaserung
 - Luftgelegte Bahnbildung
 - Mechanische Bahnbildung
 - Bahnbildung im Dampfstrom
 - Vergautschung der trocken gelegten Bahn
 - Verwendung nicht-wässriger Trägermedien

RECYCLINGPROZESSE/ROHSTOFFKREISLAUF

Obwohl die Recyclingquote in Deutschland bereits als gut betrachtet werden kann, ist es noch möglich durch prozesseitige Verbesserung von Recyclingprozessen (und Rohstoffkreisläufen) einen Beitrag zur Reduktion des Energiebedarfs zu leisten.

RECYCLINGPROZESSE

Ziel:
Abtrennung von Störstoffen ohne signifikanten Anstieg des Energiebedarfs, möglichst hohe Faserausbeute – auch bei Nutzung anderer Faserrohstoffe

Funktionsprinzip:
Wärmeverluste vermeiden/Abwärme nutzen, chemische Affinität zur Druckfarbenabtrennung nutzen

- Mögliche Lösungsansätze:**
- Vorwärmung und Befeuchtung des eingetragenen kalten Altpapiers vor dem Pulper
 - Abtrennung und alternative Nutzung von Feinstoffen
 - Adsorptionsdeinking zur Druckfarbenabtrennung
 - Nutzung hydrodynamischer Kavitation zur Optimierung der Dispergierung, Steigerung der Festigkeit in Altpapierstoffen sowie zur Abtrennung von freien Gasen
 - Nutzung von Rejekten als Substitute nicht-biogener Additive
 - Fraktionierung der Suspension in belastete und unbelastete Fraktionen

⁵ C.Peng et al., Energy 2017, 125, 498-508

2. Rohstoffe und Additive

In der Papiererzeugung wird eine Vielzahl von Rohstoffen verwendet: Hierzu gehören einerseits Fasern, die das Grundgerüst des Papiers bilden, aber auch Füllstoffe und Additive. Die Eigenschaften dieser Stoffe wirken sich sowohl auf die Funktionalität der Endprodukte als auch auf die spezifischen Treibhausgasemissionen und den Energiehaushalt während der Produktion aus.⁶ Dabei steht für die Arbeiten in der MFP nicht die Produktion der Primärrohstoffe im Vordergrund, sondern deren Nutzung im eigentlichen Prozess der Papierherstellung. Deshalb müssen die Rohstoffe für alle drei – bezüglich des Umgebungsmediums – möglichen Technologieoptionen der MFP (wässrige, trockene, nicht rein wässrige Herstellung) aus den Primärrohstoffen maßgeschneidert und charakterisiert werden.

RECYCLING FASERROHSTOFFE

Recycling kann die Umweltbilanz der Papierindustrie nachhaltig verbessern, da durch die Verwendung von Altpapier nicht nur Ressourcen geschont werden, sondern auch deutliche Mengen an Wasser und Energie eingespart werden können (je nach Herstellungsprozess bis zu 70% weniger Wasser und bis zu 60% weniger Energie).⁷ Der Einsatz von rezyklierten Fasern ist allerdings begrenzt, da bei der Aufbereitung Fasern verloren gehen und die Qualität abnimmt. Deshalb werden für eine langfristige Aufrechterhaltung des Prozesses auch Frischfasern benötigt.⁷

Deutschland ist dabei Vorreiter im Einsatz von Recyclingfasern mit bis zu 79%.⁸ Die deutsche Papierindustrie achtet sehr stark beim Rohstoffbezug auf eine nachhaltige forstwirtschaftliche Nutzung der Wälder mit zertifizierten Siegeln (bspw. FSC oder PEFC).⁹ Von den Frischfasern bezieht Deutschland allerdings nur etwa 50 % aus Europa, der Rest wird aus Nord- und Süd-Amerika importiert, wo oftmals Monokulturen mit schnellwachsenden Arten gepflanzt werden, um einen hohen Holzertrag zu erwirtschaften.⁸

PRIMÄRROHSTOFFE

So importiert Deutschland aktuell beispielsweise signifikante Mengen der verwendeten Primärrohstoffe (insbesondere Kurzfasern Zellstoffe).⁸ Dabei wäre es wünschenswert, Faserstoffe aus einheimischen Wäldern zu nutzen. Diese bieten dazu aktuell keine nachhaltige Alternative und können den gesamten Frischfaserbedarf Deutschlands nicht decken, da der aktuelle Waldzustand (Waldzustandserhebung 2020 des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft)¹⁰ in Folge anhaltender Dürreperioden als stark verbesserungswürdig bewertet werden kann.

