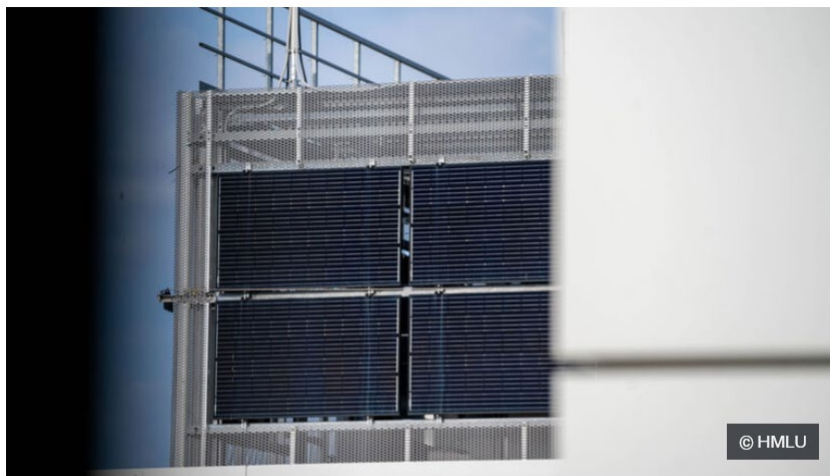


Klimapo- Geisenh



Klimaschutz
CO₂-neutrale Landesverwaltung

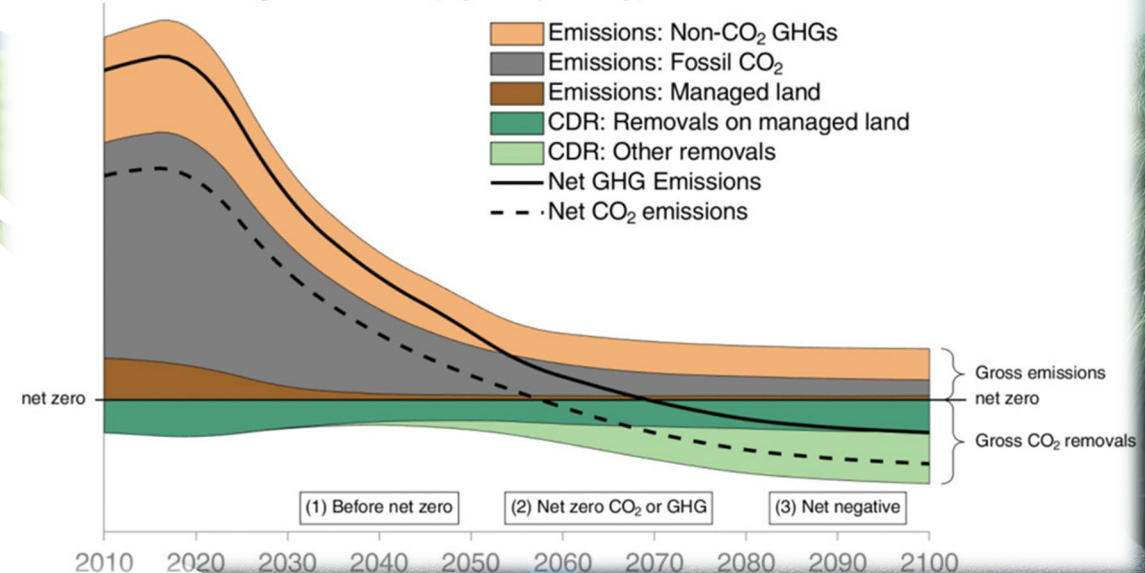
Bis 2030 strebt die hessische Landesverwaltung an, klimaneutral zu arbeiten.

Pyrolyse Heizzentrale: Chancen und Risiken bei Konzeptionierung und Umsetzung

IPCC AR 6, 2022



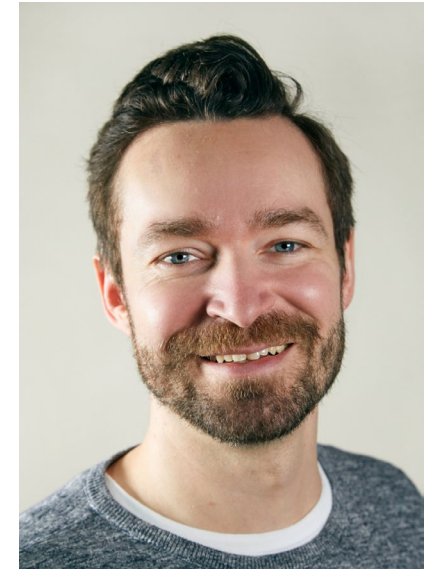
Greenhouse gas emissions (stylised pathway)



Vorstellung

Persönlich/Kontaktdaten

- Georg Ardisson-Krauss
- M.Sc. Erneuerbare Energietechnik
- 2017-2022: Wissenschaftlicher Mitarbeiter in angewandten Forschungsprojekten zur nachhaltigen Biomassenutzung/Biochar
- Seit 2022: Energie- und Biomassemanagement
- Schwerpunkt:
 - Pyrolyse (Technik)/Biochar (Anwendung)
 - Regenerative Energieerzeugung
 - Dezentrale Energiesysteme
 - Energetische Verwertung von Reststoffen



Gliederung

- Einleitung und Grundlagen
- Technologie und Marktentwicklung
- Rahmenbedingungen und Genehmigungsverfahren
- Inhalt für Machbarkeitsstudien
- Chancen und Risiken

Einleitung

Biochar, Pflanzenkohle, C-Senke?!?!

