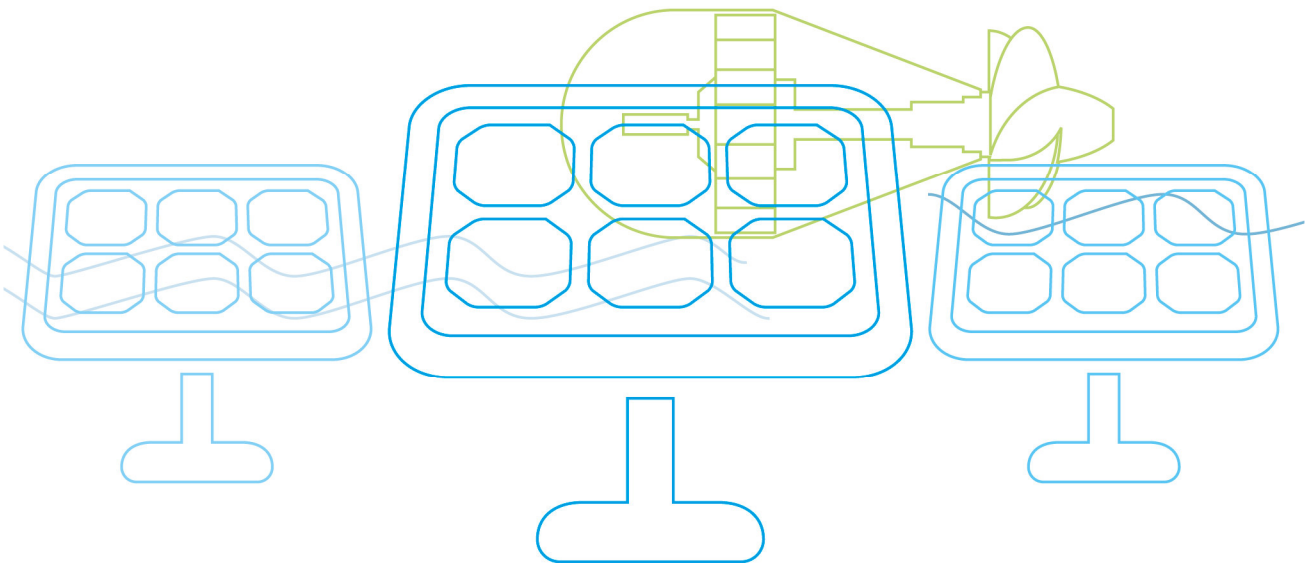




TORRQUAL

Erarbeitung von Qualitätskriterien für
die Klassifizierung und Standardisierung
von torrefizierten Biomassebrennstoffen



VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.

Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage www.klimafonds.gv.at zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Neue Energien 2020“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, durch Innovationen und technischen Fortschritt den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem voranzutreiben.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!

A stylized, handwritten signature in black ink, consisting of several fluid, overlapping strokes.

Ingmar Höbarth
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

A handwritten signature in black ink that reads 'Theresia Vogel' in a cursive script.

Theresia Vogel
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds

TORRQUAL

Erarbeitung von Qualitätskriterien für die Klassifizierung und Standardisierung von torrefizierten
Biomassebrennstoffen

AutorInnen:

Yasmin Volgger, DI Angelika Rubick

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
1.1	Aufgabenstellung	5
1.1.1	Zielsetzung:.....	6
1.2	Schwerpunkte des Projektes	6
1.3	Einordnung in das Programm	7
1.3.1	Direkter Beitrag zu den energiestrategischen Zielen	7
1.3.2	Direkter Beitrag zu den systemstrategischen Zielen	8
1.4	Verwendete Methoden	9
1.5	Aufbau der Arbeit	10
2	Inhaltliche Darstellung	11
2.1	Voraussetzungen	11
2.1.1	Generierung von Probematerial.....	11
2.1.2	Probematerial aus industrieller Erzeugung	13
2.2	Methodenentwicklung – flüchtige Bestandteile	14
2.2.1	Variation der Methodenparameter, Prüfatmosphäre und Flammhemmer	14
2.2.2	Methodenbeschreibung und Evaluierung der Ergebnisse.....	15
2.3	Methodenentwicklung hydrophobe Eigenschaften.....	16
2.3.1	Hydrophobizität	16
2.3.2	Hygroskopie	17
2.3.3	Entwicklung der Prüfmethode.....	17
2.3.4	Beschreibung der Methode	18
2.4	Methodenentwicklung Mahlbarkeit	19
2.4.1	Probenvorbereitung für den Hardgrove Index.....	19
2.4.2	Ergebnisse des Hardgrove Index	20
2.4.3	Spezifikation erarbeiten	20
2.5	Validierung und Korrelation	21
2.5.1	Weitere kritische Biomassemethoden validieren	21
2.5.2	Analysemethoden mit torrefizierten Materialien testen	22
2.5.3	Analysenmethoden mit industriell hergestelltem Material testen.....	22
2.5.4	Ergebnisse auf Korrelation auswerten	22
2.5.5	Konzept für mögliche Schnellmethoden	22
2.6	Anwendungsorientierte Klassifizierung	23
2.6.1	Qualitätskriterien der AnwenderInnen.....	23
2.6.2	Machbarkeit der Qualitätskriterien der AnwenderInnen	26
3	Ergebnisse und Schlussfolgerungen	26
4	Ausblick und Empfehlungen.....	29
5	Literaturverzeichnis	30
6	Kontaktdaten.....	30

1 Einleitung

1.1 Aufgabenstellung

Die technischen Grundlagen der Torrefikation ist die thermische Veredelung von fester Biomasse. Das Biomasserohmaterial wird unter Sauerstoffausschluss auf 260 bis 320°C erwärmt. Dadurch wird die Restfeuchte, sowie Teile der flüchtigen Bestandteile des Ausgangsmaterials ausgetrieben. Das dabei entstehende Torrefikationsgas bzw. dessen (geringer) Energieinhalt wird zur Steigerung der Energieeffizienz wieder in den Produktionsprozess zur Energiegewinnung rückgeführt. Der größte Anteil an Kohlenstoff verbleibt in der torrefizierten Biomasse. Analysen zeigen, dass die chemische Veränderung und die nachgeschaltete Komprimierung dem Rohmaterial kohleähnliche Eigenschaften verleihen:

- Hohe Energiedichte nach Pelletierung: 15-18 GJ/m³ verglichen mit Holzpellets 11 GJ/m³
→ Transport- und Lageraufwand wird signifikant reduziert
- Flexibilität beim Rohmaterial → durch die Torrefikation kann aus unterschiedlichen Biomassen ein relativ homogenes Produkt hergestellt werden. Das Input-Portfolio reicht von Hackgut, Kurzumtriebs-, Rest- und Altholz über Energiegras, Palmkerne und andere landwirtschaftliche Reststoffe bis hin zu Sekundärbrennstoffen.
- Hydrophobe Eigenschaften → torrefizierte Biomasse kann im Freien gelagert werden
- Höhere Sprödigkeit → Material kann direkt in Kohlekraftwerken eingesetzt werden

Seit Mitte 2008 beschäftigt sich ein österreichisches FEI Konsortium rund um die ACB GmbH (Andritz AG, Polytechnik, 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. Eine erste österreichische Pilotanlage wurde am Standort Frohnleiten errichtet, die offizielle Eröffnung fand am 25. Oktober 2012 statt.

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

1. Fragen zur Klassifizierung und Standardisierung des neuen Brennstoffs (TORRQUAL)
2. Fragen zur Logistik, Lagerung, Sicherheit und Nachhaltigkeit speziell im internationalen Kontext (TORRLOG, Projektnummer: 829833)

Im Jahr 2009 haben sich neben dem österreichischen Konsortium international mindestens sechs weitere FEI-Gruppen im fortgeschrittenen Entwicklungsstadium präsentiert. Das gegenwärtige Ziel der

Forschenden ist die Errichtung und Inbetriebnahme von Torrefikationspilotanlagen. Die Analyse und Beurteilung der Qualität des torrefizierten Materials wurde im gesamten Entwicklungsprozess aufgrund ihrer Komplexität zu wenig betrachtet. Die Analytik stößt aufgrund der spezifischen Materialeigenschaften von torrefizierter Biomasse schnell an ihre Grenzen. Untersuchungen nach herkömmlichen Methoden werden erschwert oder sind unmöglich. Die Klassifizierung des neuen Biobrennstoffes nach bestehenden Biomasse-Kriterien ist oftmals nicht sinnvoll, da wichtige Bewertungsparameter weit über denen von unbehandelter Biomasse liegen und andere Eigenschaften für torrefiziertes Material von Interesse sind. Eine Klassifizierung nach Kohlemaßstäben ist ebenfalls nicht ausreichend bzw. nicht praktikabel.

1.1.1 Zielsetzung:

TORRQUAL beschäftigte sich mit der systematischen Entwicklung bzw. Adaptierung von Prüfmethoden, die eine anwendungsorientierte Analyse und Beurteilung von torrefizierter Biomasse ermöglichen. Ein konkretes Ziel war Prüfverfahren für den Torrefizierungsgrad, die Mahlbarkeit und die Hydrophobizität zu erarbeiten.

Standardisierte Analyseverfahren für feste Biomasse sollen auf ihre Anwendbarkeit, Richtigkeit und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse geprüft und gegebenenfalls optimiert (z.B. Bestimmung der Flüchtigen Bestandteile). Im Rahmen eines internationalen Ringversuchs sowie internen Vergleichstests wurde im Projektantrag vorgesehen, die Evaluierung der Ergebnisse vorzunehmen. Die Ergebnisse der Forschungsaktivitäten sollen nach Abschluss des Forschungsprojektes auf standardgerechtes Niveau gebracht und in die bestehenden Arbeitsgruppen auf europäischer und weltweiter Ebene eingebracht werden (CEN TC 338 und ISO 238).

1.2 Schwerpunkte des Projektes

TORRQUAL beschäftigte sich mit der systematischen Entwicklung bzw. Adaptierung von Prüfmethoden, die eine anwendungsorientierte Analyse und Beurteilung von torrefizierter Biomasse ermöglichen. Konkret wurden dazu Prüfverfahren für folgende Parameter erarbeitet:

- Torrefizierungsgrad/Anteil an flüchtigen Bestandteilen
- Hydrophobizität/Hygroskopie

Die Schwerpunkte der vorliegenden Projektstudie können wie folgt zusammengefasst werden:

1. Die herkömmlichen Analyseverfahren für feste Biomasse wurden auf ihre Anwendbarkeit, Richtigkeit und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse überprüft und ggf. optimiert. Die entwickelten Methoden wurden in dem vorgesehenen internationalen Ringversuchs evaluiert.
2. Parallel zur Methodenentwicklung wurde ein interaktiver Benchmark mit zukünftigen Anwendergruppen gestartet. Das Resultat zeigt sich in der Definition von anwendungsorientierten Klassifizierungskriterien.

