

NEUE ENERGIEN 2020

Publizierbarer Endbericht

Programmsteuerung:

Klima- und Energiefonds

Programmabwicklung:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG)

Endbericht

erstellt am

30/12/2012

TORRLOG

Einbindung torrefizierter Biobrennstoffe in Logistiksysteme unter Berücksichtigung
von Sicherheit und Nachhaltigkeit

Projektnummer: 829833

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Ausschreibung	4. Ausschreibung NEUE ENERGIEN 2020
Projektstart	01.04.2011
Projektende	30.09.2012
Gesamtprojektdauer (in Monaten)	18 Monate
ProjektnehmerIn (Institution)	ofi – Forschungsinstitut für Chemie und Technik
AnsprechpartnerIn	DI Angelika Rubick
Postadresse	Franz Grill Str. 5, 1030 Wien
Telefon	+43 1 7981601 0
Fax	+43 1 7981601 8
E-mail	office @ofi.at
Website	www.ofi.at

TORRLOG

Einbindung torrefizierter Biobrennstoffe in Logistiksysteme unter Berücksichtigung
von Sicherheit und Nachhaltigkeit

AutorInnen:

Angelika Rubick, Martin Englisch, Gabriele Ettenberger (ofi), Michael Wild (Wild & Partner), Bernhard Schmiedinger, Peter-Frank Donauer (IBS), Werner Pölz, Sabine Kranzl (UBA), Karl Dobianer

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis	4
2	Einleitung	5
2.1	Zielsetzungen des Projektes	6
3	Inhaltliche Darstellung	7
3.1	Logistik torrefizierter Biomasse	8
3.1.1	Unterschiedliche Supply Chains	8
3.1.2	Schnittstellen und Übergabepunkte	8
3.1.3	Lagermengen und -zeiträume	10
3.1.4	ökologisch und ökonomisch Bewertung der Transportwege	12
3.2	Sicherheit, Gesundheit und Umwelt	17
3.2.1	Emissionen	19
3.2.2	Partikel und Feinstaub	20
3.2.3	Elution und Ökotoxizität	23
3.2.4	Bioreaktivität	27
3.2.5	Biologische Abbaubarkeit	32
3.2.6	Risikoanalyse - Gefährdungsidentifizierung Gefährdungsbewertung und Ursachenanalyse (Sicherheit, Gesundheit und Umwelt)	34
3.3	Handling, Transport und Lagerung - Brand und Explosionsschutz	38
3.3.1	Normen und Vorschriften	38
3.3.2	Wichtige Kenngrößen Brand- und Explosionsschutz	40
3.3.3	potentielle Gefahren- und Zündquellen sowie Vermeidungsstrategien	41
3.4	Nachhaltigkeit	43
3.4.1	Nachhaltigkeitsworkshops	45
3.4.2	Assessment und Berechnung einer aussagekräftigen Kenngröße	46
4	Ergebnisse und Schlussfolgerungen	49
5	Kontaktdaten	50

2 Einleitung

Seit Mitte 2008 beschäftigt sich ein österreichisches FEI Konsortium rund um die Andritz AG (Polytechnik und Wild & Partner) mit der Entwicklung eines Verfahrens zur thermischen Veredelung von fester Biomasse – dem ACB Prozess (ACB – ACCELERATED CARBONISATION BIOMASS). Das **ofi** trägt als wissenschaftlicher Partner wesentlich zu diesem Vorhaben bei. In den letzten Monaten wurde eine österreichische Pilotanlage am Standort Frohnleiten errichtet, die feierliche Eröffnung fand am 25. Oktober 2012 statt.

Parallel zur Prozessentwicklung haben sich technologiebegleitende Fragestellungen ergeben, die für die nachhaltige Markteinführung, aber auch für weitere Produktoptimierungen essentiell sind. Zusammenfassend können diese Fragen in zwei Themengruppen gegliedert werden, die sich in zwei Forschungsvorhaben des **ofi** widerfinden:

1. Fragen zur Klassifizierung und Standardisierung des neuen Brennstoffs (TORRQUAL)
2. Fragen zur Logistik, Lagerung, Sicherheit und Nachhaltigkeit speziell im internationalen Kontext (TORRLOG)

Die Herausforderung für das Projekt TORRLOG lag in folgenden offenen Punkten:

- Der Schwerpunkt der FEI-Aktivitäten zur Torrefikation von Biomasse lag bis jetzt auf der Technologieentwicklung, technologiebegleitende Rahmenbedingungen sind weitgehend unerforscht, es gibt kaum Literatur.
- Torrefizierter Biobrennstoff besitzt großes Potential als internationales Massenprodukt und muss sich daher in adäquate Logistiksysteme einfügen lassen
- Anders als das fossile Pendant Kohle wird torrefizierter Biobrennstoff zukünftig dezentral erzeugt, jedoch in großen Mengen zentral benötigt
- Es gab keine Untersuchungen zur Toxikologie, zum Expositionsverhalten bzw. zum Brand- und Explosionsschutz von torrefizierter Biomasse bes. im Hinblick auf die Lagerung, das Handling und den Transport
- Da torrefizierter Biomassebrennstoff zukünftig am Weltmarkt gehandelt wird, sind Fragen der Nachhaltigkeit z.B. Herkunftsnachweis, CO₂-Rucksack, und Nahrungsmittelkonkurrenz im internationalen Kontext besonders relevant

2.1 Zielsetzungen des Projektes

Für das gegenständliche Forschungsvorhaben wurden folgende inhaltlichen Ziele definiert:

- Untersuchung und Visualisierung unterschiedlicher Supplychains und Transportwege und Analyse der ökologischen und ökonomischen Feasibility. Identifikation von qualitäts- und sicherheitsrelevanten Schnittstellen entlang der Wertschöpfungskette
- Bewertung der toxikologisch relevanten Eigenschaften
- Identifikation von relevanten Vorschriften und Ableitung der daraus hervorgehenden Vorgaben und Handlungsanweisungen beim Umgang und der Lagerung von torrefizierten Materialien
- Definition von Nachhaltigkeitskriterien und eine ökologische Bewertung
- Ganzheitliche Analyse der Risiken entlang der Wertschöpfungskette
- Disseminierung der Projektergebnisse in relevanten Branchen

3 Inhaltliche Darstellung

Um feststellen zu können ob der Torrefikationsprozess den natürlichen Zustand verbessert oder verschlechtert, wurde zumeist parallel Rohstoff und torrefiziertes Material analysiert. Der Schwerpunkt bei der Auswahl des Probenmaterials lag auf den industriell hergestellten Materialien des ACB-Konsortiums (Andritz AG, Polytechnik Luft- und Feuerungstechnik, Wild & Partner). Für einzelne Untersuchungen wurden zusätzliche Probematerialien heran gezogen. Die verwendeten Proben sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Untersuchte Proben

Probenmaterial	Bezeichnung im Bericht
Rohmaterial Fichte schwach torrefiziert	Probe 1 R
Produkt schwach torrefiziert	Probe 1 P
Rohmaterial Kiefer stark torrefiziert	Probe 2 R
Produkt stark torrefiziert	Probe 2 P
Torrefizierte Pellets Herkunft USA	Probe 3
Erste Versuchscharge ACB vom 9.10.2011 (abgelagert)	Probe 4
Torrefizierte Chips MM Versuch ACB	Probe 5
Pellets Abrieb Herkunft NL	Probe 6
Pellets Herkunft NL	Probe 7
Torrefizierte Hobelspäne Eigenproduktion (280°C/35)	Probe 8
Vierte Versuchscharge ACB vom 10.11.2011 (abgelagert)	Probe 9
Torrefizierte Briketts Versuch Nielson	Probe 10
Torrefizierte Briketts Versuch Ruf	Probe 11

3.1 Logistik torrefizierter Biomasse

3.1.1 Unterschiedliche Supply Chains

Bereits heute werden ein Teil der in Europa und auch Österreich umgesetzten Biomassen über interregionale Supply Chains vom Ursprungsort zu den VerbraucherInnen gebracht. Absehbar ist, dass es in den kommenden Jahren zu einer wesentlichen Zunahme der durchschnittlichen Entfernung zwischen Rohstoffgewinnung (Forst, Energieplantage) und Endverbrauch kommt. Vor allem Großverbraucher wie Kraftwerke und größere Fernwärmesysteme finden einerseits oft lokal nicht ausreichende Volumina an Biomasse, andererseits haben sie aus Risikobeschränkungsgründen zu versuchen, Ihre Brennstoffversorgung aus mehreren, möglichst voneinander unabhängigen Quellen zu beziehen. Eine wesentliche Motivation für die Entwicklung von Torrefikationstechnologien ist die Erwartung, dass der Aufwand für Logistik bei der Bewirtschaftung von Supply Chains, die sich über große Distanzen erstrecken, wesentlich verringert, woraus entweder eine Kostenreduktion pro Energieeinheit oder eine Erweiterung des Einzugsradius resultiert.

Die in diesem Arbeitspaket vorgenommene Definition der Supply Chains zu unterschiedlichen Verbraucherguppen spiegelt diese Erkenntnisse wider. Die Supply Chains für torrefizierte Biomassen haben in dieser Untersuchung ihren vorerst fiktiven Ursprung im Binnenland eines anderen Kontinentes und bedienen sich eines Mix aus unterschiedlichsten Transportmitteln (Hochseeschiff, Flussbarge, Bahn, LKW). Generell wurde die Basiskette so definiert, dass sie alle möglichen Transportmittel beinhaltet und für die Analyse der einzelnen realen Ketten in Schritt 2.4 dann individuell verkürzt werden kann. Zu Beginn des Projektes wurden die potentiellen Endabnehmergruppen analysiert. Die wichtigste Kundengruppe stellen sicher Großabnehmer (Kohlekraftwerke) dar. Die Bewertung der Supply Chains fokussierte sich auf diese Gruppe. Mittlere und kleine Abnehmer (<50kW) spielen in der ersten Phase des Technologie-Rollout eine eher untergeordnete Rolle. Aktuelle Forschungsaktivitäten orientieren sich jedoch auch in diese Richtung, insbesondere um die technischen Voraussetzung für die Verbrennung von torrefizierter Biomasse zu schaffen.

Generell kann festgestellt werden, dass große Teile der Supply Chain für alle Kundengruppen gleich sind, lediglich die tertiären Transportschritte sind verschieden.

3.1.2 Schnittstellen und Übergabepunkte

Es wurde im Rahmen der Schnittstellenanalyse herausgearbeitet, dass entlang der Supply Chains unterschiedliche Qualitäten von Schnittstellen bestehen.

- A. Logistische Schnittstellen bzw. Übergabepunkte unter Kontrolle eines einzigen Unternehmens
- B. Schnittstellen die Übergabepunkte von einem zu einem oder mehreren anderen Unternehmen darstellen
- C. Schnittstellen die Übergabepunkte von einem zu einem anderen Unternehmen unter Einbeziehung von Drittunternehmen darstellen

Ad A)

Hierzu gehören alle Übergabepunkte im Handling des Produzenten innerhalb seiner Produktions- und Lagerstätte. Das Unternehmen ist dafür voll verantwortlich und wird selbständig die entsprechenden Vorkehrungen treffen um Qualitäts- bzw. Quantitätsverlust zu vermeiden bzw. so gering wie möglich zu halten. Sie werden daher nicht weiter analysiert.

Ad B)

Klassisch definiert durch die Inco terms¹ EXW; FCA aber auch im Falle von eigener Transportkapazität des Produzenten DAP, DAT, DDP bis hin zu eventuell FAS oder FOB.

Da torrefizierte Biomasse vorläufig hauptsächlich im industriellen Bereich ihren Einsatz finden wird, kann davon ausgegangen werden, dass keine Kleinmengen übergeben werden. Die Schnittstellen der Großmengen sind geprägt von Lageraufbau und Lagerhaltung bis zum Erreichen der vereinbarten Übergabemenge bzw. des Transportes dieser Übergabemenge durch den Produzenten an den entsprechenden Übergabeort. Obliegt es dabei zwar dem Produzenten wie in A die entsprechenden Vorkehrungen zu treffen um Qualitäts- bzw. Quantitätsverlust zu vermeiden, bestehen durch den Akkumulationsbedarf und den Transport weiter Möglichkeit zur Schadensverursachung. Aus diesem Grund wird es seitens der Käufer Kondition sein, eine Bewertung der Ware am Übergangsort, also nach allen vorgelagerten Schritten im Bereich des Produzenten durchführen zu lassen. Siehe dazu Surveyors unter C).

Ad C)

Diese Variante ist die wohl am häufigsten zu erwartende Art der Übergabe von torrefiziertem Material zwischen den Marktakteuren. Der Produzent wird mit dem Abnehmer einen Vertrag auf Basis FOB oder CIF abschließen. In beiden Fällen muss sich der Produzent einer Anzahl von Subunternehmern bedienen. Diese sind lokale Transporteuer und Eisenbahnen, Lagerhalter in Häfen und Verloader (stevedores) sowie im Falle der CIF Verträge auch Schiffseigner bzw. Disponent Owners.

Schnittstellen und Verantwortung sind hier jeweils in den INCO terms ausreichend genau definiert und auf Grund der hohen Akzeptanz dieser Vorschriften im Markt auch international im Verständnis. Die Kenntnis und Befolgung alleine hilft jedoch nicht Gefahren der Beschädigung der Ware bzw. des Mengenverlustes zu verhindern. Es wird zusätzlich einer sehr umfangreichen Informationstätigkeit bedürfen um alle an diesen Schnittpunkten eingebundenen Unternehmen und deren Personal entsprechend auf den Umgang mit torrefizierter Biomasse zu schulen. Dabei wird natürlich Gefahrenvermeidung im Vordergrund stehen, die Basis dazu wurde in den nachfolgenden Arbeitspaketen von TORRLOG erarbeitet. Wesentlich wird zusätzlich die jeweilige Qualitäts- und Quantitätsbestimmung an diesen Schnittstellen sein, dazu liefern u.A. Ergebnisse aus TORRQUAL die Voraussetzung.

In diesem System ist das Feld der unabhängigen Surveyor sehr gebräuchlich wie z.B. SGS, Control Union, Intertek um nur einige zu nennen. Grundlage ihrer Arbeit ist die Anerkennung ihrer

¹ INCOTERMS 2010, International Chamber of Trade and Commerce, Paris





Unabhängigkeit von beiden Parteien. Wie bei allen anderen commodities bedarf es einer Spezialisierung der Gutachter und der nachgeschalteten Labors, welche die Qualitätsanalysen vornehmen.

Im Rahmen des Projektes ist zusätzlicher Bedarf an Information und Training lokalisiert worden. Interviews² mit SGS Geneva und Peterson Control zeigten klar auf, dass diese zwar bereits in Vorbereitung auf die sich abzeichnende neue commodity sind, ihnen aber noch wesentliche Informationen zum Material und dem Umgang mit ihm fehlen. Peterson Control errichtet zurzeit in Alabama ein neues Labor, das sich auf die Analyse von Holzpellets und in Folge auch torrefizierten Pellets spezialisieren soll.

3.1.3 Lagermengen und -zeiträume

Entlang der Versorgungsketten kommt es an multiplen Orten zu Lager bzw. Zwischenlagerbedarf. Waren müssen umgeschlagen, akkumuliert bzw. aufgeteilt werden. Torrefiziertes Material stellt andere Anforderungen an Lager, als dies zum Beispiel Holzhackgut oder Holzpellets tun. Obwohl in großen Volumina derzeit noch nicht nachgewiesen, wurde im Rahmen dieser Untersuchung davon ausgegangen, dass torrefizierte, verdichtete Biomasse in Form von Pellets oder Briketts wasserbeständig ist und damit nicht zwangsläufig entlang der gesamten Supply Chain der Kontakt mit Wasser unbedingt unterbunden werden muss, wie es im Fall von herkömmlichen Holzpellets unbedingt erforderlich ist. Diese herausstechende Eigenschaft von torrefizierter Biomasse, ermöglicht es unter Umständen, die Ware im Freien auf bestehenden Kohlelagerplätzen zu lagern. Gemeinsam mit der möglichen Lagerhöhe und der selbstaufbauenden Lagergeometrie, wenn diese nicht durch Gebäude vorgegeben ist, sind das die bedeutenden Einflussfaktoren auf Lagerfläche und Lagerkosten.

² (FN2) Interview Luis Widmer, SGS Geneva, London 19. April 2012, Interview Ger Ostermeijer, Peterson Control, Brüssel, 23. Februar 2012

Storage Type	Cross Section	Cross Sectional Area (CSA)	Volume
Open Trapezoid		$CSA = hb - \frac{h^2}{\tan(R)}$ Where: $b \geq \frac{2h}{\tan(R)}$ When $b = \frac{2h}{\tan(R)}$, the pile cross section is triangular	$Volume = L \times CSA$
Open Walled		$b = \frac{2(h-w)}{\tan(R)}$	$Volume = L \times CSA$
Closed Walled		$CSA = bw + \frac{b(h-w)}{2}$	
Silo / Dome		Basic flat bottom silo Volume of cylinder section, $V_s = \frac{\pi d^2 h}{4} - \frac{d \tan R}{2}$ Volume of cone section, $V_c = \frac{1}{3} \times \frac{\pi d^2}{4} \times \frac{d \tan R}{2}$ Total Volume, $V = V_s + V_c$ Note: for domes the calculation becomes more complex due to curving top section.	