- **Biochar:** Englischer, treffendster Begriff: Stabilisierter Kohlenstoff aus biogenem Material mit spez. Eigenschaften (v.a. zersetzungstabil)
- **Carbon Dioxide Removal (CDR):** Technologien die notwendig sind, um CO₂ aus der Atmosphäre zu holen (BCR, DACCS, BECCS, Aufforstung etc.)
- **Biochar Carbon Removal (BCR):** Einzige (technische) CDR, die ein TRL=9 aufweist
- **C-Senke:** Das aus der stofflichen Biochar Anwendung folgende letzte Glied der Nutzungskette, da Rückkehr in Atmosphäre absehbar nicht möglich → wird zertifiziert (European Biochar Certificate) und ist somit handelbar
 - Je nach Vorkette stellt 1 t Biochar (C-Gehalt von 75%) 1,5 – 2 t C-Senkenpotential dar
 - Dies wird durch Einbringung in den Boden/Matrix zur C-Senke

Einleitung und Grundlagen

Pyrolyse – Was ist das?

1. Reststoffbiomasse
als Inputmaterial



2. Erhitzung unter
Sauerstoffabschluss

3. Erzeugt...

b. Biochar
(stoffliche
Nutzung)



c. Zertifikat
(Handelbare
Kohlenstoff-
senke)



a.) Wärme auf
hohem Niveau zu
Heizzwecken
oder als
Prozesswärme



Biomacon.com, KI generierte Bilder

Einleitung und Grundlagen

Produkte und Anwendungen

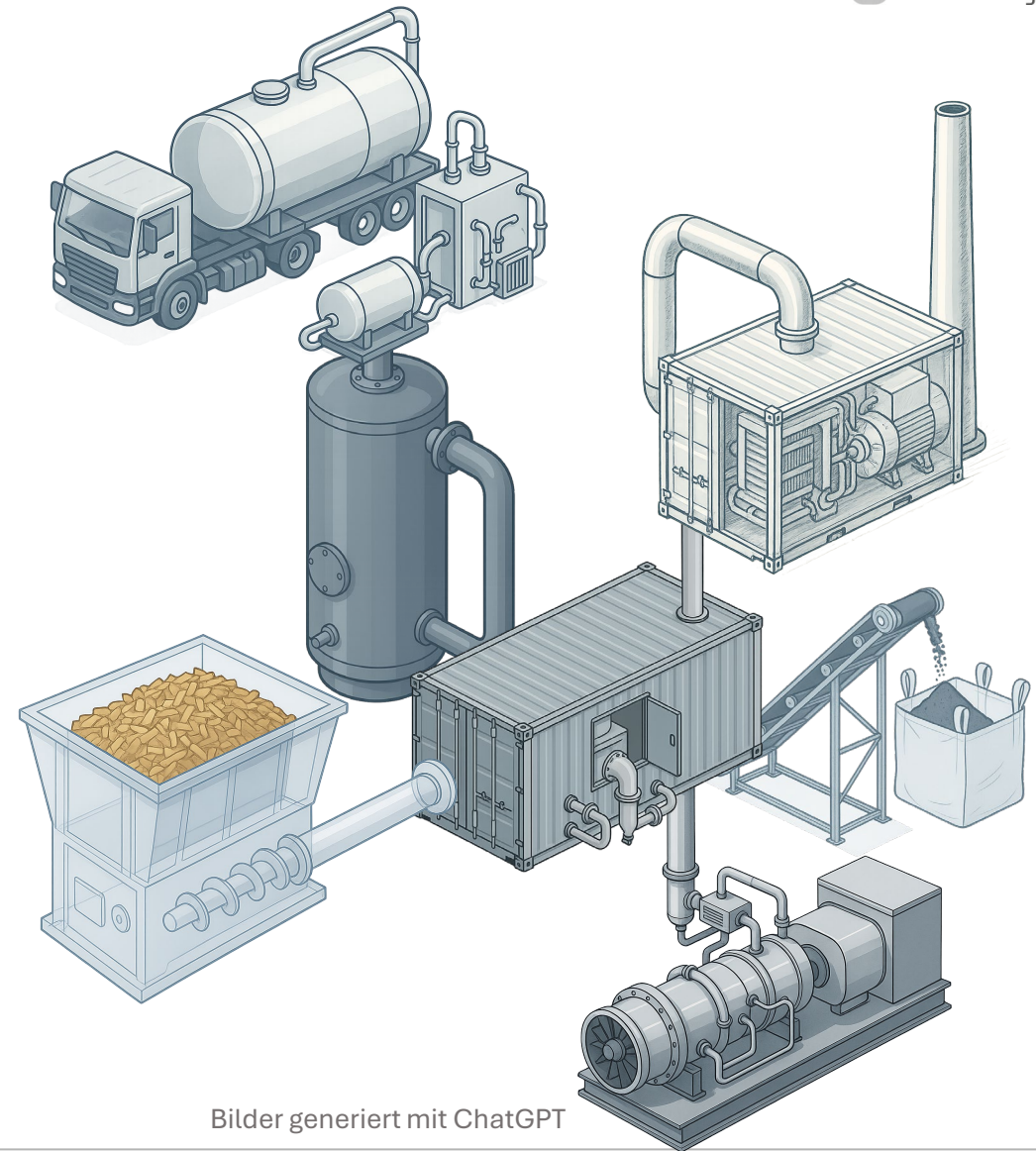
- Hauptprodukte:
 - Pyrolysegas (Syngas) → Direkte Verbrennung zur Wärmeerzeugung
 - Biochar → CO₂-Speicher und Bodenverbesserung
 - Wärme → Prozesswärme und Heizung
 - Senkenzertifikat → CO₂-Entzug/Kompensation
- Primäre Wärme Nutzung:
 - Trocknung von Hackschnitzeln, Mahdgut, Klärschlamm
 - Klimaneutrale Wärmeerzeugung

