Themenabend Kreislaufwirtschaft

Allgemeine Aspekte holzbasierter Biorefinery und Modellfabrik Papier „Forschungsansätze zur CO_2 Reduktion“

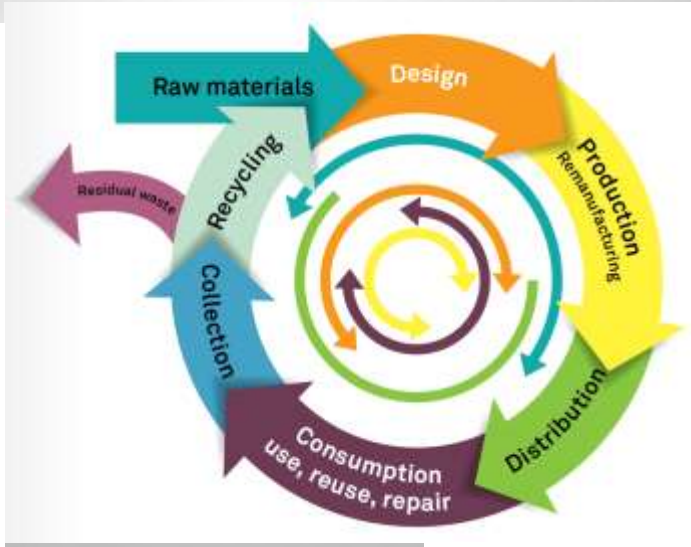
Prof. Dr. Markus Wildberger

ZIRKULÄRE (BIO-)ÖKONOMIE & BIOBASIERTE WIRTSCHAFT*

In einer zukünftigen nachhaltigen Gesellschaft wird Biomasse zu einer der wichtigsten erneuerbaren Ressourcen für die Produktion von,

- **Lebensmitteln**
- **Materialien**
- **Chemikalien**
- **Kraftstoffen**
- **Strom und Wärme**

Die Biologie, Chemie und chemischen Ingenieurwissenschaften spielen hierbei eine führende Rolle beim Aufbau dieser Zukunftsindustrien



„ Kreislaufwirtschaft“ zielt darauf ab, den Wert von

- **Produkten**
- **Materialien**
- **Ressourcen**

so lange wie möglich zu erhalten, indem sie am Ende ihrer Nutzung wieder in den

- **Produktkreislauf**

zurückgeführt werden und gleichzeitig das

- **Abfallaufkommen**

minimiert wird (Europäische Kommission)

*Begriff erstmals definiert Juan Enrique und Rodrigo Martínez auf der AAAS-Tagung 1997

DEFINITIONEN

BIORAFFINERIE

- *EU:*
  - Befasst sich mit der **nachhaltigen Verarbeitung von Biomasse** zu einem Spektrum marktfähiger **Produkte** und **Energien**
- *NREL (National Renewable Energy Laboratory):*
  - **Anlage**, die Prozesse und Anlagen zur Umwandlung von Biomasse integriert, um **Kraftstoffe**, **Strom** und **Chemikalien** aus Biomasse herzustellen
- *Vision der EU:*
  - bis 2030 Produkte wie Biokraftstoffe, Textilien, Chemikalien usw. aus etablierten Bioraffinerie Betrieben entwickeln

WIE?

- integrierte und flexible Bioraffinerien
- nachhaltigere Betriebe als mit fossilen Ressourcen

GRÜNE CHEMIE

- Wissenschaft, die darauf abzielt:
  - die Verwendung und/oder Erzeugung gefährlicher Stoffe in der Designphase der Materialentwicklung zu reduzieren oder zu eliminieren
- Anforderung:
  - erfinderischer und interdisziplinärer Fokus auf Material- und Produktdesign
- Green Chemistry folgt dem Grundsatz:
  - Abfallvermeidungsmöglichkeiten in Betracht zu ziehen, als Abfälle zu verwerten oder zu behandeln.

prozess- statt produktorientierten Ansatz

* EU, STAR-COLIBRI - STRATEGISCHE ZIELE FÜR 2030.

RAFFINERIE / BIORAFFINERIE

Fraktionierung (Trennung und Reinigung) von fossilen Ressourcen / Biomasse in ihre Hauptbestandteile, die weiter verwendet werden, um ein Optimum an ausgewogenen Produkten herzustellen.

Chemie-Raffinerie

Fossile Ressource

Petrochemie

Monomere

Bioraffinerie

Biomasse

Biotechnology

Biobasierte Bausteine

Chemische Industrie

Biobasierte Produkte

Produkte

1) Bio-Polymere (Bio-Materialien)
2) Bio-Chemikalien
3) Bio-Brennstoff
4) Bio-Energie

PRINZIPIEN DER GRÜNEN CHEMIE - ATOMÖKONOMIE

Prozentuale Ausbeute

$$\text{Ausbeute}[\%] = \frac{\text{tatsächliche Ausbeute}}{\text{theoretischen Ausbeute}} \text{ x } 100$$

- Historische Methode zur Bewertung der Reaktionseffizienz.
- Misst den Anteil des gewünschten Produkts im Vergleich zum theoretischen Maximum.
- Gibt keinen Hinweis auf die Menge des produzierten Abfalls.

Atom-Ökonomie

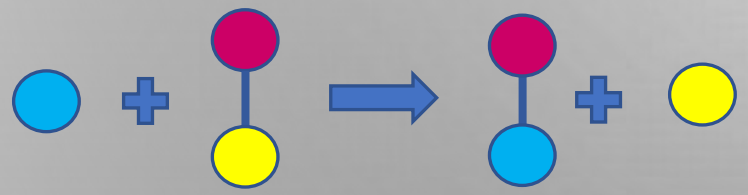
$$\text{Atom} - \text{Ökonomie}[\%] = \frac{\text{Masse der gewünschten Produkte}}{\text{Gesamtmasse der Reaktanten}} \text{ x } 100$$

- Ein Maß für den Anteil der Reaktanten, die im zu verwendenden Endprodukt enthalten sind.
- Eine Reaktion kann eine hohe prozentuale Ausbeute, aber eine niedrige prozentuale Atomökonomie aufweisen oder umgekehrt.

Quelle: Rosenau, Sixta, Bauer PhD Course "Advances in Biorefineries", Graz

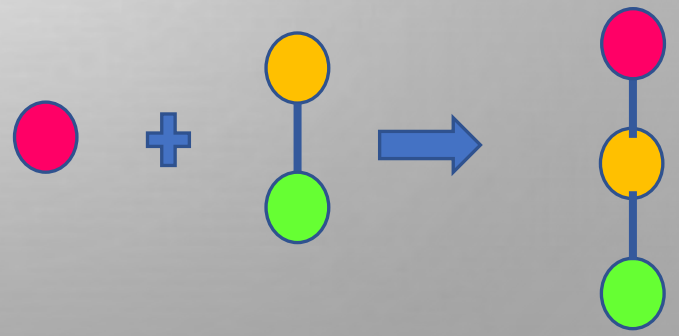
PRINZIPIEN DER GRÜNEN CHEMIE – ATOMÖKONOMIE

Niedrige Atomökonomie



Einige Reaktanten Atome sind nicht im gewünschten Produkt enthalten.

Hohe Atomökonomie



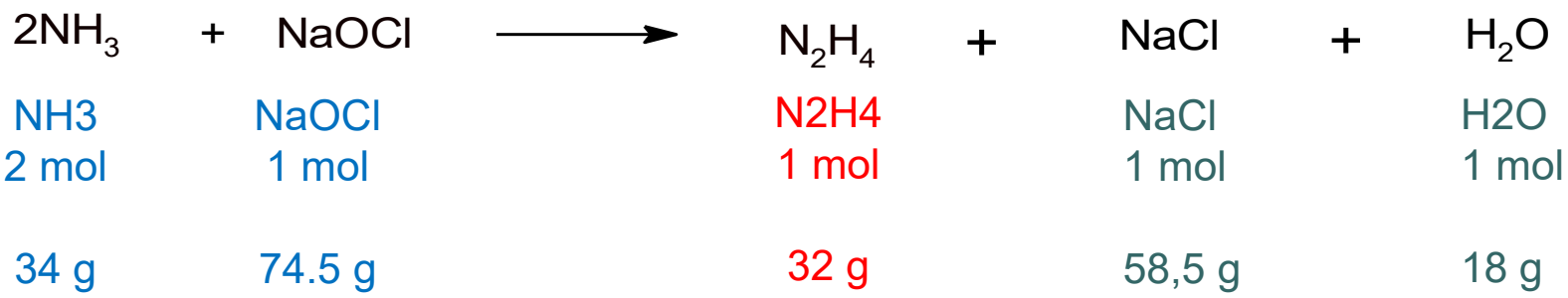
Alle Reaktanten Atome sind im gewünschten Produkt enthalten.

Quelle: Rosenau, Sixta, Bauer PhD Course "Advances in Biorefineries", Graz

PRINZIPIEN DER GRÜNEN CHEMIE – ATOMÖKONOMIE

Hydrazin (N2H4) wird für Raketentreibstoffe verwendet.

Berechnung der Atomökonomie für die Hydrazin Produktion.



Gesamtmasse der Reaktanten

= 34 + 74.5 = **108.5 g**

Masse des gewünschten Produkts

= **32 g**

$$\text{Atom} - \text{Ökonomie}[\%] = \frac{Masse\ der\ gewünschten\ Produkte}{Gesamtmasse\ der\ Reaktanten} * 100 = \frac{32}{108{,}5} = \mathbf{29{,}5\%}$$

