

Hydrothermisch-chemischer Holzaufschluss mittels Steam-Explosion-Prozess als Grundlage für Bioraffinerieapplikationen

Hydrothermal-chemical wood pulping adopting the steam explosion process as the basis for biorefinery applications

Projektleiter

Project leader:
Marco Mäbert

Projektbearbeiter

Person in charge:
Martin Hielscher,
Kordula Jacobs,
Dr. Martin Fischer,
Dr. Lars Passauer,
Dr. Daniel Hafner,
Prof. Dr. Mario Beyer,
Prof. Dr. Detlef Krug

Fördermittelgeber

Co-funded by:
BMWK

AUSGANGSSITUATION UND ZIELSTELLUNG

Lignocellulose (LC) aus Holz und Einjahrespflanzen ist der am häufigsten auftretende nachwachsende Rohstoff auf der Erde. Neben landwirtschaftlichen Nebenprodukten bilden Holzreststoffe, wie z. B. Holz minderer Qualität, Durchforstungsholz, Landschaftspflegeholz oder Altholz, hier die größte Gruppe. Jedoch werden diese aktuell nur in geringem Umfang stofflich für die Materialherstellung genutzt. Der größte Teil der Holzreststoffe wird energetisch verwertet. Maßgebliche Ursachen dafür sind Defizite in Effizienz, Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit verfügbarer Holzaufschluss- und Verwertungsverfahren.

Als Alternativen stehen forschungsseitig gemäß dem Stand der Technik verschiedene stoffliche Verwertungsverfahren im Fokus. Die umfangreichsten Untersuchungen erfolgten mit dem Steam-Explosion-Verfahren. Bisher wurde jedoch keine industrielle Applikation an Holz realisiert, da einige grundlegende wissenschaftliche und technische Fragestellungen nicht oder nur unzureichend geklärt sind.

Ziel des Vorhabens war die Bilanzierung und die parametrische Modellierung des hydrothermischen Holzaufschlusses mittels Steam-Explosion (SE). Grundlage bildeten die vollständige Erfassung der festen, flüssigen und gasförmigen Stoffströme sowie Untersuchungen zum Einfluss verschiedener Roh-

INITIAL SITUATION AND OBJECTIVE

Lignocellulose (LC) from wood and annual plants is the most common renewable raw material on earth. Apart from agricultural by-products, wood residues such as low-quality wood, wood thinnings, landscape conservation wood or waste wood form the largest group here. However, these are currently only utilised to a small extent for material production. The larger part of them is exploited for energetic purposes. The main reasons for this are deficits in the efficiency, environmental compatibility and cost-effectiveness of available wood pulping and utilisation processes. In accordance with the state of the art, research is focusing on various material assessment processes as alternatives. The most extensive investigations were carried out using the steam explosion process. However, no industrial application has been tried on wood so far, as some fundamental scientific and technical issues have not yet or only insufficiently been clarified. The goal of the project was the balancing and parametric modelling of hydrothermal wood decomposition using steam explosion (SE). The basis was the complete logging of the solid, liquid and gaseous material flows as well as investigations into the influence of various raw material and process parameters on the quantitative and qualitative composition of the pulping products. The latter was to take into account product properties that

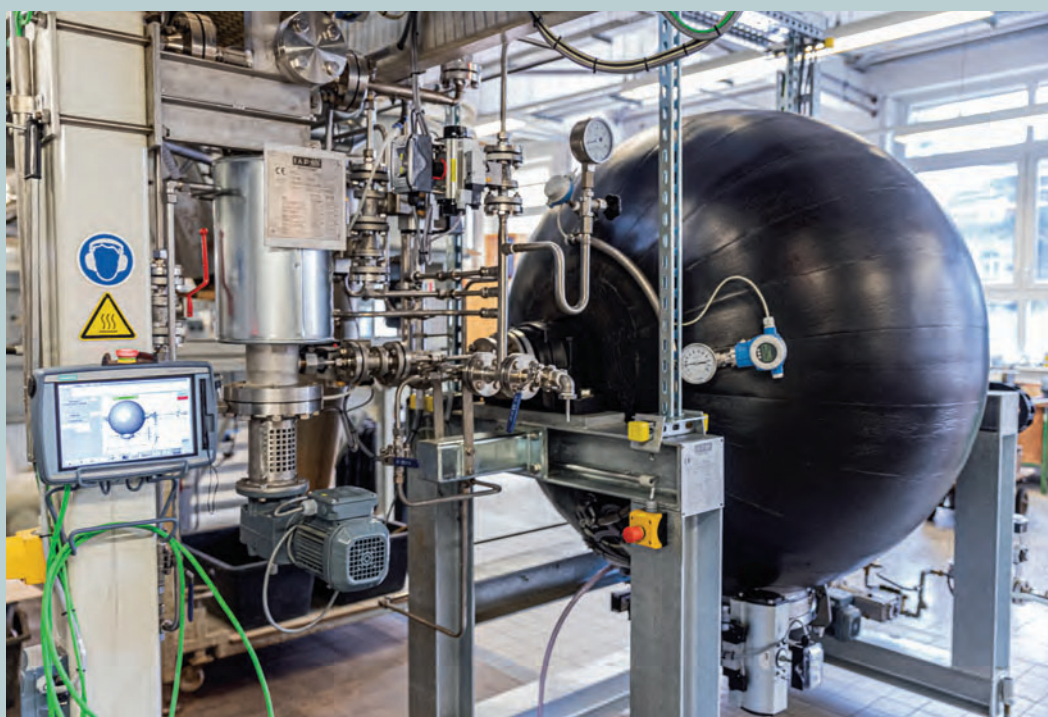


Abb. 1: Steam-Explosion-Anlage des IHD.