Die Wiederaufforstung der heimischen Wälder ist wünschenswert und spielt eine wichtige Rolle in der Modellfabrik Papier, jedoch liegt der Forschungsfokus auf der Senkung der Energie während der Papierproduktion. Deshalb wird sich die Modellfabrik Papier mit entsprechenden Initiativen zur nachhaltigen Erschließung von geeigneten Primärrohstoffen vernetzen, allerdings nicht aktiv in diesem Feld forschen. In diesem Zusammenhang sind Arbeiten zur Fasermodifizierung und die Berücksichtigung der Rezyklierbarkeit in allen Arbeiten geplant.

⁶A. Khalil et al., Adv. Mater. Interfaces 2021, 8, 210052.

⁷S. Schabel, H.J. Putz, W. Rauch, „Recycling of Papers and Fibers“, 2015.

⁸VDP-Leistungsbericht PAPIER 2021.

FASERMODIFIZIERUNG

Die Modifizierung von Fasern ist ein Weg, die Wechselwirkungen von Fasern miteinander oder mit anderen Stoffen und Fluiden zu verändern und kann somit in mehrerer Hinsicht zur Einsparung von Energie während der Papiererzeugung beitragen.

FASERMODIFIZIERUNG

Ziel:

Maßschneidung von Fasereigenschaften (z.B. Wasserückhaltevermögen einstellen, effektivere Entwässerung ermöglichen, höhere Festigkeiten bei weniger Mahlung, u.a.)

Idee:

Biotechnologische, biologische oder chemische Modifizierung

Mögliche Lösungsansätze:

- Enzymvermittelte Modifizierung, z.B. durch verschiedene Glykosidasen
- Modifizierung mit thermoresponsiven Polymeren per heterogener Umsetzung
- Modifizierung mit thermoresponsiven Polymeren per ringöffnender Polymerisation
- Modifizierung mit Cellulose-binding modules (CBMs)
- Sorptionswärmepumpen auf Basis von Zeolithen
- Mikrowellen- oder Infrarottrocknung
- Trocknung mithilfe überkritischer Trägermedien

PROZESSCHEMIKALIEN UND APPLIKATION

Da das Entfernen (inkl. Trocknung) des Trägermediums Wasser zu den energieaufwendigsten Prozessschritten gehört, ist es naheliegend Wasser ganz oder teilweise durch alternative Substanzen zu ersetzen.

PROZESSCHEMIKALIEN UND APPLIKATION

Ziel:

Wasser ganz oder teilweise ersetzen

Funktionsprinzip:

- Entropiegesteuerte Diffusionsprozesse

Mögliche Lösungsansätze:

- Einsatz organischer Trägermedien
- Oberflächenauftrag geringer Wassermengen

⁹ Pressedetails, „VDP jetzt FSC-Mitglied“, 2019 (papierindustrie.de)

¹⁰ Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) Referat 515 – Nachhaltige Waldbewirtschaftung, „Ergebnisse der Waldzustandserhebung 2020“, 2021.

FÜLLSTOFFE UND ADDITIVE

Füllstoffe und Additive können ebenfalls auf vielfältige Weise zu einem geringeren Energieverbrauch bei der Papierproduktion beitragen.

FÜLLSTOFFE UND ADDITIVE

Ziel:

Erleichterte Entwässerung und Trocknung

Mögliche Lösungsansätze:

- Chaotrope Salze
- Polymeradditive, schaltbare Vernetzer auf Basis nachwachsender Rohstoffe
- Kationisch funktionalisierte Füllstoffe mit verbesserter Retention
- Poröse Materialien

Implementierung in MFP:

Spannende Ansätze sollen kurzfristig in zukünftigen Forschungsarbeiten berücksichtigt werden.



Bei allen zukünftigen Forschungsarbeiten der Modellfabrik Papier ist zu beachten, dass jede Änderung eines einzelnen Verfahrens- bzw. Prozessschritts, eines Rohstoffs oder Additivs die gesamte Prozesskette/das Gesamtsystem und damit auch den Energieaufwand in anderen Prozessschritten beeinflusst. Deshalb müssen die Ergebnisse der grundlegenden Forschungsarbeiten aus beiden Forschungsfeldern stets ganzheitlich im Kontext des Gesamtsystems gesehen werden.