Where: b = base width
h = maximum height of stock pile (to apex where triangular/conical)
w = retaining wall height
d = diameter of silo
R = angle of repose of the fuel
L = length of stock pile

Abbildung 1: Berechnung von Lagervolumen; Quelle: The supply chain economics of biomass torrefaction, Hawkins Wright

Die sich bildenden Lager-Schüttwinkel sind von entscheidendem Einfluss auf die Lagerfläche und das jeweilige in einen geometrischen Raum füllbare Volumen. Versuche im Rahmen des Projektes haben hier für torrefizierte Pellets und Briketts keinen signifikanten Unterschied zu Holzpellets und –briketts nachgewiesen. Daher ist davon auszugehen, dass sich ein Schüttwinkel von etwa 30° ergeben wird. Das ist wesentlich niedriger als zum Beispiel bei Hackgut, wo mit etwa 45 ° kalkuliert wird und zum Beispiel bei Palmkernschalen, bei denen man von bis zu 60° ausgehen kann.

Wesentlicher Bestandteil der sich abzeichnenden transkontinentalen Supply Chains wird der Schiffstransport sein. Die in diesem Sektor klar herrschenden economies of scale werden dazu führen, dass möglichst große Schiffsklassen (Panmax Klasse ca. 60.000 mt) eingesetzt werden. Coasters mit 28.000 mt Ladevolumen werden höchstens im Transport in und um Europa eingesetzt werden. Im interkontinentalen Transport wird die untere Schiffsgröße Handmax (25-30.000 mt) vorrangig sein. Große Ladevolumina setzen natürlich einen entsprechenden Lageraufbau in den Verschiffungshäfen genauso wie in den Entladehäfen voraus, da kein lokales Transportsystem die Geschwindigkeit der Lade- bzw. Entladesysteme der Schiffe widerspiegeln kann.

Das hat zur Folge, dass die Grundvoraussetzung zum Aufbau transkontinentaler Supply Chains der Aufbau entsprechender Lagerkapazitäten in den Häfen (Ver- und Entladung) ist. Zurzeit sind solche Aktivitäten in ARA – Amsterdam-Rotterdam-Antwerpen – aber auch in einigen US Häfen (Savannah, Brunswick, Mobile) zu beobachten. Interessanterweise setzt New Orleans auf floating storage, das heißt alle Produzenten entlang des Mississippi können Barges mit 500 bis 2000 mt beladen und diese nach New Orleans im Bargeverband transportieren. Dort werden sie „geparkt“ und warten solange bis genügend Barges vorhanden sind um einen Oceancarrier zu beladen. Beladung erfolgt jeweils direkt aus den Barges. Durch den Wegfall eines Handlingschrittes, minimiert diese Variante das Risiko der Beschädigung und des Mengenverlustes wesentlich.

3.1.4 ökologisch und ökonomisch Bewertung der Transportwege

Europa ist gegenwärtig das Ziel aller internationalen Biomasseströme für energetische Nutzung (siehe z.B. reports von Pöyry oder der IEA). Insofern ist es interessant, die Supply Chains konkret an Hand von Beispielen des Transportes aus Übersee nach Europa zu betrachten in den Rotterdam und angrenzende Häfen (ARA) bezeichnet. Diese Häfen haben sich in den letzten Jahren zur zentralen Umschlagstelle für Holzpellets für Kontinentaleuropa etabliert, nicht anders als bei den meisten anderen commodities.

Im Rahmen des Projektes wurden die Kosten der Supply Chains von Holzpellets und Pellets aus torrefizierter Biomasse gegenüber gestellt. Daten der torrefizierten Pellets basieren auf ACB Material. Zur weiteren Illustration wurden, wo Holzhackgut dieselbe Infrastruktur nutzen würde, auch Kosten dieses Gutes zum Vergleich hinzugefügt.

Die erhöhte Energiedichte pro Ladekubikmeter von ACB im Vergleich zu Holzpellets führt bereits beim Hauptkostenfaktor einer transkontinentalen Versorgungskette zu wesentlichen ökonomischen Einsparungen. Abhängig von tatsächlich umgesetztem Torrefikationsgrad und erzielter Schüttdichte ergeben sich Einsparungen von 0,6 bis 1 US\$/GJ oder 12 bis 21 US\$ pro metrischer Tonne. Angeführt sei hier, dass die erzielte Dichte der torrefizierten Biomasse bei mittlerweile 1300 kg/m³ liegt woraus Schüttdichten von 700 und mehr kg pro m³ resultieren. Aus geometrischen Bedingungen heraus ist ein Schüttdichteunterschied zwischen Pellets und Briketts nicht zu erwarten.

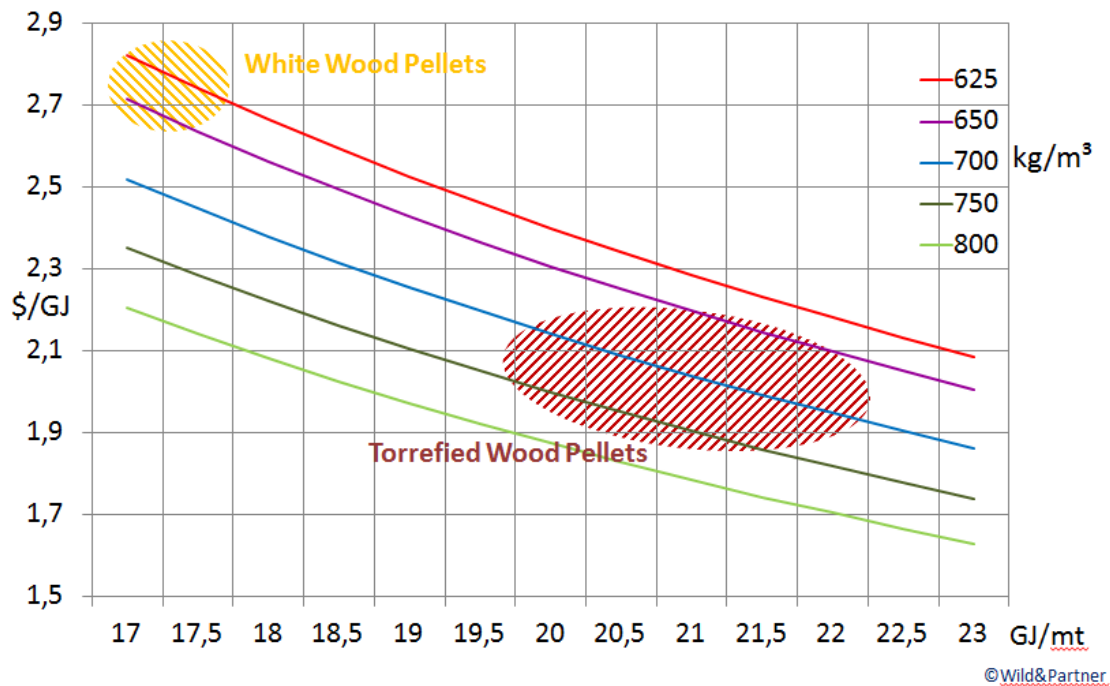


Abbildung 2: Einfluss der Schüttdichte auf die Transportkosten; Kosten des Schiffstransportes vom US Golf nach ARA

Die Erhöhung der Energiedichte führt nicht nur zu ökonomischen Vorteile sondern senkt den Carbon Footprint des Transportes der Biomasse nahezu linear zur Heizwertsteigerung pro Schüttraummeter. Dies natürlich nicht nur im Schiffstransport sondern entlang der gesamten im Folgenden analysierten Supply Chain. Wo immer Kosteneinsparungen dargestellt sind oder reduzierte Empfindlichkeit auf Kosten Änderungen gilt dies proportional als ökologischer Vorteil.

Wesentlich neben den absoluten Kosten ist auch die Sensitivität der Supply Chain gegen Änderungen einzelner, teilweise durch den Aufbau der Kette, teilweise durch von außen bestimmter Kostenfaktoren. Die höhere Energiedichte pro Schüttraummeter macht ACB oder torrefizierte Biomasse generell mehr resistent gegen Kostenänderungen.

Dies beginnt bereits beim Einfluss der Entfernung des Standortes der Produktion zum Verschiffungshafen. Durch Torrefikation der Biomasse und resultierende Erhöhung der Energiedichte ist der Einfluss der durch Vortransport überbrückten Entfernung wesentlich reduziert. Das bedeutet im Umkehrschluss eine proportionale Erweiterung des Einzugsradius und damit Erhöhung des Versorgungspotentiales für Verbraucher.

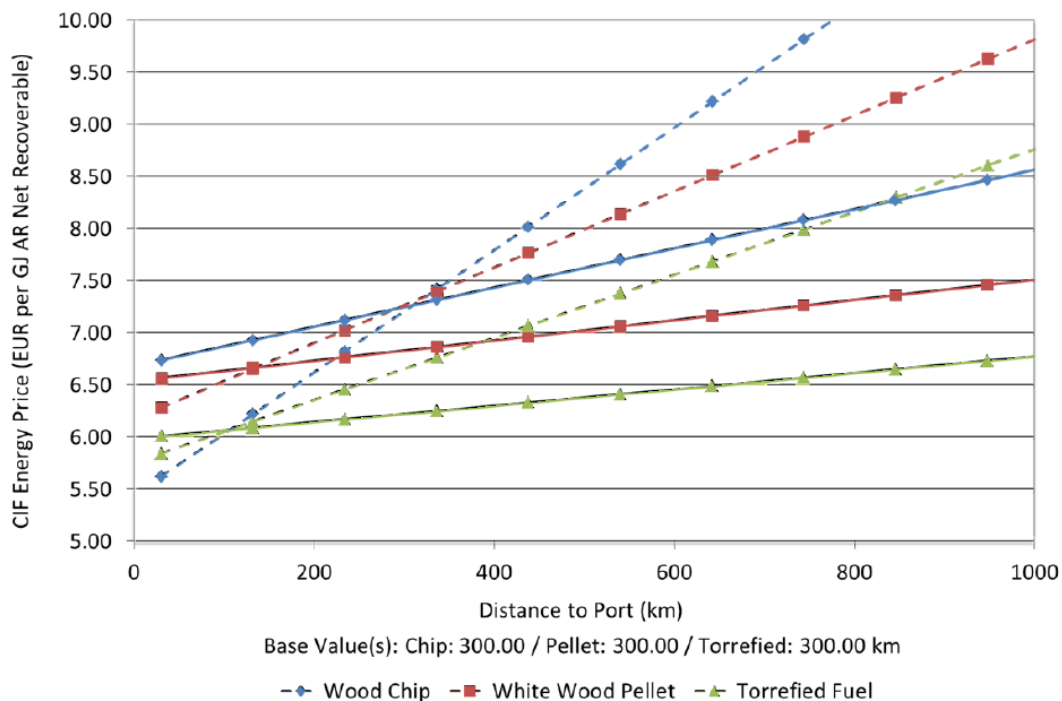


Abbildung 3: Sensitivitätsvergleich hinsichtlich Entfernung der Verarbeitungsstätte zum Verschiffungshafen; Truck – dashed line; Train – solid line; Source: The supply chain economics of biomass torrefaction, Hawkins Wright

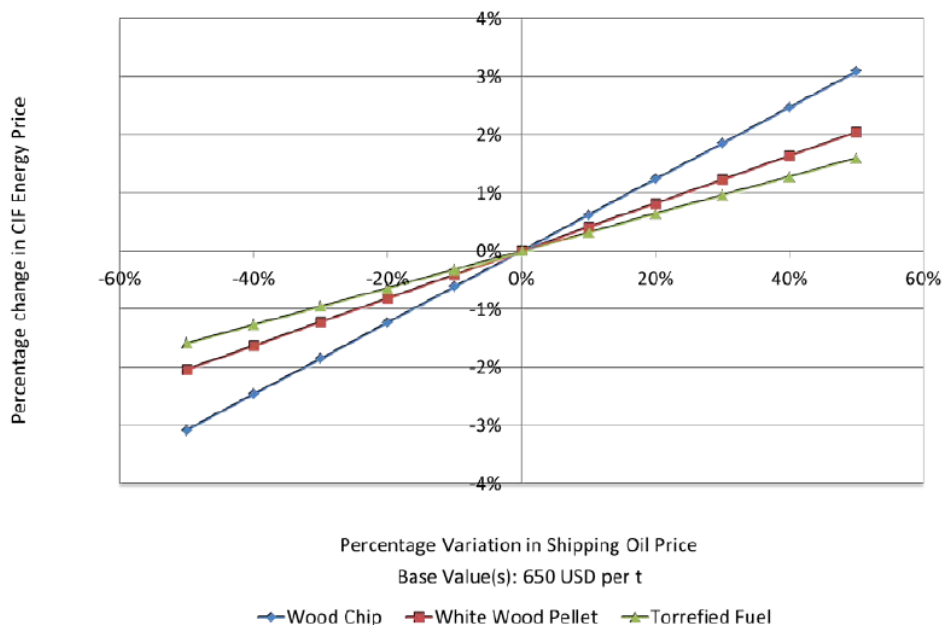


Abbildung 4: Sensitivitätsvergleich gegenüber Schiffstreibstoffkosten

Auch der Einfluss der sich ständig entsprechend den Marktgegebenheiten ändernden Schiffkosten, dargestellt anhand des Kostenfaktors Schiffstreibstoff und der Tagescharterrate, sinkt wesentlich. Ein Faktor der nicht nur ökonomische und ökologische Auswirkungen hat sondern auch ein wesentlicher Erfolgsfaktor in langfristigen Versorgungsverträgen sein wird. Je geringer die zu erwartenden

Kostenänderungen über die Zeit, umso geringer das Risiko des Vertragsbruches durch eine der Parteien.

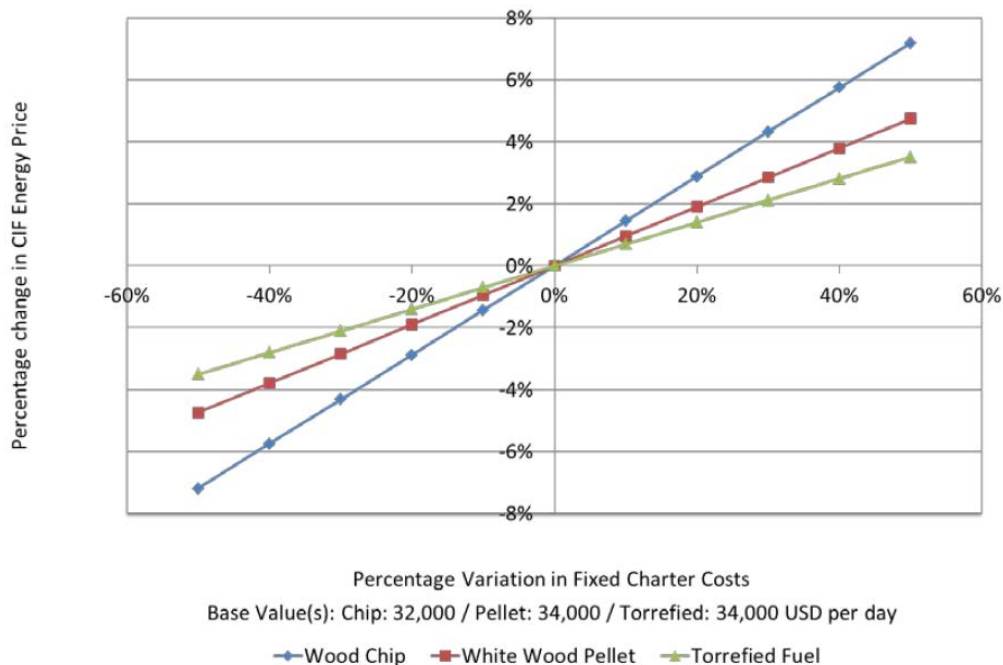


Abbildung 5: Sensitivität gegenüber Änderung der Tagesrate (daily charter rate) Source: The supply chain economics of biomass torrefaction, Hawkins Wright

Die potentiell möglichen Kosteneinsparungen, die proportional zur reduzierten ökologischen Auswirkung entlang einer kompletten Supply Chain ist, wurden berechnet und im Folgenden dargestellt. Als Beispiel wurde der zusammengesetzte Transport von einem fiktiven Produzenten im Südosten der USA nach Rotterdam mit nachgelagertem Tertiär-Transport zum Kraftwerk samt aller Umschlags und Lagerkosten gewählt.

Da der Großteil der Kosten in US\$ anfällt ist hier zum Zwecke der Vermeidung der Verfälschung der Ergebnisse durch Wechselkurse die US\$ Basis beibehalten worden.

