

30/2020

Rechberger, H. (2020) "Von der Stoffflussanalyse zur Handlungsempfehlung"; In: "Recycling & Abfallverwertung Abfallwirtschaft & Ressourcenmanagement Deponietechnik & Altlasten Internationale Abfallwirtschaft, Konferenzband zur 15. Recy & DepoTech-Konferenz", R. Pomberger, J. Adam, A. Aldrian, M. Altendorfer, A. Curtis, T. Dobra, K. Friedrich, L. Kandlbauer, K. Lorber, S. Möllnitz, T. Nigl, R. Sarc, T. Sattler, S. Viczek, D. Vollprecht, T. Weißenbach und M. Wellacher (Hrg.); Montanuniversität Leoben (AVAW). Recy & DepoTech 2020, Leoben; 18.-20. November 2020, ISBN: 978-3-200-07190-2; p. 627-630.

Von der Stoffflussanalyse zur Handlungsempfehlung

H. Rechberger

TU Wien, Institut für Wassergüte und Ressourcenmanagement, Wien, Österreich

KURZFASSUNG: Die Methode der Stoffflussanalyse hat sich in den letzten Jahren stetig weiterentwickelt. Maßgeschneiderte Software erlaubt nunmehr einerseits die sehr detaillierte Modellierung realer Systeme und andererseits den Einsatz mathematisch-statistischer Methoden zur Behandlung der Datenunsicherheit. Anthropogene Stoffhaushaltssysteme können somit sehr genau beschrieben und analysiert werden. Der nächste logische Schritt ist dann die Suche nach Optimierungsmaßnahmen. Diese können technischer oder organisatorischer Natur sein und in das Modell implementiert werden. Somit ist es möglich, ein Zielsystem zu erstellen und die identifizierten Maßnahmen hinsichtlich ihres Beitrags zur Zielerreichung zu bewerten. Dafür ist es aber auch nötig, verlässliche Indikatoren zu haben. Im Beitrag wird dies für den kombinierten Phosphor- und Stickstoffhaushalt Österreichs anhand der Indikatoren *Circularity* (Beurteilung der „Kreislaufigkeit“) und *Substance Concentrating Efficiency* (Beurteilung der Verfügbarkeit) durchgeführt. Dabei zeigt sich, dass die Indikatoren die Maßnahmen unterschiedlich reihen und demnach davon auszugehen ist, dass für die verlässliche Auswahl von Maßnahmen ein Set an Indikatoren zu empfehlen ist.

1 EINLEITUNG

Der beträchtliche Anstieg des Ressourcenverbrauchs im Laufe des vergangenen Jahrhunderts und die damit verbundenen Umweltprobleme haben sich zu einer der größten globalen Herausforderungen unseres Zeitalters entwickelt. Internationale und nationale politische, industrielle und zivilgesellschaftliche Akteure bekennen sich daher zunehmend zu Strategien wie nachhaltiger Entwicklung und Kreislaufwirtschaft. Deren Erfolg hängt auch davon ab, wie sehr es gelingt, Problemstellen im Ressourcenmanagement zu identifizieren und zu quantifizieren und Forschungsergebnisse in konkrete Handlungsempfehlungen umzusetzen.

Stoffflussanalysen (SFA) gehören zu den etablierten Methoden zur Evaluierung von Ressourcensystemen. SFA-Ergebnisse müssen jedoch immer von einer Auswertungs- und Designphase begleitet werden. Insbesondere in komplexen Systemen stellt die Sicherstellung der Vergleichbarkeit der Evaluierungsergebnisse zwischen verschiedenen Studien eine große Herausforderung dar. Darüber hinaus wird die entscheidende Rolle, die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Ressourcen spielen, zunehmend erkannt und sollte bei der Entwicklung von Handlungsempfehlungen unbedingt Berücksichtigung finden, um unerwünschte Nebeneffekte zu vermeiden. Zudem werden Evaluierungsstudien oft von den dafür zur Verfügung stehenden Daten und Ressourcen limitiert. Hier und für die Kommunikation mit einer breiten Öffentlichkeit ist es daher wichtig, sinnvolle Handlungsempfehlungen nicht nur aus umfassenden Methoden wie der Ökobilanzierung, sondern auch aus einfachen, anschaulichen Indikatoren ableiten zu können.