3. Energieversorgungssysteme

OPTIMIERUNG DES ENERGIE- UND RESSOURCENBEDARFS:

Ein zentraler Aspekt der Papierfertigung ist der Bedarf nach einer sicheren, resilienten und effizienten Energieversorgung. Deshalb ist es zielführend, moderne und innovative Energieversorgungssysteme in den Forschungsarbeiten zu berücksichtigen. Dafür soll geprüft werden, welche bereits existierenden vielversprechenden Energieversorgungssysteme, die zum Teil noch nicht in der Papierindustrie genutzt werden, in die Planung mit einbezogen werden können. Deshalb wurden in mehreren Diskussionen Technologieoptionen evaluiert und daraus mögliche Systeme identifiziert, mit dem Ziel Verbesserung der CO₂-Bilanz der Papierindustrie bewirken. Diese werden nachfolgend kurz aufgelistet.

Über diese in anderen Sektoren bereits gut implementierten Technologien (Solarthermie, Photovoltaik, Windkraftanlagen, Wärmepumpen, Geothermie) hinaus wurde eine Vielzahl weiterer Ideen zur Energieversorgung diskutiert und kritisch hinterfragt. Einige Ergebnisse werden im Folgenden beispielhaft dargestellt.



Visualisierung Modellfabrik Papier von HPP Architekten GmbH

INTEGRATION BESTEHENDER ENERGIEERZEUGUNGS- UND VERSORGUNGSTECHNOLOGIEN

Ziel:
Sichere, resiliente und effiziente Energieversorgung

Mögliche Lösungsansätze:

- Windkraftanlagen
- Fotovoltaikanlagen
- Wärmepumpen
- Kraft-Wärme-Kopplungssysteme
- Solarthermieanlagen
- Geothermie

BRANCHENSPEZIFISCHES DEMAND-RESPONSE-KONZEPT

Ziel:
Stromverbrauch an Netzauslastung bei volatiler Einspeisung von Wind- und Sonnenenergie anpassen, Energiekostensenke

Idee:
Durch intelligentes Lastmanagement wird versucht, Prozesse Energiekosten-optimiert zu fahren.

Implementierung in MFP:

Die Basis für ein Demand-Response-System soll in einem geplanten Folgeprojekt („FOREST – Framework fOr Ressource, Energy, Sustainability Treatment in Paper Production“) erarbeitet werden (s. Abschnitt 3).

URBAN RECYCLING MILL

Ziel:
Einsparung von Prozessschritten der Altpapieraufbereitung, Erhöhung der Faserausbeute, Angebot unterschiedlicher Faserqualitäten, vereinfachte Reststoffverwertung

Idee:
Nach Sortierung des Altpapiers übernimmt die Urban Recycling Mill, ähnlich einem Zellstoffwerk, die Aufbereitung der Fasern in die gewünschten Qualitäten und liefert diese an die Papierfabriken.

Implementierung in MFP:

Das Konzept der Urban Recycling Mill könnte ein großes langfristiges Potential für die Modellfabrik Papier haben, steht jedoch vorerst nicht im Fokus der Arbeiten.

BIOGAS AUS RESTSTOFFEN

Ziel:
Reststoffverwertung, Methan aus Reststoffen

Idee:
Im Papierproduktionsprozess fallen feuchte Rest- und Abfallströme an, die für den Transport zur Weiterverarbeitung getrocknet werden, was Energieaufwendig ist. Die feuchten organischen Reststoffströme könnten in einem Bioreaktor zu Methan umgewandelt werden, was vielfältig im Betrieb genutzt werden kann. Der Prozess wird bei der Abwasserreinigung heute schon eingesetzt und könnte auf weitere Reststoffe ausgedehnt werden.

Implementierung in MFP:

Im Rahmen des Folgeprojekts FOREST soll in einem Teststand erprobt und in Simulationen abgebildet werden, wie und wie effizient die Reststoffe direkt zur Biogaserzeugung genutzt werden können (s. Abschnitt 3).

Der Einsatz von unterschiedlichen regenerativen Energiequellen für verschiedene Teilprozesse an der Papiermaschine soll im Rahmen des geplanten Folgeprojekts FOREST (Framework fOr Resource, Energy, Sustainability Treatment in paper production) durch einen digitalen Zwilling virtuell abgebildet und zunächst unter quasistationärer Betrachtung simuliert werden (s. Abschnitt 3). Dieses Modell bildet die Grundlage zur intelligenten simulationsbasierten Steuerung des Energieeinsatzes im Betrieb. Außerdem soll es zur Berechnung der CO₂-Minderung durch den Einsatz von alternativen Strom-/Wärmetechnologien herangezogen und zum Modell für ein hybrides Energieversorgungskonzept weiterentwickelt werden.

