Zusammenfassung

Bei der Optimierung anthropogener Stoffströme am Beispiel des Papierrecyclings wurden die Prozessschritte der Papierherstellung und des Papierrecyclings analysiert und auf den Indikatorstoff Kohlenstoff reduziert. Kohlenstoff wurde hier als Indikator gewählt, da dieser nicht mehr reduzierbar ist und trotz Reaktion in den Prozessschritten auftritt. Die Durchgängigkeit des Indikators ist in Form der Kohlenstoffbilanz erfasst und abschließend mit den Optimierungsberechnungen verglichen worden.

Als Berechnungsmethode zur Optimierung der anthropogenen Stoffströme wurden evolutionäre Algorithmen als Teilbereich der künstlichen Intelligenz verwendet. Der Vorteil dieser Berechnungsmethode ist eine schnelle und präzise Suche nach lokalen und globalen Optima des Optimierungsproblems. Bei dieser Berechnungsmethode wurde nach dem biologischen Vorbild der Vererbung mit Mutationen, Rekombinationen und Selektionen aus der großen Menge an potentiellen Lösungen eines der besten Ergebnisse gefunden. Mit diesem Verfahren wurden die in der Praxis auftretenden Altpapiereinsatzquoten verifiziert und Optimierungspotentiale aufgezeigt. Durch die Fehlerbehaftung der Berechnung mit evolutionären Algorithmen ist eine Validierung durch Vergleichsberechnungen – hier durch die Berechnung des Nelder-Mead-Optimierungsalgorithmus – erforderlich. Zur induktiven Nachweisführung wurde zusätzlich die Banana-Funktion von Rosenbrock - als allgemeingültiges Optimierungsproblem - mit den evolutionären Algorithmen berechnet und somit die Anwendbarkeit dieser Algorithmen zur Modellierung anthropogener Stoffströme belegt.

Als Ergebnis der Optimierung des Papierrecyclings konnte bei zwei der untersuchten Papiersorten eine Verbesserung der Altpapiereinsatzquote bei gleich bleibender Qualität erzielt werden. Dieses haben auch die Bilanzierungsansätze mittels Indikator Kohlenstoff gezeigt. Hierbei ist durch die Korrelation der Faserlänge und des Kohlenstoffanteils ein Vergleich der Bilanzierungs- und Berechnungsansätze möglich. Die Ergebnisse der Altpapierzusammensetzung stimmen mit den Ergebnissen der Kohlenstoffbilanzierung überein. Durch den Vergleich des Quotienten aus Sekundärfaser zu Frischfaser inkl. Hilfsstoffe wurde gezeigt, dass durch den erhöhten Einsatz an Altpapier sich sowohl der Kohlenstoffquotient als auch der Mengenquotient nur unwesentlich erhöht.

Die Umsetzung am Beispiel des Papierrecyclings hat gezeigt, dass Teilbereiche der anthropogen erzeugten Stoffströme mit Hilfe der evolutionären Algorithmen optimiert werden können. Da auch in vielen anderen Anwendungsfällen Sekundärrohstoffe aus anthropogenen Stoffwechselprozessen entstehen, lassen sich diese Stoffe ebenfalls durch die Anwendung evolutionärer Algorithmen optimieren. Somit ist der Einsatz evolutionärer Algorithmen zur Optimierung verschiedener anthropogener Stoffströme, bei denen Sekundärrohstoffe anfallen, möglich.

Summary

By optimising anthropogenic material streams for the example of paper recycling the process steps of paper production and paper recycling are analysed and reduced to the tracer carbon. Carbon was chosen as a tracer because it cannot be reduced further and in spite of reaction it appears in all steps of the process. The passing of the tracer carbon in the process of production is detected by the balance of carbon and finally compared with results of the optimisation.

Evolutionary algorithms are used as a sub range of artificial intelligence to calculate the optimisation of anthropogenic material streams. The advantage of this method is the rapid and precise search of the local and global optima of the discussed optimisation problem. By using this method the biological model of inheritants with mutation, recombination and selection, the optimisation calculates one of the best results of the large amount of potential solutions. With this procedure the quota of wastepaper used in the practice production was verified and potentials of optimisation are pointed out. Because of the defective calculation by evolutionary algorithms a validation by comparative calculation – in this case by Nelder-Mead-Optimisation-Algorithm – is necessary. For inductive method of proof the banana-function by Rosenbrock – as a general optimisation problem – was additionally calculated by evolutionary algorithms. With this the usability of evolutionary algorithms was proven and verified for modelling anthropogenic material streams.

The result of optimising the paper recycling was an improvement of the rate of waste paper in two different paper brands by keeping an equal quality. The same result was shown by the formulation of balance by means of the tracer carbon. Because of the correlation of the fibre length and the carbon part it is possible to compare the formulation of balance with the formulation of calculation. The result of waste paper components confirm with the results of the balance of carbon. By comparing the relation of secondary fibres to fresh fibres including auxiliary material it could be shown that the increased use of waste paper raised the relation of carbon as well as the relation of quantity only insignificant.

The implementation of the example of paper recycling has shown that sub ranges of anthropogenic produced material streams can be optimised by the use of evolutionary algorithms. In many other range of uses is secondary material created of anthropogenic metabolism. This secondary material can be optimised by using evolutionary algorithms as well. With this research the possibility of using evolutionary algorithms to optimise different anthropogenic material streams, which produce secondary material was proofed.