Quelle: Rosenau, Sixta, Bauer PhD Course "Advances in Biorefineries", Graz

PRINZIPIEN DER GRÜNEN CHEMIE - ATOMÖKONOMIE

E-Faktor Konzept

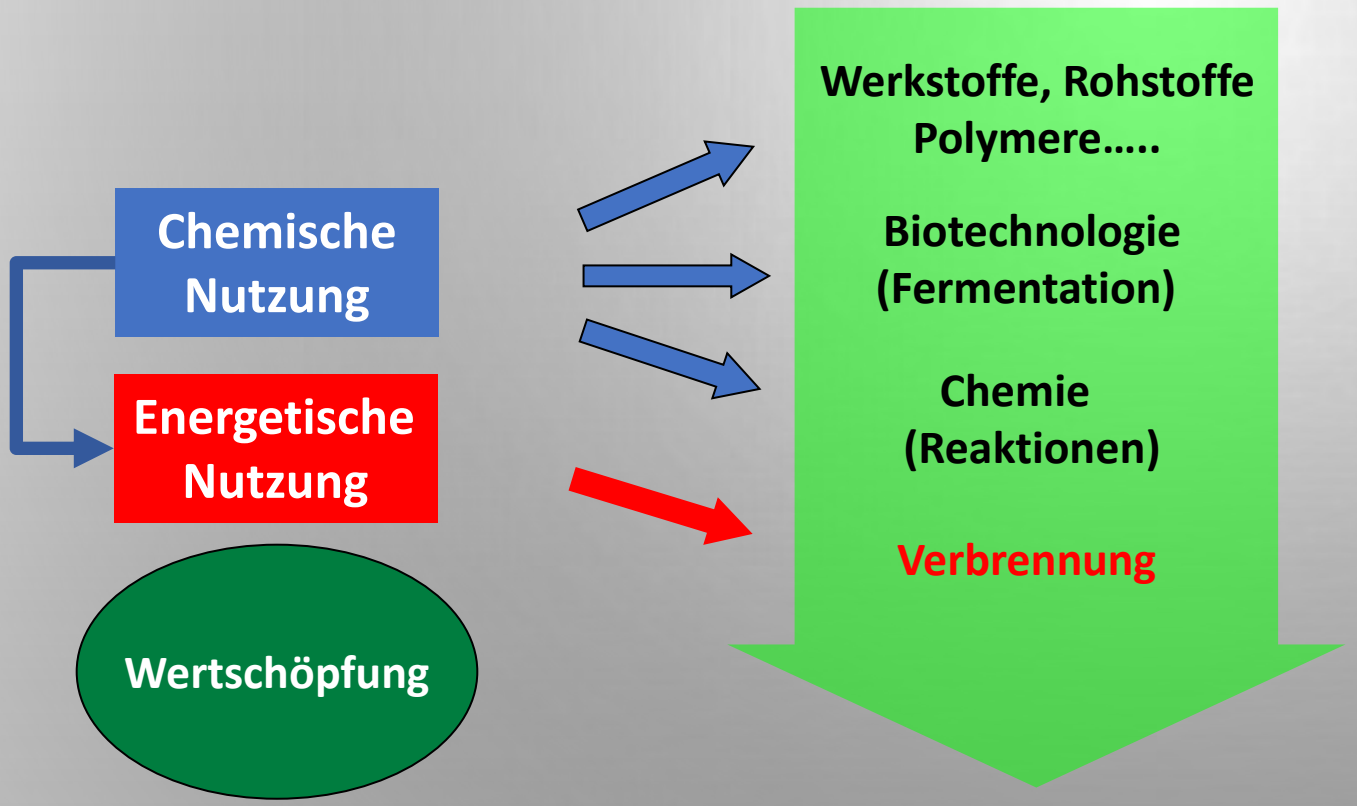
Menge des produzierten Stückabfalls pro Produkteinheit:

$$E = \frac{kg\ Abfall + ungewollte\ Nebenprodukte}{kg\ entstandenes\ Produkt}$$

Industrie Sektor	Produktion [t/a]	E-Faktor [kg-Abfall/ kg-Produkt]
Erdölraffination	10^6-10^8	< 1
Massen Chemikalien	10^4-10^6	< 1- 5
Fein Chemikalien	10^2-10^4	5 - 50
Pharmaka	10^1-10^3	25 - 100

Evan S. Beach, Zheng Cui, Paul T. Anastas. Energy Environ Sci., 2009, 2, 1038-1049

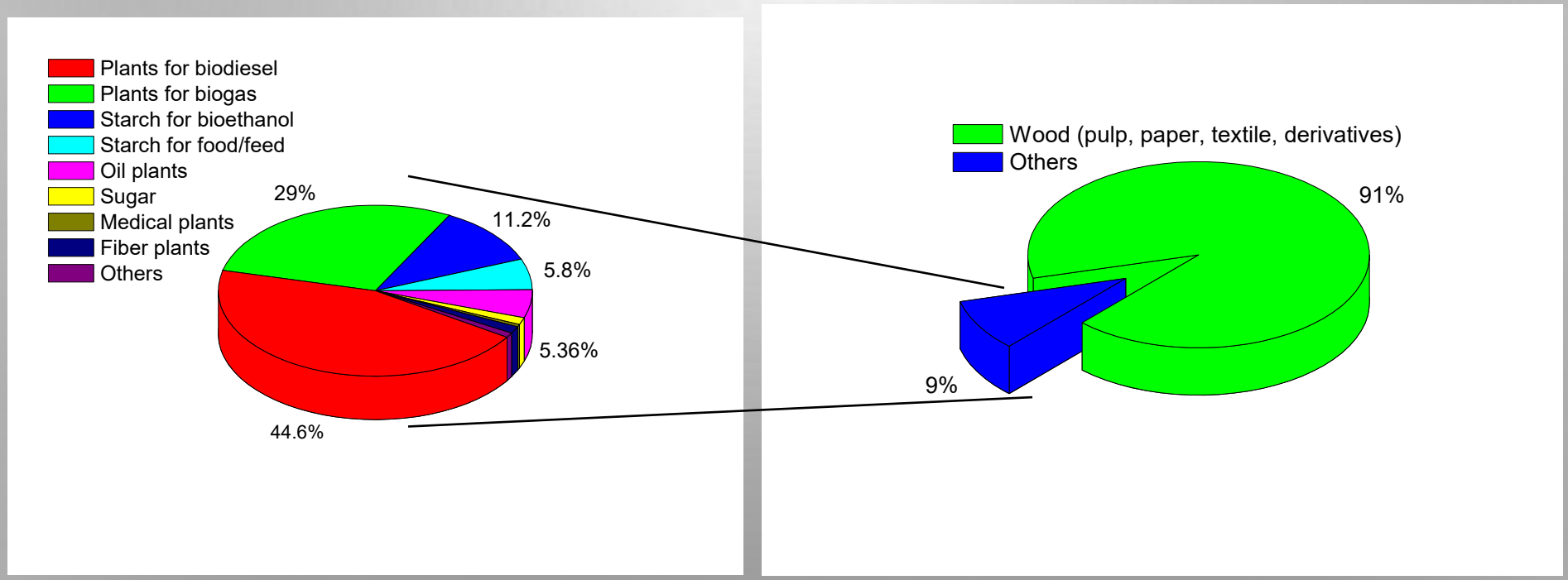
KASKADISCHE NUTZUNG



- Ein wesentliches Hindernis bei der Kaskadennutzung ist bis heute die unzureichende Weiterentwicklung der Trenntechnologie und der analytischen Fähigkeiten

"Mach erst mal was damit!
Wenn nichts funktioniert, kannst du es immer noch verbrennen!"
(George A. Olah, Nobelpreis für Chemie 1994)

"GRÜNE" AUSGANGSSTOFFE MASSENBILANZ



Holz ist – und wird es noch einige Zeit bleiben – der wichtigste nachwachsende Ausgangsstoff

Quelle: Rosenau, Sixta, Bauer PhD Course "Advances in Biorefineries", Graz

BIORAFFINERIE AUS HOLZ - GESCHICHTE

Cellulose, Pulp

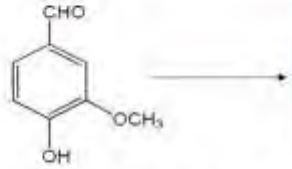
1839 Anselm Payen → isolation of cellulose from wood by treatment with nitric acid and subsequent treatment with NaOH solution as a residue.

1863 B.C. Tilgham: Ca-Sulfite

1872 C.D. Ekman: Mg-Sulfite

2009 > 180 Mio t pulp and 400 Mio t paper.

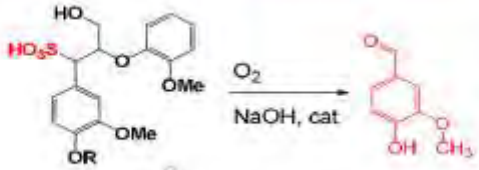
Vanillin from Lignin



Food
Pharmaceutical products
Production of Polyester.

1874 Synthesis of vanillin from coniferous wood (Haarmann&Tiemann).

Produced from **lignosulfonate**



Price ~ 10 US$/kg

Ethanol from wood (Sulfite Pulping)