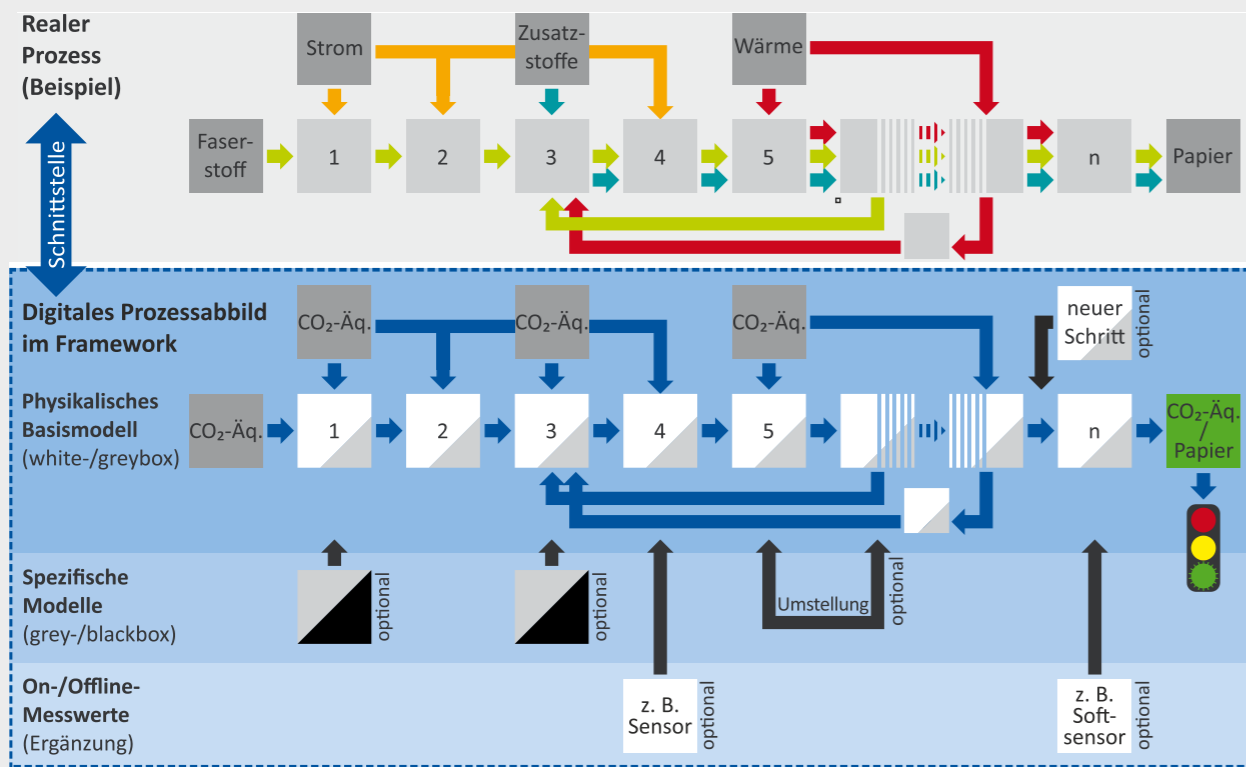


Abbildung 5: Modellierung eines Papierprozesses als flexibler, digitaler Zwilling.

4. Digitalisierung

Für den Abgleich zwischen der Veränderung von Einzelaspekten und dem Gesamtsystem können Modelle und unterstützende digitale Strukturen wirkungsvolle Werkzeuge sein. Diese können helfen Ergebnisse zu bewerten, Parameter zielgerichtet einzustellen, wichtige Stellgrößen wissenschaftlich vorhersagbar und einstellbar zu machen sowie Prozesse zu optimieren. Überlegungen zu solchen „Digitalisierungs-Themen“, denen in der Modellfabrik Papier eine große Bedeutung beigemessen werden, wurden im Rahmen des vorliegenden Roadmap-Projekts analysiert und bewertet.

Die Entwicklung eines digitalen Zwillings der Papierproduktion ist Teil des Forschungsantrages FOREST. Durch die Variabilität des digitalen Zwillings wird es möglich, das Potenzial neuer Prozessvariationen und Optimierungen sowie disruptiver Entwicklungen im Gesamtkontext zu bewerten (Abbildung 5). Auch wird es möglich, Anforderungen an neue Entwicklungen aus den Bedarfen der individuellen Teilprozesse und des Gesamtprozesses abzuleiten.