3. Alle Ergebnisse aus den vorangegangenen Forschungsaktivitäten wurden bzw. werden auf standardgerechtes Niveau gebracht und in die bestehenden Arbeitsgruppen auf europäischer und weltweiter Ebene eingebracht (CEN TC 338 und ISO 238). Dort werden auf Basis des Know-how aus diesem Projekt international gültige Normen bzw. Normenanhänge für torrefizierte Biomasse erarbeitet.

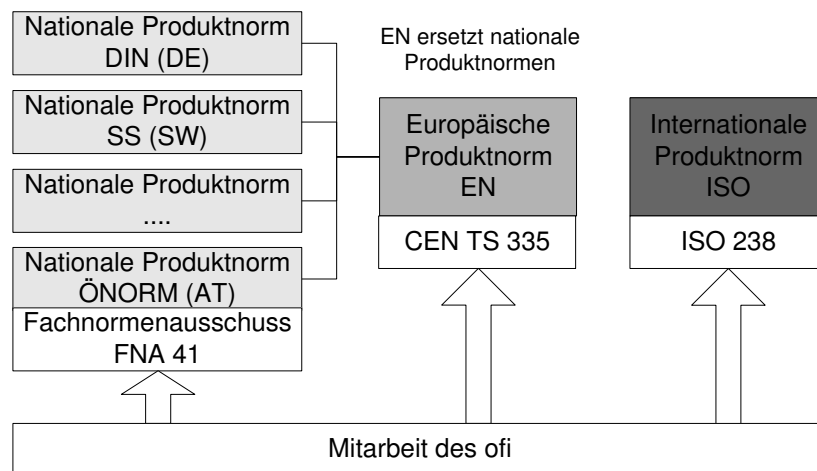


Abbildung 1: Normungslandschaft

1.3 Einordnung in das Programm

- Entwicklung von Analyseverfahren zur Untersuchung der Eigenschaften von torrefizierter Biomasse
- Schaffung der Voraussetzungen und Erarbeitung von entsprechenden, internationalen Standards
- Definition von Klassifizierungskriterien unter Berücksichtigung der Anforderungen wichtiger AnwenderInnengruppen

1.3.1 Direkter Beitrag zu den energiestrategischen Zielen

1.1 Sicherstellung der Kriterien der Nachhaltigkeit: ökonomisch, ökologisch und sozial dauerhaft

Seitens der Wirtschaft und der erneuerbaren Energieproduktion werden hohe Erwartungen in das Verfahren der Torrefikation gelegt. Um zukünftig torrefiziertes Material in Form eines standardisierten Brennstoffs in Verkehr bringen zu können, muss die komplexe Thematik der Qualitätssicherung gelöst werden. Gegenteilige Entwicklungen könnten dauerhafte, negative Auswirkungen auf das Image des neuen Biobrennstoffes hervorrufen. Unseriöse AnbieterInnen oder nicht erfüllte Erwartungen von KundInnen dienen nur als Beispiel eines möglichen negativen Rückkoppelungseffekts. Wissenschaftlich fundierte Standardisierung bildet die Grundlage, ein neues Produkt nachhaltig am Markt zu etablieren.

Durch die Entwicklung und Definition praxistauglicher Prüfmethoden und Bewertungskriterien, kann zukünftig weltweit nach den gleichen Verfahren analysiert werden, wodurch einheitliche Qualitätsstandards etabliert werden können. Produktstandards gelten als Voraussetzungen für die

Etablierung von torrefizierter Biomasse als Massenprodukt. Erst dadurch können die Vorteile des Kohlesubstituts voll zum Tragen kommen.

1.3.2 Direkter Beitrag zu den systemstrategischen Zielen

Reduktion des Verbrauchs fossiler und nuklearer Energieträger

Die Standardisierung des neuen Biomassebrennstoffes, stärkt das Vertrauen der KundInnen in das Produkt. Dadurch gelangen zusätzlich große Mengen klimaneutraler, biogener Brennstoffe auf den Markt und können fossile Brennstoffe wie Kohle zumindest teilweise substituieren. Das torrefizierte Material hat das realistische Potenzial, Biomasse direkt in Kohlekraftwerken einzusetzen.

Erschließung von Ressourcen erneuerbarer Energieträger

Im Rahmen von TORRQUAL wurde torrefizierte Biomasse aus unterschiedlichen Rohmaterialien analysiert. Dadurch kann die Annahme bestätigt werden, dass durch Torrefikation aus inhomogenen Ausgangsmaterialien ein weitgehend homogener Brennstoff produziert werden kann.

Entwicklung von Schlüsseltechnologien

Die Torrefikation ist eine Schlüsseltechnologie, die es ermöglicht ein breites Spektrum an bis dato nicht sinnvoll verwertbaren Biomassekuppelprodukten einer energetischen Verwertung zukommen zu lassen. Die Kuppelprodukte müssen demnach nicht unter additionalen Energie- und Materialeinsatz beseitigt werden, sondern können effizient mit einer Vielzahl an Vorteilen (Klimaneutralität, hohe Verfügbarkeit, Nachhaltigkeit, Ressourcenschonung, etc.) eingesetzt werden. Der derzeitige Forschungsschwerpunkt Torrefikation mehrerer internationaler Konsortien, ist ein Zeichen für die Relevanz und das Potential der Technologie. TORRQUAL unterstützt das Vorhaben des österreichischen Konsortiums „ACB-Pilotanlage“ technologiebegleitend, um diese Schlüsseltechnologie in Österreich zu entwickeln.

Multiplizierbarkeit, Hebelwirkung und Signalwirkung

Die systematische Herangehensweise an die Prüfmethodeentwicklung konnte nur im Rahmen eines Forschungsprojektes wie TORRQUAL erfolgen. Anhand des Projekts konnte Österreich ein deutliches Zeichen in einem neuen Fachgebiet setzen. Nicht zuletzt der internationale Ringversuch wurde von der gesamten Branche wahrgenommen.

Verbesserung der Umwandlungseffizienz

Das Konzept des Torrefikationsprozesses ist auf möglichst hohe Energieeffizienz optimiert. Neben der Energierückgewinnung aus dem Schwachgas wird vor allem die Abwärme der Trocknung zur Vorwärmung der Verbrennungsluft genutzt.

Herstellung einer Optionenvielfalt bei Technologie und Energieträgern

Wie bereits erwähnt wird das verfügbare Brennstoffportfolio für Kohlekraftwerke aber auch für mittlere Biomassekraftwerke durch torrefizierte Biomasse erweitert. Zusätzlich werden vor allem Vorteile aus ökologischer Sichtweise schlagend. Durch die Möglichkeit der teilweisen bzw. vollständigen Substitution von Kohle, rückt die Technologie der Kohlefeuerung wieder in den Brennpunkt und stellt möglicherweise eine wirklich nachhaltige, zukunftsorientierte Option z.B. zur Kernenergie dar.

(Kosten-)Effizienz der Treibhausgasreduktion

Durch die klimaneutrale Verbrennung torrefizierter Biomasse können Kraftwerke oder andere Industrien, durch den Einsatz von torrefiziertem Material, in Abhängigkeit von der eingesetzten Menge, Emissionszertifikate einsparen. Vor allem die Kompensationsmechanismen des Kyoto-Protokolls „Clean Development Mechanism (CDM)“ und „Joint Implementation (JI)“ ermöglichen es Industriestaaten bzw. Unternehmen, mit emissionsreduzierenden Projekten in Entwicklungs- oder Schwellenländern Gutschriften zu erwirtschaften. Die Torrefikation birgt das Potenzial, durch umweltrelevante Investitionen in Entwicklungs- und Schwellenländern die dortigen, bisher ungenutzten Biomassereststoffe zu nutzen.

1.4 Verwendete Methoden

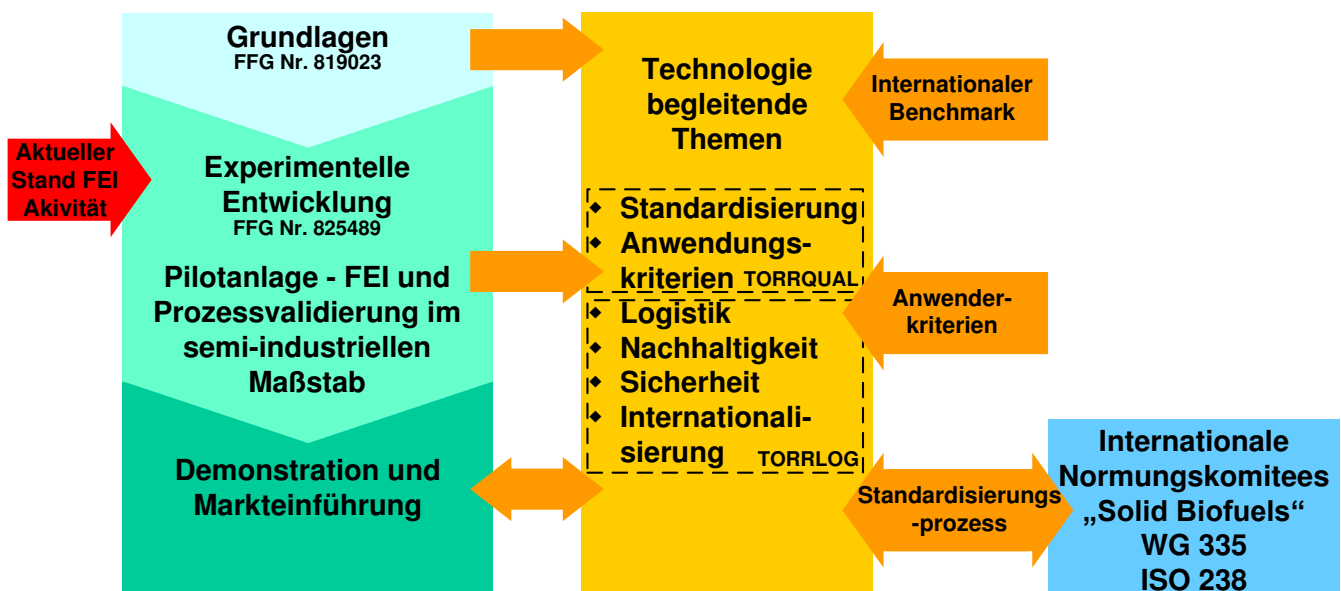


Abbildung 2: Einbettung in die FEI Landschaft

Die Prüfmethodenentwicklungen, die im Rahmen von TORRQUAL stattfanden, erfolgten für die Entwicklung der einzelnen Verfahren in eigenen Arbeitspaketen nach ähnlicher Methodik: Recherche, Prüfmatrix, Laborversuche, Validierung und Evaluierung. Die Arbeitsschritte, die dabei für die jeweiligen Prüfungen durchzuführen waren, sind in den entsprechenden Arbeitspaketen beschrieben. Da keine PartnerInnen neben dem **ofi** in das Projekt involviert waren, konnte die sonst in Gemeinschaftsprojekten wichtige Kommunikation reduziert werden, z.B. wurde auf Telefonkonferenzen verzichtet. Aufgrund der Brisanz des Themas wurde in Arbeitspaket 7 auf einen gemeinsamen KundInnenworkshop verzichtet und dieser durch persönliche Gespräche ersetzt.