Technologie und Marktentwicklung

Systemkomponenten

Anlagenbestandteile

- Pyrolyse-Anlage
- Hackschnitzelbunker mit automatischer Beschickung
- Fördertechnik und Materialhandling
- Wärmespeicher und Puffersysteme
- Gasturbine/BHKW für Stromerzeugung
- ORC-Anlage für Energieeffizienz
- Mobile Wärmespeicher für flexible Verteilung
- ...



Bilder generiert mit ChatGPT

Technologie und Marktentwicklung

Technologieüberblick - Anlagentypen

Batch vs. Kontinuierliche Anlagen:

Kriterium	Batch-Anlagen	Kontinuierliche Anlagen
Kapazität	50-500 kW (kombinierbar)	500 kW - 5 MW
Betrieb	Chargenweise	Dauerbetrieb
Wartung	Höherer Aufwand	Komplexere Technik
Flexibilität	Hoch	Mittel

→ Beide Anlagentypen sind automatisiert beschick- und in Nahwärmenetze integrierbar



Carbontechnik Schuster, Pyreg

Technologie und Marktentwicklung

Anlagengrößen und Leistungsbereiche

Anlagen- größe	Leistungs- bereich	Stündlicher Brennstoffbedarf	Jährlicher Brennstoffbedarf
Klein	100-500 kW	50-250 kg/h	350-1.750 t/a
Mittel	0,5 -2 MW	250-1.000 kg/h	1.750-7.000 t/a
Groß	2-5 MW	1.000-2.500 kg/h	7.000-17.500 t/a

Kommunale Akteure und Abnehmer:

- Grünflächenamt/Bauhof (Brennstofflieferant)
- Netzbetreiber/regionaler Energieversorger
- Kommunale Liegenschaften (Schwimmbad, Sporthalle)

Technologie und Marktentwicklung

Aktuelle Marktsituation

Anlagenhersteller/Anbieter:

- PYREG - Pionier mit >50 Anlagen weltweit
 - Biomacon – Europaweit
 - Carbofer
 - Reg
- Marktphase, wachsende Referenzliste
- Und viele mehr. Für eine vollständige Übersicht: [German Biochar Website](#)

Dienstleister:

- Novoc

Dienstleister: Logistik

- Bruening Group

Technologie und Marktentwicklung

Vorteile

Kernvorteile dezentraler Pyrolyse:

- Reduzierte Transportkosten für Biomasse
- Lokale Wertschöpfung
- Kurze Wärmenetze
- Flexible Anlagengröße
- CO₂-Bindung durch Biochar, daher Wärme mit realen 0 g CO₂/kWh
- Möglichkeiten zur Kompensation von unvermeidbaren Emissionen

Rahmenbedingungen und Genehmigungsverfahren

Einsatzgebiete und Zielgruppen

Primäre Marktsegmente:

- (Kommunale) Liegenschaften - Schulen, Verwaltung, Schwimmbäder
 - Wohnungswirtschaft - Quartierswärmeversorgung
 - Industrielle Anwendungen - Prozesswärme, Trocknungsanlagen
 - Landwirtschaftliche Betriebe - Gewächshäuser, Stallheizung
- Integration in kommunale Wärmeplanung als Schlüsselfaktor

Rahmenbedingungen und Genehmigungsverfahren

Potentialabschätzung Deutschland

Biomassepotentiale:

- Holzabfälle: ~11,8 Mio. t/a Waldrestholz + 1,1 Mio. t/a Landschaftspflegeholz
- Grünschnitt: >2 Mio. t/a Garten- und Parkabfälle
- Klärschlamm: ~1,8 Mio. t TS/a
- Stroh: ~25 Mio. t/a (anteilig nutzbar)
- ...