Der Beitrag widmet sich diesen Herausforderungen. Anhand eines Fallbeispiels des österreichischen Phosphor- und Stickstoffhaushaltes wurde eine Methode zur gekoppelten SFA mehrerer Substanzen entwickelt und zwei Indikatoren zu deren Bewertung getestet.

2 DARSTELLUNG UND ANALYSE DES ÖSTERREICHISCHEN PHOSPHOR- UND STICKSTOFF-HAUSHALTES

In einem ersten Schritt werden die qualitativen Systeme für Phosphor (P) und Stickstoff (N) mittels der Methode der SFA und der Spezialsoftware STAN erstellt. Als örtliche Systemgrenze dient hier das Staatsgebiet Österreichs. Das qualitative System beinhaltet alle relevanten Prozesse und Güterflüsse, die den P- bzw. N-Haushalt Österreichs ausmachen. Im nächsten Schritt erfolgt die Datenerhebung, welche im Wesentlichen die Massen der Güterflüsse und die zugehörigen P- und N-Konzentration betrifft. Auch können P- und N-Transferkoeffizienten für einzelne Prozesse ermittelt und verwendet werden. Zu empfehlen ist, dass man die Daten für einen Zeitraum von einigen Jahren erhebt, um die zeitliche Änderung des Systems abbilden zu können. Untersuchungen haben gezeigt, dass die Erstellung von solchen Zeitreihen mit geringem Mehraufwand verbunden ist. Sie nützen jedoch, um das Systemverständnis zu erhöhen und systematische Datenfehler und Verwerfungen in der Statistik zu erkennen (Zoboli et al. 2016).

In einem nächsten Schritt sind die Stoffsysteme auf ihre Schwächen zu analysieren, d.h., man identifiziert Verluste in die Umweltkompartimente (z.B. Erosion) und zwecklose oder gar schädliche Lagerbildungen (z.B. Akkumulation im Boden oder Grundwasser), geringe Effizienzen (z.B. Produktion tierischer Produkte) und dergleichen. Für eine derartige Liste mit Defiziten kann man dann beginnen Maßnahmen zu deren Minderung oder Behebung zu suchen. Das können verbesserte oder neue Technologien, Änderungen der Praxis oder von Verhaltensmustern, Stoffverbote und dergleichen sein. Diese Maßnahmen lassen sich in das System integrieren und man erhält damit ein optimiertes System, das als Ziel dienen kann (Target System, TS). In Abbildung 1 sind Status quo und Target System für den österreichischen P- und N-Haushalt in stark vereinfachter Form dargestellt (Tanzer & Rechberger 2020).