1.5 Aufbau der Arbeit

Aufstellen der Prüfmatrix

Die im Antrag getroffenen Annahmen wurden im Rahmen der Prüfmatrixerstellung nochmals überprüft und gegebenenfalls überarbeitet. Die Prüfmatrix, als zentrales Instrument der Methodenentwicklung, musste alle Aspekte berücksichtigen, die später auf das Prüfverfahren Einfluss nehmen können. Sie bildete die Grundlage für die anschließende Herstellung der Prüfmuster.

Herstellung der Prüfmuster

In diesem Schritt wurden unter kontrollierten Laborbedingungen Prüfmuster hergestellt. Es wurde bewusst kein industriell hergestelltes Material herangezogen, um die größtmögliche Aussage bezüglich der Einflussfaktoren und ihrer Korrelationen treffen zu können. Die Laborbedingungen erlaubten zusätzlich, einzelne Parameter zu variieren. Diese umfassten z.B. die Verweilzeit, die Torrefikationstemperatur, den Eingangsfeuchtegehalt oder das Rohmaterial insbesondere dessen Korngrößenverteilung.

Methodenentwicklung

Je nach Fragestellung, wurden unterschiedliche Ansätze praktisch umgesetzt bzw. Methoden aus anderen Fachgebieten auf ihre Eignung evaluiert. Neben der Anwendbarkeit, stellte sich die Frage, ob eine Differenzierung des zu untersuchenden Parameters möglich ist. Dazu mussten parallel mehrere Parameter getestet werden (z.B. Heizwert parallel zum Torrefizierungsgrad).

Validierung und Anhebung auf das Niveau zur Standardisierung

Die Ergebnisse aus den vorangegangenen Projektaktivitäten sowie die Beschreibung der Prüfmethoden wurden als Basis für die Validierung heran gezogen. Die Verfahren wurden in einem internen Vergleichstest auf Anwendbarkeit überprüft. Zusätzlich liefert dieser erste Vergleich, wichtige Ergebnisse bezüglich der Reproduzierbarkeit der Resultate. Als wesentliches Kriterium für eine praxistaugliche Norm wurde ein Ringversuch auf internationaler Ebene organisiert. Wichtige Faktoren waren die Auswahl und Herstellung von ausreichend aussagekräftigem und homogenem Probematerial und die genaue Kenntnis der Eigenschaften.

Auswertung bezüglich Korrelationen

Im Rahmen von TORRQUAL wurden zahlreiche Analysen durchgeführt. Neben der Methodenentwicklung wurde dadurch die Auswertung bezüglich bestehender Korrelationen ermöglicht.

Festlegung der Bewertungskriterien

Dieser Arbeitsschritt war besonders kritisch, da anhand der Bewertungskriterien zukünftig die Qualitätssicherung des torrefizierten Materials gewährleistet werden soll.

Einbringung in internationale Normungskomitees (CEN TC 335 und ISO 238)

Durch die langjährige Mitarbeit des **ofi** in nationaler und internationaler Normungstätigkeit, ist die Einbringung der Ergebnisse von TORRQUAL in den relevanten Gremien gewährleistet. Die Auswahl von Komitees auf europäischer und internationaler Ebene wurde getroffen, da durch die internationale Normung die größtmögliche Wirkung erzielt werden kann. Außerdem wurde der Bedarf eines neuen Standards für torrefizierte Biomasse seitens der Arbeitsgruppen bereits erkannt. Das Ziel ist, basierend auf den Forschungsergebnissen von TORRQUAL einen neuen Teil für torrefizierte Biomasse innerhalb der Normenreihe EN 14961 zu erarbeiten.

2 Inhaltliche Darstellung

In der folgenden Darstellung werden die zentralen Inhalte der einzelnen Arbeitspakete präsentiert.

2.1 Voraussetzungen

Die hergestellten Proben wurden mittels Rasterelektronenmikroskop untersucht, wobei sich visuell signifikante Unterschiede der Oberflächenbeschaffenheit von torrefizierter und nicht torrefizierter Biomasse zeigten (siehe Abb. 1 und Abb. 2). Derzeit wird in Kooperation mit ExpertInnen der Universität für Bodenkultur nachverfolgt, ob diese Veränderungen Rückschlüsse auf das Verhalten bei der Kompaktierung oder die Hydrophobizität des Materials zulassen. Aufgrund des hohen Zeitaufwandes konnten die Forschungstätigkeit im Rahmen von TORRQUAL nicht abgeschlossen werden.



Abb. 1: REM Bild -Sonnenblume, 100 µm

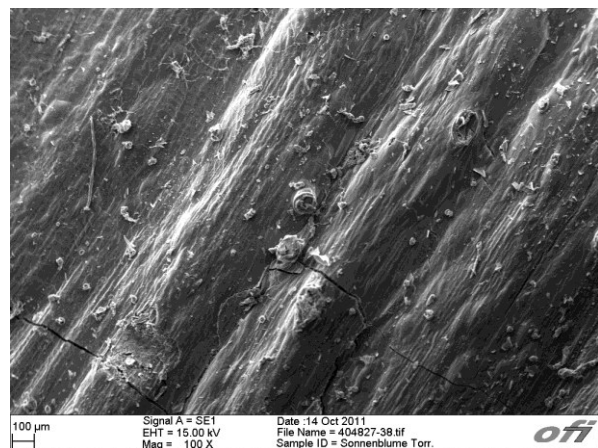


Abb. 2: REM Bild -Sonnenblume torrefiziert, 100 µm

2.1.1 Generierung von Probematerial

Eine der ersten Zielsetzungen betraf die Entwicklung und Modifizierung der geeigneten Laborausstattung, um Probematerial mit unterschiedlichem Torrefizierungsgrad untersuchen zu können. Der Torrefikationsprozess am **ofi** wurde durch eine Apparatur, die im Muffelofen platziert werden konnte, bewerkstelligt (siehe Abb. 3).

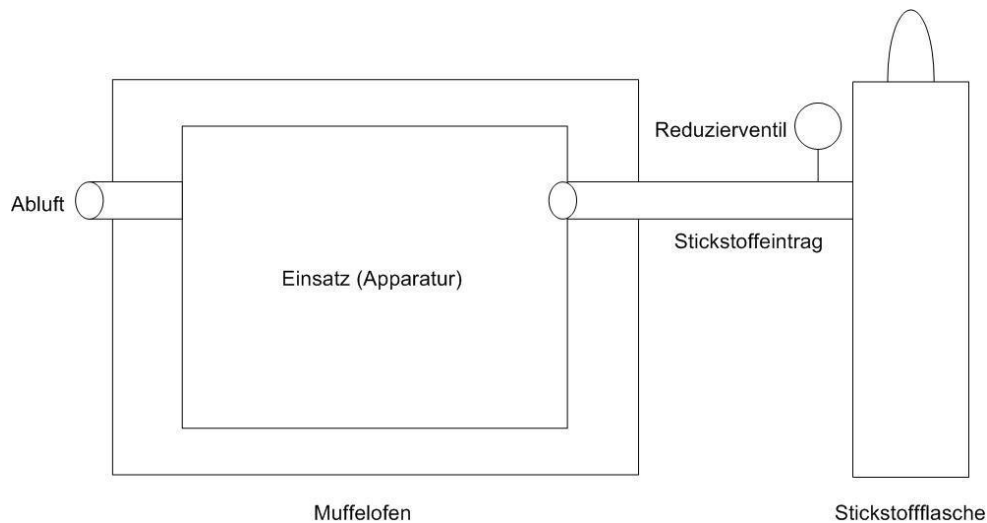


Abb. 3: Funktionsprinzip Torrefikationsapparatur

In Probeversuchen zeigte sich, dass die erforderliche O_2 -freie Torrefikation mittels N_2 -Spülung nicht zu erreichen war. Die Ausdehnung der Apparatur wurde ebenfalls als hinderliches Kriterium erfasst.

In Optimierungsmaßnahmen konnte eine kleinere Torrefizierungsdose konstruiert werden. Diese konnte erfolgreich mit Stickstoff gespült und im Muffelofen platziert werden. Der Stickstoff fließt während des kompletten Torrefizierungsvorgangs durch ein perforiertes Rohr, welches an der Blechdose befestigt ist, wodurch Stickstoff in die Torrefikationskammer gelangt. Mehrere Öffnungen dienen dem Abtransport des Sauerstoffs und der bei höheren Temperaturen entstehenden Gase. Die kontinuierliche Temperaturmessung ermöglichte unterschiedliche torrefizierte Biomassen (z.B.: Bambus, Sonnenblumenstängel, Rohrglanzgras, Nüsse und Holz) zu produzieren (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Der Torrefizierungsgrad konnte durch die Parameter der Temperatur und der Verweildauer variiert werden.



Abb. 4: Birkenhackschitzel, Nüsse, Bambus

Die Laborversuche zeigten, dass der Torrefikationsprozess verschiedener Biomassen unterschiedlich verläuft. Bei Biomassen, die bedingt durch ihren biologischen Aufbau eine geringere Dichte haben, konnte keine gleichmäßige Torrefizierung erzielt werden. Bedingt durch die Lufteinschlüsse im Stängel (z.B. bei Sonnenblumenstängel) wurden Selbstentzündungen hervorgerufen, bzw. oxidierte das Material während des Torrefikationsprozesses (siehe Abb. 5-Abb. 8).



Abb. 5: Sproßquerschnitt bei der Sonnenblume¹



Abb. 6: Rohmaterial Sonnenblumenstängel



Abb. 7: Sonnenblume torr. (300°C 20 Min.)



Abb. 8: Sonnenblumenstängel (Selbstentzündung)

Kompaktere Materialien (z.B. Nüsse) benötigen während des Prozesses höhere Temperaturen und/oder längere Verweilzeiten in der Torrefizierungskammer. Mais eignet sich, ausgeschlossen der Körner, gut als Rohmaterial. Diese mussten im Vorfeld des Prozesses entfernt werden, da sie während des Erhitzens erheblich an Volumen zunehmen (Popcorneffekt). Torrefizierte Körner verkohlen zwar binnen kürzester Zeit, weisen dadurch jedoch abweichende Torrefikationsgrade auf. Halmgutartige Biomassen (z.B.: Bambus) eignen sich ebenfalls ausgezeichnet als Rohstoff.

Eine Ausnahme bildet Rohrglanzgras. Aufgrund der Temperatureinwirkung verändert das Rohmaterial sein Volumen in der Torrefikationsdose. Die Samen dehnten sich während des Torrefikationsprozesses explosionsartig aus. Dabei wurde das Rohmaterial extrem inhomogen und verhinderte eine gleichmäßige Torrefikation. Im Zentrum wurde das Rohrglanzgras nicht torrefiziert, während am Rand der Dose sogar Verbrennungen stattfanden. Rohrglanzgras kann zwar als Rohmaterial benutzt werden, allerdings empfiehlt es sich, nur die Stängel zu benutzen und die Samen bereits vorher zu entfernen.