Quellen:

<https://recyclingportal.eu/Archive/12721>

<https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/bioabfaelle>

<https://bioenergie.fnr.de/bioenergie/biomasse/biomasse-potenziale/potenziale-von-rest-und-abfallstoffen>

Rahmenbedingungen und Genehmigungsverfahren

Regulatorisches Umfeld – BImSchV

Komplexe Einordnung abhängig von Brennstoff und Anlagengröße:

Bei naturbelassener Biomasse:

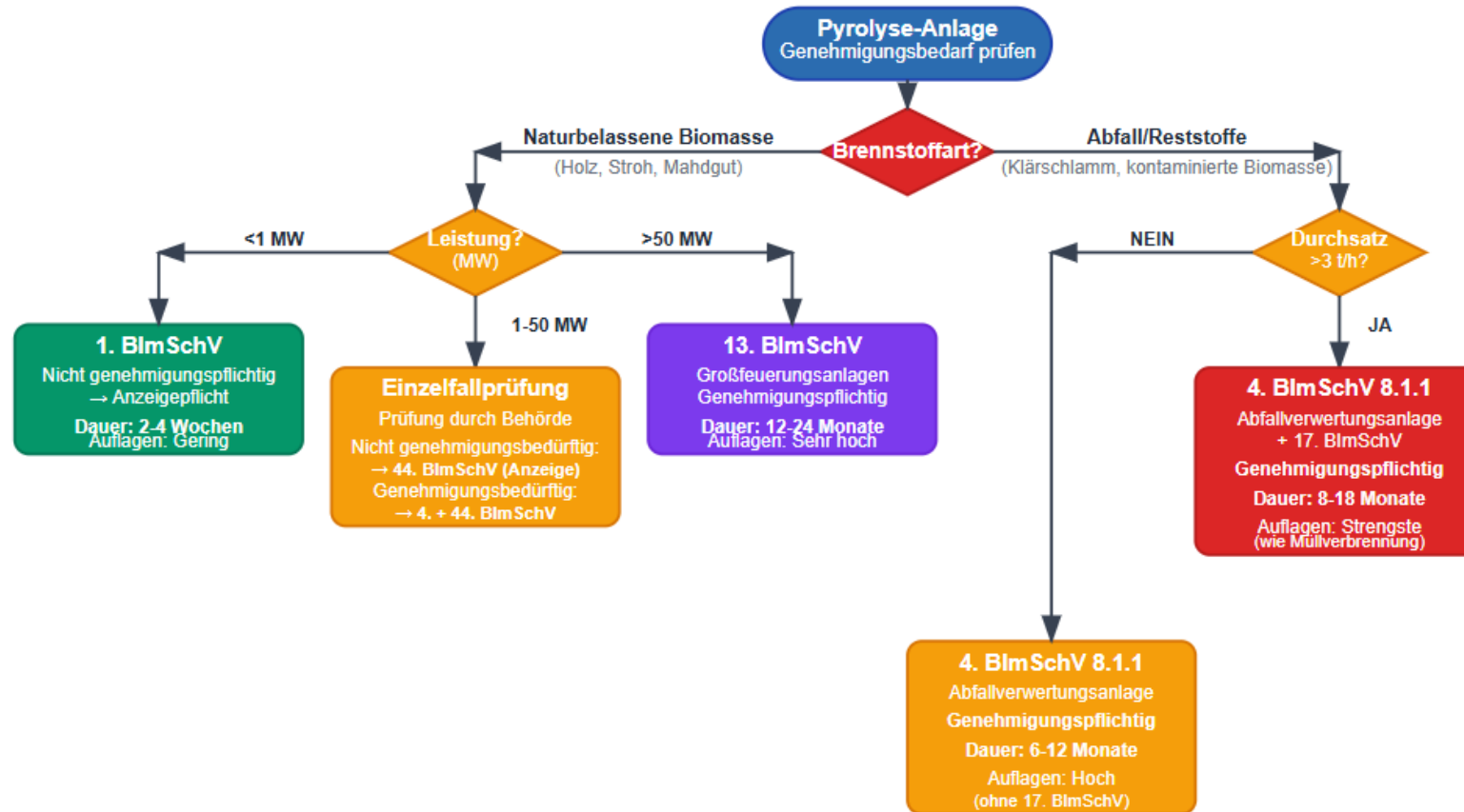
- <1 MW: 1. BImSchV (nicht genehmigungspflichtig)
- 1-50 MW: Prüfung erforderlich!
 - Nicht genehmigungsbedürftig → 44. BImSchV (Anzeigepflicht)
 - Genehmigungsbedürftig → 4. BImSchV + 44. BImSchV
 - 50 MW: 13. BImSchV (Großfeuerungsanlagen)