Tabelle 2: Beispiel Kostenreduktion torrefizierte Pellets versus weiße Pellets von Südost USA nach ARA

	secondary transport	storage	loading	shipping	un/reloading	tertiary transport	unloading	Total
typical costs US\$	15	2	5	40	5	15	2	84
savings %	(23%)	23%	23%	37%	23%	37%	23%	28%
savings US\$	0	0,46	1,15	14,8	1,15	5,55	0,46	23,57

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Die Verbesserungen in Ökonomischer und Ökologischer Sicht resultieren vor allem aus der Erhöhung der Energiedicht pro Laderaumeinheit. Bei konstantem Betriebsmittelverbrauch der einzelnen Transportmittel ergibt sich dadurch eine linear proportionale Reduktion pro transportierter Energieeinheit.

Setzt man all dies in eine Vollkostenrechnung entlang der gesamten Value Chain erzielt torrefizierte Biomasse vor allem auf Grund der eklatanten Vorteile im Bereich der Supply Chain einen klaren Vorteil. Daraus wird auch klar, dass etwaige Mehrkosten der Anlagen sowohl was Kapitalkosten als auch Betriebskosten betrifft maximal die Höhe der erzielbaren Einsparungen entlang der Supply Chain betragen sollten.

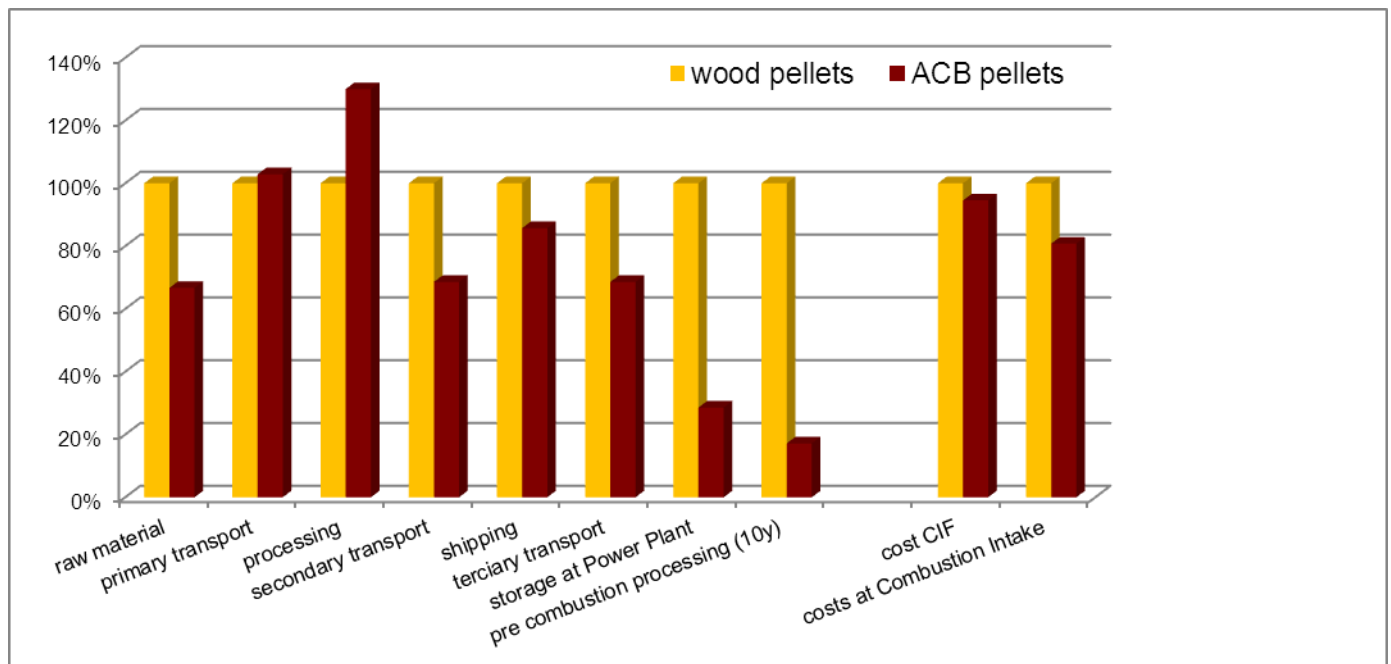


Abbildung 6: Vergleich der Vollkosten von Holzpellets und torrefizierten Pellets unter Berücksichtigung der gesamten Supply Chain und auftretender Kosten

3.2 Sicherheit, Gesundheit und Umwelt

Ziel der Untersuchungen war eine Klärung der Frage, ob der Torrefikationsprozess die Eigenschaften des Rohmaterials verbessert oder verschlechtert. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf die Betrachtung des gesamten Lebenszyklus des zukünftigen Produktes gelegt. Folgende Prozessschritte wurden analysiert: Röstung, Lagerung, Handling, Transport, Verbrennung, Lagerung Windverfrachtung, Unfälle: Röstung Brand/Explosion, Lagerung-Handling-Transport Brand/Explosion, Lagerung Überschwemmung, Transportunfall Meer, Transportunfall Land.

Tabelle 3: Beispiel Betrachtung als Funktion der Prozessschritte

Prozess	Input	Output
Handling	torrefizierte Biomasse	Staub > PM10
		PM10
		Nanopartikel
		Ausgasungen
		Eluate mit Schweiß
		Eluate mit Speichel
		Eluate mit Magensaft
Transport	torrefizierte Biomasse	Staub > PM10
		PM10
		Nanopartikel
		Ausgasungen
		Eluate mit Regenwasser
		Eluate mit Meerwasser

Entsprechend dem potentiellen Expositionsszenario wurden unterschiedliche Materialzustände identifiziert, die in die Umwelt gelangen könnten. Die Aufstellung dieser Szenarien beinhaltete neben dem torrefizierten Material im stückigen Zustand, auch staubförmige Partikel und Eluate mit unterschiedlichen Eluationsmedien: Regen-, Süß- und Meerwasser, Schweiß, Speichel und Magensaft. Ziel war es, die im Fall einer Exposition betroffene Umwelt (Spezies, Organ) zu definieren. Im Rahmen des Assessment, unter Berücksichtigung der ersten vorliegenden Ergebnisse der Analysen des Eluats mit Regenwasser, wurde bewusst die mögliche Elution mit Diesel oder Benzin (z.B. bei einem Transportunfall) ausgeklammert, da z.B. beim Hautkontakt mit diesem Eluat die Beeinträchtigung durch das Eluationsmedium Treibstoff größere negative Auswirkungen auf den Organismus hat, als der Beitrag des torrefizierten Materials verursachen würde.

Tabelle 4: Beispiel Materialien

Material	betroffene Spezies/Bereich	betroffene Organe/Medien
Staub > PM10 PM10 Nanopartikel	Mensch - Arbeiter Mensch - Anrainer Säugetiere Vögel	Lunge und Atemwege Augen und Schleimhäute Haut oral
	Fische Sonstige aquat. Organismen	Wasser
Eluate mit Schweiß Eluate mit Speichel Eluate mit Magensaft	Mensch - Arbeiter Mensch - Anrainer Säugetiere Vögel	Augen und Schleimhäute Haut oral oral
Eluate mit Regenwasser Eluate mit Süßwasser Eluate mit Meerwasser	Fische Sonstige aquat. Organismen	Wasser
Eluate mit Benzin	Mensch - Arbeiter	Haut
Eluate mit Diesel	Säugetiere Vögel	oral
	Fische Sonstige aquat. Organ	Wasser

Basierend auf den ersten Ergebnissen des Assessments wurden umfangreiche qualitative und quantitative chemische Analysen durchgeführt. Diese sind im Folgenden zusammengefasst.

Tabelle 5: Prüfverfahren Human- und Ökotoxikologie

Material	Parameter	Prüfverfahren
fest		
Probe (Vergleich Hackgut)	chem. Zusammensetzung	IC, RFA
Probe (Vergleich Hackgut)	Biol. Abbaubarkeit	Mikro-Halde unter simulierten Freiland-Lagerungsbedingungen
Probe (Vergleich Hackgut)	Ubiquitäre Pilze	ÖNORM EN ISO 846:1997
Staub	Luftkonzentration	Grimm-Partikelzähler
Staub	Größenverteilung	Laserbeugung Trockenmessung
Staub	Form	REM
Staub	aktive Oberfläche	BET DIN ISO 9277
flüssig		

Eluate mit Regenwasser, Süßwasser, Meerwasser, Speichel, Magensaft	chemische Zusammensetzung	IC, Twister, GC
Eluate mit Süßwasser	Fische akute Toxizität	DIN 38412 (L31)
Eluate mit Süßwasser	Algenwachstum	ISO 8692 bzw. OECD 201
Eluate mit Süßwasser	Daphnien Schwimmfähigkeit	OECD 202 bzw. DIN 38412 L30
Eluate mit Schweiß/Speichel	Augenirritation	HET-CAM
Eluate mit Schweiß/Speichel	Hautreizung	EpiDerm
Eluate mit Schweiß/Speichel	Zytotoxizität	EN ISO 10993
gasförmig		
	chem. Zusammensetzung	FLEC-Zelle - Tenax

3.2.1 Emissionen

Emissionen (gasförmige Produkte und Staub) in die Umwelt können bei folgenden Prozessen entstehen:

- Produktion des torrefizierten Brennstoffs
- Verbrennung
- Lagerung und Logistik

Emissionen, die während der Produktion entstehen, werden im ACB-Prozess und vergleichbaren Industrieprozessen für die Energiegewinnung eingesetzt. Durch die thermische Verwertung und adäquater Abgasreinigung der Industrieprozesse sind die Emissionen vergleichbar wie bei der Produktion von Holzpellets und werden daher nicht weiter betrachtet.

Beim Verbrennungsprozess nach Stand der Technik sind ebenfalls keine höheren Schadstoffemissionen als bei der Verbrennung von Holz bzw. Kohle zu erwarten.

Jene Emissionen (Ausgasungen), die direkt aus der torrefizierten Biomasse während der Lagerung entweichen, beeinflussen den Menschen bzw. die Umwelt direkt und sind bis jetzt unbekannt und werden in der Folge betrachtet.

Zur Analyse dieser gasförmigen Substanzen wurde eine FLEC-Zelle eingesetzt. Dieses Verfahren kommt zur zerstörungsfreien Messung von Emissionen aus unterschiedlichen Oberflächen und zur Bestimmung von Schadstoffen in der Innenraumluft zum Einsatz. Für das TORRLOG Projekt erfolgte die Bestimmung in Anlehnung an ON EN 13419-2 bzw. ISO16000-10. Das Probematerial wurde in die Messkammer eingebracht bei zwei definierten Temperaturen (Raumtemperatur und 40°C) mit einem reinen, angefeuchteten Luftstrom (synthetische Luft) mit konstantem Durchfluss über eine definierte Zeitspanne umströmt für (1 Stunde; Durchfluss von 100 ml/min). Im Anschluss erfolgte die Adsorption

der flüchtigen Verbindungen an Tenax-Röhrchen und die qualitative Bestimmung der Substanzen. Obwohl die Proben im Vergleich zu herkömmlicher Biomasse einen geringen Feuchtegehalt aufwiesen (zwischen 5% und 7%), beeinträchtigte die vorhandene Feuchte die Adsorption erheblich. Aus diesem Grund wurden alle Proben direkt vor der Analyse bei 70°C für 30 Minuten getrocknet.

Analysiert wurden Probe 1R, 1P, 2R und 2P.

Tabelle 6: Emission flüchtiger Verbindungen aus der Analyse FLEC-Zelle/Tenax – Vergleich der Veränderung durch Torrefikation von Fichte und Kiefer (für Raumtemperatur und 40°C)

	Fichte – schwach torrefiziert		Kiefer – stark torrefiziert	
	RT	40 °C	RT	40 °C
Substanz				
.alpha.-Muurolene		reduziert		
.alpha.-Pinene		reduziert		
.beta.-Myrcene		reduziert		
1,4-Methanoazulene, decahydro-4,8,8-trimethyl-9-methylene-, [1S-(1.alpha.,3a.beta.,4.alpha.,8a.beta.)]		reduziert		
1-Hydroxy-2-butanone			reduziert	erhöht
2-ethyl-1-Hexanol		reduziert		
2-Propanol, 1-(2-methoxypropoxy)-		erhöht	erhöht	
Acetic acid	erhöht	erhöht	erhöht	erhöht
Acetic acid, hydroxy-, methyl ester			erhöht	erhöht
Camphene		reduziert		
Cyclohexanol, 5-methyl-2-(1-methylethyl)	reduziert			
Decanal			reduziert	
Furfural			erhöht	erhöht
Heptanal				reduziert
Hexanal	reduziert	reduziert	reduziert	reduziert
Limonene		reduziert		
Nonanal	reduziert		reduziert	
Octanal		erhöht		reduziert
Octanoic acid			reduziert	
Pentanal	reduziert		erhöht	erhöht
Propanoic acid				erhöht
Toluol		reduziert		

3.2.2 Partikel und Feinstaub

Bei der Bestimmung der Staubbelastung durch torrefiziertes Material wurde ein möglichst realistisches Szenario gewählt. Während einer Versuchskampagne in der ACB Pilotanlage in Frohnleiten wurde ein mobiler Grimm-Partikelzähler an einer Stelle in der Anlage aufgestellt, an der die höchste Staubbelastung zu erwarten war. Ausgewählt wurde der Auswurf des Produktes nach dem

Torrefikationsreaktor, siehe Abbildung 1. Die zwei durchgeführten Messkampagnen fanden am 10.09.2012 statt. Diese Analysen erfolgten in Zusammenarbeit mit der NUA-Umweltanalytik.



Abbildung 7: Big Bag Abfüllstelle, daneben Staub-Emissionsmessung

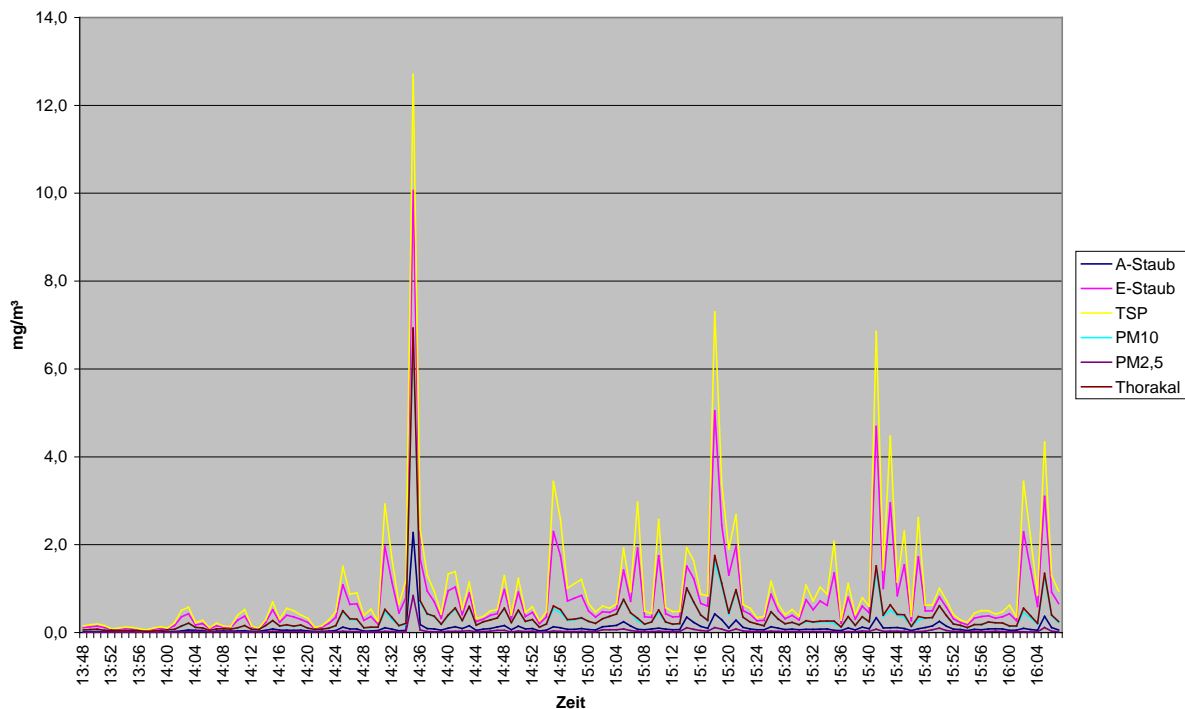


Abbildung 8 Staubentwicklung Situation A: A-Staub...alveolengängiger Staub, E-Staub...einatembare Staub, TSP...Gesamtstaub in der Luft, PM10... Partikel kleiner 10 µm, PM2,5...Partikel kleiner 2,5 µm, Thorakal...Fraktion, die in und oberhalb der Bronchien deponiert wird