2.1.2 Probematerial aus industrieller Erzeugung

Die Organisation von industriell hergestelltem Material gestaltete sich äußerst schwierig. Die Torrefikation im industriellen Maßstab ist noch nicht weit fortgeschritten, das Interesse an torrefizierter Biomasse hingegen hoch. Dieses Material wird aufgrund des starken Wettbewerbs oftmals

¹ <http://www.biokurs.de/skripten/12/bs12-4.htm>

ausschließlich an vertraglich festgelegte AbnehmerInnen verkauft. Zusätzlich befanden sich die ersten Anlagen noch im Optimierungsprozess, wodurch das Qualitätskriterium eines reproduzierbaren Probematerials nicht erfüllt werden konnte. Mit hohem Aufwand konnten kleinere Probemengen der FoxCoal B.V in den Niederlanden (torrefizierte Pellets), der ACB GmbH in Österreich (torrefizierte Birkenhackschnitzel) und der New Biomass Energy LLC in den USA (torrefizierte Pellets) besorgt werden. Während der verlängerten Projektlaufzeit gelang es dem Projektteam im Rahmen des EU-Projekts SECTOR - Netzwerks repräsentative Mengen torrefizierter Pellets von Topell in den Niederlanden zu akquirieren.

2.2 Methodenentwicklung – flüchtige Bestandteile

Europaweit existieren 3 geltende Normen für die Bestimmung von flüchtigen Bestandteilen. Zwei davon für die Bestimmung in Kohle (DIN 51720, ISO 562), eine für die Bestimmung in Biomasse (EN 15148). In Australien und Amerika gibt es je eine Norm (AS 2434.2-2002, ASTM D 5142), die die Bestimmung von flüchtigen Bestandteilen in Kohle festlegen. Alle Normen weisen starke Parallelen auf.

Tabelle 1: Auflistung der relevanten Normen

Norm	Herkunftsland	Parameter
DIN 51720	Europa	900°C, 7min, Cyclohexan, Luft
ISO 562	Europa	900°C, 7min, Cyclohexan, Luft
EN 15148	Europa	900°C, 7min, Luft
ASTM D5142	Amerika	900°C, 7min, Stickstoff
AS 2434.2-2002	Australien	400°C dann 900°C, 7min

Wie in Tabelle 1 ersichtlich, liegt die Prüftemperatur einheitlich bei 900°C. Unterschiede bestehen einzig bei der Verwendung von Cyclohexan und der gewählten Prüfatmosphäre. Für die australische Norm werden zwei Muffelöfen benötigt, da der Versuch zu Beginn bei 400°C und anschließend bei 900°C durchgeführt wird.

2.2.1 Variation der Methodenparameter, Prüfatmosphäre und Flammhemmer

Bei der Bestimmung der flüchtigen Bestandteile von torrefiziertem Material nach den geltenden europäischen Normen für Kohle (DIN 51720) kam es vereinzelt zu kräftigen explosionsartigen Reaktionen (siehe Abb. 9).

Mit dem Ziel, die Heftigkeit der Reaktion zu verringern, wurden mehrere vergleichende Versuchsreihen durchgeführt. Basierend auf den erhaltenen Ergebnissen konnte der Zusatz von Cyclohexan als ausschlaggebend identifiziert und bei den Folgeversuchsreihen evaluiert werden. Um nach der



Abb. 9: Explosion im Muffelofen

australischen Norm (AS 2434.2-2002) Prüfungen durchzuführen, wurde ein zusätzlicher Muffelofen gekauft. Für die Bestimmung nach ASTM D 5142 wurden ausgewählte Proben an Twin Ports Testing, Inc. in Wisconsin, USA versandt.

Darüber hinaus wurde versucht, das Cyclohexan durch andere Lösemittel (z.B.: Aceton, Wasser) zu ersetzen und der Einfluss des Probengestells, wie in DIN 51720 beschrieben, ermittelt. Nach mehreren Versuchen mit unterschiedlichen Probematerialien, Parametern, Zeitfaktoren und Biomassen mit unterschiedlichen Torrefizierungsgraden (siehe Abb. 10) konnte dargelegt werden, dass torrefiziertes Material sich nicht kohleähnlich, sondern wie Biomasse verhält.

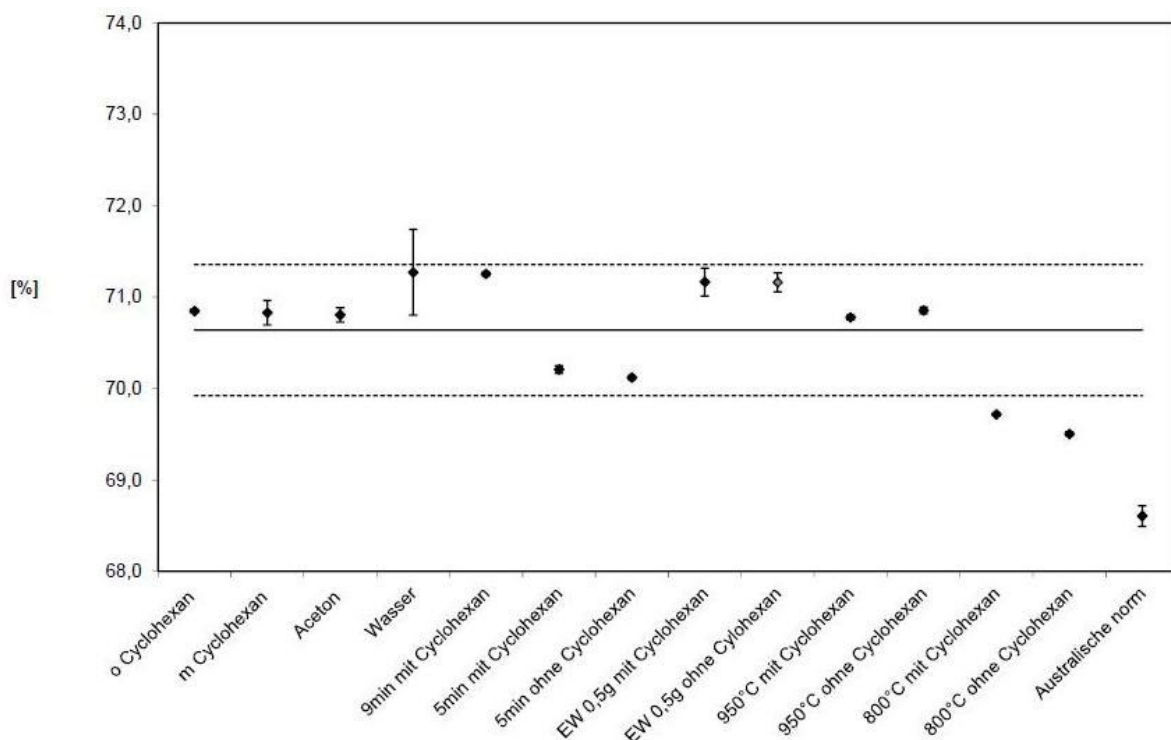


Abb. 10: Beispiel aus den Versuchsreihen zur Bestimmung der Flüchtigen Bestandteile von schwach torrefizierter Birke

Reproduzierbare Ergebnisse bei der Bestimmung der flüchtigen Bestandteile in torrefizierter Biomasse werden nur erzielt, wenn die Durchführung der Analysen laut EN 15148 (Feste Biobrennstoffe – Bestimmung der Flüchtigen Substanzen) erfolgt (ohne Cyclohexan, 7 Minuten bei 900°C).

2.2.2 Methodenbeschreibung und Evaluierung der Ergebnisse

Es wurden zahlreiche Materialien (industriell und selbsthergestelltes Material) unter Anwendung der adaptierten Methodik geprüft und die Ergebnisse evaluiert. Die Beschreibung der Methode zur Bestimmung der flüchtigen Bestandteile bei torrefizierter Biomasse erfolgte auf Basis des gängigen Schreibstils der Normenlandschaft und enthält die adaptierte Prüfmethode. Die Methodenbeschreibung liegt in deutscher und englischer Sprache vor und verzichtet bei der Durchführung auf die Zugabe von Alkoholen. Bei der Bestimmung der flüchtigen Bestandteile in torrefizierter Biomasse wird daher

empfohlen, die EN 15148 heranzuziehen und auf torrefizierte Biomassen auszuweiten und diese entsprechend zu validieren.

Bei der Validierung des Verfahrens im Rahmen eines internationalen Ringversuchs zeigte sich, dass die statistischen Kenngrößen für die torrefizierte Biomasseprobe (hergestellt aus Waldrestholz) zwischen den Ergebnissen für Holzpellets und Olivenrückständen lagen (Validierung EU Projekt BioNorm II) und die Methode somit geeignet ist (siehe Validierungsbericht: <http://www.sector-project.eu/>).

2.3 Methodenentwicklung hydrophobe Eigenschaften

Brennstoffe wie Pellets oder Briketts werden oft im Freien gelagert und sind starken Schwankungen der Luftfeuchtigkeit ausgesetzt. Ziel der Versuchsreihen dieses Arbeitspakets war zu erforschen, ob torrefiziertes Brennmaterial bei hoher Luftfeuchtigkeit stabil bleibt und/oder ab welchem Zeitpunkt der Zerfall beginnt. Das Projekt TORRQUAL erforschte die Hydrophobizität und die Hygroskopie der torrefizierter Biomasse. Die Ausprägung der Hydrophobizität von torrefizierter Biomasse wurde lose, stückig, gemahlen und in kompakter Form erforscht.

2.3.1 Hydrophobizität

Im ersten Schritt wurden diverse, thermisch behandelte Biomassebrennstoffe, untersucht. Das Hauptaugenmerk wurde auf die Absorptionsfähigkeit der Muster und das Schwimmverhalten an der Wasseroberfläche gelegt. Für die Versuche wurden Proben mit unterschiedlichen Torrefizierungsgraden und Erscheinungsformen verwendet. Für die Konditionierung der Versuchsmaterialien waren keine speziellen Vorbereitungen notwendig, stückigere Proben wurden von eventuellen Staubrückständen mittels Pinsel befreit. Bei den durchgeführten Untersuchungen wurde das Verhalten einzelner Wassertropfen an der Probenoberfläche ermittelt. Die Wassertropfen wurden mit einer Pipette auf die, in einer Aluschale vorbereiteten, Proben aufgebracht (siehe Abb. 11). Bei der Prüfung von gemahlenem Material wurde auf das Mengenverhältnis Probematerial zu Wasser geachtet.