Bei Abfallverwertung: (4. BImSchV 8.1.1):¹

- 3 t/h Durchsatz → Genehmigungspflichtig
- Strengste Emissionsanforderungen wie Abfallverbrennung
- 17. BImSchV gilt zusätzlich (verschärfte Grenzwerte)

Genehmigungspfade für Pyrolyse-Anlagen in Deutschland

Rechtsgrundlagen und Verfahrenswege im Überblick



Legende und wichtige Hinweise

- Einfaches Verfahren (nicht genehmigungspflichtig)
- Einzelfallprüfung durch Behörde erforderlich
- Aufwendiges Genehmigungsverfahren (wie Abfallverbrennung)
- Großanlagen-Verfahren nach 13. BImSchV

Wichtige Hinweise:

- Voranfrage bei der zuständigen Behörde ist in allen Zweifelsfällen unbedingt erforderlich

Rahmenbedingungen und Genehmigungsverfahren

Förderung und Finanzierung

Aktuelle Ausschlüsse:

- BAFA Modul 4 (Biomasseanlagen)
- EEW-Förderung (Erneuerbare Energien Wärme)

Alternative Finanzierungswege:

- Investitionsprogramme Bund/Länder/EU
 - Infrastrukturbudget (Hessen)
 - Industrielle Bioökonomie (BMWi)
 - EFRE (EU)

Inhalt für Machbarkeitsstudien

Technische Machbarkeit - Wärmebedarf

Abnehmeranalyse:

- Grundlast-Wärmebedarf (Anzahl Volllaststunden)
- Anschlussleistung
- Temperaturniveau: Heiz- oder Prozesswärme

Standortfaktoren:

- Verfügbarkeit Brennstofflager/Logistik → Dienstleister
- Logistikanbindung (LKW-Zufahrt)

Inhalt für Machbarkeitsstudien

Integration in bestehende Wärmesysteme

Fernwärmenetze:

- Grundlasterzeuger mit fossilen Spitzenlastkesseln
- Parallelbetrieb mit anderen erneuerbaren Erzeugern
- Netzeinspeisung über Übergabestationen

Nahwärmenetze/Quartiersversorgung:

- Vollständiger Ersatz bestehender Kesselanlagen
- Hybridbetrieb mit Wärmepumpen oder Solarthermie
- Dezentrale Einspeisung in lokale Verteilnetze

Objektversorgung:

- Retrofit bestehender Kesselanlagen
- Bivalenter Betrieb (Pyrolyse + HHS/WP-Backup)
- Monovalente Lösung bei ausreichender Anlagengröße

Inhalt für Machbarkeitsstudien

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung - CAPEX/OPEX

Investitionskosten (CAPEX):

- Spezifische Kosten:
 - Abhängig vom Anlagentyp 2.000-3.000 €/kW
 - Peripherie + Planung
 - Berechnung nach DIN 2067 überraschend genau

Betriebskosten (OPEX):

- Brennstoffkosten
- Wartung und Instandhaltung: 2-4% von CAPEX/Jahr
- Personal
- Versicherung und Sonstiges: 1-2% von CAPEX/Jahr



Inhalt für Machbarkeitsstudien

Erlöse und Wirtschaftlichkeit

Erlösseite: *(Richtwerte, hier sollten eigene Annahmen getroffen werden)*

- Wärmeverkauf: 50-90 €/MWh
- Biochar-Verkauf: 200-400 €/t
- C-Senkenzertifikate: 80-150 €/t CO₂ (Voluntary Carbon Market)
- Vermiedene CO₂ Kosten: 80 €/t

Wirtschaftlichkeit:

- Amortisationszeit: mittel 8-15 Jahre
- IRR: 4-8% (stark abhängig von Randbedingungen)

Inhalt für Machbarkeitsstudien

Sensitivitätsanalyse

Kritische Erfolgsfaktoren:

- Anlagenlaufzeit
- Brennstoffkosten
- Wärmepreis
- Planungskosten
- CO₂-Preis

Risikominimierung:

- Langfristige Brennstoffverträge
- Wärmelieferverträge mit Preisgleitklauseln
- Mehrerlös-Strategien (Biochar, CO₂-Zertifikate)