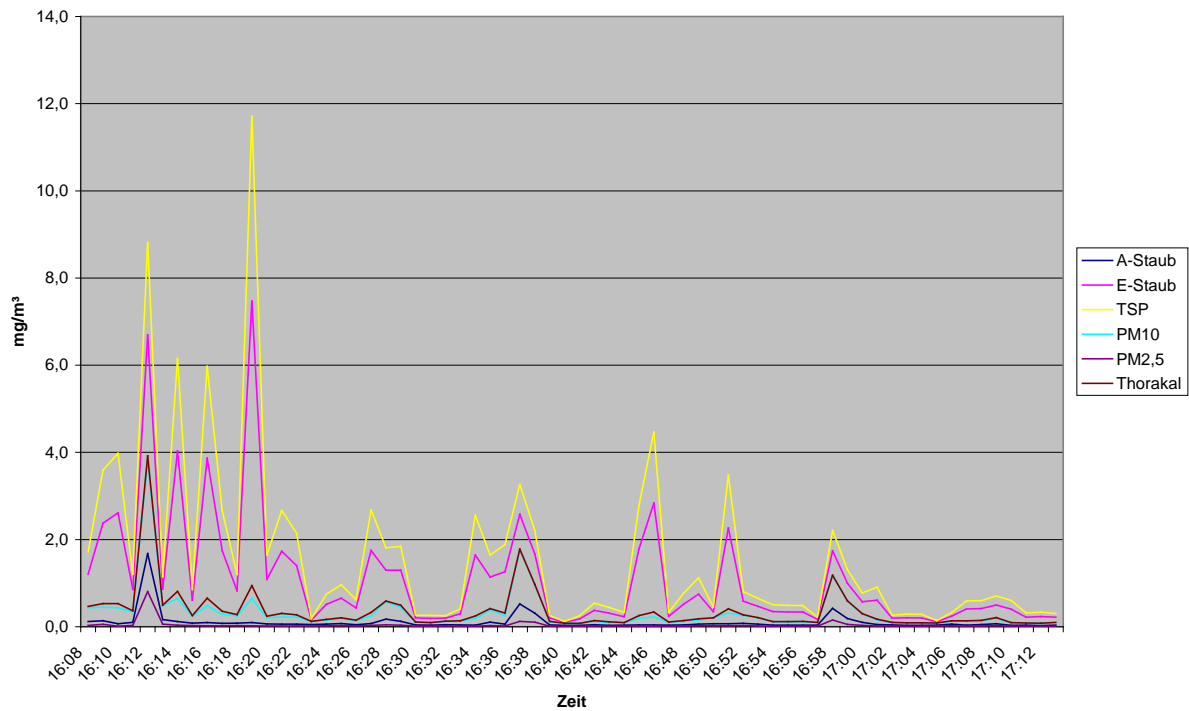


Abbildung 9 Staubentwicklung Situation B: A-Staub...alveolengängiger Staub, E-Staub...einatembare Staub, TSP...Gesamtstaub in der Luft, PM10... Partikel kleiner 10 µm, PM2,5...Partikel kleiner 2,5 µm, Thorakal...Fraktion, die in und oberhalb der Bronchien deponiert wird

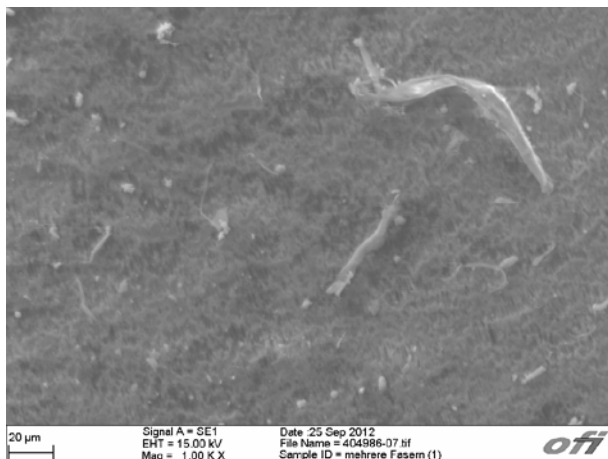


Abbildung 10: Faser 30 µm

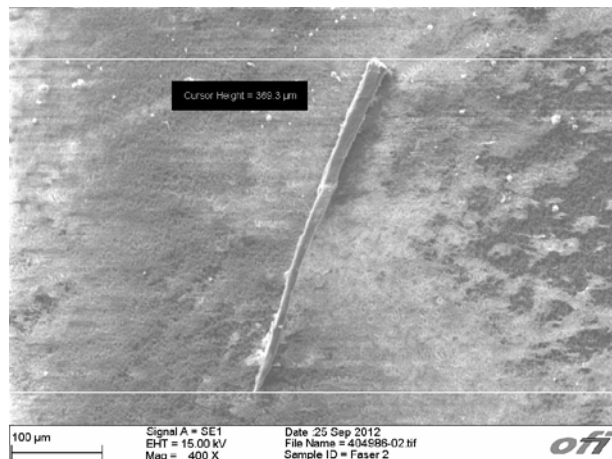


Abbildung 11: Faser 350 µm

Im Anschluss wurden die aufgefangenen Staubfraktionen mittels Rasterelektronenmikroskop untersucht. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf das Vorhandensein von Fasern gelegt. Das Ergebnis zeigte 2 Arten von Fasern, größere >150 µm und kleinere <30 µm. Alle Fasern waren organisch (Elementbild: Kohlenstoff und Sauerstoff).

Die Korngrößenverteilung innerhalb des Feinanteils wurde mittels Laserbeugung bestimmt. Ein Laserstrahl wird in ein Partikelkollektiv gestrahlt, diese Partikel werden in einem durchsichtigen Medium (flüssig, gasförmig) verteilt. Die Partikel beugen das Licht, wobei kleine Partikel das Licht in größeren Winkel streuen, große Partikel in kleinen Winkeln, allerdings mit hoher Intensität. Das gestreute Licht wird durch eine Anzahl von räumlich angeordneten Photodetektoren gemessen, die in verschiedenen Winkeln und Entfernungen angeordnet sind. Das somit erzeugte, gesamte, statische Beugungsbild der Probe wird zur Analyse der Größe und der Verteilung der Partikel genutzt. Grundlage ist die ISO 13320.

Analysiert wurde Probe 1P. Diese Analysen erfolgten in Zusammenarbeit mit der Prager Elektronik GesmbH.

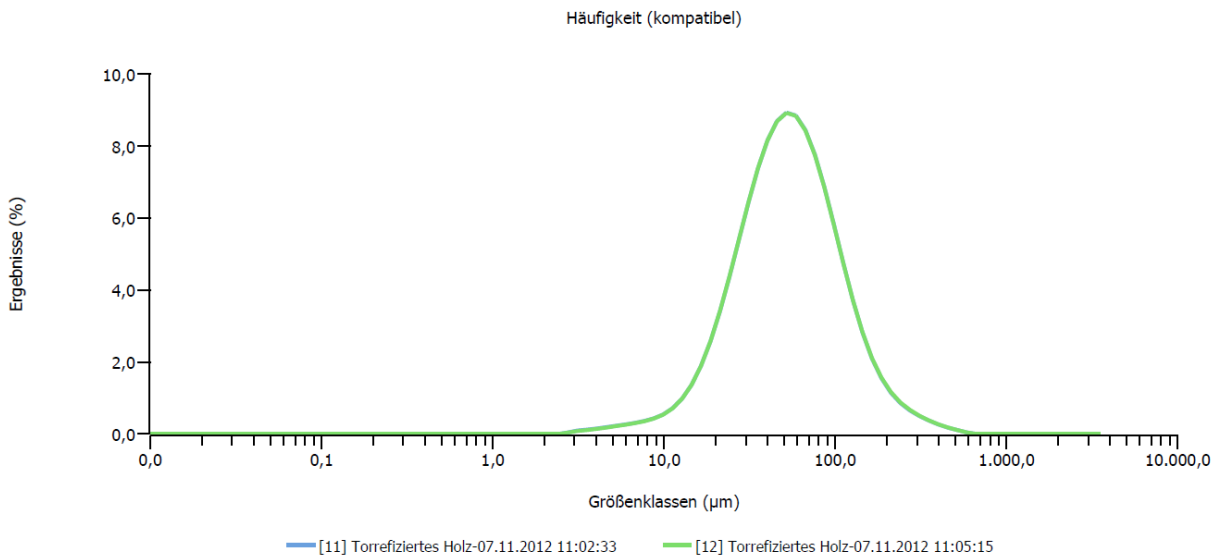


Abbildung 12: Korngrößenverteilung des Staubes bestimmt mit Laserbeugung

3.2.3 Elution und Ökotoxizität

Bei der Lagerung besteht die Möglichkeit, dass lösliche Inhaltsstoffe in die Umwelt gelangen. Ebenso könnte dieses Produkt bei Hautkontakt durch Schweiß eluiert werden, wodurch diese Stoffe dann in den Körper gelangen können. Eine dritte Möglichkeit ist die unvermeidbare orale Aufnahme bei staubhaltiger Luft. Für diese Szenarien wurden unter Anwendung verschiedener Elutionsmedien, die eluierbaren Stoffe mit toxikologischer Relevanz mittels unterschiedlicher Analyseverfahren untersucht.

BET-Oberfläche

Die Bestimmung der spezifischen Oberfläche erfolgte durch Gasadsorption nach dem BET-Verfahren (DIN ISO 9277). Analysiert wurden Probe 1R, 1P, 2P. Die Analysen wurden in Zusammenarbeit mit dem AIT Austrian Institute of Technology durchgeführt.

Tabelle 7: BET-Oberfläche der Proben

	Probe 1 R	Probe 1 P	Probe 2 R
Spezifische Oberfläche (m ² /g)	1,96	1,72	1,19

Anders als angenommen, konnte bei dieser Analyse ein Absinken der spezifischen Oberfläche durch Torrefikation beobachtet werden. Dies hat positive sicherheitstechnische Aspekte und könnte daran liegen, dass Fasern, Ecken und Kanten bei der Torrefikation zerstört werden ohne eine poröse innere Oberfläche zu generieren wie dies der Fall bei der vollständigen Verkohlung bzw. Aktivkohleherstellung der Fall ist. Eventuell bewirken die hohen Temperaturen auch eine Verflüssigung bzw. Versiegelung durch Lignin, dass bei diesen Temperaturen zwar angegriffen aber nicht vollständig zersetzt wird. Diese Hypothesen sind unbedingt durch weitere Versuche zu bestätigen!

Twister-Tests

Das Analyseverfahren mittels Twister/Gaschromatographie dient der Untersuchung von organischen Verbindungen in Gasen oder Flüssigkeiten. Der mit dem Sorbens Polydimethylsiloxan (PDMS) beschichtete GERSTEL-Twister wurde in der zu untersuchenden Flüssigkeit (5 ml wässrige Lösung) eine Stunde gerührt. Dabei wurden die zu untersuchenden Komponenten aus der Matrix am PDMS-Mantel des Twister sorbiert. Ohne zusätzliche Probenvorbereitung konnte der Twister im GERSTEL-Thermo-Desorption System TDS desorbiert werden. Anschließend wurden die Analyten fokussiert, auf die Kapillarsäule des GC überführt und gaschromatographisch (GC-MS) analysiert.

Analysiert wurden Probe 1R, 1P, 2R, 2P und Probe 3 in den jeweiligen Eluatn Regen-, Süß- und Meerwasser, Schweiß, Speichel und Magensaft.

Beispielgebend ist hier das Ergebnis der Analyse des Szenarios „Verschlucken“ – Eluiermittel Magensaft angegeben.

Tabelle 8: Aufstellung der organischen Verbindungen aus der Analyse mittels Twister/GC – Veränderung durch Torrefikation von Fichte und Kiefer; Eluiermittel Magensaft

Substanz	Fichte - schwach torrefiziert	Kiefer - stark torrefiziert
Hexanal	0	reduziert
Dimethyl sulfoxide	erhöht	reduziert
2-Heptenal, (Z)-	0	reduziert
1-Hexanol, 2-ethyl-	reduziert	erhöht
2-Octenal, (E)-	0	reduziert
1-Octanol	0	reduziert
Nonanal	0	erhöht
Octanoic acid	0	reduziert
Bicyclo[3.1.1]heptan-3-one, 2,6,6-trimethyl-, (1.alpha.,2.alpha.,5.alpha.)-	reduziert	reduziert
Decanal	reduziert	erhöht
Bicyclo[3.1.1]hept-3-en-2-one, 4,6,6-trimethyl-, (1S)-	reduziert	reduziert
Benzaldehyde, 2,4-dimethyl-	erhöht	erhöht
Nonanoic acid	erhöht	reduziert
N-Decanoic acid	0	reduziert

Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(2-propenyl)-	0	reduziert
Phenol, 2,4-bis(1,1-dimethylethyl)-	erhöht	erhöht
Diethyl phthalate	0	reduziert
3,5-di-tert-Butyl-4-hydroxybenzaldehyde	erhöht	erhöht
Ambrox	reduziert	0
Phthalat	erhöht	erhöht
7,9-Di-tert-butyl-1-oxaspiro(4,5)deca-6,9-diene-2,8-dione	erhöht	erhöht
n-Hexadecanoic acid	0	erhöht

Grünalgen, Daphnien und Fische

Ein Aspekt der Ökotoxizität ist die Auswirkung auf aquatische Organismen. In Anlehnung an die REACH-Verordnung wurden die drei Basistests Hemmung des Wachstums von Grünalgen (*Raphidocelis subcapitata*), akute Immobilisierung bei Daphnia (*Daphnia magna*) und akute Toxizität für Fische (Goldorfe - *Leuciscus idus* L.) durchgeführt. Besonders relevant bei diesen Analysen war die Ermittlung der Relation zwischen dem torrefizierten Material und dem entsprechenden Rohmaterial, da Pflanzen oft einen natürlichen Schutz gegen Schädlinge entwickeln können, d.h. eine natürliche Ökotoxizität besitzen.

Die Analysen wurden in Zusammenarbeit mit der Boku/IFA Tulln und MA 39/IFUM durchgeführt.

Die Eluatherstellung erfolgte für alle 3 Prüfungen gleich, in Anlehnung an DIN 38414-S4. Als Eluiermittel wurde Leitungswasser gewählt. Die Elution erfolgte über 24 Stunden in einem Verhältnis von 1:10 - Probe: Eluiermittel. Im Anschluss wurden die Eluate filtriert, da zum Teil eine erhebliche Trübung, verursacht durch Schwebeteilchen bestanden hat. Diese Trübung konnte insbesondere bei den Rohmaterial-Proben nur zum Teil entfernt werden und vereitelte die Analysen im unverdünnten Zustand. Wenn möglich wurden neben dem unverdünnten Eluat folgende Verdünnungsstufen untersucht: 1:2, 1:8, 1:32, 1:128, und 1:125.

Vor den Analysen wurde der pH-Wert der Proben bestimmt, um ihn jeweils auf 7,6 einstellen zu können.

Tabelle 9: pH-Wert der Proben

Probe	pH Wert
Probe 1 R	6
Probe 1 P	5,8
Probe 2 R	4,8
Probe 2 P	4

Die Durchführung des **Algentests** erfolgte als akuter Wachstumshemmtest entsprechend ISO 8692 bzw. OECD 201. Drei Tage vor dem geplanten Testbeginn wurde ein Inokulum aus *Raphidocelis subcapitata* durch steriles Überimpfen aus der Stammhaltung in 50 ml Algenmedium hergestellt und bei 22°C am beleuchteten Schüttler inkubiert. Nach 72 Stunden waren die Algen in der exponentiellen Wachstumsphase und zeigten die geforderte, zumindest 30 fache Zellvermehrungsrate im Biotest. Der

Testansatz wurde auf genau 104 Zellen/ml eingestellt. Von den Eluaten wurden Verdünnungen mit dest. Wasser hergestellt, parallel dazu wurden Ansätze als Blindwert (Wasser anstelle der Probe) und Referenzansätze mit Kaliumdichromat (0,2 mg/l und 0,75 mg/l K₂Cr₂O₇) mit jeder Versuchsserie in zumindest Dreifachbestimmung je Titerplatte mitgeführt. Da die Eluate zum Teil eine starke Färbung aufwiesen, wurde von jeder Probenverdünnung auch ein unbeimpfter Ansatz zur Farbkorrektur bestimmt. Inkubiert wurde 72 Stunden bei 22°C und Tag-Nacht-Zyklus von 16/8 Stunden. Die Auswertung erfolgte durch Absorptionsmessung bei 485 nm (Spektralphotometer) zu den Zeiten 0, 24, 48 und 72 Stunden. Diese Analysen erfolgten in Zusammenarbeit mit dem Institut für Umweltbiotechnologie der BOKU Wien.

Die **Daphnientests** wurden als akute Toxizitätstests in Anlehnung an die Richtlinien OECD 202 und die DIN 38412 L30 in Makro-Titerplatten (6 Wells) durchgeführt. Verwendet wurden Jungtiere von *Daphnia magna* im Alter zwischen 0 und 20 Stunden. Die Zugabe erfolgte mittels präparierter Pasteurpipette, wobei je Tier nicht mehr als ein Tropfen Wasser in die Ansätze gelangte. Die Testbedingungen waren: Temperatur 22°C im 16/8 Stunden Tag/Nacht-Zyklus für 48 Stunden. Während der Testdauer wurden die Daphnien nicht gefüttert. In gleicher Weise wurden Blindwerte mit Wasser hergestellt. Alle Ansätze wurden in Sechsfachbestimmung, dementsprechend mit insgesamt 18 Daphnien je Verdünnungsstufe, durchgeführt. Sowohl nach 24 Stunden (zur Kontrolle) als auch zu Testende (nach 48 Stunden) wurden die Gesamtzahl und die Zahl der beweglichen Daphnien gezählt. Die Hemmwirkung in Prozent unbeweglicher Individuen relativ zur Zahl der überlebenden Daphnien der Blindwertansätze wurde ausgewertet. Diese Analysen erfolgten in Zusammenarbeit mit dem Institut für Umweltbiotechnologie der BOKU Wien.