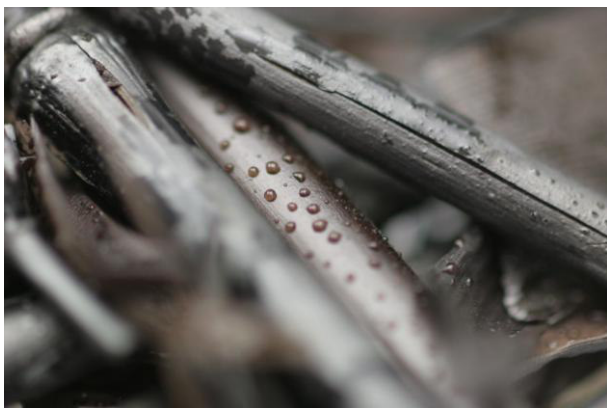


Abb. 11: Hydrophobe Eigenschaft von torrefiziertem Bambus



Abb. 12: Stark torr. Biomassepressling nach 30 min in Wasser

Zur Prüfung des Schwimmverhaltens von torrefizierter Biomasse wurde, wie Abb. 12 zeigt, die Veränderung des spezifischen Gewichts, vor und nach der Lagerung einer Probe in Wasser, gemessen.

Bei den Versuchen konnte eine Korrelation des Torrefizierungsgrades zur Ausprägung der hydrophoben/hygroskopischen Eigenschaften von torrefizierter Biomasse identifiziert werden. Parallelen zwischen der Erscheinungsform und den spezifischen Charakteristika des torrefizierten Materials konnten nicht verifiziert werden.

2.3.2 Hygroskopie

Holz ist sowohl in kompakter als auch in nicht verdichteter Form hygroskopisch. Holzpellets nehmen mit einem Wassergehalt zwischen 5 und 8 % selbst aus sehr trockener Raumluft mit einer Luftfeuchtigkeit von < 35 % noch Feuchtigkeit auf und können diese „einlagern“. Um die hygroskopischen Eigenschaften von torrefizierter Biomasse zu erforschen wurde torrefiziertes Material und dessen Fähigkeit zur Wasseraufnahme aus Luft mittels Klimaschrank bei Normklima geprüft. Die gewählten Prüfeinstellungen waren: 20/50, 20/65, 20/80, 20/90 und 23/50. Im Gegensatz zu Holz, hat die Temperatur bei torrefiziertem Material keinen wesentlichen Einfluss auf die Hygroskopie. Je höher der Grad der Torrefikation, desto höher die Widerstandsfähigkeit des Materials im Klimaschrank.

2.3.3 Entwicklung der Prüfmethode

Zu Beginn wurde das Gewicht der kompaktierten Probe ermittelt. Im Anschluss an die Wägung wurden die Proben in eine, zur Gänze mit Wasser gefüllte, Aluschale gelegt. Es wurde darauf geachtet, dass der komplette Probekörper mit Wasser bedeckt war. In den ersten 30 Minuten und in periodischen Abständen wurde das Verhalten der Probe im Wasserbad beobachtet. Während beim torrefizierten Material und der Kohle mit bloßem Auge praktisch keine Veränderung zu beobachten war, vergrößerte sich das Volumen des nicht torrefizierten Materials erheblich. Die erste Bestimmung der Massenzunahme erfolgte nach 30 Minuten. Nach dem Entfernen des angesammelten Wassers erfolgte eine erneute Einwaage der Probe, zur Bestimmung der Massenzunahme. Abschließend wurden die Proben wieder in das Wasserbad zurückgehoben. Dieser Vorgang wurde nach drei Tagen wiederholt, um die Massenzunahme nach 72 Stunden zu ermitteln. Dieser Zeitrahmen wurde gewählt, um die hydrophoben Langzeiteigenschaften des torrefizierten Materials gravimetrisch zu ermitteln. Diese Methodik eignet sich für torrefiziertes Material im Labormaßstab.

Das Verhalten der Proben, torrefizierte Pellets/Briketts im Vergleich zu herkömmliche Pellets/Briketts, wurden im Klimaschrank bei 20°C und 90 % Luftfeuchtigkeit beobachtet. Jeweils nach 1, 4, 8, 32 und 104 h wurde das Gewicht gemessen, um den Wassergehalt festzustellen. Abschließend wurden die Proben einer Wasserlagerung unterzogen, um die Zeit bis zum Zerfall zu messen.

Die hochtemperierten torrefizierten Pellets blieben nach über 4 Tagen (ca. 104 h) im Klimaschrank stabil. Obwohl das Gewicht und der Wassergehalt wesentlich anstiegen, wurde die Formstabilität bewahrt. Alle torrefizierten Proben blieben auch bei direktem Kontakt mit Wasser formstabil, sie bildeten lediglich leichte Bläschen an ihren Außenflächen. Der Wasserlagerungsversuch wurde nach 45 Minuten abgebrochen. Die Biomasse Pellets zerfielen nach rund 10 h und die Briketts nach 1 h, wie in Abb. 13 visualisiert.

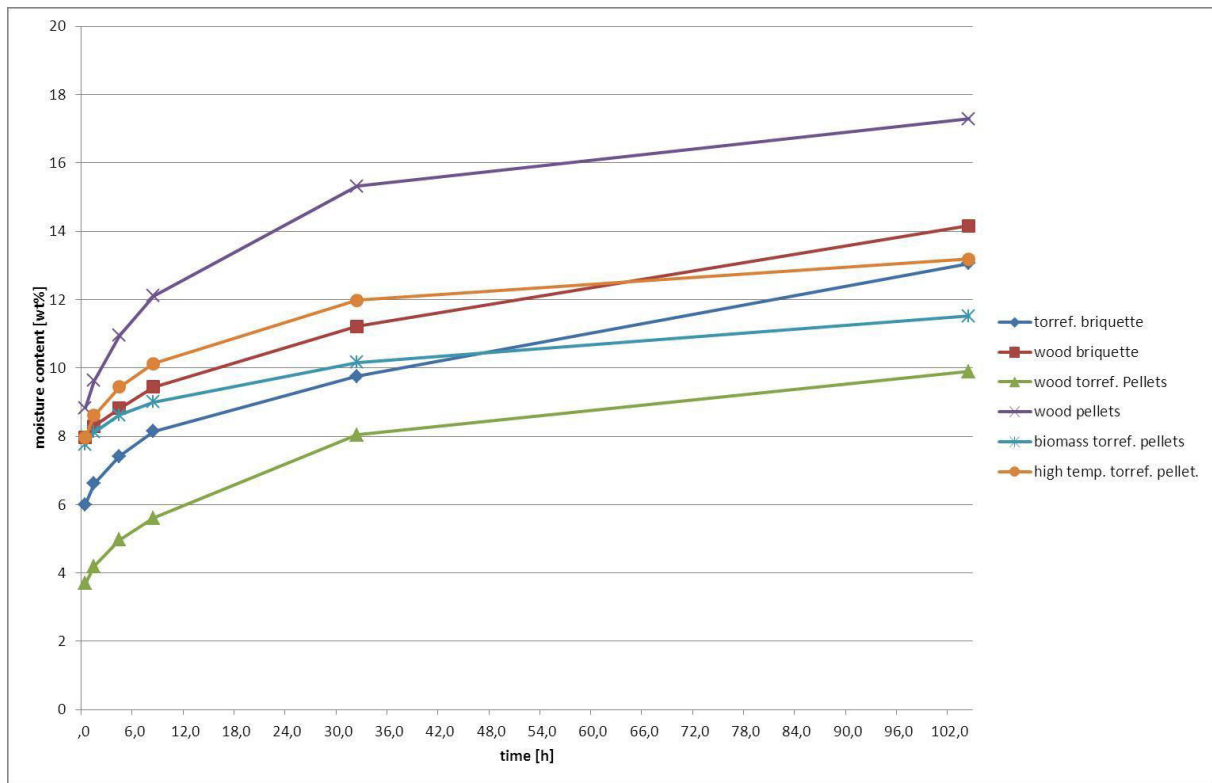


Abb. 13: Vergleichende Feuchtelagerungsversuche

2.3.4 Beschreibung der Methode

Basierend auf den orientierenden Vorversuchen konnten folgende Methoden zur Bestimmung der Hydrophobie und der Hygroskopizität erarbeitet werden². Die Prüfanleitung zur Bestimmung der beiden Parameter bei torrefizierten Brennstoffen konnten im Rahmen von TORRQUAL beschrieben und vorbereitet werden. Eine Prüfvorschrift liegt in deutscher und englischer Sprache vor.

Bestimmung der Hydrophobizität:

1. Benutzen Sie ein Maschendrahtsieb um das Probematerial von Wasserrückständen zu trennen, nachdem die Probe 48 Stunden bei 20°C in destilliertes Wasser eingetaucht war.
2. Bestimmen Sie den Feuchtegehalt einer repräsentativen Stichprobe
3. Tauchen Sie 200 g des Probematerials 48 Stunden in destilliertes Wasser
4. Trennen Sie das Wasser mithilfe eines Siebs (10 Minuten abtropfen)
5. Notieren Sie die Wasseraufnahme
6. Unmittelbar danach bestimmen Sie die mechanische Festigkeit des Probematerials
7. Die Auswirkung des Benetzens wird als Hydrophobizität (100 % - Wasseraufnahme) angegeben

Bestimmung der Hygroskopizität:

1. Lagern Sie das torrefizierte Material in einer Klimakammer bei 20°C / 90 % rel. Feuchte bis die Gleichgewichtsfeuchte erreicht wird.
2. Bestimmen Sie den Feuchtigkeitsgehalt einer repräsentativen Stichprobe

² Melin 2012

3. Verteilen Sie 200 g des Probematerials gleichmäßig auf einer Wägeschale
4. Stellen Sie die Wägeschale in eine Klimakammer mit kontrollierter Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit
5. Notieren Sie die Steigerungsrate der Gewichtszunahme anfänglich jede Stunde (durch Wiegen der Probe) und später täglich bzw. jeden dritten Tag über eine Mindestdauer von 5 Tagen
6. Auch wenn der Gleichgewichtszustand auch teilweise nach 5 Tagen nicht erreicht werden kann, wird der Versuch nach spätestens einer Woche abgebrochen
7. Notieren Sie die Wasseraufnahme durch die Gewichtszunahme
8. Unmittelbar danach bestimmen Sie die mechanische Festigkeit des Probematerials, falls dieses noch ausreichend formstabil ist
9. Die Auswirkung der Hygroskopizität wird dargestellt als: Rate der Gewichtszunahme

2.4 Methodenentwicklung Mahlbarkeit

Da torrefizierte Biomasse in Zukunft Anwendung als Substitut für Kohle finden soll, ist es relevant den HGI (Hardgrove – Index) bzw. die Härte von torrefizierter Biomasse zu bestimmen. In Kohlekraftwerken wird Kohle als Brennstoff in den Brennraum eingeblasen und muss davor auf eine definierte Korngröße gemahlen werden. Der HGI gibt vereinfacht ausgedrückt die „Kohlehärte“ an und wird dazu verwendet, den Aufwand und die Kosten des Mahlvorgangs abzuschätzen. Im Projektverlauf wurde die Mahlbarkeit und der damit verbundene Energieaufwand als einer der signifikantesten Parameter für torrefizierte Brennstoffe identifiziert, die Möglichkeiten der Bestimmung sind allerdings begrenzt. Alternativ zu den herkömmlichen Analysen mittels HGI Mühle wurden Versuchsreihen mit einer Kugelmühle und einer Ultrazentrifugalmühle durchgeführt. Alle Versuchsreihen wurden durch die Leistungsaufnahme während des Mahlvorgangs ergänzt, um einen direkten Vergleich zu Kohle zu visualisieren.