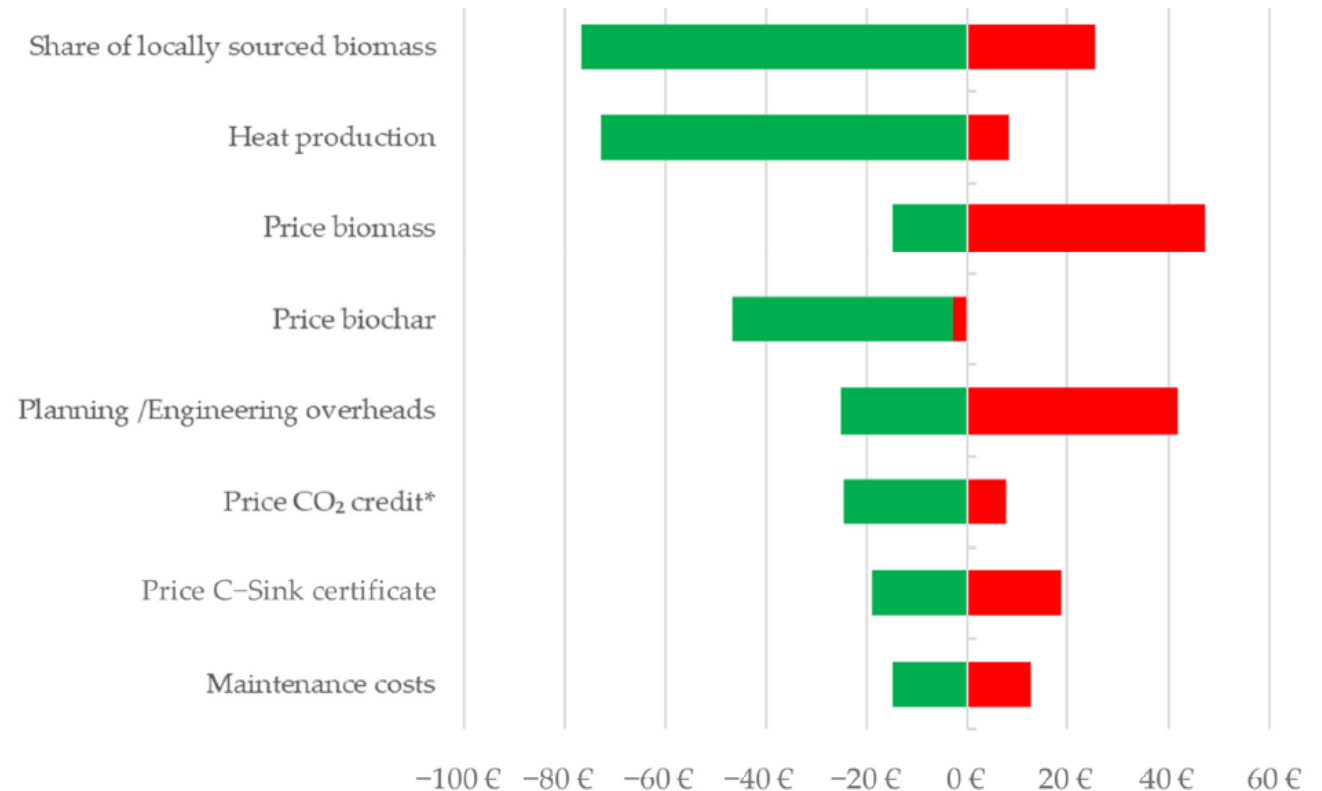


Figure 4. Sensitivity analysis results visualized as a tornado diagram showing the impact of key parameters on the Levelized Cost of Energy (LCOE) for the PY20/WC25 scenario. Parameters are ranked by their influence on LCOE, with locally sourced biomass share and heat production emerging as the most significant factors. (*) CO₂ credit price applies only to the wood chip (WC) system.

Ardissone-Krauss, Wagner, Kammann *Sustainability* (2025)

Chancen und Risiken

Chancen

- **Klimaneutrale Wärme** mit CO₂-Senkeneffekt durch Biochar
- **Kreislaufwirtschaft**: Verwertung biogener Rest- und Abfallstoffe vor Ort
- **Diversifizierte Erlösströme**: Wärme + Biochar + C-Senkenzertifikate + vermiedene Entsorgung
- **Lokale Wertschöpfung**: Regionale Brennstoffnutzung, lokale Arbeitsplätze
→ Resilienz
- **Systemintegration**: Kompatibel mit bestehender Wärmeinfrastruktur
- **Brennstoffflexibilität**: Prinzipiell verschiedene Biomassen verwendbar
- **Compliance**: Beitrag zu kommunalen Klimazielen und EU-Taxonomie

Chancen und Risiken

Risiken

- **Anlagenverfügbarkeit:** bedingt Wirtschaftlichkeit
- **Brennstoffqualität:** Störstoffe, Feuchtigkeit, Versorgungslogistik
- **Hohe CAPEX:** 3-6x höher als konventionelle Wärmeerzeugungsanlagen
- **Unsichere Erlöse:** Biochar- und C-Senke Preise werden sich rasant entwickeln
- **Amortisation:** 8-15 Jahre
- **Fehlende Förderung:** Ausschluss von BAFA-Programmen
- **Rechtsunsicherheit:** Biochar-Verwendung, sich ändernde Anforderungen