DIGITALER ZWILLING

Ziel:

Entwicklung eines vollumfassenden digitalen Zwillings, der die Energie- und Stoffströme und damit auch CO₂-Flüsse und -Footprints bis auf die Teilprozess- und Teilproduktebene herunter erfassbar macht; Ziele sind u.a. die Visualisierung der Energie- und Stoffströme, die Prozessstrukturoptimierung (Operations Research) sowie Bewertung disruptiver Innovationsprozesse unter definierten Randbedingungen.

Idee:

Die einzelnen Teilprozesse werden dabei durch White-, Grey- und Blackbox-Modellierung abgebildet und sind untereinander frei kombinierbar, sodass der Prozessaufbau flexibel an den realen Prozess angepasst werden kann (Abbildung 5).

Implementierung in MFP:

Das Projekt (FOREST) wurde bereits im Bearbeitungszeitraum der Roadmap vorgeschlagen und für eine Umsetzung ausgewählt. Die Ausarbeitung zu einem Projektantrag erfolgte parallel zur Roadmap, sodass der Förderantrag bereits im März 2022 beim BMWK zur Begutachtung eingereicht und mittlerweile bewilligt wurde.

KENNZAHLEN, PERFORMANCE PARAMETER UND BEWERTUNGSMETRIKEN

Für die Forschungsarbeiten (sowie die Entwicklungsarbeiten) ist das Festlegen vergleichbarer Kennzahlen, Bewertungsmetriken und Performance Parametern essentiell.

KENNZAHLEN, PERFORMANCE PARAMETER UND BEWERTUNGSMETRIKEN

Ziel:

Schaffung von messbaren und aussagekräftigen Kennzahlen, Performance Parametern und Bewertungsmetriken

Mögliche Lösungsansätze:

- Flächenbezogene Nachhaltigkeitskennzahlen
- Kennzahlen Rohstoffqualitäten
- CFP (Carbon Footprint von Produkten)
- LCA (Life Cycle Assessment)

Implementierung in MFP:

Kennzahlen, Performance Parameter und Bewertungsmetriken sollen in einer frühen Phase in die Forschung der Modellfabrik Papier aufgenommen werden.

MESSTECHNIK UND PROZESSÜBERWACHUNG

Ein weiteres wichtiges Instrument, um u.a. Prozesse und deren Wechselspiel effizienter zu gestalten, ist die Messtechnik und Prozessüberwachung. Eine solche ermöglicht die Vorhersage von kritischen Prozesszuständen und anderen Problemen, was schließlich eine essentielle Grundlage für die wissenschaftliche Prozessoptimierung und z.B. Regelsysteme für die Altpapierreinigung oder automatisierte Optimierung der Presse bilden kann.

MESSTECHNIK UND PROZESSÜBERWACHUNG

Ziel:

Prozessüberwachung, Effizienzen sichtbar machen, erhalten und optimieren, Störungen im Prozess detektieren, bewerten, beheben, Datenbereitstellung für Pattern Analysis (Mustererkennung)

Idee:

Condition Monitoring, Zentralisierte Auswertung von Datenströmen, entsprechende Methodenentwicklung, Lösungsansätze sollen vorgeschlagen werden durch Pattern Analysis und Lösungsvorschläge durch Datenbankverbundene KI, Prozessschwankungen und damit Sicherheiten in Spezifikationen minimieren/Ressourcen einsparen

Implementiert/entwickelt werden sollen Methoden für:

- Einschätzung der Produktionskosten durch Einsatz verschiedener Altpapierqualitäten
- Sticky-Detektion
- Smartes Condition Monitoring von Filzen
- Messtechnische Bewertung der Eingangsqualität von Altpapier
- Qualitätsparameter von Streichmassendaten in Echtzeit verfügbar machen

Implementierung in MFP:

Die Integration von Messtechnik und Prozessüberwachung ist ein wichtiger Bestandteil der Arbeiten in der Modellfabrik Papier.