Das Ergebnis zeigte bei allen Proben ab Verdünnungsstufe 1:8 Werte unterhalb der Nachweisgrenze. Lediglich Probe 1 P ergab eine 76%ige Hemmung des Algenwachstums in der Verdünnungsstufe 1:2 und Probe 2 P eine Immobilisierung bei Daphnien von 59% ebenfalls in Verdünnungsstufe 1:2.

Die Bestimmung der nicht akut giftigen Wirkung von Abwasser gegenüber Fischen wurde über Verdünnungsstufen gem. DIN 38412 Teil 31 bestimmt. Als Testorganismus diente die Gattung: Goldorfe (*Leuciscus idus* L.). Die Versuchsbedingungen sahen eine Temperatur von 20 ± 1°C, einen pH – Wert von 7±0,2 und 1 Fisch je Liter Probe vor. Die Testdauer betrug 48 Stunden. Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde bewusst auf die Prüfung des unverdünnten Eluates verzichtet um die Tiere nicht unnötig zu gefährden.

Diese Analysen erfolgten in Zusammenarbeit mit dem Labor für Umweltmedizin MA 39.



Abbildung 13: Fischtests im Projekt

3.2.4 Bioreaktivität

Zur Einordnung der zytotoxischen, irritierenden und reizenden Auswirkungen des Materials bei direktem Haut- bzw. Augenkontakt wurden die Proben bzw. ihre Extrakte mit Speichel- und Schweißsimulanz in Bezug auf ihre Zytotoxizität nach EN ISO 10993, mittels in vitro EpiDerm Skin Irritation Test und mittels HET-CAM (Hen' s Egg Test Chorio-Allantoic-Membrane) untersucht. Zusätzlich zu diesen Methoden wurde Förderung bzw. Hemmung des Wachstums von ubiquitären Pilzen analysiert.

Für die Herstellung des Extraktes wurden die Prüfmuster bei einem Extraktionsverhältnis von 0,1 bzw. 0,2 g/ml Extraktionsmedium für 3 bzw. 24 Stunden bei 37°C extrahiert. Anschließend wurden die Zellen mit den Extrakten für 24 und 72 Stunden bei 37°C und 5% Kohlendioxid bebrütet. Zur Extraktion ist zu bemerken, dass das Extraktionsmedium sowohl mit der inneren als auch mit der äußeren Oberfläche in Kontakt kommt.

Die Bestimmung der **Zytotoxizität** erfolgte nach EN ISO 10993 Teil 5 Abschnitt 8.5.1 unter Zuhilfenahme eines Umkehrmikroskops bei 200-facher Vergrößerung. Für die Bewertung der zytotoxischen Reaktivität wurde das Auswertungsschema in Tabelle 1, EN ISO 10993-5 (2009) herangezogen. Als Positivkontrolle wurde eine Zinksulfatlösung in einem Konzentrationsbereich von 5 bis 160 mg/l, zur Negativkontrolle wurden unbehandelte Zellen und Kunststoffgranulat als Kontrollmaterial in komplettem Zellmedium, zeitgleich mitgeführt.

Analysiert wurden die Proben 1R, 1P, 2R, 2P und Probe 3, jeweils als Extrakt mit Speichel- und Schweißsimulanz. Die Ergebnisse zeigen keine Unterschiede zwischen den beiden Stimulanzen.

Tabelle 10: Ergebnisse Zytotoxizität

Probenbezeichnung	Grade
Probe 3	0/0
Probe 1P	0/0
Probe 2P	0/0
Probe 1R	0/0
Probe 2R	0-1/1
Schweiß	0/0
Speichel	0/0
0 = keine zytotoxische Reaktivität; 1 = geringfügige zytotoxische Reaktivität; 2 = schwache zytotoxische Reaktivität; 3 = mäßige zytotoxische Reaktivität; 4 = starke zytotoxische Reaktivität	

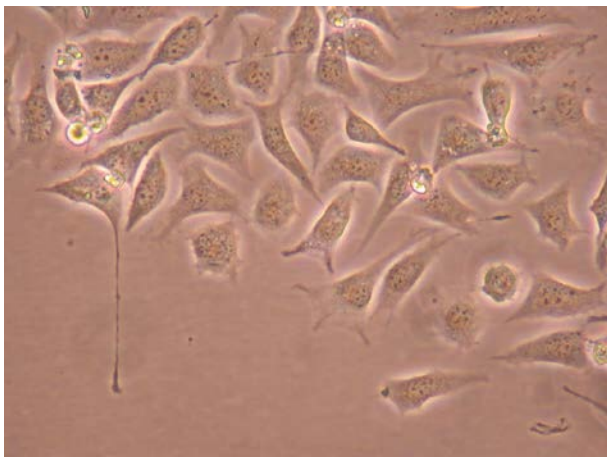


Abbildung 14: keine zytotoxische Reaktion

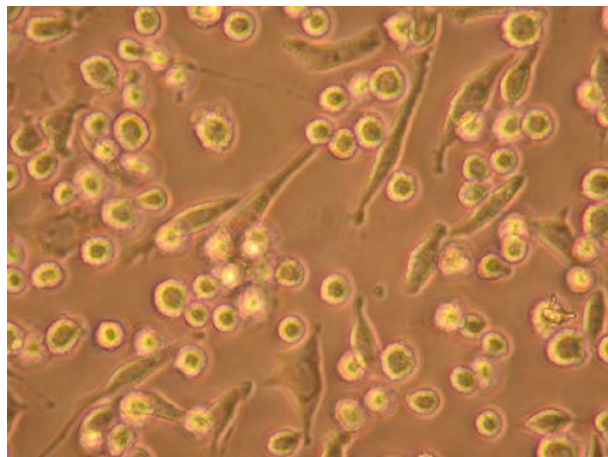


Abbildung 15: zytotoxische Reaktion

Die Überprüfung der **Hautirritation** erfolgte mit Hilfe eines in-vitro Tests, der einen Beitrag dazu leisten soll, die oft noch verwendeten Draize-Tests an Kaninchen deutlich einzuschränken. Das Europäische Zentrum für die Validierung Alternativmethoden (ECVAM) Scientific Advisory Committee (ESAC) hat dazu festgestellt, dass zwei in-vitro-Hautreizungen Tests (SkinEthic RHE und EpiDerm) welche auf rekonstruierter, menschlicher Epidermis basieren, die gleiche biologische oder toxische Wirkung als vollständig validierte und anerkannte Referenzmethode haben. Diese Analysen erfolgten in Zusammenarbeit mit der MatTek Corporation.

Für die Prüfung wurden 30 µl des Wirkstoffes auf das Hautmodell aufgetragen und nach einer 60 min Einwirkzeit sowie definierten Wasch- und Entwicklungszyklen mit Hilfe des Farbstoffes MTT die Überlebensrate der Zellen in % bestimmt.

Analysiert wurden die Proben 1R, 1P, 2R, 2P und Probe 3, jeweils als Extrakt mit Speichel- und Schweißsimulanz, sowie mit Wasser. Als Blindwert wurde reines Speichel- und Schweißsimulanz mitgeführt.

Tabelle 11: Ergebnisse Test zur Hautirritation

Probenbezeichnung	Überlebensrate %
Probe 1P Schweiß	> 50 NI
Probe 1P Speichel	> 50 NI
Probe 1P Wasser	> 50 NI
Probe 2P Schweiß	> 50 NI
Probe 2P Speichel	> 50 NI
Probe 2P Wasser	> 50 NI
Probe 1R Schweiß	> 50 NI
Probe 1R Speichel	> 50 NI
Probe 1R Wasser	> 50 NI
Schweiß	> 50 NI
Speichel	> 50 NI
≤ 50 - irritant (I), R38, > 50 non-irritant (NI)	

Als dritte Methode zur Definition des Reizungspotentials der Proben wurde ein HET-CAM Test (Hen' s Egg Test Chorio-Allantoic-Membrane) durchgeführt. Der Assay ist eine weitere Alternative zu Tierversuchen. Die Hühnereier werden für den Assay vor dem elften Bruttag verwendet. Das Nervensystem des Embryos ist zu diesem Zeitpunkt durch den unvollständigen Verschluss des Neuralrohres noch nicht vollständig entwickelt, wodurch der Embryo noch keinen Schmerz empfinden kann. Die CAM eines Hühnereis ist eine mit Blutgefäßen durchzogene Membran, die sich ab dem sechsten Bruttag durch Fusion der Allantois mit dem Chorion bildet. Sie dient dem Hühnerembryo als primitives Atmungsorgan und vollzieht den Gasaustausch in ihrem Kapillarsystem (Abb.1 D).

Für die praktische Durchführung wurden die SPF (special pathogen free) Eier bei +37°C mit 5% CO₂ und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 95% aufrecht bis zum zehnten Bruttag bebrütet (Abb.1 C). Zu Beginn der Tests wurden die Eier auf der Außenseite desinfiziert und am spitzen Pol mit einer Kanüle eingestochen, um 3ml Albumen abzusaugen (Abb.1 A und C). Die Öffnung wurde mit heißen Kerzenwachs wieder verschlossen. Durch das Absaugen vergrößert sich die Luftkammer, die Schalenmembran senkt sich und löst sich damit von der CAM. Um die Membran zu entfernen wurde am stumpfen Pol des Eies mit einer Pinzette ein Loch gestochen und die Eierschale abgetragen (Abb.1 B). Um die CAM zugänglich zu machen wurde die Schalenmembran mit einer Pinzette entfernt (Abb.1 D). Danach wurde das Ei mit steriler Alufolie wieder verschlossen und aufrecht inkubiert. Die Substanzen

wurde mit Hilfe einer Pipette aufgetragen und die Reaktion bis zu einem bestimmten Zeitpunkt beobachtet. Diese Analysen erfolgten in Zusammenarbeit mit der Medizinischen Universität Wien.

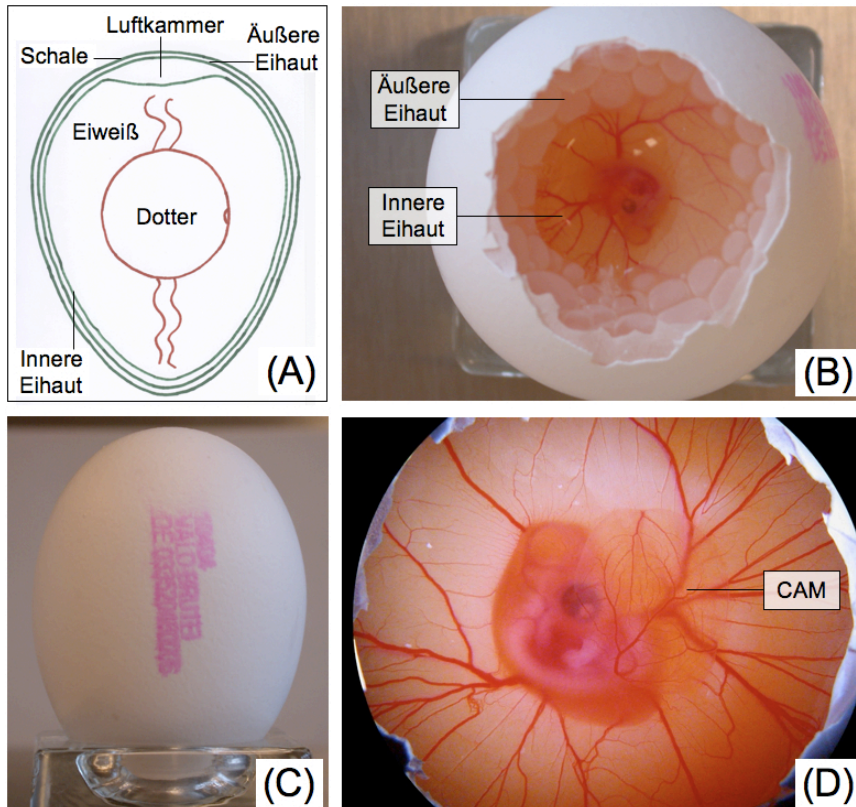


Abbildung 16: HET-CAM Test

Einige der Embryos sind nach der Applikation der Proben verstorben. Bei der Auswertung kann man sehen, dann bei den stark torrefizierten Proben mehr Embryos abgestorben (+) sind, als bei schwach torrefizierten Proben. Mikroskopisch sind keine Auffälligkeiten (k.A) zu sehen.

Tabelle 12: Ergebnisse Test zur HET-CAM Tests

Probenbezeichnung	Ergebnis
Probe 1P Schweiß	k.A, k.A+
Probe 1P Speichel	k.A, k.A.+
Probe 1P Schweiß	k.A,+ k.A+, k.A
Probe 1P Speichel	k.A+, k.A, k.A+
Probe 1R Schweiß	k.A, k.A, k.A+
Probe 1R Speichel	k.A, k.A, k.A+
Schweiß	k.A, k.A
Speichel	k.A, k.A

Die Schimmelbildung wurde in Anlehnung an ÖNORM EN ISO 846:1997 durchgeführt. Ziel war, die Förderung bzw. Hemmung des Wachstums von ubiquitären Pilzen zu untersuchen. Vor der Versuchsdurchführung wurden alle Gegenstände autoklaviert um ein unbeabsichtigtes Einschleppen von Sporen zu verhindern. 5 g Probe wurden erhöht in ein luftdicht verschließbares Glasgefäß eingebracht, dessen Boden mit destilliertem Wasser bedeckt wurde. Die Probe durfte nicht in direktem Kontakt zum Wasser stehen. Anschließend das Glasgefäß verschlossen und bei 23°C gelagert. In regelmäßigen Abständen wurde die Schimmelbildung visuell kontrolliert. Konnte ein Schimmelbefall beobachtet werden wurde dieser unter dem Mikroskop identifiziert. Untersucht wurden Probe 1P, Probe 2P, Probe 1R, Probe 2R, Probe 3, Probe 4, Probe 5, Probe 6, Probe 7, Probe 8, Probe 9, Probe 10 und Probe 11, wobei jeweils Doppelbestimmungen durchgeführt wurden.



Abbildung 17: Versuchsaufbau Schimmelbildung

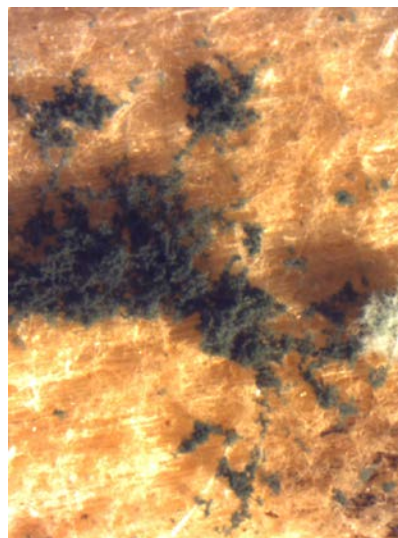


Abbildung 18: 5% Befall mit Cladosporium

Tabelle 13: Ergebnisse Schimmeltests

Probe	Begin Wachstum [Tage]	Bewuchs	Gattung
Probe 1P	17	vereinzelte Kolonien	nicht identifizierbar
Probe 2P	15	ca. 5%	Cladosporium
Probe 1R	15	ca. 5%	Penicillium, Cladosporium
Probe 2R	-	kein Bewuchs	-
Probe 3	8	100%	Penicillium
Probe 4	-	kein Bewuchs	-
Probe 5	15	vereinzelte Kolonien	Penicillium
Probe 6	15	100%	nicht identifizierbar

Probe 7	15	100%	nicht identifizierbar
Probe 8	-	kein Bewuchs	-
Probe 9	9	100%	Penicillium
Probe 10	12	100%	nicht identifizierbar
Probe 11	12	100%	nicht identifizierbar

Die Spanne des Schimmelbefalls reicht von keinem bis zu 100% Bewuchs. Interessant ist, dass alle Materialien hergestellt durch das österreichische Konsortium sehr gute Resistenz gegenüber Schimmelpilzen aufweisen. Teilweise konnte die Gattung eines bestehenden Bewuchses nicht bestimmt werden. Es konnte zwar Mycelbildung, jedoch keine von Ausbildung von Fruchtkörpern, anhand die Bestimmung der Spezies erfolgt, beobachtet werden. Dies lässt den Schluss zu, dass sämtliche untersuchte Materialien kein besonders gutes Substrat für Schimmelpilze sein dürften.

3.2.5 Biologische Abbaubarkeit

Für die Analyse der biologischen Abbaubarkeit wurde versucht, möglichst reale Bedingungen zu schaffen. Jede Probe wurde in 4-facher Ausführung in 10x10 cm Alunetzen, 1 mm Maschenweite, jeweils 9-10 g Prüfmaterial-Einwaage angesetzt und in einer Mikro-Halde in vertikaler Orientierung, Obergrenze 5 cm unter Bodenoberfläche, d.h. durchschnittlich 10 cm tief vergraben. Die Probenahme und gravimetrische Bestimmung des biologischen Abbaus erfolgen nach 2, 4, 6, 8, 10 und 12 Monaten. Aufgrund des verspäteten Starts des Projektes wird ein Teil der Ergebnisse erst nach Beendigung des Projektes vorliegen.