The worlds first sulfite ethanol plant

Skutskär sulfite ethanol plant in Sweden started operation 1909

Inventors

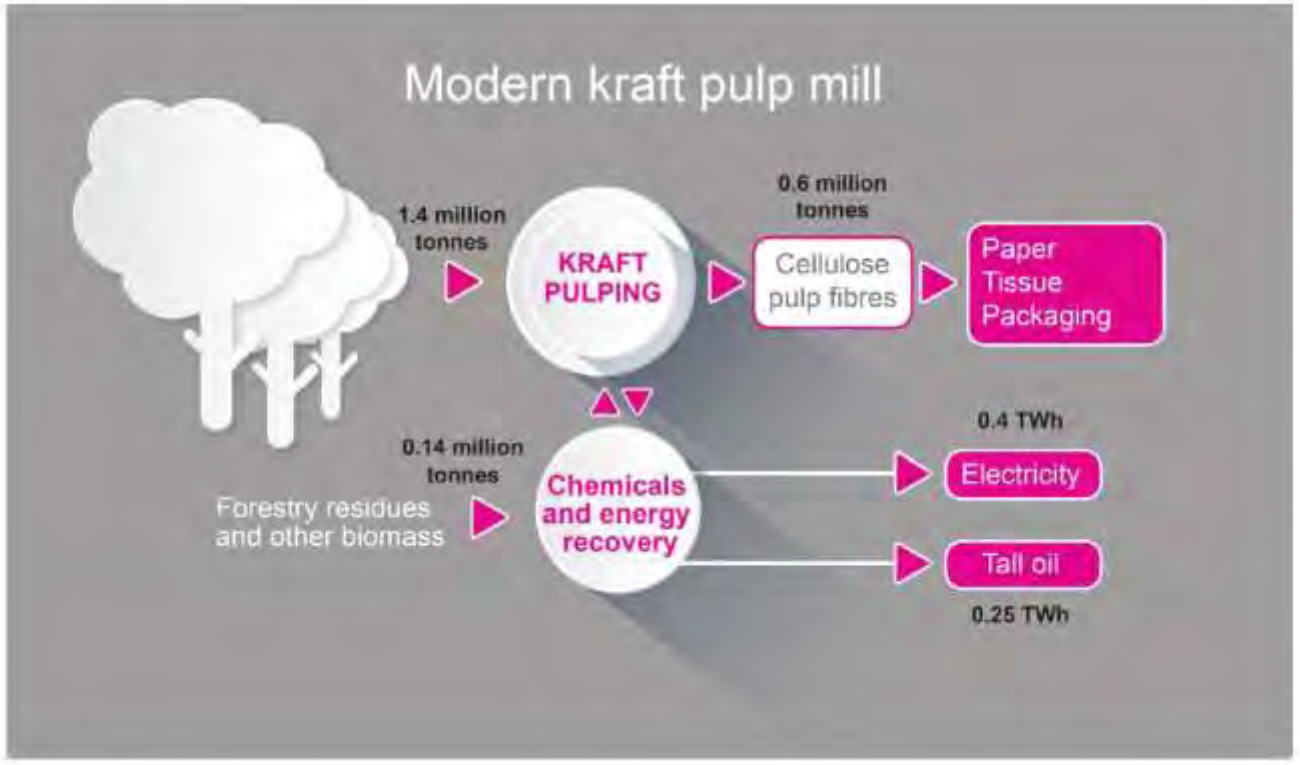
Gösta Ekström

Hugo Wallin

ZELLSTOFFF UN PAPIERINDUSTRIE – AKTUELL

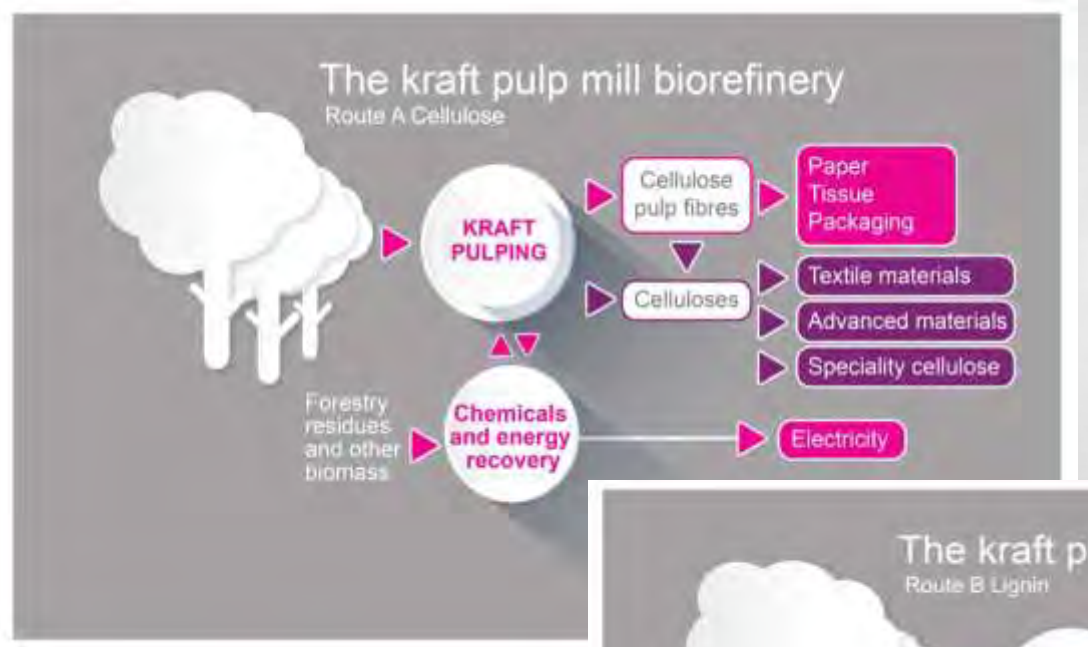
Die Zellstoff- und Papierindustrie befindet sich in einer idealen Position, um sich in eine echte Bioraffinerie-/ grüne Chemieindustrie umzuwandeln

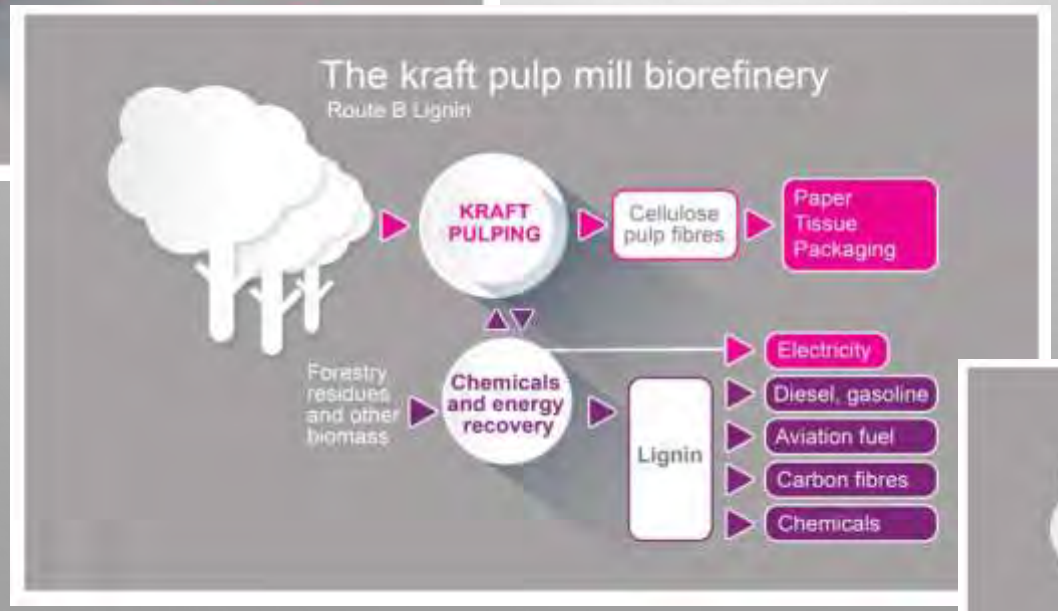
- Holzbeschaffung und Logistik
- Etablierte, wertschöpfungsschaffende Produkte
- Gute Engineering- und Produktionsbasis
- ***Hohes Potenzial zur Integration zusätzlicher Mehrwertprodukte***

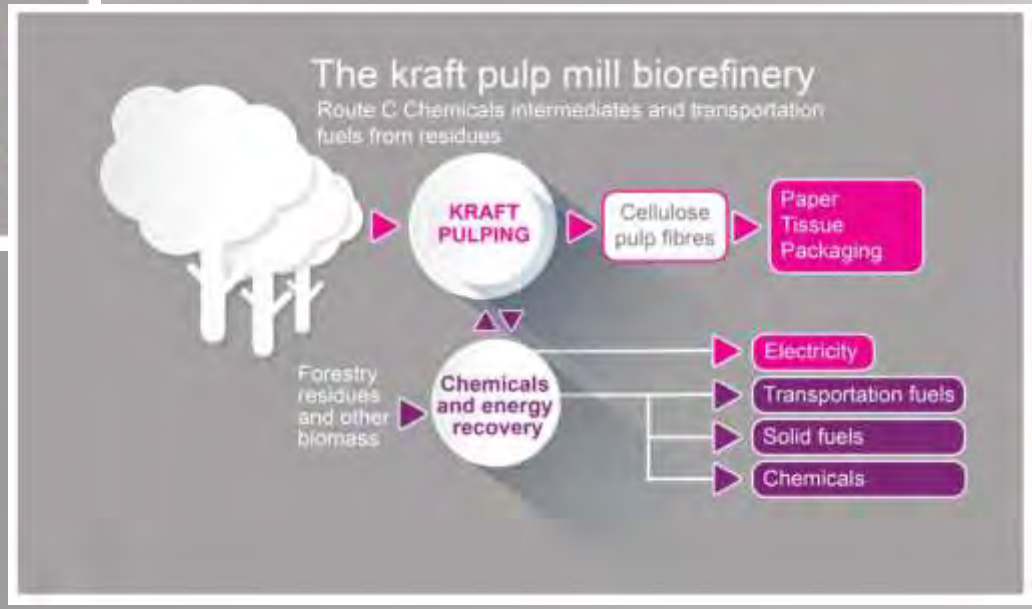


Quelle: RISE (Research Institutes of Sweden), 2015

ZELLSTOFFFABRIKEN DER ZUKUNFT



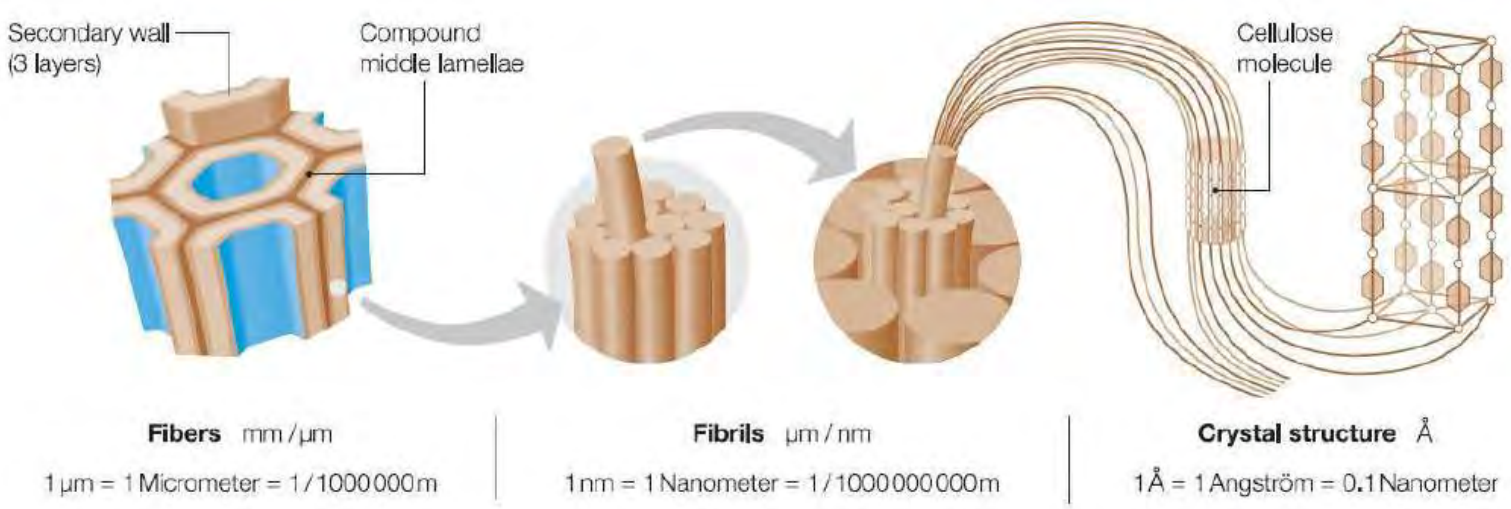




Quelle: RISE (Research Institutes of Sweden), 2015

ZELLSTOFFFABRIKEN – ZUKUNFT A ZELLULOSE

CNF/CNC



- EINZIGARTIGE EIGENSCHAFTEN:
  - **MECHANISCH (ÄHNLICH WIE KEVLAR)**
  - **OPTISCHE / ELEKTRONISCHE**
  - **OBERFLÄCHE / FUNKTIONALISIERUNG**

DIMENSIONEN:

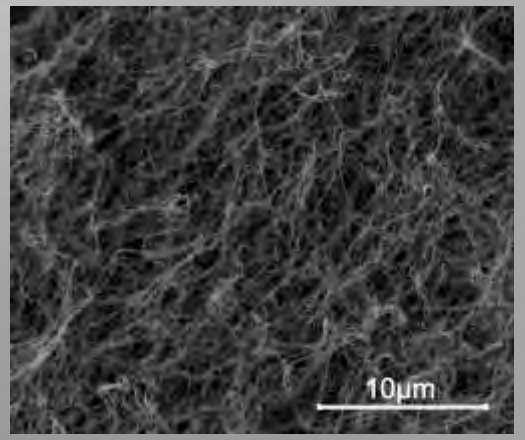
DURCHMESSER: ~3 – 100 NM
LÄNGE: ~100NM – 100MM

Quelle: Zimmermannet al. Adv. Eng. Mater. 6 754-761 (2004)

ZELLSTOFFFABRIKEN – ZUKUNFT A ZELLULOSE

Zellulose-Aerogele:

Eigenschaften	Zellulose Aerogel	Kieselerde Aerogel
Dichte [g cm^{-3}]	> 0.001	> 0.005
spezifische Oberfläche[m^2 g^{-1}]	250-800	500-1000
α (lin) [1/K 10^{-6}] at RT	0.029	0.030
Schallausbreitung [km s^{-1}]	0.04	0.07-1.3

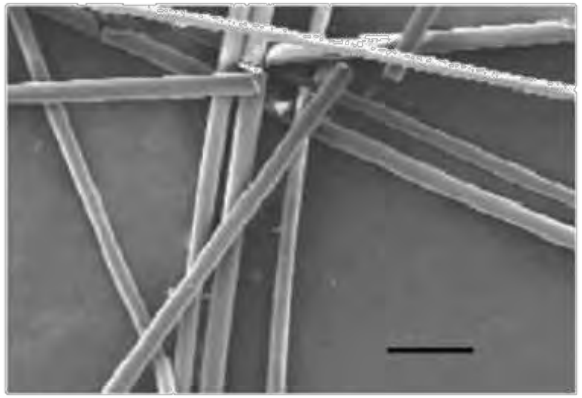


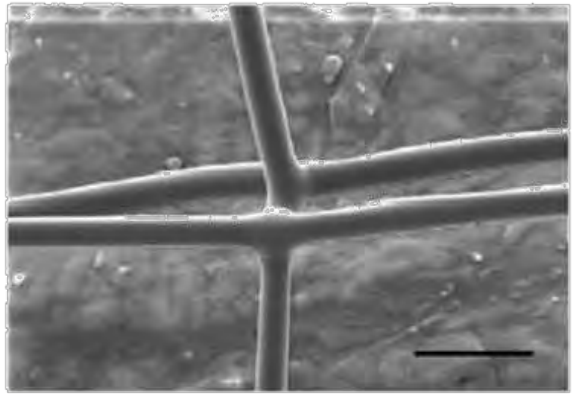
Ultraleichte Zellulosekörper für die Wärme-, Schall- und Stoßisolierung und für die Medizin (Zellgerüste, Knochenersatz).

Quelle: Rosenau, Sixta, Bauer PhD Course "Advances in Biorefineries", Graz

ZELLSTOFFFABRIKEN – ZUKUNFT B LIGNIN

- Carbonfasern


(a)

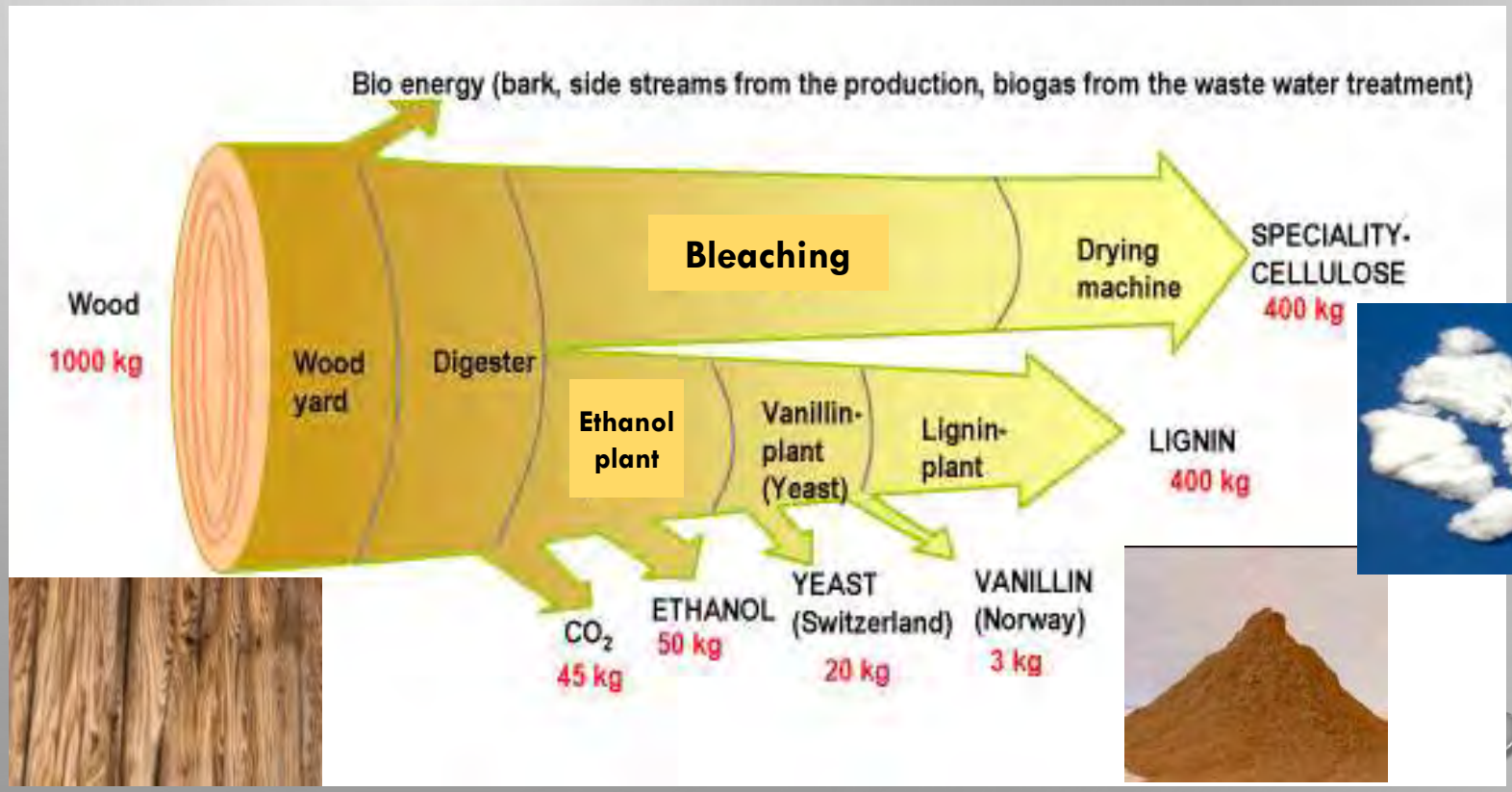

(b)

- Weichmacher in anderen Materialien
- Phenolersatz in der MDF/HDF-Produktion
- z.B. als Gummiersatz in Reifen
- Vergasung von Schwarzlaugen/LignoBoost
- Quelle für verschiedene Chemikalien
- ……

Quelle: Rosenau, Sixta, Bauer PhD Course “Advances in Biorefineries”, Graz

"LIGNIN-CHALLENGE"
BEISPIEL: VERWENDUNG VON FICHTENHOLZ IN NORWEGEN

- Die produzierten Mengen an Zellulose und Lignin sind in etwa gleich.
- Die Verwendung des Bulk-Lignins war/ ist der Engpass bei allen neueren Bioraffinerieansätzen (Unregelmäßigkeit und "Widerspenstigkeit" von Lignin).

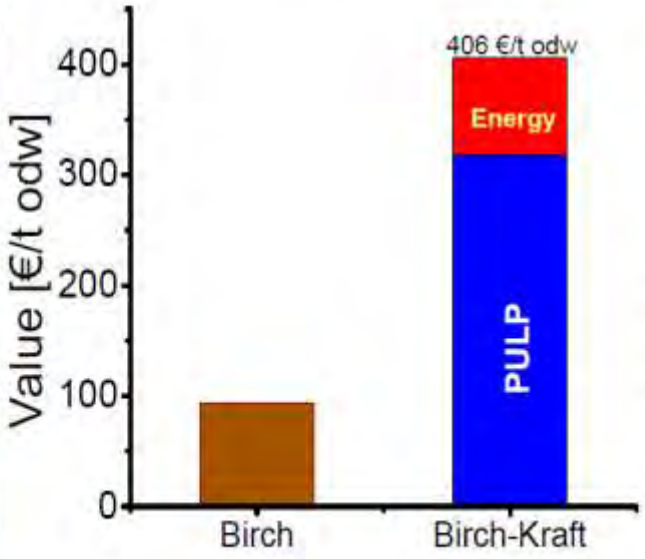


Quelle: Borregaard, Norway ; www.borregaard.no

BEISPIELE FÜR AUFWERTUNG

Conventional Birch Biorefinery

Cellulose + 11% Xylan odw to **PAPER PULP**
Lignin + 14% Xylan odw to **FUEL**

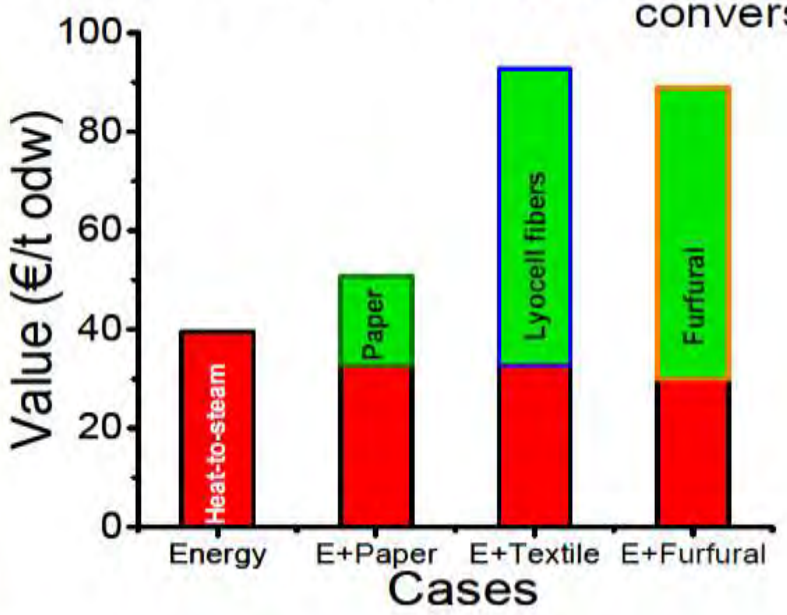


BHK price:	650 €/odt
Bleached yield:	48.9% *
DS	0.774 t/t odw **
Heat-to-steam	11.1 GJ/t DS ***
DS	80%

* *Testova, L. PhD Thesis (2015)*
** *Mass balance*
*** *Textbook*

Hemicellulose Valorization

1. Xylan as polymer: **6.0 %** odw (E or CCE)*
   in paper
   in textile fibers
2. Xylose in prehydrolys.: **8.4%** odw (PHat)*
   conversion to furfural



Xylan in paper	300 €/t od
Xylan in Lyocell	1000 €/t od
Furfural	1200 €/t

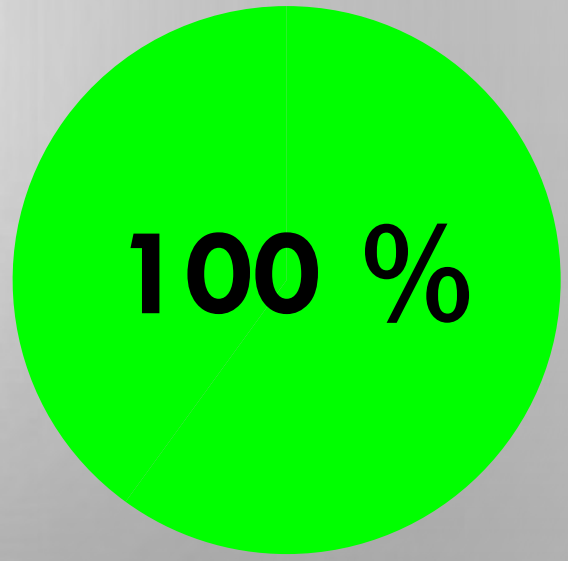
* *Testova L. (2015)*

WIE GRÜN WIRD DIE CHEMIE ?