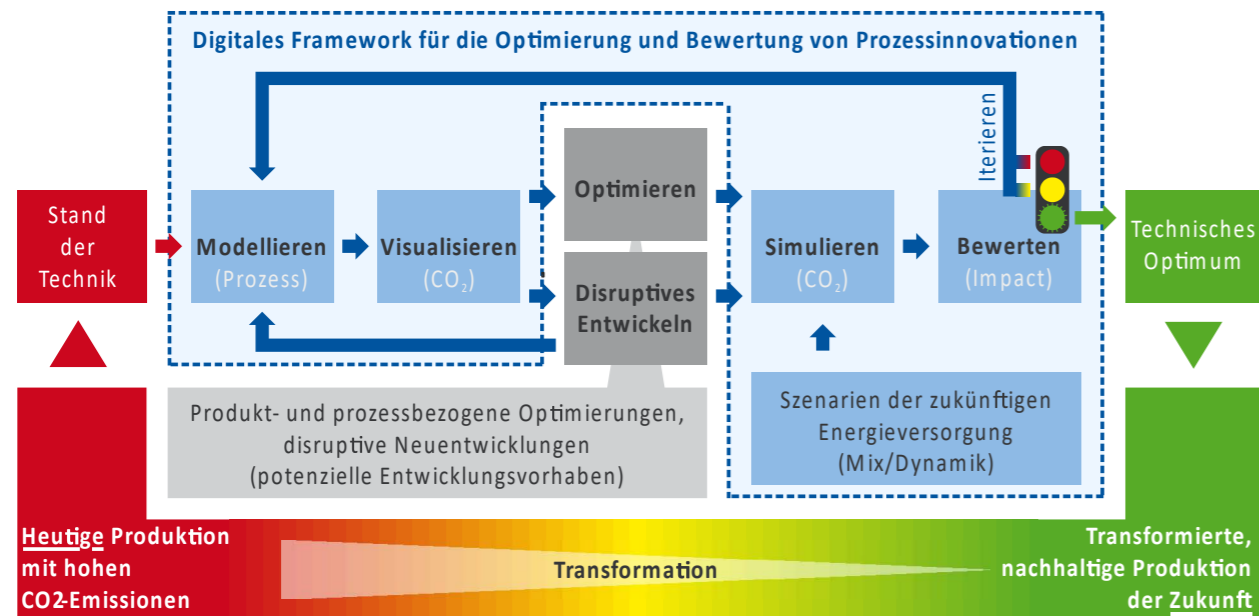


Abbildung 8: Ermittlung des Potenzials von Optimierungen und disruptiven Neuentwicklungen durch Modellierung und Simulation mit dem FOREST Framework.

DIGITALER WERKZEUGKOFFER

Auf Grundlage der erarbeiteten Erkenntnisse soll ein digitaler Werkzeugkoffer entwickelt werden.

DIGITALER WERKZEUGKOFFER

Idee:

Benutzerfreundliche kombinierte Kopfstruktur der Methoden, die allgemein für die Optimierung/Steuerung/Identifikation von Zusammenhängen für einen Kennwert „X“ verwendet werden können

Zu implementierende Funktionen:

- Prognose über die Einhaltung eines zu definierenden Prozessparameters „X“ bei minimalem Energie- und Rohstoffeinsatz
- Modellbasierte Instandhaltung von „X“/Kennlinienüberwachung und Anomalie-Erkennung
- Quality prediction einer beliebigen Eigenschaft „X“
- Efficiency Dashboards für einen zu definierenden Teilprozess „X“ als Einstellhilfen für maximale Effizienz

Implementierung in MFP:

Die Erstellung eines digitalen Werkzeugkoffers ist ein wichtiges Ziel der Modellfabrik Papier, das in großen Teilen durch das Folgeprojekt FOREST adressiert wird

MATERIALMODELLIERUNG

Ergänzend können mithilfe von Materialmodellierungen die Auswirkungen beim Einsatz verschiedener Rohstoffe und Eingangsmaterialien bereits im Vorfeld abgeschätzt werden. Somit wird eine ganzheitliche Bilanzierung möglich.

MATERIALMODELLIERUNG

Ziel:

Auswirkung des Einsatzes verschiedener Rohstoffe und Eingangsmaterialien auf die Umweltbilanz im Vorfeld abschätzen

Idee:

Grundlegendes Werkzeug für die Bewertung unterschiedlicher Rohstoffkombinationen ist der Aufbau einer Datenbank, welche die CO₂-Belastungen der jeweiligen Faserstoffe beinhaltet. Diese Datenbank soll zusätzlich Informationen zur erreichbaren Qualität mit dem jeweiligen Faserstoff beinhalten. Aufgrund der hohen Komplexität durch eine hohe Anzahl biegeschlaffer Fasern sind derartige Modelle zunächst für kleinste Bereiche zu ermitteln und dann über geeignete Parameteranpassungen schrittweise auf die Gesamtheit hochzukalieren.

Mögliche Lösungsansätze:

Arbeiten hierzu sollen bereits zu Beginn ein wichtiges Element der Forschung in der Modellfabrik Papier werden.



Bei der Entwicklung und Implementierung der digitalen Tools soll ein Change Management mitgedacht werden, um sicherzustellen, dass Mitarbeitende die Instrumente zu einem späteren Zeitpunkt nutzen.