2.4.1 Probenvorbereitung für den Hardgrove Index

Die Versuche mit einer HGI Mühle wurden in Kooperation mit der Verbund AG in Mellach durchgeführt. Im Zuge des Projekts wurde der HGI diverser torrefizierter und nicht torrefizierter Biomassen mittels HGI-Mühle in Anlehnung an die DIN 51742 – „Bestimmung der Mahlbarkeit von Steinkohle nach Hardgrove“ untersucht. Da zu Projektbeginn nicht bekannt war, ob die Norm für Kohle ebenfalls bei torrefizierter Biomasse anwendbar ist, wurden im ersten Schritt unterschiedliche Rohmaterialien ausgesucht und wie in der DIN 51742 beschrieben vorbereitet und analysiert. Zum Vergleich wurden, wie in Tabelle 2 gelistet, Steinkohlemuster geprüft (HGI zwischen 43-55).

Tabelle 2: Probenmaterial der ersten Versuchsreihe

Probe	Holzpellets	Torr. Pellets 1	Torr. Pellets 2	Torr. Hackschn.
Gemahlen auf Korngröße:	< 2mm	< 1mm	< 2mm	< 2mm
Torrefikationsgrad	Nicht torrefiziert	schwach 71% Flüchtige Bestandteile	mittel-stark 60% Flüchtige Bestandteile	schwach 71% Flüchtige Bestandteile

Die HGI-Versuche zeigten, dass Biomassen (torrefiziert und nicht torrefiziert) einen wesentlich niedrigeren HGI als Kohlen aufweisen. Torrefizierte und nicht torrefizierte Biomasse weist eine gewisse „Sprödigkeit“ auf, dies äußert sich z.B. beim Mahlvorgang, da Biomasse in diesen Versuchen trotz mehrmaligem Aufmahlen noch nicht die gewünschte Korngröße aufwies. Die Bestimmung gemäß DIN 51742 (Bestimmung der Mahlbarkeit von Steinkohle nach Hardgrove) ist nicht ohne Anpassungen für Biomasse anwendbar. Die Schüttdichte von nicht torrefizierter Biomasse ist so gering, dass mit den von der Norm geforderten 50 g Probeneinwaage, der HGI Behälter überfüllt ist. Da der HGI ein rein empirischer und auch mühlen- und kalibrierabhängiger Wert ist, ist der direkte Vergleich von Biomasse (torrefiziert und nicht torrefiziert) auf die Endanwendung gesehen (Zerkleinern von Brennstoff für die Staubfeuerung) nur bedingt aussagekräftig.

2.4.2 Ergebnisse des Hardgrove Index

Der Hardgrove Grindability Index hängt stark von der eingesetzten Mühle ab. Die vergleichenden Analysen mit den **ofi**-eigenen Aufbereitungstechnologien konnten kein reproduzierbares Ergebnis erzielen. Tabelle 3 zeigt, dass die Vergleichbarkeit der Ergebnisse nicht gegeben ist.

Tabelle 3: Vergleich Ergebnisse Kugelmühle und HGI Mühle (Auszug)

	HGI (HGI Mühle)	HGI (Kugelmühle 40 Umdrehungen)	HGI (Kugelmühle 50 Umdrehungen)
Torrefizierte Biomasse (gemahlene Hackschnitzel)	37,7	14,9	21,0
Biomasse (gemahlene Fichtenpellets)	12,1	11,5	15,2
Torrefizierte Biomasse (gemahlene Fichtenpellets)	24,0	15,3	26,9

Im Rahmen der Auswertungen konnte trotz Einsatz verschiedener Aufbereitungstechnologien und Probematerialien kein signifikanter Trend beim Stromverbrauch identifiziert werden.

Die im **ofi** durchgeführten Analysen mit Kugel- und/oder Ultrazentrifugalmühlen sind im Ansatz gut. Im Austausch mit weiteren renommierten Prüfinstituten konnte recherchiert werden, dass diese Verfahren auch in anderen FEI Gruppen aufgegriffen wurden. Die adaptierten Methoden konnten jedoch bislang noch nicht zu reproduzierbaren Ergebnissen führen.

2.4.3 Spezifikation erarbeiten

Der für die AnwenderInnen wesentlichste Parameter für die Mahlbarkeit wurde in intensiven Gesprächen mit den europaweit größten Energiekonzernen (uA.: Susan Weatherstone und Stewart Bradley von E.ON New Build & Technology Limited in Nottingham, Johan Wadenbäck und Anna Hinderson von Vattenfall Research and Development in Stockholm und Uta Kappler von der RWE Innogy GmbH in Essen.) identifiziert. Anders als angenommen, ist dieser nicht der HGI direkt. Die BertreiberInnen legen großen Wert auf den Stromverbrauch während des Mahlvorganges. Konzernintern wurden bereits eigene Apparaturen entwickelt. Diese Geräte sind nicht universell einsetzbar, da diese für die

Verwendung mit definierten Korngrößen gefertigt wurden. Die eingesetzten Korngrößen sind abhängig vom jeweiligen Reaktor und reichen bis zu Staubpartikeln. Der Energieaufwand zum Mahlen auf die jeweilige Korngröße ist nicht einheitlich.

Aufgrund der unterschiedlichen Zerkleinerungstechnologien die in diesem KundInnensegment Anwendung finden, wird in absehbarer Zeit keine Spezifikation bzw. Norm verfasst werden können.

2.5 Validierung und Korrelation

2.5.1 Weitere kritische Biomassemethoden validieren

Die Bestimmung des Heizwerts ist sowohl bei „normalen“ Biomassen, als auch für torrefizierte Brennstoffe wichtig und nicht durch andere Analysen zu ersetzen. Torrefizierte Biomasse reagiert, im Vergleich zu herkömmlichen Materialien, aggressiver und steigert den Verschleiß des Bombenkalorimeter-Zubehörs (Dichtung) erheblich. In Kooperation mit dem/der GeräteherstellerIn wurden Versuche unternommen, um diesem Verschleiß entgegenzuwirken. Die Problematik konnte nicht gänzlich gelöst werden, es wurde allerdings die Probenvorbereitung adaptiert. Im Vorfeld der Analyse wurde das Probematerial befeuchtet und Brennhilfsmittel zugegeben. Die Cl- und S-Analytik wurde im Aufschluss mittels Ionenchromatographie gemäß EN 15289 durchgeführt. Für die Bestimmung von Kohlenstoff, Wasserstoff und Stickstoff wurde ein CHN-Analyzer benutzt. Unter Einhaltung der genormten Methode für Biomasse (EN 15104) waren hierbei keine Adaptierungen nötig.

Die aschebildenden Hauptbestandteile wurden mittels Röntgenfluoreszenzanalyse bestimmt.

2.5.2 Analysemethoden mit torrefizierten Materialien testen

Zum Zeitpunkt des Antrags wurde davon ausgegangen, dass Holz, Energiegras und Abfälle (recovered fuels) zu den attraktivsten Rohstoffen für den Torrefikationsprozess gehören. Im Zuge der Forschungstätigkeiten stellte sich heraus, dass die Torrefikationstechnik ihre Anwendung dort findet, wo ausreichend Rohmaterial vorhanden ist. Aktuell sind Biomassen wie Bambus, Bagasse und Kurzumtriebspflanzen als Rohstoff in hohen Mengen weltweit vorhanden. Die Auswahl der Rohstoffe für die Torrefikationsversuche erfolgte auf Basis der Projektergebnisse. Grundsätzlich lassen sich alle Biomassen in der richtigen Atmosphäre torrefizieren. Ausnahmen, die als kritischer betrachtet werden, wurden in T 2.3 beschrieben. Alle im Rahmen von TORRQUAL (weiter)entwickelten Methoden wurden an den in Arbeitspaket 2 produzierten Probematerialien getestet. Die Ergebnisse sind in der Prüfmatrix erfasst.

2.5.3 Analysenmethoden mit industriell hergestelltem Material testen

Im ersten Berichtszeitraum wurden unterschiedlichste, industriell hergestellte Biomassen geprüft. Teilweise wurden Verunreinigungen bei den torrefizierten Materialien gefunden, die meist mit bloßem Auge erkennbar waren. Auch visuell homogen erscheinende Materialien wurden für die Versuche gemahlen und homogenisiert, um eventuellen Verfälschungen von Prüfergebnissen vorzubeugen. Sogar Proben mit starken Verunreinigungen (z.B.: Metallreste) konnten unter Einsatz der entwickelten Prüfmethoden analysiert werden, das Ergebnis ist trotz Verunreinigungen interpretierbar und reproduzierbar. Als Ausweitung und Überprüfung dieses Tasks dient der internationale Ringversuch.

2.5.4 Ergebnisse auf Korrelation auswerten

Es konnten einzelne Korrelationen zwischen Rohmaterialien identifiziert werden. Aufgrund der unterschiedlichen Pflanzenstrukturen variiert das Verhalten der eingesetzten Materialien. Die Bestimmung des Heizwerts bleibt ein kritischer Faktor, allerdings ist dies auf das veränderte Verhalten der Proben während der Analyse zurückzuführen. Je höher der Torrefikationsgrad des Probematerials, desto höher die Wahrscheinlichkeit für Verschleißerscheinungen beim Gerätezubehör. Trotz der Variation der Ausgangsmaterialien konnten die entwickelten Methoden für die komplette Bandbreite an Prüfungen evaluiert werden.

2.5.5 Konzept für mögliche Schnellmethoden

Die qualitative Bewertung des vorhandenen Probematerials auf Basis der rein visuellen Beurteilung ist bei torrefiziertem Material nicht zielführend. Die Farbgebung des torrefizierten Materials kann, aufgrund rohstoffspezifischer Unterschiede, als Indikator für den Torrefikationsgrad ausgeschlossen werden. Auf die Bestimmung des Heizwertes kann aufgrund der gerätetechnischen Investitions- und laufenden Kosten nicht zurückgegriffen werden. Bedingt durch die signifikanten Unterschiede der Rohmaterialien konnte kein einheitlicher Parameter für Schnelltests identifiziert.