Im Hinblick auf:

- Nutzung nachwachsender Rohstoffe als Ausgangsstoffe
- Wandel: fossil zu erneuerbar
- Diktiert von wissenschaftlichen Fakten

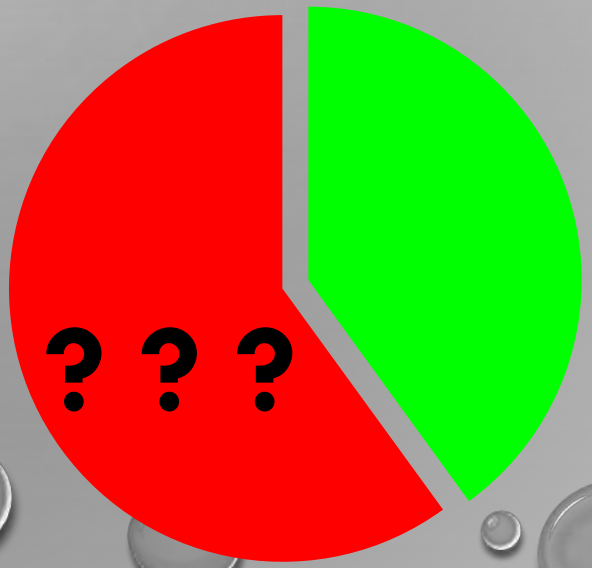
… leicht zu beantworten.



Im Hinblick auf:

- Anwendung der Prinzipien der "grünen Chemie"
- Grüne Prozesse, Lösungsmittel, Synthesen, Energieeinträge...
- Gesellschaftliche und persönliche Verantwortung

… schwer zu beantworten.

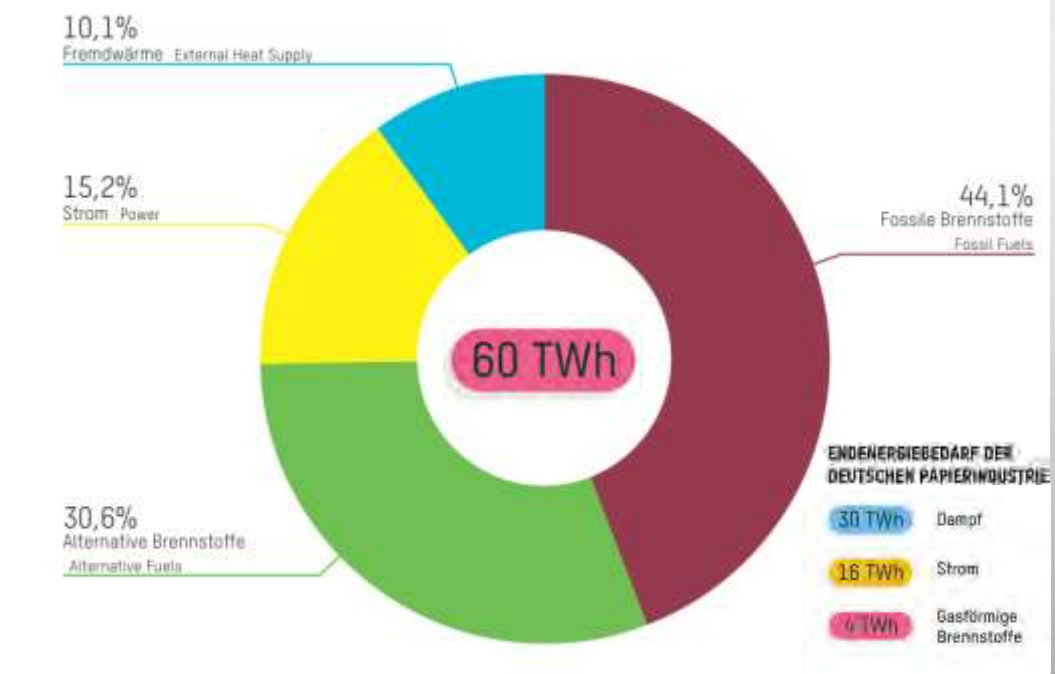


Modellfabrik Papier

Wegweisend für eine nachhaltige Papierfertigung

MODELL FABRIK PAPIER

DIE HERAUSFORDERUNG



Energiemix / Treibhaugasausstoß:

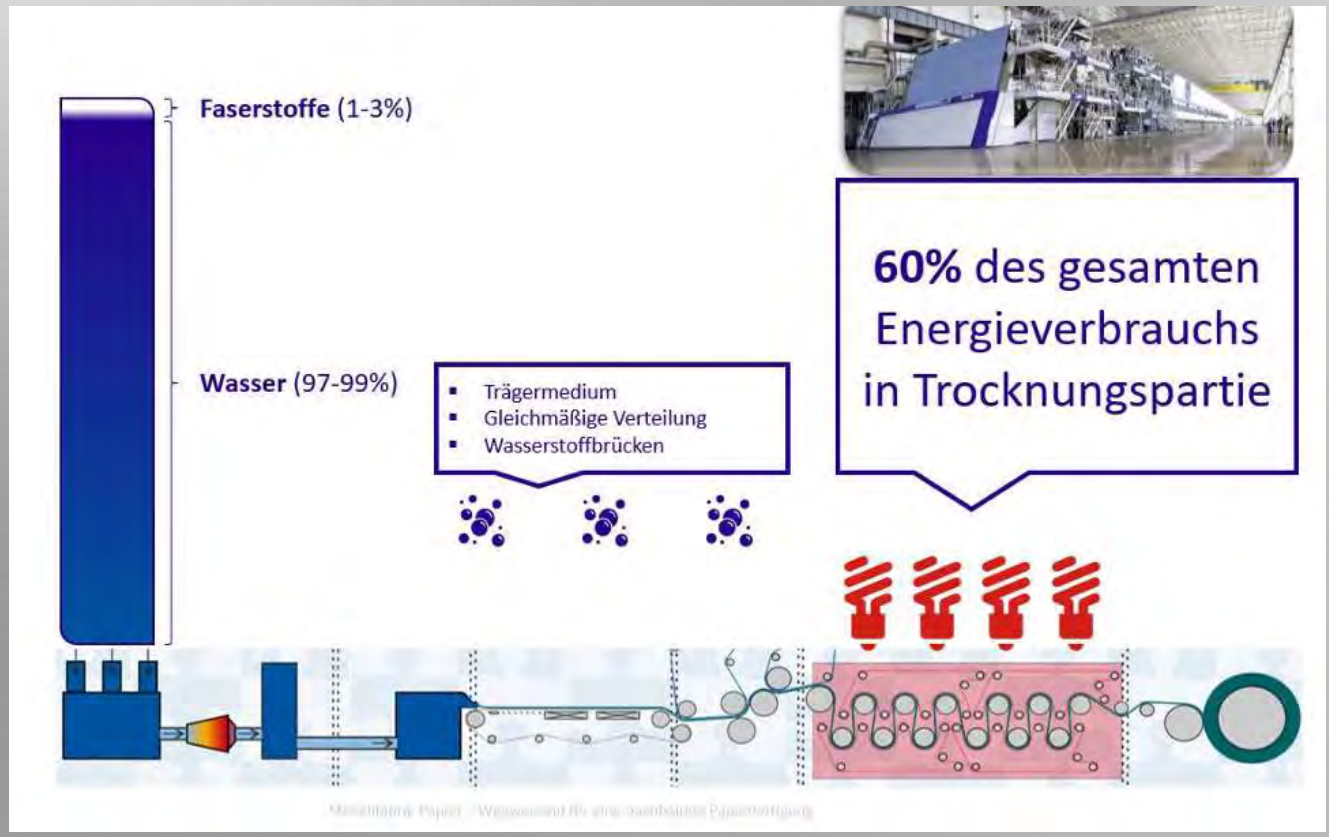
- ca. 12 Mt CO2 pro Jahr (1,5 % der gesamten deutschen Emissionen)

Scope 1 (direkt)

- 6 Mt CO2 - fossile Energieträger

Scope 2 (indirekt)

- 4 Mt CO2 - Strombezug
- 2 Mt CO2 – Fremdwärme



MODELLFABRIK PAPIER

Die Modellfabrik Papier wurde Ende 2020 als gemeinnützige Organisation gegründet. Die Idee geht auf eine Initiative der Papierindustrie zurück.

Unsere Mission: Mehr Klimaschutz in der Papierindustrie.

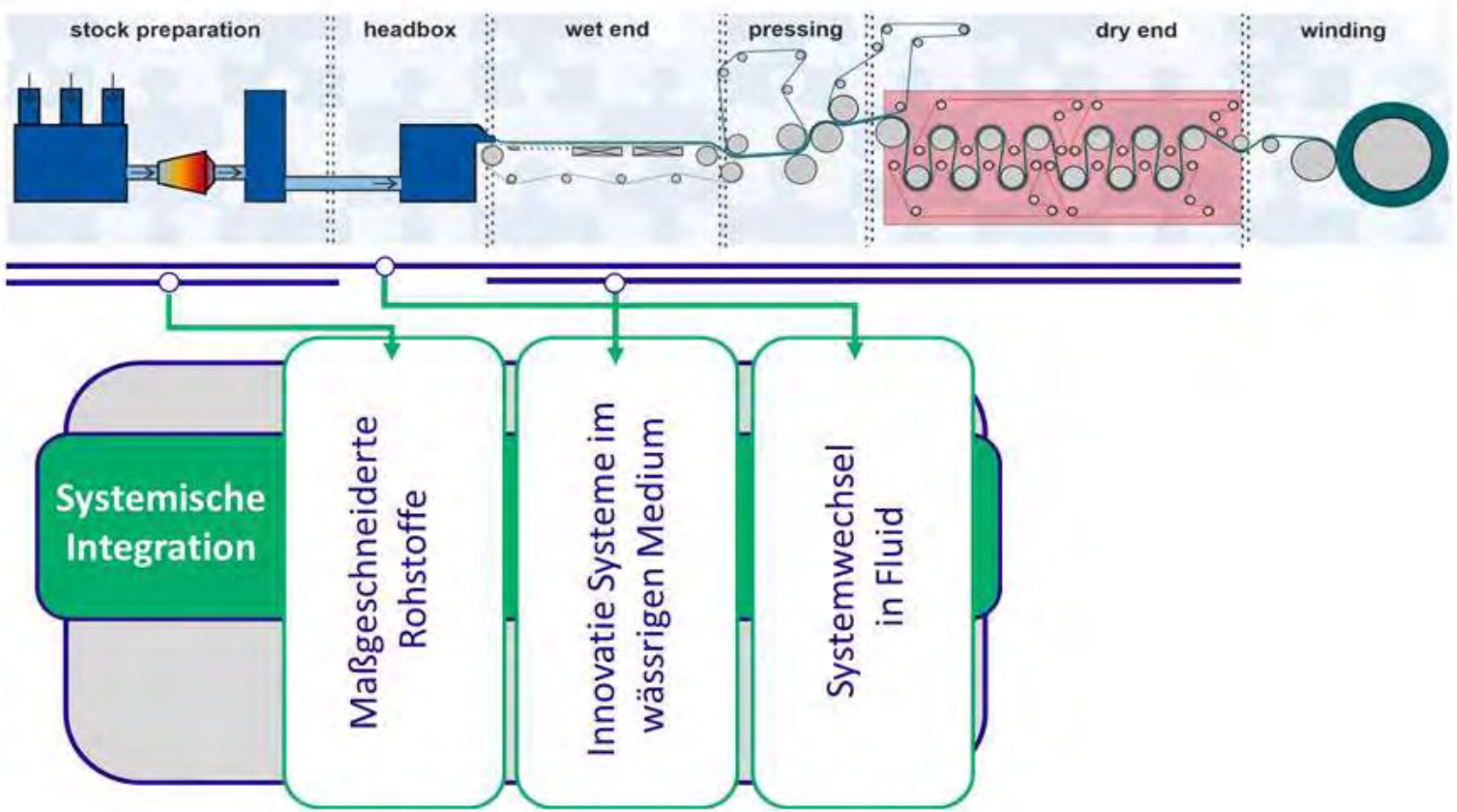
Unsere Vision: 80 % weniger Energiebedarf für die Produktion.