B. Antragstellung und Finanzierung



Das einzigartige Konzept der Modellfabrik Papier sieht es vor, durch die enge Zusammenarbeit von Forschung und Industrie in vorwettbewerblicher Forschung das Ziel einer klimaneutralen Papierproduktion von der Grundlagenforschung bis langfristig zum Transfer zu verfolgen. Die Gesellschaft hat das finanzielle Risiko der Gründung sowie die inhaltliche Ausgestaltung des Projekts auf sich genommen und finanziert aus Eigenmitteln die Koordination sowie vereinzelte Forschungsaktivitäten. Die Kosten für Bau, Infrastruktur und Technologieträger sowie für umfangreiche Forschungsarbeiten kann das Konsortium allerdings nicht allein tragen und ist auf Unterstützung angewiesen.

Für die Finanzierung des Forschungsgebäudes und der Infrastruktur wird die Modellfabrik Papier wesentlich von der WIN.DN unterstützt, welche als Bauherr die Planung und Bauplanung sowie die Realisierung des Neubaus inkl. notwendiger Vorbereitungen leitet. Zusätzlich wird die WIN.DN einen Interimsstandort bereitstellen, in der die Forschungsarbeiten bereits vor Fertigstellung des Neubaus zentral beginnen können. Für die Finanzierung dieser Tätigkeiten ersucht die WIN.DN u.a. Mittel aus dem Förderprogramm STARK der BAFA, da sie davon überzeugt ist, den Transformationsprozess der (ehemaligen) Braunkohleregion Düren durch die Modellfabrik Papier ökologisch, ökonomisch und gesellschaftlich nachhaltig wesentlich voranzubringen. Deshalb sehen sowohl die WIN.DN als auch die MFP die Förderung des infrastrukturellen Rahmens ebenfalls über EFRE-RRL-Mittel als vielversprechend an.

Die Ziele der Modellfabrik Papier gehen einher mit den SDGs³ der Vereinten Nationen und passen damit sehr gut zusammen mit einer Vielzahl politischer Initiativen auf Bundes- und EU-Ebene. Deshalb passen die Forschungsthemen aktuell und voraussichtlich auch zukünftig gut zu spezifischen Förderaufrufen aus dem BMWK, BMBF, BMEL, etc. und diversen Calls des europäischen Innovationsprogramms Horizon Europe. Auch mit den Zielen der DBU harmonisieren die Ideen der MFP gut.

Die Modellfabrik Papier wird sich deshalb auf solche Förderaufrufe und -programme bewerben und bemüht sich, die öffentliche (bzw. stiftungsgetragene) Förderung zu einer starken Säule ihrer Forschungsfinanzierung zu machen.

Ein erstes Beispiel hat sich am Ende des Roadmap-Projektes mit dem FOREST-Projekt ergeben. Es betrifft ein Digitalisierungsprojekt, das zur Förderung in einer separaten Projektskizze von einem kleineren Konsortium aus der MFP beim BMWK im Rahmen des Förderaufrufs „Anwendungsorientierte nicht-nukleare FuE im 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung – Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen“ eingereicht wurde.