Handlungsempfehlung

- Detaillierte Brennstoffpotentialanalyse als Grundlage
- Frühzeitige Einbindung der Genehmigungsbehörden
- Pilotprojekte mit erfahrenen Technologieanbietern
- Individuelle und diversifizierte Erlösmodelle entwickeln (Wärmelieferung im Sommer, Veredlung Biochar, Kompostierung, Senke auf eigenem Gelände...)
- BOT Modell wählen:
 - Build – Operate – Transfer

Für Fragen und weitere Informationen:

Kontakt:

Hochschule Geisenheim

Strategische Hochschulentwicklung
und Nachhaltigkeit

Georg Ardisson-Krauss

Georg.ardissone@hs-gm.de

Tel.: 06722 502 2801



Netzwerk Pflanzenkohle

<https://netzwerk-pflanzenkohle.de/>

German Biochar e.V.

<https://german-biochar.org/>

Förderung und Danksagung

- Gefördert durch das Hessische Ministerium für Wissenschaft und Forschung, Kunst und Kultur



wissenschaft.
hessen.de

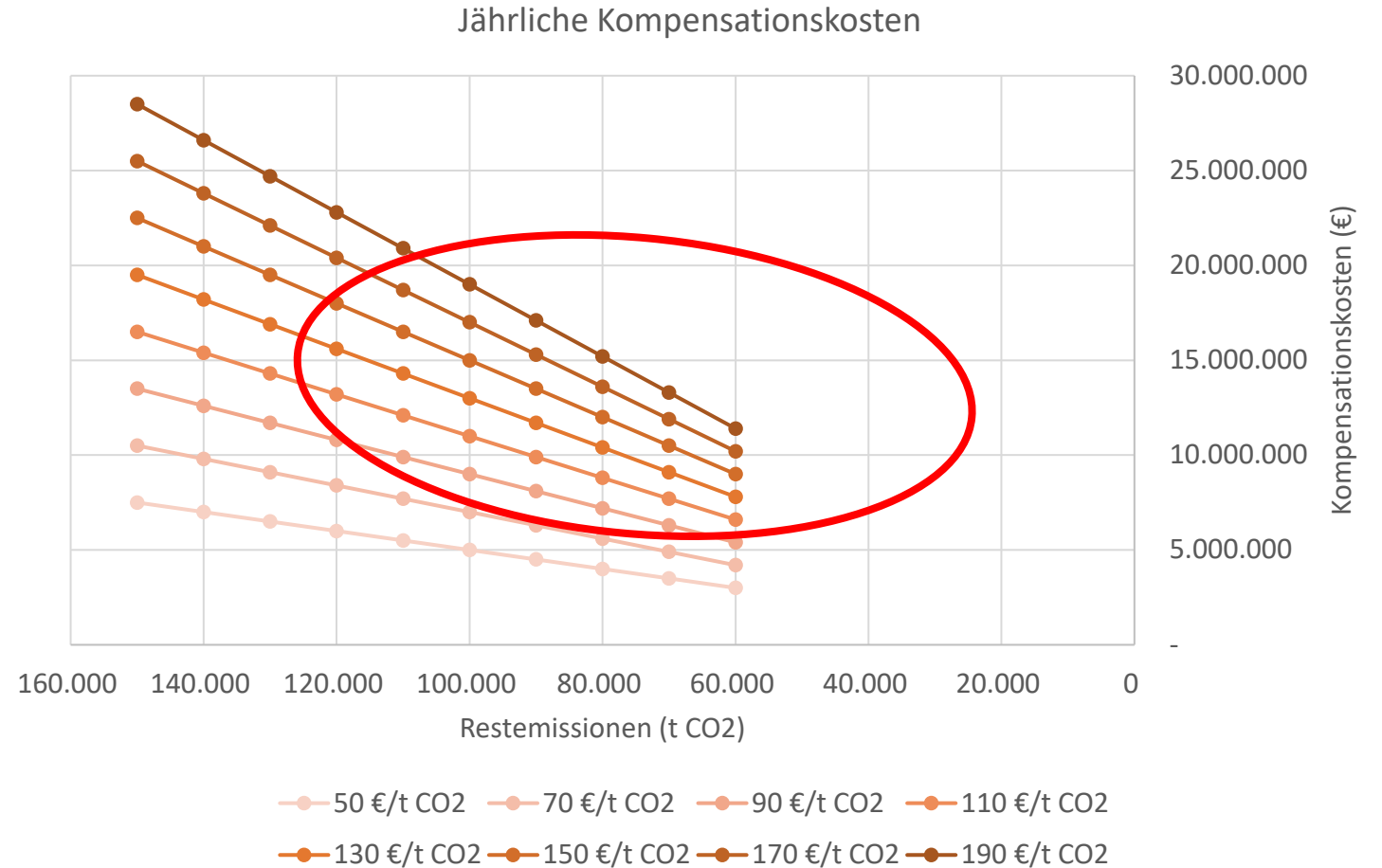
Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Backup Folien