Alternativ wurde die TGA Methode als primär interessante Methode identifiziert, um bereits vor dem Torrefikationsprozess die wichtigsten Parameter interpretieren zu können. Diese umfassen, den zu erwartenden Aschegehalt, die Zersetzung der Zellulose/Hemizellulose, den Zeitpunkt des

Wasseraustritts aus dem Rohmaterial und den Zeitpunkt, an dem der weitere Abbau der verbliebenen Kohlenstoffverbindungen stattfindet. Des Weiteren können mittels TGA Analyse bereits im Vorfeld die Grundparameter der Torrefikation prognostiziert werden. Die Bestimmung erlaubt eine erste Abschätzung der Wirtschaftlichkeit der jeweils eingesetzten Biomasse.

2.6 Anwendungsorientierte Klassifizierung

2.6.1 Qualitätskriterien der AnwenderInnen

Aus der Literatur und durch Interviews mit zukünftigen, potentiellen AnwenderInnen konnten Kriterienkataloge für den Einsatz torrefizierter Biomasse erarbeitet werden. Die konkreten Spezifikationen die von AnwenderInnen genannt wurden, fließen aufgrund der Vertraulichkeit nicht in diese Publikation ein.

Kohleersatzbrennstoff: Durch den höheren Heizwert nach dem Torrefizieren ist der Einsatz im Vergleich zu unbehandelter Biomasse attraktiver. Trotz dieser guten Ausgangslage sind einige wesentliche Punkte bezüglich der Brennstoffqualität zu beachten. Die meisten Kohlekraftwerke haben strenge Kriterien an die Brennstoffqualität und verlangen genaue Brennstoffspezifikationen, Parameter wie die Mahlbarkeit bleiben weiterhin kritisch (siehe Tabelle 5). Zusätzlich darf ein Ersatzbrennstoff die Qualität der Asche nicht negativ beeinflussen. Der Kriterienkatalog ist abhängig vom jeweiligen Kraftwerk und der Kohleart.

Tabelle 4: Beispielhafter Kriterienkatalog beim Einsatz von Steinkohle

Parameter	Spezifikationen eines Kohlekraftwerks
Wassergehalt	≥12 %
Heizwert (roh)	≥25 MJ/kg
Aschegehalt (roh)	≤12 %
Flüchtige Bestandteile (roh)	ca. 32%
Hardgrove Index	45-70 HGI°
Stickstoffgehalt (wf)	≤2 %
Chlorgehalt(wf)	≤0,1 %
Arsengehalt (wf)	≤10 mg/kg
Ascheerweichungspunkt [°C]	≥1230
Energieaufwand beim Mahlvorgang	?
Schwermetalle	unterschiedlich

Ersatz von Holzpellets für Kleinfeuerungsanlagen: Der Einsatz von torrefiziertem Brennstoff als Holzpelletsersatz ist denkbar, wird von der Branche aktuell aber nicht verfolgt. Brennstoff und Feuerungsanlagen (Kleinfeuerungsanlagen) müssten genau aufeinander abgestimmt werden. Nach Auskunft einiger KesselherstellerInnen (z.B. Windhager) werden, ohne ein entsprechend attraktives Brennstoffangebot keine Typprüfungen durchgeführt, daher ist torrefizierter Brennstoff vorerst nicht in der Praxis einsetzbar. Im EU Projekt SECTOR wird die Anwendbarkeit von torrefiziertem Material in Klein(st)feuerungen untersucht. Die Ergebnisse werden Mitte 2015 erwartet (siehe <http://www.sector-project.eu/>).

Terra Preta: Die Ausbringung von torrefiziertem Material als Bodenhilfsstoff wird in der europäischen Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates vom 28. Juni 2007 und der EG 889/2008 der Kommission beschrieben. Weitere relevante Regelwerke sind die Düngemittelverordnungen (siehe Tabelle 5 und Tabelle 6) und die Bioabfallverordnung (BioAbfV). Zusätzlich müssen die Grundsätze der ökologischen Wirtschaftsweise nach EG-Öko-Verordnung 834/2007 der ABCERT AG und die **ÖNORM** EN 14961-1 Feste Biobrennstoffe – Teil 1 berücksichtigt werden.

Tabelle 5: Schwermetalle der Österreichischen Düngemittelverordnung 2004 (DM-VO)

Schwermetall	Grenzwert		
	Düngemittel*, Bodenhilfsstoffe, Pflanzenhilfsmittel	Mineralische Düngemittel mit mehr als 5% P ₂ O ₅	Kultursubstrate
Blei	100	100	50
Cadmium	3	75 mg/kg P ₂ O ₅	1
Chrom	100	2500	70
Nickel	100	100	70
Quecksilber	1	1	0,5
Vanadium	-	4000	-

*ausgenommen mineralische Düngemittel mit mehr als 5 % P₂O₅

Tabelle 6: Schwermetalle der Deutschen Düngemittelverordnung 2008

Parameter	Anforderungen DüMV / BioAbfV
Nickel (wf)	80 / 50
Kupfer (wf)	700 / 100
Chrom (wf)	300 / 100
Blei (wf)	150 / 150
Cadmium (wf)	1,5 / 1,5
Quecksilber (wf)	1 / 1
Arsen (wf)	40 / -
Zink (wf)	5000 / 400

Vergasung: Die thermische Umwandlung von torrefizierter Biomasse in Form der Vergasung ist für die BetreiberInnen interessant. Versuche mit Presslingen aus Holzrückständen waren nicht optimal, da diese beim Vergasungsprozess zerfielen und der Druckverlust im Reaktor stieg. Dadurch wurde der Wirkungsgrad minimiert und der Wärmetauscher verschmutzt. Mit torrefiziertem Material wurden noch keine Versuchsreihen durchgeführt, die BetreiberInnen bekundeten ihr Interesse am Ende der Projektlaufzeit. Mit Cleanstgas wird voraussichtlich noch 2012 ein Versuchsbetrieb gefahren.

Tabelle 7: Kriterienkatalog beim Einsatz in Vergasern

Parameter	Anforderungen
Korngröße	G50 - G30
Feinanteil	Max 10 - 20 %*
Wassergehalt	Max. 25 %

*anlagenabhängig

NAWARO: Der Einsatz als NAWARO-Brennstoff (Deutschland) ist aus heutiger Sicht spekulativ, da hohen Auflagen an den Rohstoff erforderlich sind. Der Markt ist attraktiv, obwohl europaweit nur Deutschland aktiv ist. Aufgrund der Grundvergütung von Strom aus festen Brennstoffen und der zusätzlichen Vergütung bei der Nutzung nachwachsender Rohstoffe (NAWARO Bonus) lässt sich die Pionierrolle Deutschlands erklären. Der Einsatz ist im deutschen EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz) geregelt, in Österreich und dem Rest Europas wird nicht zwischen Biomasse und nachwachsenden Rohstoffen unterschieden.

Trotz intensiver Anstrengungen konnten die Spezifikationen aus den Branchen der Stahl-, Zement- und chemische Industrie nicht recherchiert werden. Aktuell bleiben die wichtigsten Einsatzgebiete die Kraftwerke. In dieser Branche fand ein intensiver Wissensaustausch mit den bedeutendsten europäischen Konzernen statt (siehe 2.4.3).

2.6.2 Machbarkeit der Qualitätskriterien der AnwenderInnen

Torrefizierte, verdichtete Biomasse ist für alle bestehenden Kohlekraftwerke in Ländern, die es den Einsatz CO₂ neutraler Energieträger fördern, von Interesse. Dazu zählen primär die EU-Länder, in den kommenden Jahren angeführt von Polen, UK, den Niederlanden und eventuell Deutschland, aber auch Japan, Südkorea und Südafrika. Die treibende Hoffnungen in torrefizierte Biomasse – Kostensenkung, Effizienzsteigerung - wurden bisher enttäuscht und stellen das Substituieren von Kohle in Frage. Die gewünschte Ausprägung von Materialeigenschaften, wie der Hydrophobizität, konnte nicht erreicht werden.

Zur Überprüfung der Mechanischen Festigkeit in Zusammenhang mit den hydrophoben Eigenschaften, wurden exemplarische Proben torrefizierter Briketts an DIN CERTCO in Nürnberg übermittelt. Die Briketts wurden im Trommelprüfstand nach DIN EN 15210-2:2011-01 (Feste Biobrennstoffe – Bestimmung der mechanischen Festigkeit von Pellets und Briketts – Teil 2 Briketts; Deutsche Fassung) überprüft. Der generierte Wert bestätigt die Annahme, dass es noch weiterer Optimierungen seitens der ProduzentInnen bedarf. Die mechanische Festigkeit der geprüften Briketts ergab 78,5 %. Ein Grenzwert für die mechanische Festigkeit von Holzbriketts wurde noch nicht festgelegt. Vergleichswerte von am Markt befindlichen handelsüblichen Briketts finden sich unter anderem im Holzbrikettscreening des Deutschen Technologie- und Forschungszentrums (TFZ). Die Abriebfestigkeit von 36 untersuchten Holzbrikettproben lag zwischen 90,6 % und 99,7 %.³

Ein weiteres wichtiges Kriterium stellt die Mahlbarkeit des torrefizierten Brennstoffs und der damit verbundene Energieaufwand dar (siehe 2.4). Diese essentiellen Faktoren für die endgültige Markteinführung werden innerhalb des SECTOR Konsortiums weiter intensiv verfolgt.

3 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die entwickelte Apparatur zur Herstellung von torrefizierter Biomasse im Labormaßstab eignete sich trotz Adaptierungen nicht für den Einsatz im Muffelofen. Durch die Modifizierung dieser Version konnte eine geeignete Apparatur gebaut werden, um Rohstoffe im Labormaßstab zu torrefizieren. Diese Entwicklung ermöglicht das Verhalten verschiedener Rohmaterialien im Industriemaßstab zu prognostizieren. Für (zukünftige) ProduzentInnen stellt die Hochrechnung von Labor- auf Industriemaßstab einen massiven Kosten- und Zeitvorteil dar.

Ein wesentliches Highlight des Projekts sind die Ergebnisse anhand der Analysen nach bestehenden Normen. Viele der Prüfvorschriften können, wie Tabelle 8 zeigt, mit Adaptierungen bzw. in ihrer bestehenden Form angewandt werden.