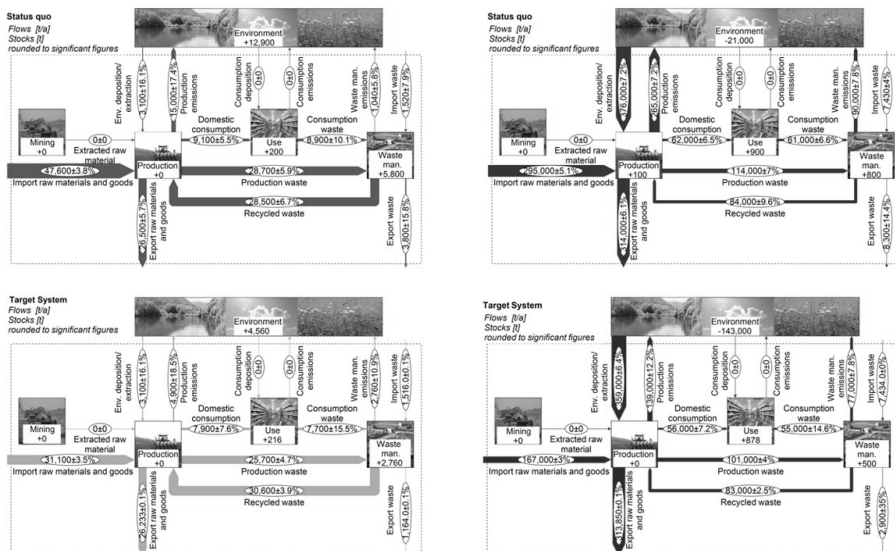
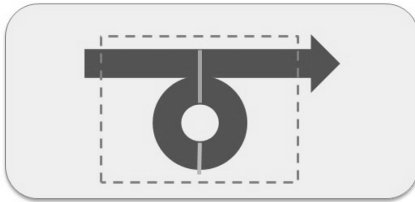


Abb. 1: Status quo (oben) und Zielsysteme (unten) für den ö. P- (links) und N-Haushalt (rechts).

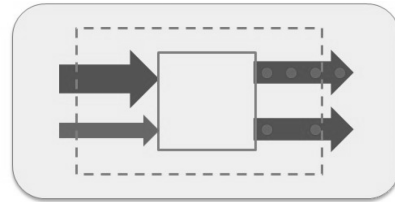
Im konkreten Fall wurden 16 Maßnahmen identifiziert, die zeigen, dass bei gleichbleibender Versorgung (mit Ausnahme einer gesünderen Ernährung) der privaten Haushalte (Use) Rohstoffe (Dünger, Futter- und Nahrungsmittel) und Emissionen in die Umwelt deutlich reduziert werden können.

3 BEWERTUNG DES ÖSTERREICHISCHEN P- UND N-HAUSHALTES

P- und N-Haushalt sind miteinander gekoppelt, da viele Güterflüsse sowohl relevante Mengen an P und N enthalten. Auch sind die SFA-Modelle komplex (was hier nicht gezeigt wird) und damit benötigt man verlässliche Indikatoren, die Änderungen hinsichtlich ihrer Wirkung auf das Ziel quantifizieren und damit anschaulich vergleichbar machen. Als einfache Indikatoren, mittels derer die gekoppelte SFA ausgewertet werden kann, sind einerseits die Circularity (C), die den Anteil des Recyclings am gesamten Systemdurchsatz quantifiziert, naheliegend und andererseits auf Grund ihrer Affinität zur SFA die Substance Concentrating Efficiency (SCE), ein auf der statistischen Entropie (H) beruhender Indikator, der den Grad, zu dem eine Substanz im System konzentriert oder verdünnt wird, misst (Abbildung 2).



$$C = \frac{\text{Recycling}}{\text{Total system throughput}}$$



$$H = - \sum \frac{X_i}{\sum X_i} * \log_2(c_i)$$

X... substance mass; c... substance concentration

$$SCE = \frac{H_{in} - H_{out}}{H_{in}}$$

Abb. 2: Komplexe Systeme bedürfen einfacher Indikatoren, um sie vergleichend bewertbar zu machen. Die Circularity (C) misst, wie weit ein System „kreisläufig“ ist. Die Substance Concentrating Efficiency (SCE) misst, in wie weit ein System eine Ressource (Stoff) eher konzentriert (d.h. verfügbar macht) oder verdünnt (d.h. indisponibel macht).