Unsere Aufgabe: Neue, disruptive und innovative Fertigungsmethoden erforschen und skalieren.

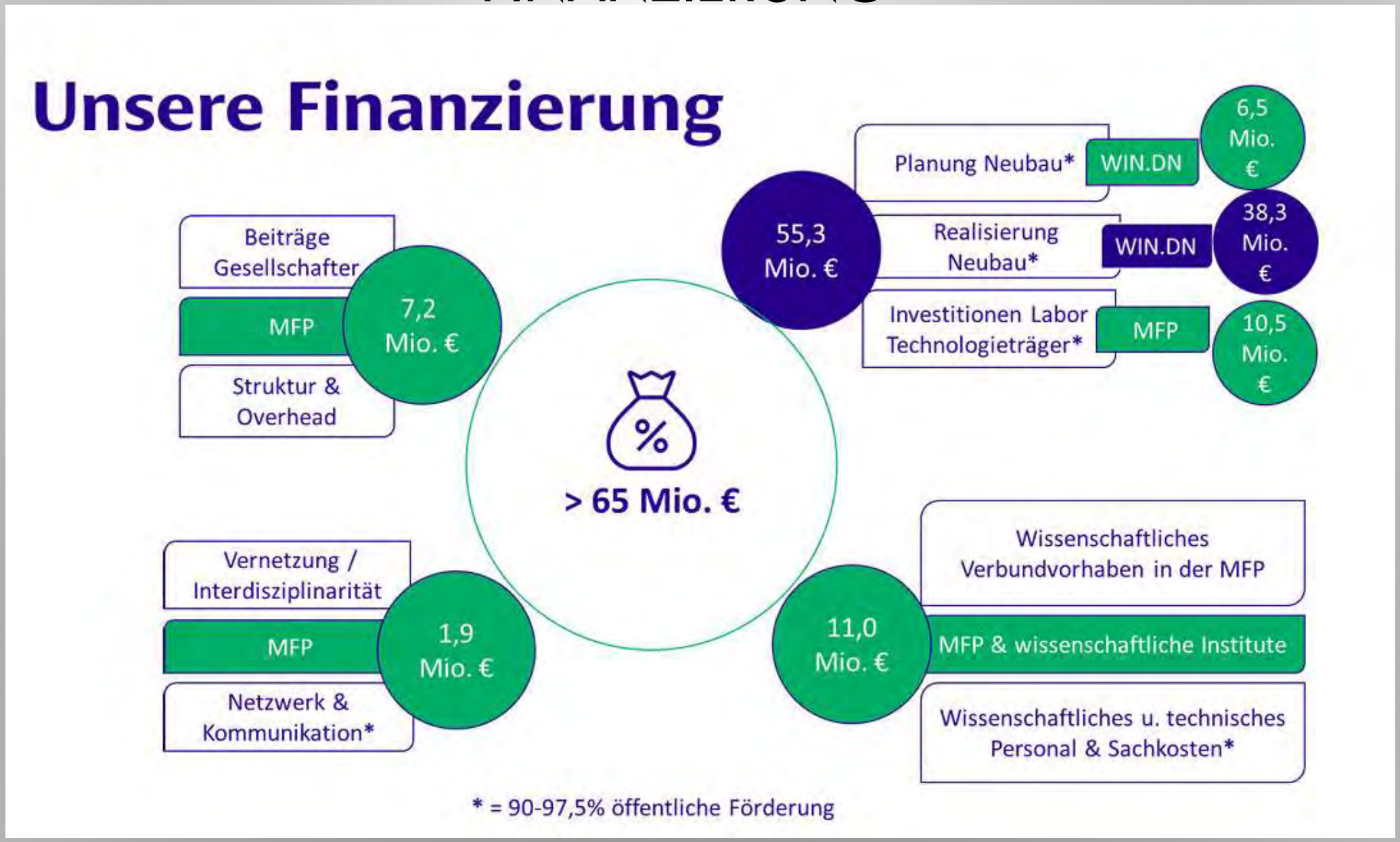
FORSCHUNGSCLUSTER

Unser Forschungs cluster

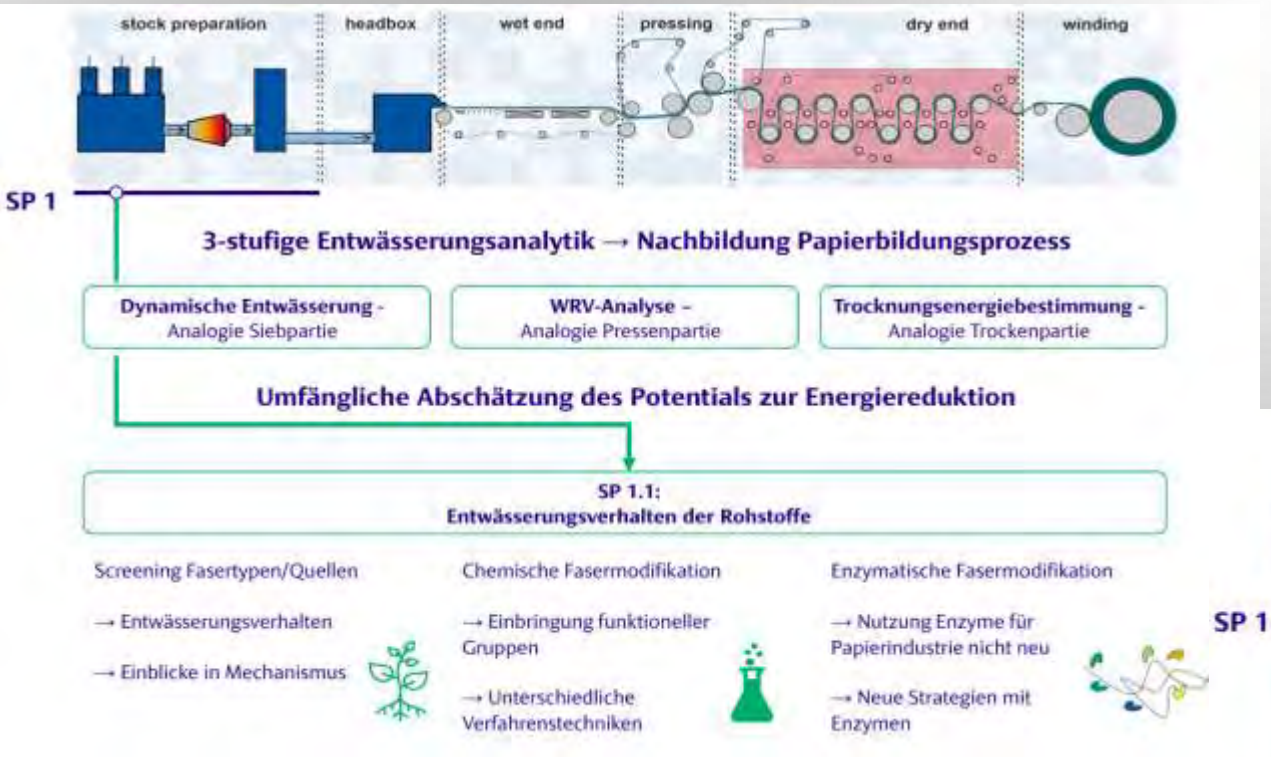
FOMOP

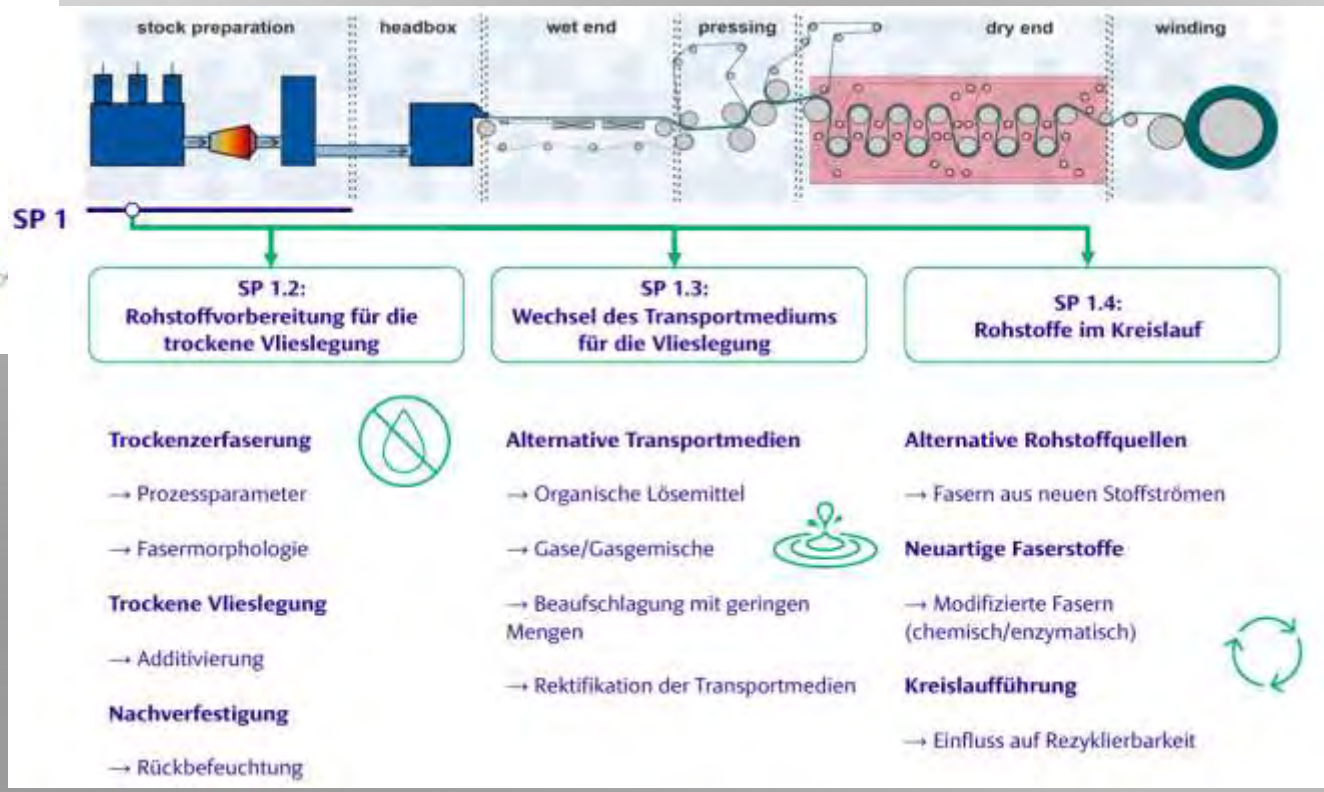


FINANZIERUNG

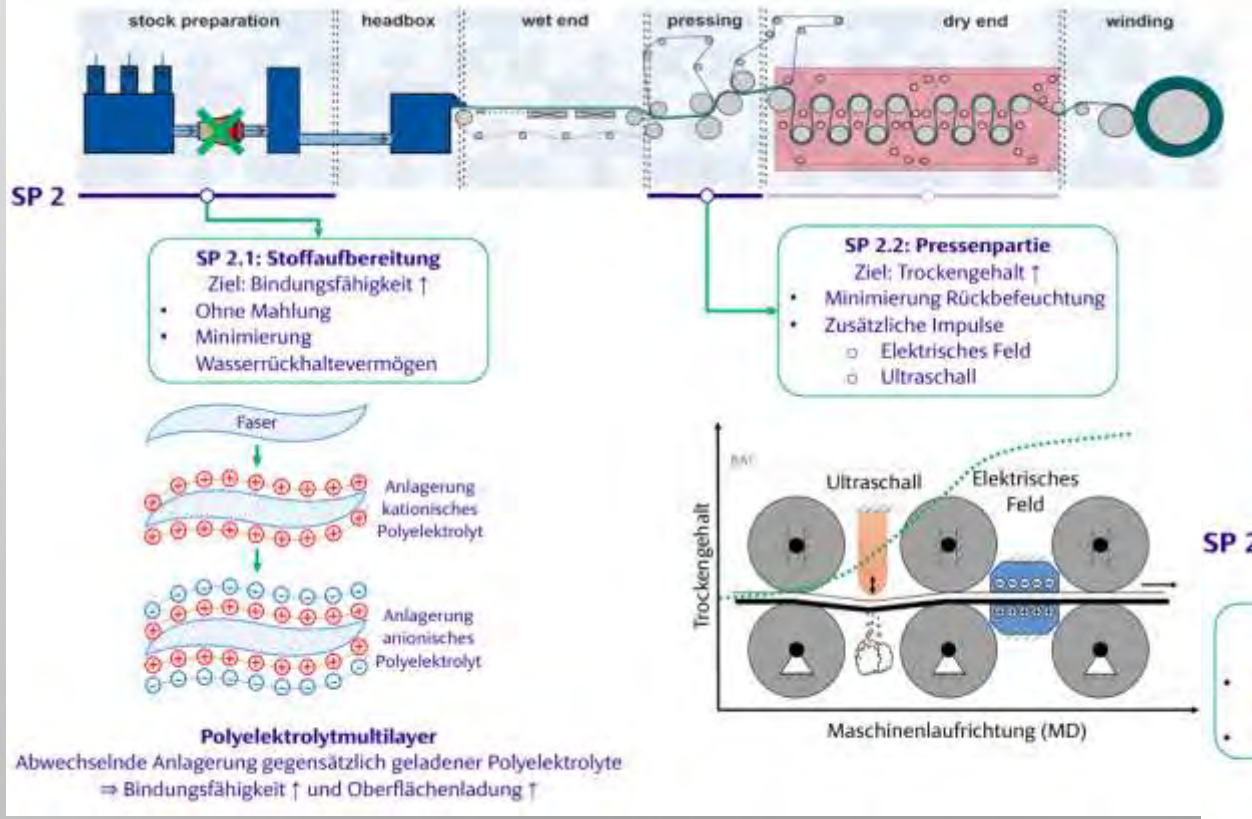