³ Schön und Hartmann 2011

Tabelle 8: Bewertung der Anwendbarkeit von Analysemethoden für torrefizierte Biobrennstoffe

Eigenschaft	Entsprechende Norm / Spezifikation	Anwendbar für torrefiziertes Material
Für herkömmliche Biomassebrennstoffe relevante Parameter gemäß EN 14961⁴		
Analysierter Wassergehalt im Lieferzustand	EN 14774	😊
Aschegehalt	EN 14775	😊
Heizwert	EN 14918	😊 adaptiert
Korngrößenverteilung	EN 15149	😊
Partikeldichte bei Pellets	EN 15150	😊
Schüttdichte	EN 15103	😊
Mechanische Festigkeit von Pellets	EN 15210	😊
Kohlenstoff-, Wasserstoff- und Stickstoffgehalt	EN 15104	😊 Adaptiert
Gehalt an wasserlöslichem Cl, Na und K	EN 15105	😊
Schwefelgehalt und Chlorgehalt	EN 15289	😊/😞 (Aufschluss)
Hauptbestandteile (Al, Ca, Fe, Mg, P, K, Si, Na und Ti)	EN 15290	😞
Nebenbestandteile (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, V und Zn)	EN 15297	😊

Massenänderung in Abhängigkeit von Temperatur und/oder Zeit

Mit Hilfe der thermogravimetrischen Analyse (TGA) wird die Masse bzw. die Massenänderung einer Probe in Abhängigkeit der Temperatur und/oder der Zeit gemessen. Massenänderungen treten bei Verdampfung, Zersetzung, chemischer Reaktion, magnetischer oder elektrischer Umwandlung auf. Die Thermogravimetrie ist in DIN EN ISO 11358 und DIN 51 006 genormt.⁵

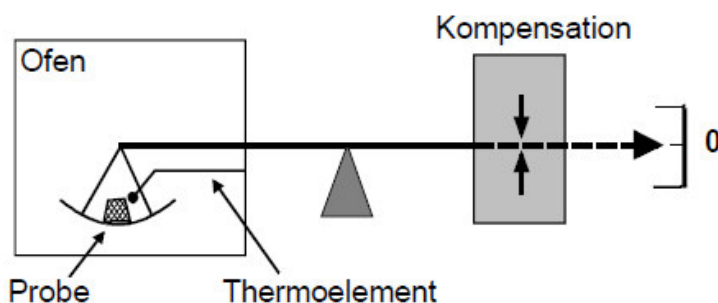


Abb. 14: Schematische Darstellung einer horizontalen Thermowaage⁶

⁴ EN 14961

⁵ München, 2003; 3.1 Grundlagen der Thermogravimetrie (Ehrenstein, Gottfried W.; Riedel G.; Trawiel P.)

⁶ München, 2003; 3.1 Grundlagen der Thermogravimetrie (Ehrenstein, Gottfried W.; Riedel G.; Trawiel P.)

Die TGA ermöglicht es, Biomasse mit unterschiedlichen Aufheizraten und/oder Temperaturprofilen in oxidierender/reduzierender Atmosphäre auf ihren Masseverlust zu überprüfen. Durch die Aufnahme der Masseverluste können die einzelnen Zersetzungstemperaturen und zusätzliche Informationen (z.B. Masseverlust durch Trocknung) ermittelt werden. Anhand der Ergebnisse lassen sich die optimalen Torrefikationsparameter kostengünstig und zeitsparend definieren. Weitere Vorteile sind z.B. die geringe Probenmenge, die für die Analyse benötigt wird, sowie eine Abschätzung der Wirtschaftlichkeit des Torrefikationsprozesses des gewählten Rohmaterials. Die TGA bestimmt den jeweiligen Masseverlust bei definierten Temperaturen, die Ergebnisse sind relevant für die Materialbereitstellung.

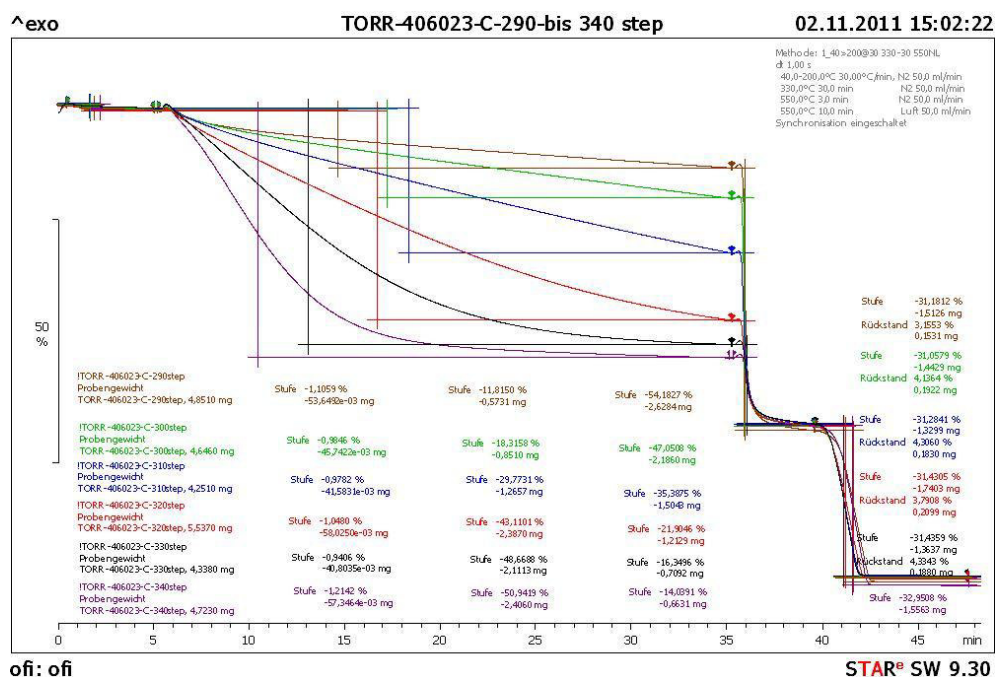


Abb. 15: Beispiel für eine interne Evaluierung im Rahmen der ACB Begleitforschung

Die signifikantesten Schlussfolgerungen stellen sich wie folgt dar:

- Identifikation der Anwendbarkeit bestehender Biomasse Prüfmethode für torrefizierte Biomasse
- Schnittstellenübergreifender Exzellenzaufbau im Themenfeld Torrefikation. Entlang der Prozesskette Torrefikation erarbeitete das **ofi** profundes Know-how im Bereich des ACB Prozesses, der Logistik torrefizierter Brennstoffe und der Qualitätsbestimmung.
- Die Entwicklung eines Torrefikationsreaktors im Labormaßstab. Anhand der Labortorrefikation können Rohstoffe bereits vor industriellen Versuchsreihen auf ihre Eignung überprüft werden (Upscaling).

Nach Abschluss des Forschungsprojekts werden die Anstrengungen des ofi zur Klärung der offenen Fragestellungen weiter intensiviert. Zusammenfassend sind die folgenden Punkte offen:

- Entwicklung einer endgültigen Vorgehensweise für die Bestimmung der hydrophoben Eigenschaften torrefizierter Biomasse.
- Prüfverfahren für die Bestimmung der Härte von torrefiziertem Brennstoff. Die Anforderungen seitens der AnwenderInnen an den Brennstoff sind noch nicht vollständig, es bedarf noch

weiterer Arbeiten, um eine endgültige „Rezeptur“ für die verschiedenen Einsatzgebiete zu definieren.

Zielgruppen:

- Über die Erstellung von internationalen Normen und Übernahme in das (akkreditierte) Prüfgeschäft des **ofi** können alle Stakeholder und Unternehmen angesprochen werden, die mit torrefizierter Biomasse arbeiten und deren Eigenschaften bestimmen wollen. Das tiefe Verständnis des **ofi** der Ergebnisse der Prüfverfahren stellen gegenüber dem Wettbewerb einen Vorteil dar und machen das **ofi** zu einem interessanten FEI Partner für AnlagenentwicklerInnen (z.B. Andritz) wie auch für AnwenderInnen z.B. Kraftwerksbetreiber.

4 Ausblick und Empfehlungen

Sollte torrefizierte Biomasse tatsächlich Kohle in größerem Ausmaß substituieren, muss gemäß europäischer Gesetzgebung eine REACH Deklaration erstellt werden. Ein entsprechendes Arbeitspaket ist im Projekt SECTOR enthalten. Ein Teil der notwendigen Analysen und Analysedaten wird im Projekt SECTOR erhoben werden. Viele der in diesem Projekt offen gebliebenen Fragestellungen sind direkt in die Planung des Projektes SECTOR, in die Konzeption des Arbeitspaketes 8, eingeflossen. Erst nach Abschluss dieses Projektes sowie der REACH Prüfung wird es möglich sein, weiteren Forschungsbedarf bezüglich Methodenentwicklung für die Laboranalyse zu formulieren.

Bereits jetzt ist absehbar, dass die Parameter Energiebedarf bei der Vermahlung und bei der Verdichtung (Vor- und nach Torrefikation) einen wesentlichen Erfolgsfaktor darstellen werden. Aus heutiger Sicht nach Start des SECTOR Projektes sind für diese Fragestellung nicht ausreichend Ressourcen eingeplant, weiterer FEI Bedarf scheint sehr wahrscheinlich.

Ein konkreter FEI Bedarf ergibt sich aus der Prüfung der Praxistauglichkeit der am **ofi** entwickelten TGA-Methode in Kombination mit der Labortorrefikation. Die zukünftigen Forschungstätigkeiten umfassen Versuche, um den Technikums- bzw. Industriemaßstab möglichst zu reduzieren und einen möglichst effizienten Prozess bereits bei der Planung zu verwirklichen. Diese Arbeiten werden im Rahmen der Entwicklung des ACB-Prozesses weitergeführt bzw. abgeschlossen.

5 Literaturverzeichnis

Ehrenstein, Gottfried W; Riedel, G.; Trawiel P: Grundlagen der Thermogravimetrie. München 2003.

Melin, Staffan (2012): Discussion paper for ISO/TC 238, Determination of Hydrophobicity, Wettability and Thawing Characteristics of Torrefied Pellets.

Schön, Claudia und Hartmann, Hans: 2011; Berichte aus dem TFZ 24 - Charakterisierung von Holzbriketts, Brennstofftechnische, physikalische und stoffliche Eigenschaften – eine Marktstichprobe. 2011.

EN 14961 „Feste Biobrennstoffe - Brennstoffspezifikationen und -klassen

Internet: <http://www.biokurs.de/skripten/12/bs12-4.htm> (Abgerufen am: 15.11.2012)

6 Kontaktdaten

Dr. Martin Englisch

ofi Österreichisches Forschungsinstitut für Chemie und Technik

Franz Grill Strasse 5, Arsenal Objekt 2013, 1030 Wien

T +43 1 7981601, F +43 1 7981601 8

E office@ofi.at, H www.ofi.at

IMPRESSUM

Verfasser

ofi – Österreichisches Forschungsinstitut für
Chemie und Technik
Martin Englisch
Franz Grill Strasse 5
Arsenal Objekt 2013, 1030 Wien
Tel: +43 1 7981601
Fax: +43 1 7981601 8
E-Mail: office@ofi.at
Web: www.ofi.at

AutorInnen

Yasmin Volgger
Angelika Rubick

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber

Klima- und Energiefonds
Gumpendorfer Straße 5/22
1060 Wien
E-Mail: office@klimafonds.gv.at
Web: www.klimafonds.gv.at

Disclaimer

Die Autoren tragen die alleinige
Verantwortung für den Inhalt dieses
Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise
die Meinung des Klima- und Energiefonds
wider.

Weder der Klima- und Energiefonds noch
die Forschungsförderungsgesellschaft
(FFG) sind für die Weiternutzung der hier
enthaltenen Informationen verantwortlich.

Gestaltung des Deckblattes

ZS communication + art GmbH