Abbildung 3 zeigt die Auswirkung der identifizierten Maßnahmen auf den Status quo (SQ) ausgedrückt mittels der Indikatoren C und SCE. Es zeigt sich, dass der Indikator C relativ unempfindlich gegenüber den Veränderungen ist und selbst das optimierte Zielsystem lediglich auf eine C von 28 % kommt (SQ = 21 %). Die SCE des Zielsystems verbessert sich gegenüber dem SQ von -38 % auf +3 %, was die Änderung von einem stark verdünnenden zu einem gering konzentrierenden System bedeutet. Auch gewichten die beiden Indikatoren die 16 Maßnahmen unterschiedlich. Für die Verbesserung der C sind tendenziell Recycling-Maßnahmen (grün) wichtiger, während die SCE Reduktion von Verbrauch/Konsum und Emissionen priorisiert. Die Steigerung der Düngereffizienz, d.h. die bedarfsgerechte Aufbringung von Dünger, schneidet bei beiden Indikatoren am besten ab.

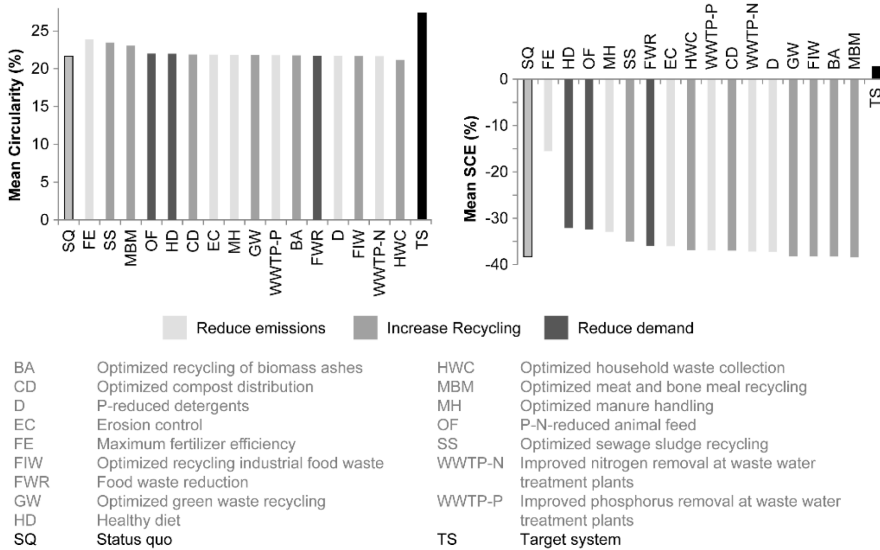


Abb. 3: Reihenfolge der kombinierten Optimierungsmaßnahmen für P und N, ermittelt mit den beiden Indikatoren Circularity (links) und Substance Concentrating Efficiency (rechts).

4 SCHLUSSFOLGERUNG

Anhand der Studie konnten die engen Verbindungen im österreichischen Phosphor- und Stickstoff-System bestätigt werden. Es zeigte sich, dass Synergien zwischen Maßnahmen zur Effizienzsteigerung im Management einer oder beider Nährstoffe gegenüber Zielkonflikten deutlich überwiegen. Durch eine Kombination verschiedener Maßnahmen wird somit die größte Nachhaltigkeit im Gesamtsystem erreicht. In Bezug auf die Indikatoren scheint die SCE aufgrund der besseren Erfassung von Dematerialisierungsmaßnahmen und Änderungen in der Prozesseffizienz für die meisten Anwendungsfälle aussagekräftiger als die Circularity zu sein. Trotzdem ist davon auszugehen, dass die Kombination der beiden Indikatoren sehr präzise aufzeigt, wie das Nährstoffsystem Österreich optimiert werden kann.

LITERATUR

Tanzer, J., Rechberger, H. (2020) Complex system, simple indicators: Circularity and statistical entropy of the Austrian phosphorus and nitrogen system. *Resources, Conservation and Recycling*, 162, DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.104961.

Zoboli, O., Laner, D., Zessner, M., Rechberger, H. (2016) Added Values of Time Series in Material Flow Analysis - The Austrian Phosphorus Budget from 1990 to 2011. *Journal of Industrial Ecology*, 20, 6, 2016, 1334-1348, DOI: 10.1111/jiec.12381.