Untersucht wurden Probe 1P, Probe 2P.

Diese Analysen erfolgten in Zusammenarbeit mit dem Austrian Institute of Technology (AIT), Health and Environment Department, und der Universität für Bodenkultur, Institut für Bodenforschung.



Abbildung 19: Alu-Batch Probenposition



Abbildung 20: Versuchsgelände

Es wurden 2 Proben unter kontrollierten Bedingungen für die „Vorbeurteilung des Auflösens von Biomasse-Produkten unter simulierten Kompostierungsbedingungen im Labormaßstab nach EN 14806“

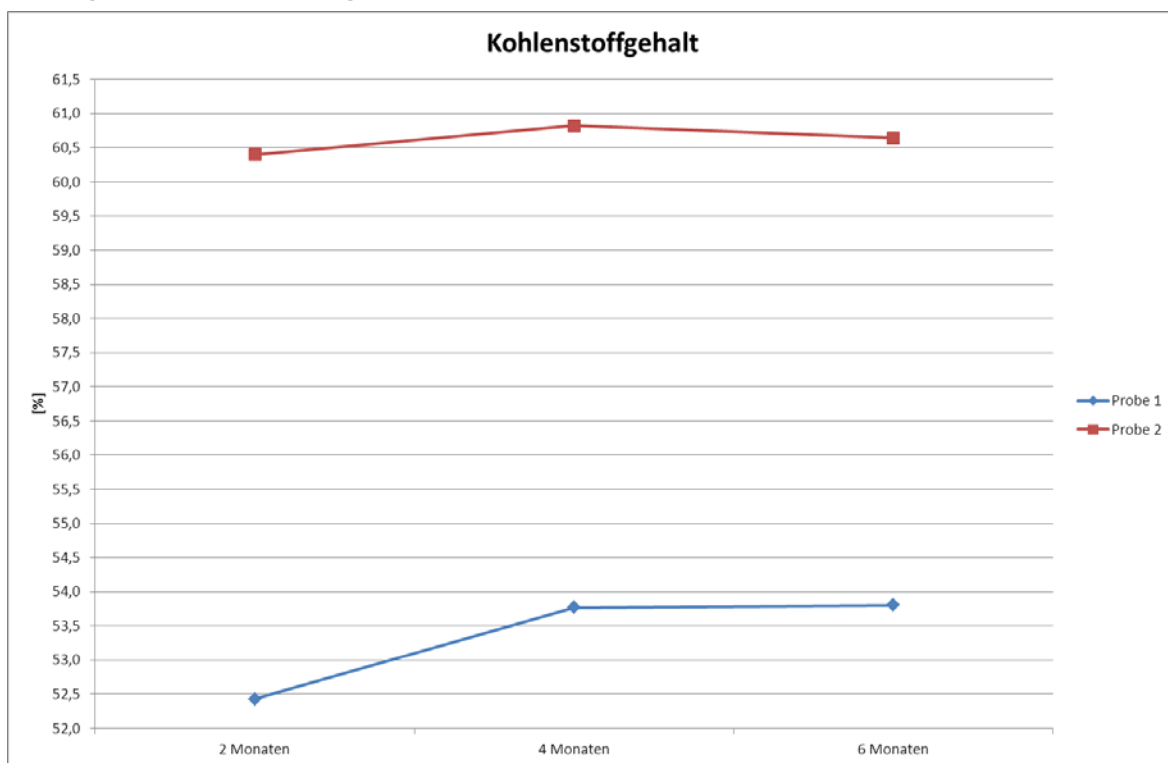
eingelagert und nach 2, 4, 6, 8, 10 und 12 Monaten geprüft um den Alterungsprozess (Abbaubarkeit) zu beurteilen. Bis Dato wurden die Proben nach 2, 4 und 6 Monaten herausgenommen, von visuellen Verunreinigungen befreit und auf eine Korngröße von 0,5mm aufgemahlen.

Danach wurden der Aschegehalt, Heizwert (wf), Heizwert (waf), Kohlenstoffgehalt, Stickstoffgehalt, Wasserstoffgehalt, Chlorgehalt, Schwefelgehalt und der Wassergehalt dieser Proben bestimmt.

Der Heizwert wurde wasser- und aschefrei (waf) angegeben, da man das Probematerial in Substrat und Erde gelagert hat und es sich eventuell noch Spuren von diesen Komponenten auf dem Probematerial befinden könnten. Eine diesbezügliche Verfälschung der Ergebnisse wird somit ausgeschlossen.

Wie man in der Abbildung 1 sieht, steigt bei Probe 1 wie auch bei Probe 2 der Kohlenstoffgehalt ein wenig an. Da der Heizwert (wf) wie auch der Heizwert (waf) kohlenstoffabhängige Parameter sind, steigt dieser ebenso an, wie in Abbildung 2 ersichtlich.

Abbildung 21: Kohlenstoffgehalt von Probe 1 und Probe 2



Der Anstieg des Heizwertes ist überraschend, da man bei Biomasse üblicherweise davon ausgeht, dass durch Bakterienaktivität auch die Kohlenstoffverbindungen abgebaut werden und somit der Heizwert mit der Zeit sinkt (Anreicherung der mineralischen Bestandteile, Vergleich Kompostierung).

Da der Kohlenstoffgehalt steigt, kann angenommen werden, dass die durch torrefikation nicht zerstörten Pflanzenanteile, insbesondere Cellulose mit einem Kohlenstoffgehalt um ca. 50%, vorrangig abgebaut werden und carbonisierte Teile nicht abgebaut werden („Terra Preta Effekt“).

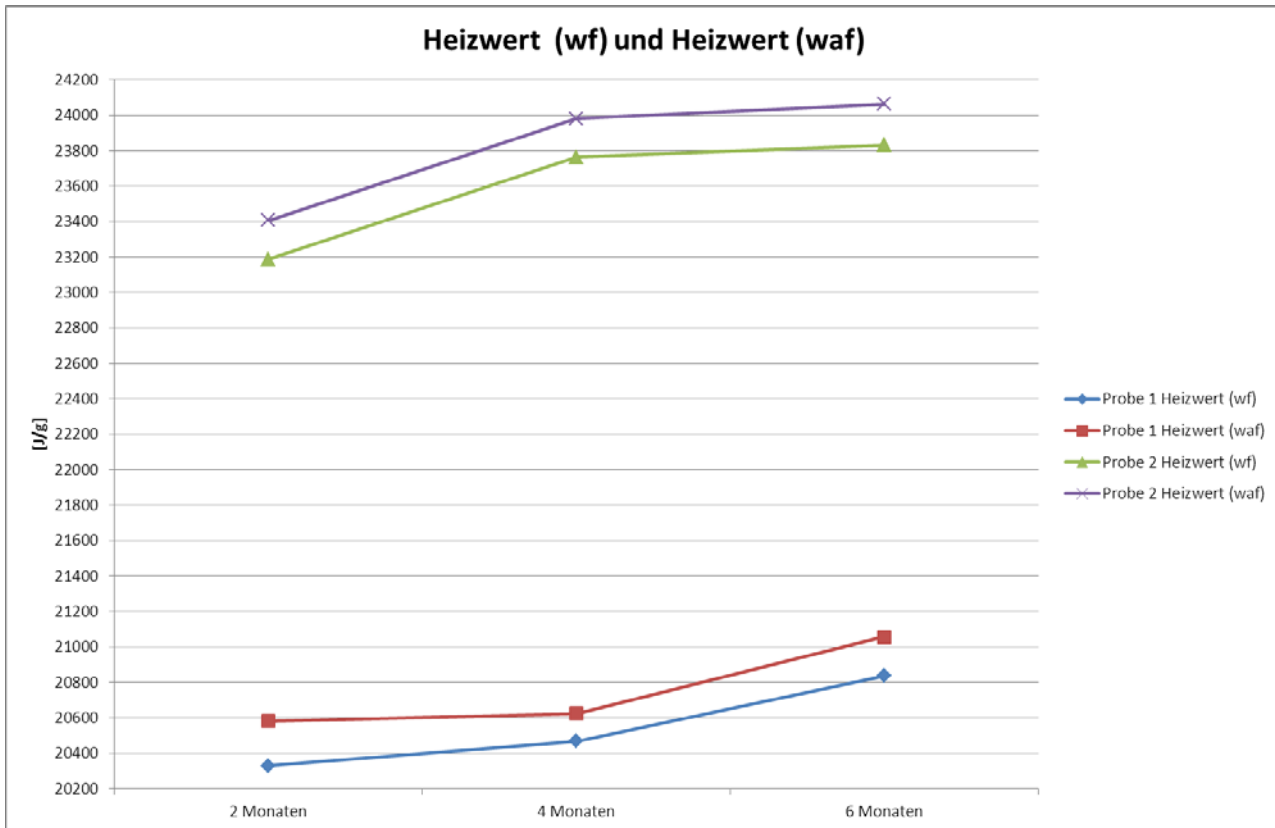


Abbildung 22: Heizwert (wf) und Heizwert (waf) von Probe 1 und Probe 2

3.2.6 Risikoanalyse - Gefährdungsidentifizierung Gefährdungsbewertung und Ursachenanalyse (Sicherheit, Gesundheit und Umwelt)

Staub - Gesundheitsgefährdung

Bei der rasterelektromikroskopischen Untersuchung zeigten sich vor allem zwei Arten von Fasern, größere mit ca. 100-150 µm Länge und kleinere mit ca. 15-30 µm Länge. Die genaue Zusammensetzung der gefundenen Fasern ist nicht bekannt. Fest steht jedoch, dass diese organisch, hauptsächlich mit Kohlenstoff- und Sauerstoffanteilen sind. Von der Asbest- Karzinogenese ist bekannt, dass unlösliche Fasern eine maximale Potenz bei einem Durchmesser von ca. 0,1 µm haben, die bis zu einem Durchmesser von 2 µm annähernd auf Null sinkt. Bei der Länge beginnt die Potenz bei ca. 2 µm und erreicht ihren Höhepunkt bei ca. 20 µm. Auf Basis dieser morphologischen Voraussetzungen erfüllen einige der Fasern die in den Proben gefunden wurden die Voraussetzungen für Kanzerogenität. Dieses Ergebnis ist jedoch mit Vorsicht zu interpretieren, da das kanzerogene Verhalten einer Faser auch voraussetzt, dass diese durch die Alveolar-Makrophagen nicht oder nur sehr schwer abbaubar sind. Erst dann kommt es durch den chemischen Angriff von Sauerstoffradikalen zu jener chronischen Entzündungsreaktion, die von anderen Fasern (z.B. Asbest) bekannt ist. Dies ist eine wichtige Voraussetzung für das kanzerogene Verhalten einer Faser. Diese Eigenschaft wurde im vorliegenden Projekt nicht untersucht. Somit kann nur festgehalten werden, dass zwar morphologisch ein

kanzerogenes Potential vorhanden ist. Wie relevant dieses jedoch ist, müsste durch Folgeuntersuchungen bewertet werden.

Eluate – Gesundheitsgefährdung

Die Proben wurden zunächst anorganisch untersucht. In den Ionengehalten der Eluate zeigten sich keine besonderen Auffälligkeiten hinsichtlich toxikologischer Relevanz. Die Pellets zeigten eine stärkere Elution durch Regen, Schweiß und Süßwasser im Vergleich zu den anderen untersuchten Proben – jedoch scheint dies auf die untersuchten Proben zurück zu führen zu sein und sollte nicht verallgemeinert werden.

Auch bei der Chrom-Analytik zeigten sich keine Auffälligkeiten. Die torrefizierten Muster zeigten ein ähnliches Verhalten wie die Ausgangsmaterialien. Es kam zu einem leichten Anstieg des Chrom-Gehaltes bezogen auf das Trockengewicht durch die Torrefikation. Dies ist durch den Verlust an Trockenmasse durch den Torrefikationsprozess erklärbar.

Die Eluate wurden mittels Twisteranalyse auf organische Stoffe untersucht. Es wurde mit sechs verschiedenen Medien eluiert:

- natürliches Regenwasser
- natürliches Meerwasser
- natürliches Süßwasser
- künstlicher Speichel
- künstlicher Schweiß
- künstlicher Magensaft

Beim Magensaft konnten als Hauptmenge vier Stoffe detektiert werden, die jedoch auch schon in den unbehandelten Rohmaterialien nachgewiesen werden konnten. Durch die Torrefikation änderte sich der Anteil dieser Stoffe in toxikologisch relevanten Maßstäben nur wenig.

Bei Meerwasser konnten als Hauptmenge drei Stoffe detektiert werden, die jedoch auch in den unbehandelten Materialien vorkamen, teilweise führte die Torrefikation zu einer Reduktion dieser Stoffe.

Beim Regenwasser zeigte sich, dass eine Reihe von Stoffen die nur bei den Rohmaterialien auftraten, durch die Torrefikation nahezu völlig zerstört wurden. Lediglich bei fünf Stoffen kam es zu einem Anstieg oder einer Neubildung durch den Torrefikationsprozess.

Ein ähnliches Bild zeigte sich beim Schweiß.

Beim Speichel zeigte sich ein ähnliches Bild wie beim Meerwasser. Nennenswerte Neubildung von toxikologisch relevanten Mengen konnten bei der Speichlextraktion nicht festgestellt werden.

Bezüglich Süßwasser ergibt sich eine ähnliche Situation wie beim Regen.

Generell lässt sich sagen, dass durch die Torrefikation eluierbare Stoffe eher verschwinden, was im Einklang mit den Randbedingungen des Torrefikationsprozesses steht. Zu einer relevanten Neubildung von gefährlichen Stoffen kommt es im Allgemeinen nicht. Da allerdings das Verfahren semiquantitativ ist,

lassen sich bezüglich des absoluten Risikos keine Abschätzungen durchführen.

Bei der Zytotoxizität wurden drei Extraktionsmedien untersucht. Einerseits das Wachstumsmedium selbst, zweitens das Schweiß- und das Speichelsimulans. Diese wurden jeweils in einer Konzentration von 0,2 g/ml mit dem Wachstumsmedium 1:1 verdünnt, womit eine effektive Konzentration von 0,1g eluierter Biomasse/ml Wachstumsmedium vorlag. Zu bemerken ist weiter, dass die Extraktion mit Schweiß und Speichel 3 Stunden erfolgte, während die Extraktion mit dem Wachstumsmedium 24 Stunden andauerte. Bewertet wurden die Ergebnisse jeweils nach 1 und 3 Tagen. Dabei zeigte sich, dass sich die Ergebnisse hinsichtlich Zytotoxizität nicht oder nur geringfügig in diesem Zeitraum änderten. Beim Schweiß und beim Speichel zeigte sich kein Absterben der Zellen, lediglich eine leichte Wachstumshemmung. Eine Verzögerung des Wachstums konnte gelegentlich beobachtet werden. Lediglich das Ausgangsmaterial für die stark torrefizierte Biomasse, zeigte eine geringfügige Zytotoxizität.

Bei der Extraktion mit reinem Kulturmedium zeigten sich bei allen Proben eine Zytotoxizität, die sowohl konzentrationsabhängig war, als auch Hinweise zeigte, dass mit zunehmender Torrifikation die Zytotoxizität anstieg. Anzumerken ist, dass auch ein Rohmaterial (für die stark) torrefizierte Biomasse immerhin eine leichte Zytotoxizität zeigte.

Bei der Untersuchung der Hautirritation im Modellversuch zeigten sich im Rahmen der Messunsicherheit der Methode keine Hinweise auf ein hautreizendes Verhalten. In der Untersuchung von Schleimhautreizungen (HET-CAM) ergaben sich bei keiner Probe mikroskopische Auffälligkeiten hinsichtlich schleimhautreizender Eigenschaften. Allerdings konnte festgestellt werden, dass ein beträchtlicher Anteil der Embryonen während des Versuchs abstarb, wiederum abhängig vom Torrefikationsgrad der Proben. Die Gründe für diesen Effekt wurden nicht näher untersucht, es ist jedoch auffällig, dass die Ergebnisse mit der Zytotoxizität korrelieren und auch durch diese zu erklären wären.

Eluate – Ökotoxizität

Bei den Wasserflöhen (Daphnien) wurde in mehreren Verdünnungstufen jeweils die Hemmung der Schwimmfähigkeit bestimmt. Dabei konnte mehrfach das Phänomen beobachtet werden, dass in der unverdünnten Lösung eine sehr hohe Hemmung beobachtet werden konnte, die bereits in der 1:2 Verdünnung nahezu völlig verschwunden war. Dies kann dadurch erklärt werden, dass sehr steile Dosis-Wirkungskurven vorliegen, dass also bereits eine geringe Verdünnung ausreicht, um die toxischen Effekte fast zu eliminieren. Die EC50 wurde rechnerisch bestimmt. Da in den vorliegenden Daten nicht die niedrigste Konzentration angegeben ist, bei der es zu keinerlei Hemmung kommt, wurde von der Annahme ausgegangen, dass dies die zweitniedrigste Konzentration ist, die mit <10% angegeben ist.

