

Abstract

This dissertation presents the development, optimization, and pilot-scale demonstration of the InnoVa biorefinery process, a sustainable and scalable system for the selective recovery of high-value polyphenols from OMWW, thereby addressing both environmental and economic concerns in olive oil production. The research was structured around four primary objectives: (1) the development and optimization of analytical methods for comprehensive OMWW characterization; (2) the evaluation of a pilot plant in Tunisia for the selective extraction of target polyphenols; (3) the design of a scalable process integrating physical pretreatment, membrane filtration, and adsorption-desorption techniques for efficient polyphenol recovery; and (4) a detailed techno-economic assessment of the proposed system. Emphasis was placed on recovering key antioxidants, notably hydroxytyrosol, which are sought after in food, cosmetic and nutraceutical applications; and have a commercialisation perspective.

The integrated process combines a series of treatment steps—initial pretreatment to reduce total solids, crossflow membrane filtration to produce higher purity permeate, selective adsorption-desorption for polyphenol concentration, and solvent recovery, followed by anaerobic digestion of process residues to generate biogas and nutrient-rich digestate. The pilot plant, developed in collaboration between Technische Universität Berlin and the Centre de Biotechnologie de Sfax, demonstrated effective process performance across varied OMWW substrates. Notable challenges remain in product marketability. A comprehensive techno-economic analysis, including CAPEX, OPEX, and revenue projections, indicated that with appropriate process enhancements, the levelized cost of polyphenol production could become competitive, supporting the transition toward industrial-scale application.

Overall, the findings confirm that the InnoVa process can transform an environmentally problematic waste stream into valuable antioxidant products while promoting circular economy principles. This work lays a robust foundation for further optimization and scale-up, offering a promising pathway to reduce the environmental footprint of olive oil production and unlock new revenue streams in olive-producing regions.

Zusammenfassung

Diese Dissertation beschreibt die Entwicklung, Optimierung und den Pilotbetrieb des InnoVa-Bioraffinerieprozesses, eines nachhaltigen und skalierbaren Systems zur selektiven Rückgewinnung hochwertiger Polyphenole aus Olivenmühlenabwässern. Damit wird ein zentrales ökologisches und ökonomisches Problem der Olivenölproduktion adressiert. Die Forschung verfolgte vier Hauptziele: (1) die Entwicklung und Optimierung analytischer Methoden zur umfassenden Charakterisierung von OMWW, (2) die Evaluierung einer Pilotanlage in Tunesien zur selektiven Extraktion definierter Polyphenole, (3) die Auslegung eines skalierbaren Verfahrens, das physikalische Vorbehandlung, Membranfiltration sowie Adsorptions-Desorptions-Schritte kombiniert, um eine effiziente Polyphenolrückgewinnung zu ermöglichen, und (4) eine detaillierte techno-ökonomische Bewertung des Gesamtsystems.

Im Mittelpunkt stand die Rückgewinnung antioxidativ wirksamer Verbindungen – insbesondere Hydroxytyrosol –, die in der Lebens- und Futtermittel-, Kosmetik- und Nutraceutical-Industrie ein hohes Marktpotenzial besitzen. Der integrierte Prozess umfasst mehrere Behandlungsschritte: eine Vorbehandlung zur Reduktion von Feststoffen, eine Crossflow-Membranfiltration zur Erzeugung eines partikelfreien Permeats, eine selektive Adsorption-Desorption zur Anreicherung der Polyphenole sowie eine Lösungsmittelrückgewinnung. Die verbleibenden Prozessrückstände werden anschließend einer anaeroben Vergärung zugeführt, wodurch Biogas und nährstoffreicher Gärrest entstehen.

Die Leistung der, gemeinsam von der Technischen Universität Berlin und dem Centre de Biotechnologie de Sfax (Tunesien) entwickelten, Pilotanlage über verschiedene OMWW-Substrate hinweg, wurde mittels Leistungsparametern bestimmt. Herausforderungen bestehen weiterhin in der Vermarktung und Standardisierung der gewonnenen Produkte. Die durchgeführte techno-ökonomische Analyse – einschließlich Investitions- und Betriebskosten sowie Erlösprojektionen – zeigt, dass durch gezielte Prozessoptimierungen die spezifischen Produktionskosten von Polyphenolen deutlich gesenkt werden können. Damit eröffnet sich eine wirtschaftlich tragfähige Perspektive für eine weitere Hochskalierung.