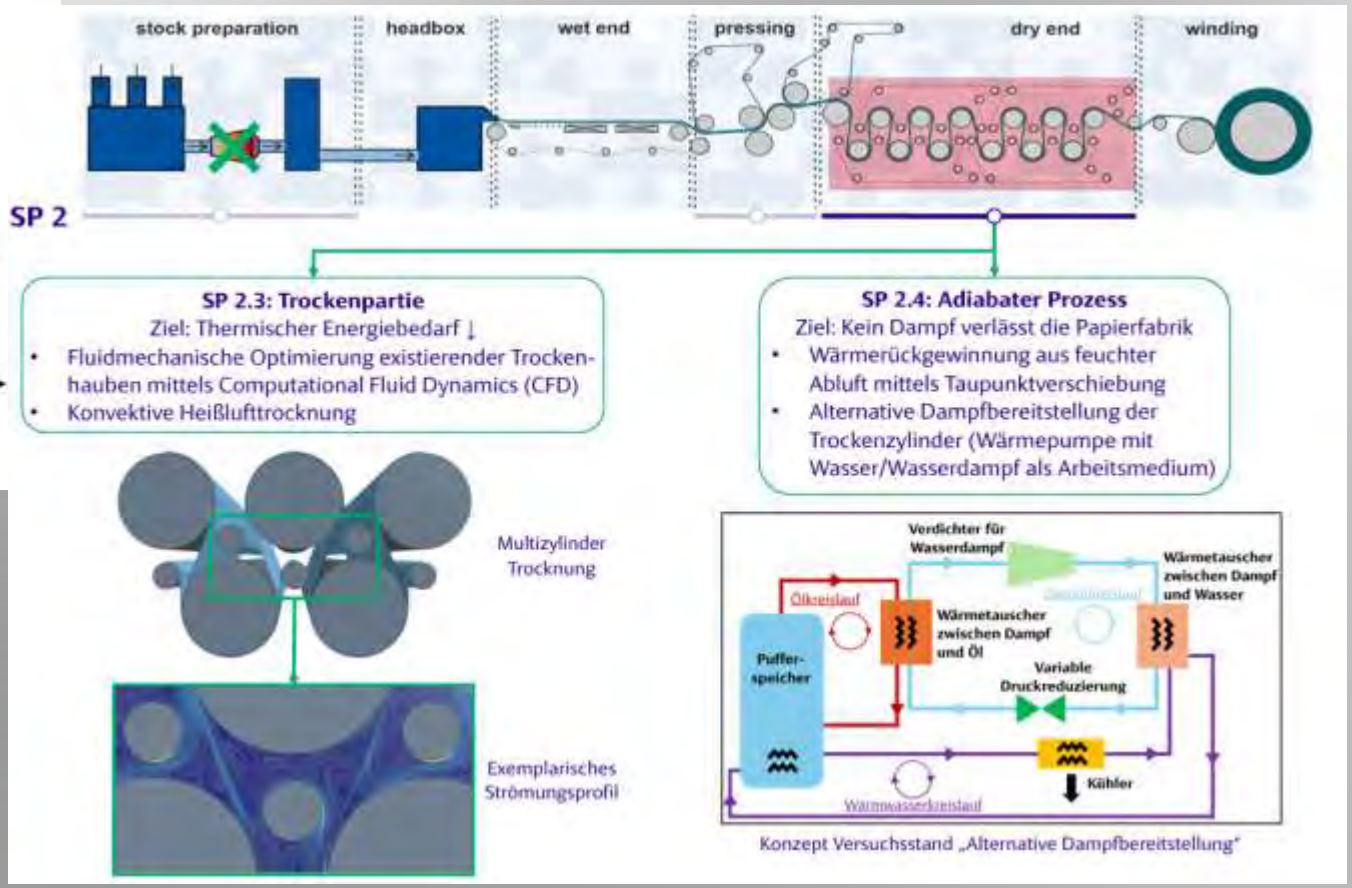
SP1 „MAßGESCHNEIDERTE ROHSTOFFE“



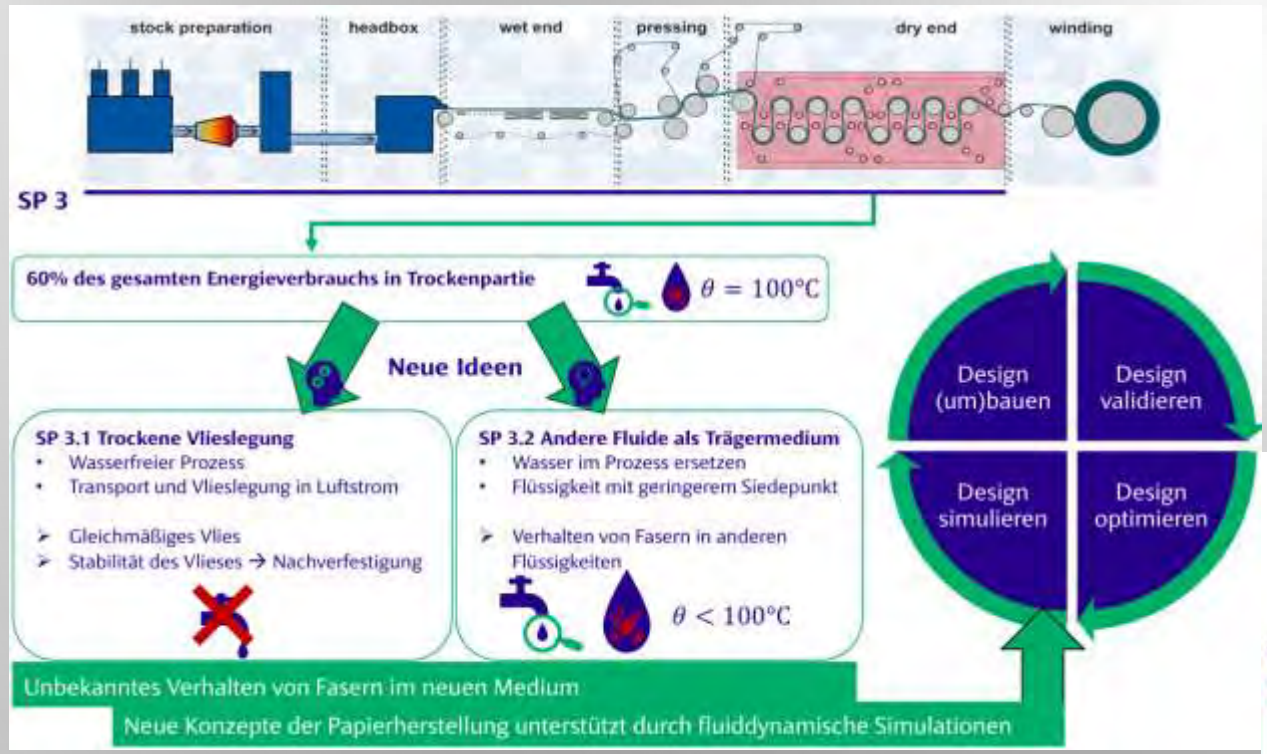


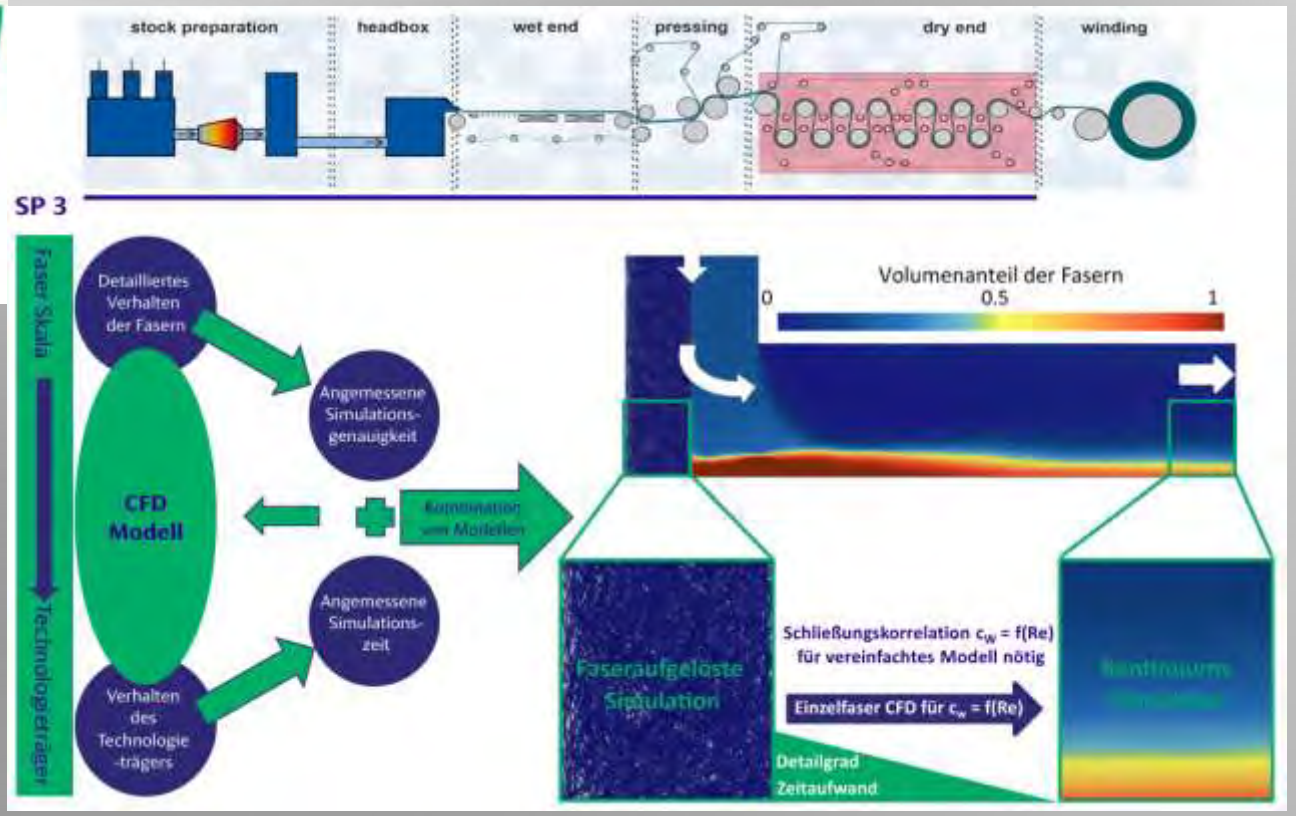
SP2 „INNOVATIVE SYSTEME IM WÄSSRIGEN MEDIUM“



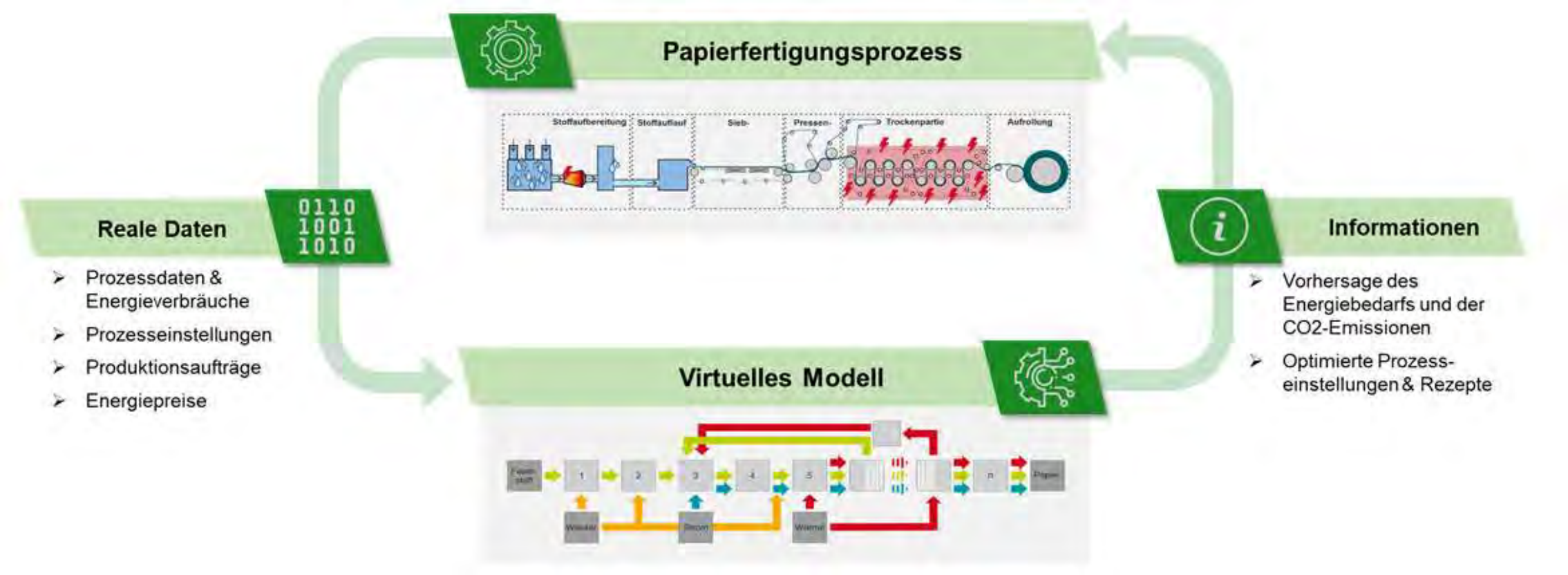


SP3 „SYSTEMWECHSEL IM FLUID“