Auf Basis dieser Daten und der festgelegten Rechenweise der Prüfvorschrift (OECD) ergeben sich folgende EC50:

- Rohmaterial für die schwache Torrefikation: unverdünnt
- schwach torrefizierte Biomasse: 1:2,8
- Rohmaterial für die starke Torrefikation: 1:2,8
- stark torrefizierte Biomasse: 1:5,7

Bezüglich des Datenmaterials für die Algen gelten die gleichen Bedingungen wie oben angegeben. Hier

sind in den Daten die niedrigen Konzentrationen mit <5% angegeben. Auch hier wurde wieder die zweithöchste Konzentration <5% willkürlich als jene angenommen, bei der keine Hemmung mehr stattfindet.

Auf Basis dieser Daten ergeben sich folgende EC50:

- Rohmaterial für die schwache Torrefikation: 1:8
- schwach torrefizierte Biomasse: 1:5,7
- Rohmaterial für die starke Torrefikation: 1:8
- stark torrefizierte Biomasse: 1:8

Bei den Untersuchungen mit Fischen wurde jene Verdünnungsstufe angegeben, bei der sämtliche Testorganismen überlebten. Bei der stark torrefizierten Biomasse war dies 1:16. Bei der schwach torrefizierten Biomasse und dem Rohmaterial 1:8.

Zusammenfassend lässt sich aus den vorliegenden Daten entnehmen, dass die Toxizität von torrefizierter Biomasse gegenüber Wasserorganismen nur unwesentlich höher ist (ungefähr das Doppelte), als von untertorrefiziertem Rohmaterial. Auf die Praxis umgelegt bedeutet dies, dass bei einem Zwischenfall, bei dem das torrefizierte Produkt direkt ins Gewässer gelangt, etwa doppelt so hohe Toxizität auftritt, wie bei Ästen, Gräsern oder Blättern, die auf natürlichem Weg ins Gewässer gelangen bzw. dass sich torrefizierte Biomasse so verhält, wie die doppelte Menge an diesen natürlich eingebrachten Materialien. Geht man von einer Situation aus, bei der beispielsweise auf einem Lagerplatz im Freien gelagerte torrefizierte Biomasse durch Regen oder Überschwemmungen eluiert wird, so ist allein schon durch den Verdünnungseffekt der im Gewässer vorhandenen bzw. zuströmenden Wassermengen mit keinem nennenswerten Auswirkungen auf die Ökologie des Gewässers zu rechnen, sofern die relevanten Mengen den natürlichen normalen Eintrag von Biomasse in dieses Gewässer nicht maßgeblich übersteigen (vgl. Überflutung von Auwäldern, bei denen extrem viel Biomasse mit dem Wasser in Berührung kommt).

Bioaktivität, Biologische Abbaubarkeit

Bei der Neigung zum Bewuchs mit Schimmelpilzen konnte festgestellt werden, dass sämtliche untersuchte Materialien kein besonders gutes Substrat für Schimmelpilze sein dürften. Der höchste gemessene Bewuchs betrug ca. 5%. Sowohl die stark torrefizierte, als auch die schwach torrefizierte Biomasse zeigten zumindest einen geringfügigen Bewuchs. Daraus folgt, dass auch nach der Torrefikation ein biologischer Abbau, wenn auch langsam, nicht völlig ausgeschlossen ist.

3.3 Handling, Transport und Lagerung - Brand und Explosionsschutz

3.3.1 Normen und Vorschriften

Die internetbasierte Literaturrecherche erfolgte unter spezieller Zugrundelegung der Homepages der Umwelt-online Datenbank (www.umwelt-online.de), des Austrian Standard Instituts (www.as-search.at) sowie der IMO-Seite (www.imo.org). Darüber hinaus wurden Interviews mit für den Transport von torrefizierter Biomasse in Frage kommenden Logistikunternehmen anhand von einem offenen Fragenkatalog geführt, um abzuklären welche Informationen aus deren Sicht für den Transport und die Lagerung von torrefizierter Biomasse für die Logistiker als notwendig erachtet wird.

Eine Grundlage könnte das Gefahrenbeförderungsgesetz GGBG darstellen, welches für die Beförderung von gefährlichen Gütern auf der Straße, der Schiene und auf Wasserstraßen sowie im Seeverkehr und der zivilen Luftfahrt gilt.

Das Gesetz gilt nicht für die Beförderung gefährlicher Güter:

- Innerhalb eines geschlossenen Betriebsgeländes (...),
- Mit Fahrzeugen der Streitkräfte (...),
- Regelungen sonst. Schutzbereiche wie ArbeitnehmerInnenschutz, Gewerberecht, Chemikalienrecht, etc.

Folgende internationale Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter werden mit dem GGBG in nationales Recht umgesetzt:

- Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR),
- Übereinkommen über den internationalen Eisenbahnverkehr (COTIF), Anhang C – Ordnung für die internationale Eisenbahnbeförderung gefährlicher Güter (RID),
- Übereinkommen über die internationale Beförderung von gefährlichen Gütern auf Binnenwasserstraßen (ADN),
- Kapitel VII des internationalen Übereinkommens von 1974 zum Schutz des menschlichen Lebens auf See und Protokoll von 1978 zu dem internationalen Übereinkommen von 1974 zum Schutz des menschlichen Lebens aus See samt Anlage (SOLAS-Übereinkommen) gemäß § 2 Abs. 1 Seeschiffahrts-Erfüllungsgesetz (SSEG), BGBl. Nr. 387/1996 mit nachstehenden Codes:

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">a) International Maritime Dangerous Goods Code (IMDG Code),b) International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Dangerous Chemicals in Bulk (IBC Code),c) Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Dangerous Chemicals in Bulk (BCH Code),d) International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk (IGC Code),e) Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk (GC Code) undf) Code for Existing Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk und |
|---|

Abbildung 23: aus dem Gefahrengutbeförderungsgesetz, 2011

- Anhang 18 des Abkommens über die int. Zivilluftfahrt (...).

Unter diesem Gesichtspunkt könnte torrefizierte Biomasse z.B. in Bezug auf die ADR/RID Einstufung in die Klasse 4.2 „Selbstentzündliche Stoffe ohne Nebengefahr“ fallen.

In Bezug auf die Hochseeschifffahrt ist das internationale Übereinkommen von 1974 zum Schutz des menschlichen Lebens auf See – SOLAS und die IMO (International Maritime Organisation) als Sonderorganisation der Vereinten Nationen (UN) zu erwähnen.

Der IMDG-Code (International Maritime Code for Dangerous Goods) wurde von der IMO ausgearbeitet und stellt eine Gefahrgutkennzeichnung für gefährliche Güter im Schiffsverkehr dar. Der Code ergänzt die Bestimmungen des Internationalen Übereinkommens von 1974 zum Schutz des menschlichen Lebens auf See (SOLAS; insb. Kapitel VII). Der Code ist Großteils mit der Kennzeichnung nach ADR/RID ident.

Für Schüttgüter regelt Kapitel VI des Internationalen Übereinkommens von 1974 zum Schutz des menschlichen Lebens auf See (SOLAS) die Beförderung von Schüttladungen in fester Form. In Kapitel VII sind Bestimmungen, die den Transport von gefährlichen Gütern als Massengut regeln festgesetzt. Ausführliche Brandschutzvorkehrungen für Schiffe, die Schüttladungen in fester Form befördern, sind in Regeln 10 und 19 von Kapitel II-2 des SOLAS-Übereinkommen enthalten (www.umwelt-online, 2011c).

Der BC-Code (Code of Safe Practice for Solid Bulk Cargos) enthält Hinweise für Verwaltung, Reeder, Verlader und Kapitäne zu den Normen, die anzuwenden sind, um ein sicheres Stauen und eine sichere Beförderung von Schüttladungen in fester Form zu gewährleisten.

In diesem Zusammenhang werden auch noch Stoffe erwähnt, welche nur als Massengut gefährlich sein können; diese werden als MHB-Stoffe (Materials Hazardous only in Bulk) bezeichnet. Diese werden in die Gruppen A, B und C unterschieden.

Die UN-Nummer erhalten Stoffe, welche als gefährlich eingestuft wurden. Die Nummer kennzeichnet den Stoff/das Gut auf der Verpackung, im Beförderungspapier und teilweise auch auf der orangen Gefahrgut-Kennzeichnung auf dem Fahrzeug/Container (BMVIT, 2001).

Die Kemler-Nummer dient zur Kennzeichnung von Gefahr und wird auch Gefahrnummer genannt. Diese Kennnummer wird für alle gefährlichen Stoffe einheitlich festgelegt. Ein neues Gut wird einer bereits bestehenden Nummer zugeordnet.

Im Eisenbahnverkehr wird die NHM-Nummer (franz.: Nomenclature harmonisée des marchandises NHM) herangezogen. Dabei handelt es sich um das Harmonisierte Güterverzeichnis des Internationalen Eisenbahnverbandes zur einheitlichen Klassifizierung von Gütern im Eisenbahngüterverkehr. Die NHM-Nummer bezeichnet international einheitlich ein Transportgut. Nach dieser Nummer wird das Gut eingestuft.

Es wurden speziell im Hinblick auf den Transport von Schüttgütern und Brennstoffen acht Unternehmen (Gartner KG, Jessl in Linz, Austaler in Wels, Fazeni, Rail Cargo Austria, Schenker Österreich, LogServ, Wolfgang Rothauer) befragt. Die Interviews reichten vom Bezug auf die zuvor genannten Kennzahlen, Richtlinien u.dgl. über Kurzinfos zu UN-Nummer und Kemler-Nummer bis zu sehr rudimentären Aussagen zu Transport oder Aussagen, dass das befragte Unternehmen keine Schüttgüter transportiert.

3.3.2 Wichtige Kenngrößen Brand- und Explosionsschutz

Als wichtige Kenngrößen sind Parameter für Staub hervorzuheben wie: Mindestzündenergie, Glimmtemperatur, maximaler Explosionsdruck, maximale Druckanstiegsgeschwindigkeit, untere Explosionsgrenze, Staubexplosionsklasse und Selbstentzündungstemperatur. Diese Kenngrößen wurden versuchstechnisch am Staub aus ACB-Material bestimmt.

Zur Bestimmung dieser Kenngrößen wurde gemäß den Berichten des Prüfinstitutes IBEU gemäß europäischen Normen vorgegangen:

- DIN EN 14034-1; Ausgabe 2004 und A1; Ausgabe 2011: Bestimmung des maximalen Explosionsdruckes p_{max} Staub/Luft-Gemischen
- DIN EN 14034-2; Ausgabe 2006: Bestimmung des maximalen zeitlichen Druckanstiegs $(dp/dt)_{max}$ von Staub/Luft-Gemischen
- DIN EN 14034-3; Ausgabe 2006: Bestimmung der unteren Explosionsgrenze UEG von Staub/Luft-Gemischen
- DIN EN 50281-1 (VDE 0170/0171 Teil 1503-2-1); Ausgabe Nov. 1999, Teil 2-1: Untersuchungsverfahren – Verfahren zur Bestimmung der Mindestzündtemperatur von Staub, Verfahren B: Staubwolke in einem Ofen bei einer konstanten Temperatur
- DIN EN 13821; Ausgabe März 2003: Explosionsfähige Atmosphären – Explosionsschutz – Bestimmung der Mindestzündenergie von Staub/Luft-Gemischen
- VDI 2263, Blatt 1: Staubbrände und Staubexplosionen, Gefahren – Beurteilung – Schutzmaßnahmen; Untersuchungsmethoden zur Ermittlung von sicherheitstechnischen Kenngrößen von Stäuben, Mai 1990

Vorversuche zur Bestimmung der Selbstentzündungstemperatur ergaben für die schwach torrefizierte Probe eine Selbstentzündung bei 188 °C, für die stark torrefizierte Probe eine Selbstentzündung bei 173 °C. Davon abgeleitet, wurde der Normversuch an der stark torr. Probe durchgeführt.

Die sicherheitstechnischen Staubkenngrößen wurden an zwei unterschiedlich stark torrefizierten Proben vorgenommen: Probe 1P (schwach ACB) und Probe 2P (Stark ACB 22/03)

Tabelle 14: Ergebnisse Explosionskenngrößen

Probenbezeichnung	aufgewirbelter Staub				abgelagerter Staub		
	p_{max}	K_{St} -Wert / Staubexplosionsklasse	UEG	(MZE) mit Induktivität	Zündtemperatur	Glimmtemperatur	Brennzahl (BZ)
Schwach ACB	8,7 bar_0	214 $bar \cdot m/s$ (St 2)	30 g/m ³	3 mJ < MZE < 10 mJ	440 °C	310 °C	b. 20 °C: BZ 4 b. 100 °C: BZ 5
Stark ACB 22/03	8,6 bar_0	197 $bar \cdot m/s$ (St 1)	60 g/m ³	10 mJ < MZE < 30 mJ	470 °C	290 °C	b. 20 °C: BZ 4 b. 100 °C: BZ 5

Tabelle 15: Ergebnisse Selbstentzündungstemperatur (Probe 2P)

Probevolumen	Lagerungstemperatur	Maximale Proben-temperatur (T_{max})	ΔT (T_{max} -Lager-temp.)	Erwärmungs-/ Induktions-/ Lagerzeit			Masseverlust	Selbstentzündung	Selbstentzündungstemp.
cm ³	°C	°C	K	h			%		°C
400	160	685	525	2,5	0,2	23,8	99,1	ja	
	140	607	467	3,3	0,7	21,8	99,1	ja	
	135	611	476	3,5	1,6	23,4	99,2	ja	
	130	151	21	3,7	1,8	24,7	8,1	nein	
	130	149	19	3,8	1,6	22,2	8,3	nein	130

3.3.3 potentielle Gefahren- und Zündquellen sowie Vermeidungsstrategien

Die Systematik der Zündquellenbestimmung geht grundsätzlich davon aus, dass aus einem in sich geschlossenen „Zündquellenkatalog“ die einzelnen Zündquellen bewertet werden, ob diese zutreffen oder nicht. Der Zündquellenkatalog für Brandursachen orientiert sich in Österreich dabei an den Zündquellen der österreichischen Brandschadenstatistik und derjenige für die Explosionen im Wesentlichen an den Zündquellenarten gemäß ÖNORM EN 1127-1.

Mögliche Zündquellengruppen der österreichischen Brandschadenstatistik stellen Blitzschlag, Selbstentzündung, Wärmegeräte, mechanische Energie, elektrische Energie, offenes Licht und Feuer, Behälterexplosionen, Brandstiftung und sonstige Zündquellen wie radioaktives Material, Sonnenstrahlen, ausfließende heiße Stoffe u.dgl. dar.

Zündquellenarten nach ÖNORM EN 1127-1 sind heiße Oberflächen, Flammen und heiße Gase, mechanisch erzeugte Funken, elektrische Anlagen, elektrische Ausgleichsströme und kathodischer Korrosionsschutz, statische Elektrizität, Blitzschlag, elektromagnetische Felder im Bereich der Frequenzen von 9kHz bis 300GHz, elektromagnetische Strahlung im Bereich der Frequenzen von 3×10^{11} Hz bis 3×10^{15} Hz beziehungsweise Wellenlängen von 1000 μm bis 0,1 μm (optischer

Spektralbereich), ionisierende Strahlung, Ultraschall, adiabatische Kompression, Stoßwellen, strömende Gase und chemische Reaktionen.

Aus der Erfahrung mit Brandfällen und Explosionen sind grundsätzlich alle Zündmöglichkeiten (je nach Lagerbedingung und Handling bzw. Umgebungsfaktoren) denkmöglich und sind somit im Einzelnen für die jeweilige Transport- bzw. Lagerbindung zu untersuchen.

Detaillierte „Vorschriften“ im Umgang mit torrefizierten Materialien in gepresster (Pellets) und partikelförmiger Form können ausschließlich anhand der konkreten Supplychain in Bezugnahme auf die zu vorgenannten Zündquellen und somit anhand der allgemeinen Erkenntnissen aus der Brand- und Explosionsursachenermittlung definiert werden.

Aus unseren Erfahrungen kann als grobe Abschätzung eine Vergleichbarkeit mit der Lagerung von Braunkohle hergestellt werden, da auch hier bei Lagerung aufgrund der mikrobiologischen Prozesse zu Erwärmung kommt. Hier kann auf Erfahrung aus der Brandursachenermittlung zurückgegriffen werden.

In diesem Zusammenhang können wir uns als auch für die Behörden im Rahmen der brandschutztechnischen Kommissionstätigkeit bzw. den behördlichen Sachverständigendienst tätigen Sachverständige den allgemeinen Brandschutzmaßnahmen wie sie im Forschungsbericht 284 „Leitfaden zur Brandvermeidung bei der Lagerung von Biomasse“, BAM Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung, Berlin, anschließen, welche u.a. Maßnahmen wie Temperaturkontrolle des Lagergutes in Kombination mit einem Alarmierungssystem, freien Zugang zu Halden, Umfahrung mit mindestens 6 m Breite, maximale Haldenbreite 20 m und ausreichende Löschmittelbevorratung darstellen. Diese Maßnahmen bilden sodann die Grundlage für eine, wie zuvor erwähnt, detaillierte Untersuchung der Zündmöglichkeiten anhand des Zündquellenschlüssels.