Zusammenfassung und Fazit



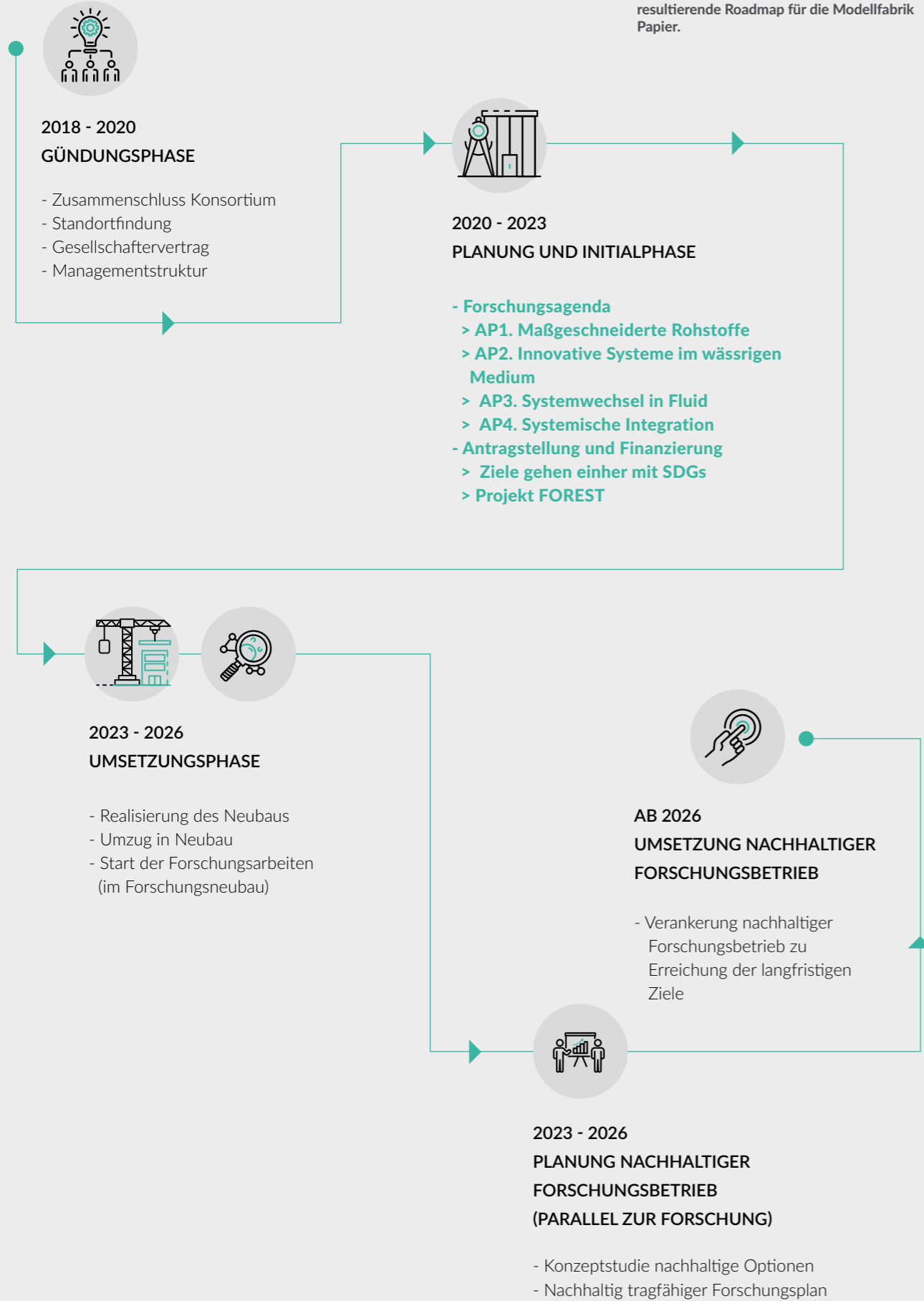
Zentraler Gegenstand des Roadmap-Projektes war, die im Rahmen der Modellfabrik zu adressierende Forschung in den Forschungsfeldern I. Verfahren und Prozesse und II. Rohstoffe und Additive, III. Energieversorgungssysteme und IV. Digitalisierung in Hinblick auf die Dekarbonisierung der Papierindustrie zu diskutieren und zu bewerten. Dabei wurden für verschiedene Herausforderungen digitale Lösungsansätze evaluiert (u.a. der Aufbau eines digitalen Zwillings), woraus das Folgeprojekt „FOREST“ entwickelt wurde. Die identifizierten und vorstrukturierten Forschungsfragen münden in folgender Arbeitsplanstruktur (Abbildung 6). Diese können zum Teil bereits vor Fertigstellung des Forschungsgebäudes dezentral oder in einem Interimsgebäude erfolgen.

Somit wurde im Roadmap-Projekt insbesondere eine Forschungsagenda weiterentwickelt. Auf dieser Basis wurden potenzielle Fördermöglichkeiten evaluiert. Dabei wurde bereits eine erste Projektskizze für das Forschungsprojekt „FOREST“ beim BMWK eingereicht und wissenschaftlich bereits positiv evaluiert.



Abbildung 7: Aus dem Roadmap-Bericht resultierender Arbeitsplan für die nächste Projektphase.

Abbildung 8: Aus dem Roadmap-Projekt resultierende Roadmap für die Modellfabrik Papier.



KONTAKT

Peter Bekaert (Geschäftsführer)

Modellfabrik Papier gGmbH

August-Klotz-Straße 21
52349 Düren

info@modellfabrikpapier.de
<https://modellfabrikpapier.de>





KONTAKT

Peter Bekaert (Geschäftsführer)

Modellfabrik Papier gGmbH

August-Klotz-Straße 21

52349 Düren

info@modellfabrikpapier.de

<https://modellfabrikpapier.de>