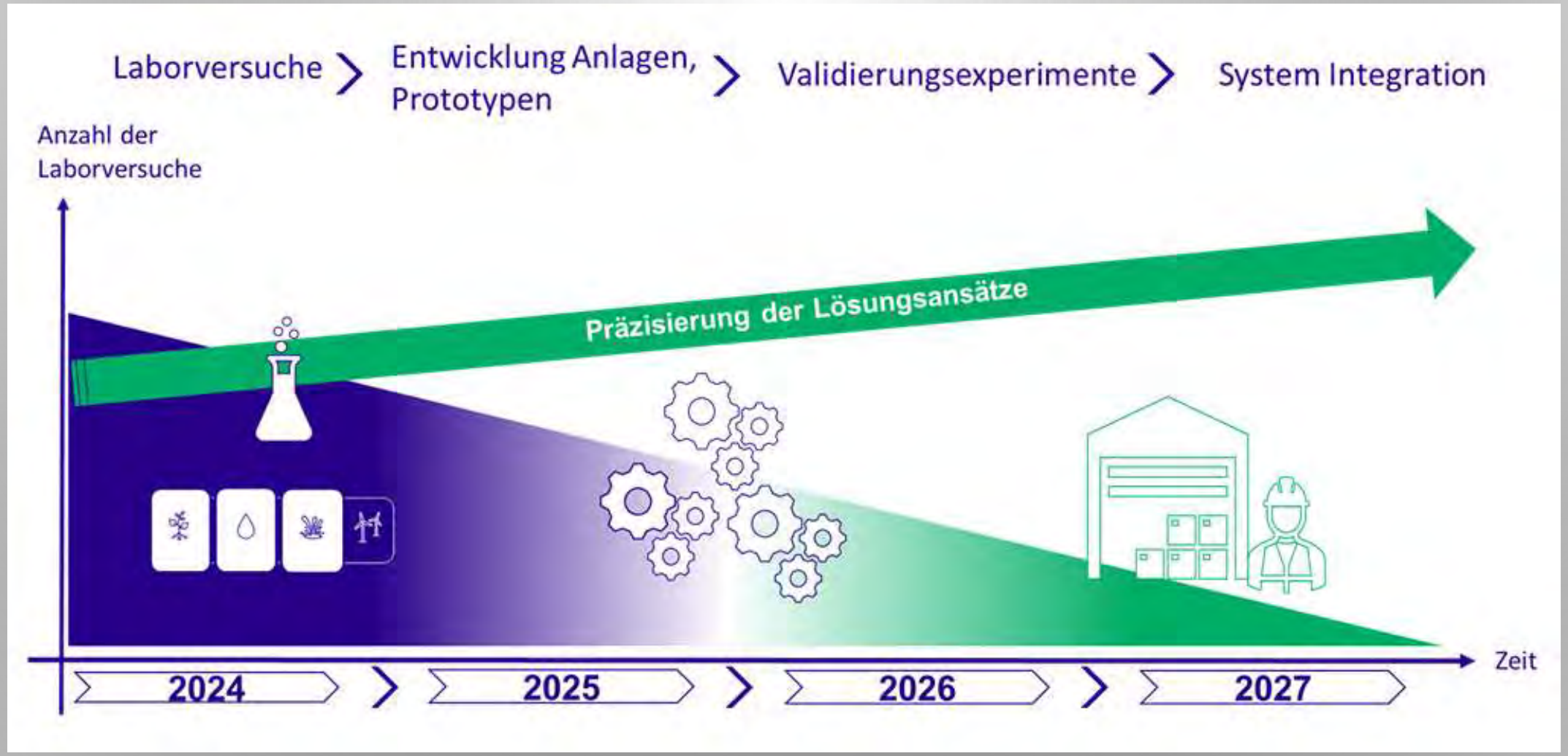




„DIGITALISIERUNG/ DIGITALE TRANSFORMATION“



ZEITPLAN


Laborversuche
Entwicklung Anlagen, Prototypen
Validierungsexperimente
System Integration
Anzahl der Laborversuche
Präzisierung der Lösungsansätze
Zeit
2024
2025
2026
2027

VIELEN DANK FÜR
IHRE AUFMERKSAMKEIT!