Fig. 1: Steam explosion facility at the IHD

stoff- und Prozessparameter auf die quantitative und qualitative Zusammensetzung der Aufschlussprodukte. Letzteres sollte unter Einbeziehung bisher wenig untersuchter, für Bioraffinerie-Applikationen jedoch maßgeblicher Produkteigenschaften, insbesondere dem Separierungsgrad von Lignin- und Cellulosekomponenten sowie der Cellulosekristallinität erfolgen. Entsprechende qualitative und quantitative Analysemethoden sollten entwickelt werden. Weiterhin wurde eine Intensivierung des SE-Aufschlusses durch neue Ansätze in der Prozessführung und apparative Modifizierungen angestrebt.

have been investigated only scarcely so far but are crucial for biorefinery applications, in particular the degree of separating lignin and cellulose components and of cellulose crystallinity. Appropriate qualitative and quantitative analysis methods were to be developed. Furthermore, the aim was to intensify SE pulping through new approaches in process control and equipment modifications.

VORGEHENSWEISE

Das Vorhaben beinhaltete zunächst apparative Weiterentwicklungen des Steam-Explosion-Prozesses zur Aufschlussintensivierung und zur repräsentativen Probenahme sämtlicher Stoffströme. Parallel dazu erfolgten Methodenanpassungen und -entwicklungen chemischer, bildgebender, thermoanalytischer und biologischer Analysen von Partikelstrukturen und -zusammensetzungen. Unter Einsatz des entwickelten Equipments und der entsprechenden Methoden wurde anschließend der Einfluss verschiedener Prozessparameter auf die Produktkennwerte bestimmt sowie die Stoffmengenströme betrachtet.

ERGEBNISSE

Die Entwicklung und der Betrieb einer Steam-Explosionsanlage (Abb. 1) inklusive der vollständigen Erfassung sämtlicher Stoffströme (fest, flüssig und gasförmig) als Voraussetzung der grundlegenden Untersuchungen wurden vollumfänglich erreicht. Durch die weitestgehend automatische Prozesssteuerung konnte ein hohes Maß an Reproduzierbarkeit von Aufschlüssen nach wissenschaftlichen Ansprüchen gewährleistet werden. Im Zuge des Projektes wurden prozessbegleitende Analysemethoden erarbeitet und angewendet. Vor allem im Bereich der chemischen Analysen konnte eine Methodik zur Ligninbestimmung mittels TGA in Verbindung mit IR und EDX als Evaluation entwickelt werden.

APPROACH

The project initially involved the further development of equipment for the steam explosion process to intensify the pulping and for representative sampling of all material flows. At the same time, methods were adapted and developed for chemical, imaging, thermoanalytical and biological analyses of particle structures and compositions. Using the equipment that was developed and the corresponding methods, the influence of various process parameters on the product characteristics was then determined and the material flows analysed.

RESULTS

The development and operation of a steam explosion facility (Fig. 1), including the complete collection of all material flows (solid, liquid and gaseous) as a prerequisite for the fundamental investigations, was fully achieved. Thanks to the largely automatic process control, a high degree of reproducibility of pulpings according to scientific requirements could be guaranteed. During the project, in-process analysis methods were developed and applied. Particularly in the field of chemical analyses, a method for determining lignin using TGA in conjunction with IR and EDX was developed as an evaluation. Based on morphological investigations on solid pulping material, the system was technically enhanced by implementing a steam flow. The possibility of achieving the pulping pressure above the

Auf Basis morphologischer Untersuchungen an festem Aufschlussgut erfolgte eine technische Weiterentwicklung der Anlage durch die Implementierung einer Dampfströmung. Ebenso zeigt die Möglichkeit, den Aufschlussdruck oberhalb der Wasserdampfdruckkennlinie zu erreichen, erste positive Ergebnisse im Bereich der Emissionsminderung von flüchtigen Holzabbauprodukten bei gleichzeitig hohem Aufschlussgrad des lignocellulösen Ausgangsmaterials. Die Möglichkeit, die Gasphase zu analysieren (quantitativ und qualitativ), stellt eine Besonderheit der Anlage dar. Die mit den gewählten Parametern durchgeführten Einzelexperimente führten zu einer weitestgehend vollständigen Degradation der Hemicellulose. Deren Abbauprodukte wurden sowohl in der flüssigen als auch in der Gasphase wiedergefunden und könnten zukünftig als Plattformchemikalien für die chemische Industrie Verwendung finden. Hier besteht weiterer Entwicklungsbedarf bezüglich einer zielgerichteten Trennung der chemischen Einzelkomponenten entlang der Prozesskette sowie einer definierten Nachbehandlung.

Die festen Rückstände (Faserstoff) wurden morphologisch charakterisiert, um den Aufschlussgrad zu bestimmen. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen und der entsprechend etablierten Begleitanalytik ist eine zielgerichtete Steuerung des Steam-Explosion Prozess hinsichtlich der Zerfaserung oder der Gewinnung von Plattformchemikalien möglich.

characteristic curve of the water-vapour pressure also shows initial positive results in the area of emission reduction of volatile wood decomposition products with a simultaneous high degree of pulping of the lignocellulosic source material. The ability to analyse the gas phase (quantitatively and qualitatively) is a special feature of the facility. The individual experiments carried out with the selected parameters led to a largely complete degradation of the hemicellulose. Its degradation products were found in both the liquid and the gas phase and could be used in the future as platform chemicals for the chemical industry. There is a need for further development regarding the targeted separation of the individual chemical components along the process chain as well as a defined post-treatment. The solid residues (fibrous matter) were morphologically characterised in order to determine the degree of pulping. Based on these findings and the appropriately established accompanying analysis, targeted control of the steam explosion process is possible with regard to defibration or the extraction of platform chemicals.