3.4 Nachhaltigkeit

Die Recherche umfasste ein Screening von bestehenden bzw. sich in Ausarbeitung befindlichen Zertifizierungssystemen für die Bewertung der Nachhaltigkeit von Biomasse. Ein Fokus wurde dabei auf Systeme gelegt, die Biomasse für den Zweck der Energie- und Stromerzeugung vorsehen. Um in Erfahrung zu bringen, welche der identifizierten Zertifizierungssysteme prinzipiell für torrefizierte Biomasse angewendet werden können, wurden die für das jeweilige Zertifizierungssystem verantwortliche Institutionen kontaktiert.

Diese Zertifizierungssysteme enthalten Standards oder Richtlinien für bestimmte Produkte oder Dienstleistungen und deren Herstellungsprozesse. Mittels Kriterien und Indikatoren werden Anforderungen an das jeweilige Produkt bzw. die Dienstleistung beschrieben und messbar gemacht. Je nach Ausrichtung des Systems werden Umwelt-, soziale und ökonomische Aspekte berücksichtigt. Die Vorgaben werden von unterschiedlichen Organisationen erarbeitet und eine akkreditierte Stelle überprüft deren Einhaltung. Ein Produkt, das diesen Überprüfungen standhält, wird zertifiziert und erhält mitunter eine sichtbare Kennzeichnung (Label).

Eines der derzeit wichtigsten Labels stellt das „Green Gold Label“ (GGL) dar. Dieses System ist dabei sich im internationalen Umfeld, insbesondere bei den weltweit agierenden Energiedienstleistern, durchzusetzen. Das Zertifizierungssystem „Green Gold Label“ (GGL) der Control Union kann zur Zertifizierung der Nachhaltigkeit von torrefizierter Biomasse herangezogen werden. Die Nachhaltigkeitskriterien beziehen sich auf die THG-Bilanz, Energiebilanz, Waldbewirtschaftung, Landwirtschaftliches Managementsystem, Produktkette und die Rohstoffqualität. Zudem kann torrefizierte Biomasse mit dem „Clean Raw Material Standard“ (CRM) zertifiziert werden. In diesem Fall weist das Zertifikat den zertifizierten Rohstoff als Biomasse aus.

Die Green Gold Label Standards beinhalten die folgenden Standards:

1. Certification Requirements;
2. GGLS1 Chain of Custody and Processing Standards;
3. GGLS2 Agricultural Source Criteria;
4. GGLS3 Renewable Energy Directive Compliance (Stand Mai 2012: bei der EC zur Genehmigung)
5. GGLS4 Transaction Certificate
6. GGLS5 Forest Management Criteria
7. GGLS6 Power Company Criteria
8. GGLS7 Conservation Stewardship Criteria
9. GGLS8 Green House Gasses and Energy Balance Calculation Criteria
10. CRM1 Chain of Custody and Processing Standards
11. CRM2 Transaction Certificate

Die Recherche ergab weiters, dass torrefizierte Biomasse mit dem „Netherlands technical agreement NTA 8080“ des Niederländischen Normungsinstituts zertifiziert werden kann. Die Nachhaltigkeitskriterien umfassen hierbei THG-Emissionen, die Konkurrenz mit Nahrungsmittel und lokaler Anwendung von Biomasse, Biodiversität, Umwelt, Wohlstand und soziales Wohlergehen. Es wird die gesamte Prozesskette zertifiziert.

Das Zertifizierungssystem „ISO 13065 Nachhaltigkeitskriterien für Bioenergie“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) befindet sich derzeit in Ausarbeitung. Die Veröffentlichung ist für 2014 geplant. Grundsätzlich soll diese ISO Norm für alle Arten von Bioenergie unabhängig von Herkunft oder Verfahren gelten, also auch für torrefizierte Biomasse.

Das Europäische Komitee für Normung (CEN) arbeitet im Rahmen des Technischen Komitees „CEN TC 383 „Sustainably produced biomass for energy applications“ („Nachhaltig produzierte Biomasse für Energieanwendungen“) an der Entwicklung von Normen. Es sind dazu vier Normentwürfe in Ausarbeitung: Teil 1 Terminologie, Teil 2 Konformitätsbewertung einschließlich Überwachungskette und Massenbilanz, Teil 3 Biodiversität und Umweltaspekte, Teil 4 Berechnungsmethoden der Treibhausgasemissionsbilanz unter Verwendung einer Ökobilanz. Es liegt kein offizieller Zeitpunkt für die Veröffentlichung der Normen vor.

Zu den nationalen Zertifizierungssystemen im deutschsprachigen Raum zählen „TÜV SÜD Standard“ der TÜV SÜD Industrie Service GmbH und „OK Power“ der EnergieVision e.V. (gegründet von Oeko-Institut, WWF Deutschland, Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen) in Deutschland bzw. „Naturemade“ des Vereins für umweltgerechte Energie (VUE) in der Schweiz. Die Recherche ergab, dass laut Auskunft der verantwortlichen Organisationen das jeweilige Zertifizierungssystem für torrefizierte Biomasse theoretisch angewendet werden könnte, dies jedoch zu prüfen sei.

In Österreich werden bis 2013 Nachhaltigkeitskriterien für das Österreichische Umweltzeichen für „Grüner Strom“ bzw. für „Brennstoffe aus Biomasse“ erarbeitet. Nach der Veröffentlichung ist zu prüfen, ob torrefizierte Biomasse den Richtlinien entsprechen wird und mit dem Österreichischen Umweltzeichen ausgezeichnet werden kann.

Für eine detaillierte Aufstellung der Ergebnisse siehe Tabelle 7 im Anhang.

Zusätzlich wurde im Zuge der Recherche ermittelt, dass es Schemen gibt, die Nachhaltigkeitsindikatoren für Biomasse bzw. Bioenergie beinhalten, jedoch keine Zertifizierung für torrefizierte Biomasse vorsehen bzw. das Zertifizierungssystem nicht im europäischen Raum zur Anwendung kommen. Dazu zählen die folgenden Schemen:

- „Blauer Engel“
Kontakt: Umweltbundesamt Deutschland
Webseite: <http://www.blauer-engel.de/>
- „Global Bioenergy Partnership“ (GBEP)

Kontakt: Global Bioenergy Partnership Secretariat, Food and Agriculture Organization of the United Nations

Webseite: www.globalbioenergy.org

- „Green-e“

Kontakt: Center for Resource Solutions,

Webseite: <http://www.green-e.org>

- Sustainable Bioenergy A Framework for Decision Makers

Kontakt: UN-Energy

Webseite: www.un-energy.org

- „Laborelec-SGS Solid Biomass Sustainability Scheme“

Kontakt: SGS Société Générale de Surveillance S.A. (Schweiz)

Webseite: www.laborelec.com

- „Swan Label“

Kontakt: Ecolabelling Sweden

Webseite: <http://www.nordic-ecolabel.org>

- „Biomassestrom Nachhaltigkeitsverordnung“

Kontakt: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Deutschland

Webseite: <http://www.bmu.de>

3.4.1 Nachhaltigkeitsworkshop

Im Rahmen des Workshops, der am 06. Dezember 2011 stattfand, identifizierten die Stakeholder jene Aspekte, die für die umweltrelevanten, sozialen und ökonomischen Auswirkungen torrefizierter Biomasse bedeutend sind und diskutierten Maßnahmen zur Vermeidung und Reduktion nachteiliger Auswirkungen. Das Ziel des Workshops war es, relevante Fragestellungen der Nachhaltigkeit torrefizierter Biomasse auszuarbeiten und gemeinsam erste Lösungsansätze zum Umgang mit diesen Fragestellungen zu finden.

Am Workshop nahmen VertreterInnen von NGOs, die im Umweltbereich (Ökobüro, Greenpeace) oder in der Entwicklungspolitik (Südwind Agentur) tätig sind, teil. Zudem waren Organisationen, die für Energieeinsparung und die Nutzung erneuerbarer Energieformen plädieren, vertreten (Österreichischer Biomasse-Verband, Energieagentur der Regionen, panSol Klimaschutz:Energie:Umwelt).

Als die relevante Fragestellungen und Aspekte der Nachhaltigkeit der Torrefizierung von Biomasse wurden von den TeilnehmerInnen des Workshops die Flächennutzung und Rohstoffgewinnung, der Energieeinsatz und Transport, die Produktnutzung und die politischen Rahmenbedingungen identifiziert. Methoden, die am besten geeignet erscheinen die jeweiligen Aspekte zu behandeln, wurden für die beiden Themenkreise Energieeinsatz & Transport und Flächennutzung & Rohstoffgewinnung ausgearbeitet. Für den Themenkreis Energieeinsatz & Transport zählen hierzu die Erstellung von LCA, Ökobilanzen oder die Berechnung des Carbon Footprints für die gesamte Prozesskette (z.B. mit GEMIS), der Vergleich mit anderen Energieträgern, die Anwendung eines Energieautarkie-Tools (z.B. RESYS) und von Indikatoren (z.B. CFP, Effizienzkriterien, Stoffliche Nutzung,

Landnutzungsänderungen, Versorgungssicherheit), die Einführung von Lenkungsmechanismen (Gesetze, Verordnungen), Politikberatung und Technologie-Wissenstransfer (z.B. Plattformen schaffen und nutzen, Information zur Verfügung stellen). Die Anwendung von Nachhaltigkeitskriterien wurde als die wesentlichste Methode für den Themenkreis Flächennutzung & Rohstoffgewinnung erachtet, wobei die folgenden Gesichtspunkte zu beachten sind: Weiter- bzw. Neuentwicklung von Kriterien, Einbindung bestehender Systeme, globale Anwendbarkeit, Verpflichtend für den exportierenden Staat, Abdeckung von sozialen, ökologischen und ökonomischen Bereichen.



Abbildung 24: Stakeholder Workshop



Abbildung 25: Stakeholder Workshop Ergebnis Themen

3.4.2 Assessment und Berechnung einer aussagekräftigen Kenngröße

Basierend auf den Ergebnissen der vorgelagerten Aktivitäten insbesondere des Workshops wurde der Carbon Footprint als Kenngröße für die Bewertung torrefizierter Biomasse herangezogen. Es wurde mit den Projektpartnern ein standardisiertes Produkt definiert und die Produktionsverfahren festgelegt. Die Zuteilung der Material- und Energieeinsätze auf das standardisierte Produkt und die Verwertung bzw. Entsorgung der Produktionsabfälle wurden produktionspezifisch erhoben und analysiert. Die CFP-Berechnungen von TORRLOG-Produkten wurden mit CFP-Berechnungen von fossilen und biogenen Brennstoffen verglichen. Als Referenzbrennstoffe standen hier Steinkohle, Heizöl extra leicht oder Holz-Pellets in der Datenbank GEMIS-Österreich zur Verfügung. Mit Hilfe von Internet-Recherche und Marktanalyse wurden aktuelle Produktionsdaten von Referenzprodukte ermittelt.

Auf Basis Österreich-spezifischer Daten berücksichtigt GEMIS alle wesentlichen Prozesse angefangen von der Primärenergie- und Rohstoffgewinnung bis zur Nutzenergie und Stoffbereitstellung, so z.B. auch den Hilfsenergie- und Materialaufwand zur Herstellung von Energieanlagen und Transportsystemen und bietet somit die Möglichkeit, neben den lokalen Emissionen auch die vorgelagerten Prozessemissionen zu berücksichtigen. Das GEMIS-Modell bietet die Möglichkeit, eine umfassende Maßnahmenanalyse

hinsichtlich der Umweltauswirkungen bestimmter Pläne und Vorhaben zu beurteilen. Aufbauend auf dem GEMIS-Modell wird der Carbon Footprint (in CO₂-Äquivalent Emissionen) berechnet.

Tabelle 16: Angenommene Energieeinsätze für die Bereitstellung pro Tonne von torrefizierter Biomasse von Brasilien bis Hafen in Europa

Torrefizierte Biomasse	Energie- und Materialeinsatz	Einheiten
Ernte		
Ernte Diesel	0,66	l/t
Transport Rohstoff 300 km		
LKW (30l Diesel/100 km - 23 t Nutzlast)	8,61	l/t
Produktion		
Hacker	2,09	l/t
Stromeinsatz	200,00	kWh/t
Transport Produkt 300 km		
LKW (30l Diesel/100 km - 23 t Nutzlast)	3,91	l/t
Verladung		
Diesel	0,15	l/t
Transport 8.000 km		
Schiff (400 t IFO+50tMDO 25.000t Ladung Torrefiziert)	18,00	kg/t
Verladung		
Diesel	0,30	l/t

Die Energieeinsätze aus der Bereitstellung von torrefizierter Biomasse ist aus der obigen Tabelle ersichtlich. Für eine Tonne torrefizierte Biomasse mit einem Energieinhalt von 5.833 kWh werden entlang der gesamten Bereitstellungskette rund 568 kWh eingesetzt. Das Erntegut hat einen Feuchtigkeitsgehalt von 50 %.

Die Energieeinsätze wurden mit den jeweiligen LCA-Emissionsfaktoren multipliziert. Daraus resultieren Bereitstellungsemissionen von rund 238 kg CO₂-Äquivalent-Emissionen pro Tonne torrefizierter

Biomasse. Bezogen auf den Heizwert bedeutet das Treibhausgasemissionen von rund 0,041 kg pro kWh.

Der Vergleich der LCA-Emissionen von fossilen Energieträgern wie Kohle oder Heizöl durch torrefizierte Biomasse zeigt das Einsparungspotential dieses erneuerbaren Energieträgers.

Tabelle 17: Gesamte CO₂-Äquivalent-Emissionen in g pro kWh von fossilen Energieträgern und torrefizierter Biomasse

	Bereitstellungsemissionen CO ₂ -Äquivalent- Emissionen in g/kWh	Direkte Verbrennungsemissionen CO ₂ -Äquivalent- Emissionen in g/kWh	Gesamte CO ₂ - Äquivalent- Emissionen in g/kWh
Heizöl	41	272	313
Kohle	53	379	432
Torrefizierte Biomasse	41	4	45

Wie in der obigen Tabellen angeführt, verursachen Kohle um den Faktor 8,6 und Heizöl um den Faktor 5,6 deutlich höhere Treibhausgasemissionen als torrefizierte Biomasse.

Die Produktform, ob in Pelletsform oder als Briketts, hat keinen massiven Einfluss auf die gesamten Treibhausgasemissionen von torrefizierter Biomasse. Hingegen verursachen Briketts um rund 9 % weniger Treibhausgasemissionen, als pelletiertes torrefiziertes Material.

Wird die Biomasse nicht torrefiziert, sondern zu Holz-Pellets verarbeitet, entstehen auf Grund des geringeren Heizwertes pro Gewichtseinheit und der damit verbundenen größeren Transportleistungen um rund 14 % höhere Treibhausgasemissionen im Vergleich zu pelletierter torrefizierter Biomasse.

4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Im Rahmen der Risikobewertung überraschen die positiven Ergebnisse. Anders als erwartet konnte in manchen Bereichen keine Verschlechterung bzw. sogar eine Verbesserung der Human- und Ökotoxizität festgestellt werden.

Bemerkenswert im gegenständlichen Projekt war, dass beispielsweise bei der aquatischen Toxizität durch eine, in toxikologischen Maßstäben, geringfügige Verdünnung eine drastische Reduktion der Toxizität zu erreichen war. Dabei verhält sich torrefizierte Biomasse toxikologisch kaum anders, als die zugrundeliegenden Rohmaterialien. Ein weiterer Punkt betrifft das Ausgasen bzw. die Zerstörung von natürlichen gefährlichen Stoffen durch den Torrefikationsprozess. In diesem Bezug führt die Torrefikation sogar zu Reduktion des Risikos im Vergleich zu den Ausgangsstoffen, die ja ein natürliches Material darstellen. Vor allem beim Bereich Staub besteht jedoch Handlungsbedarf hinsichtlich Minimierung.

5 Kontaktdaten

DI Angelika Rubick
ofi Österreichisches Forschungsinstitut für Chemie und Technik
Franz Grill Str. 5, 1030 Wien

Konsortium und Expertise:

Institution		Rolle	Expertise
Österreichisches Forschungsinstitut für Chemie und Technik	ofi	Antragsteller und wissenschaftlicher Partner	Materialanalytik, Torrefikation, Mikrobiologie
Wild & Partner	W&P	Firmenpartner KMU	Logistik, Supplychain
Institut für Brandschutztechnik und Sicherheitsforschung GmbH	IBS	Wissenschaftlicher Partner	Brand- und Explosionsschutz
Umweltbundesamt	UBA	Wissenschaftlicher Partner	Nachhaltigkeit, ökologische Bewertung
Technisches Büro für Chemie - Dr. Karl Dobianer	TBC	Subvertragsnehmer Experte	Toxikologie und Risikoanalyse