Bedarf auf Landesebene

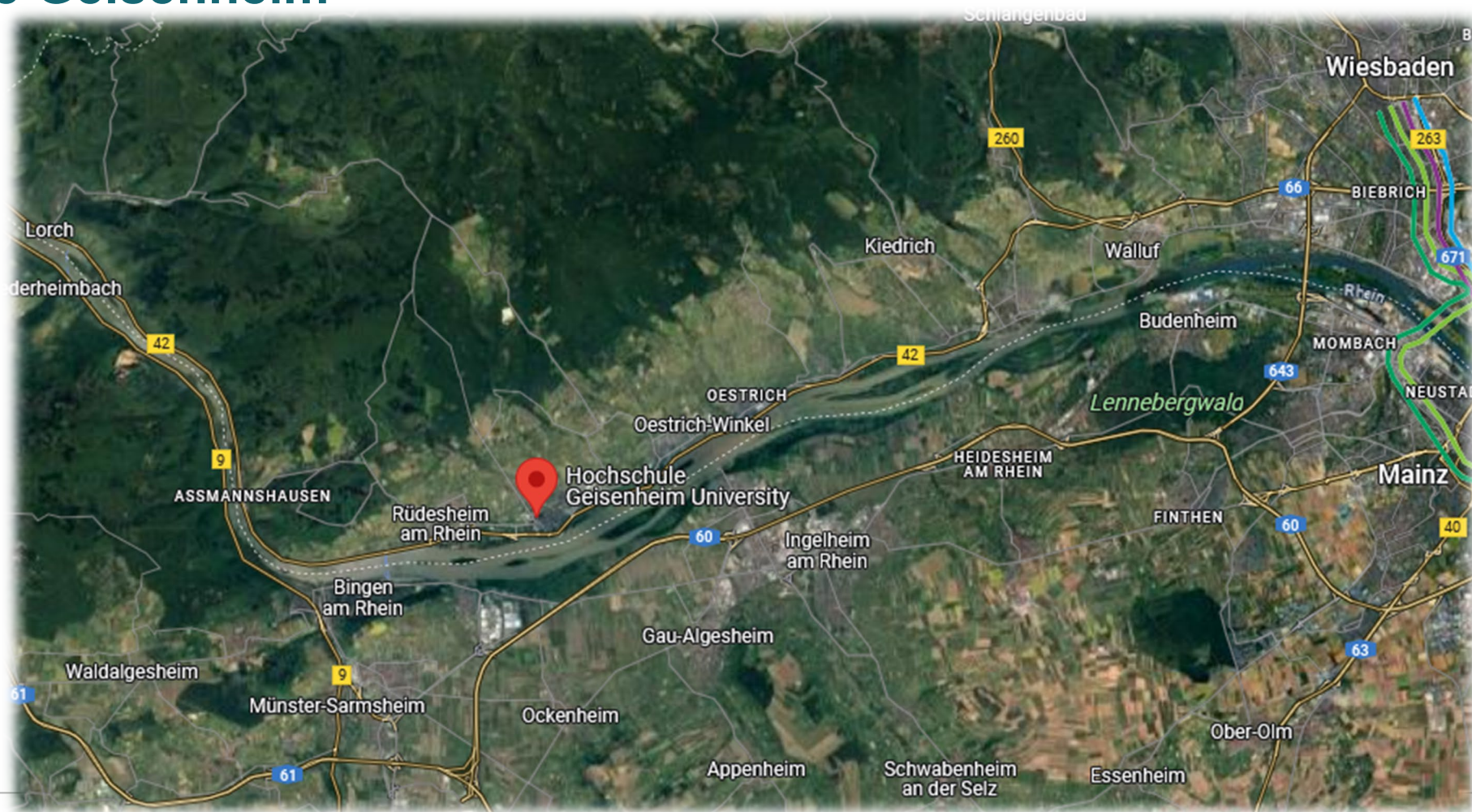
CO2 Kosten ab 2030

Ab 2030 werden nicht vermiedenen Emissionen durch den Zukauf von Zertifikaten kompensiert.



Standort

Hochschule Geisenheim



Pressespiegel

- <https://www.hessenschau.de/politik/land-hessen-setzt-auf-umstrittene-co2-kompensation-und-mustert-e-autos-aus-v1,land-co2-emission-kompensation-100.html>
- <https://www.fr.de/rhein-main/landespolitik/hessen-hinkt-seinem-eigenen-klimaziel-weit-hinterher-92749267.html>
- <https://www.fr.de/rhein-main/landespolitik/verheerendes-signal-hessens-landesregierung-will-weg-vom-elektroauto-93096766.html>