



## Doctoral Thesis

# **Peak Phosphorus: Opportunity in the making Exploring global phosphorus management and stewardship for a sustainable future**

**Author(s):**

Ulrich, Andrea E.

**Publication Date:**

2013

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010163224> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH NO. 21599

# Peak phosphorus: Opportunity in the making

Exploring global phosphorus management and stewardship for a sustainable future

A dissertation submitted to  
ETH ZURICH

for the degree of  
Doctor of Sciences

presented by  
ANDREA EMMY ULRICH

Master of Science, TUM, Germany  
Magister Artium, LMU, Germany  
born July 30, 1979  
citizen of the Federal Republic of Germany

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Emmanuel Frossard, examiner  
Prof. Dr. Ewald Schnug, co-examiner  
Prof. Dr. Peter Edwards, co-examiner

2013

## Summary

A major challenge of the 21<sup>st</sup> century is the rational management of natural resources for sustainable growth and human development. Societies around the world are concerned with how to best transition towards resource use and reuse schemes that are ecologically safe, economically sound, and socially just. This thesis examines phosphorus (P), a non-substitutable and essential element required for soil fertility and food production, and its major economic source, mined phosphate rock, a non-renewable resource. Concerns about depleting resource stocks, equal access, and losses resulting in eutrophication are causing many to question the current use and governance practices. The thesis aims to contribute to the transition to sustainable phosphorus management and stewardship by taking an explorative approach. Five contributions, with a focus on scarcity, pollution, and their relationship, provide new insights into sustainable pathways. They are characterized via their systemic perspective, as well as their inter- and transdisciplinary research approaches.

The first contribution explores the integration of emerging global phosphate rock scarcity concerns with the goal of reversing the eutrophication of Lake Winnipeg in Canada. The main focus of this contribution is to examine the value and validity of such a coupling. Applied action research demonstrates mutual learning among stakeholders and shifts the problem perception from single-symptom framing to a systemic perspective. Thus, it allows for a more inclusive mapping of the nature and dimensions of the challenge, expanding the pollutant-driven management frame.

The second contribution assesses the prospects of uranium (U) recovery from phosphoric acid. U in phosphate rock is burdened by a dichotomy: It may be a problem due to its radiological and toxic risks to human health and the environment, and it may be an opportunity due to its value as a by-product that can be used in the nuclear fuel cycle. We can show that the extraction of uranium could considerably increase the U resource pool and contribute to energy security. This would reduce the social and environmental risks that arise from conventional U mining and milling, as well as from the redistribution of U in the environment via fertilizer products.

The third contribution reviews past experiences with phosphate rock declension and phosphorus scarcity concerns. The findings overturn the conventional wisdom that phosphate rock depletion is a new topic for food security. In fact, it is not. We can show that discourses and research have existed in the past, but remain largely unnoticed in today's sustainability debate.

Several lessons emerge from integrating past results with future management design options. We argue for knowledge anchoring and improved historic literacy, pleading that the humanities be more strongly integrated into today's sustainability and global change research.

The fourth contribution attempts to encompass the totality of what may constitute the phosphorus problem and the related challenges, framing them along the phosphorus supply-demand chain. It addresses the need for a global and holistic perspective, for actionable research, and for improved cooperation between science and practice. A transdisciplinary process with the key stakeholders within the phosphorus domain is developed and implemented on the global level. The aims of this contribution, inter alia, are to contribute to a constructive, informed phosphorus sustainability dialogue.

The fifth contribution demonstrates that the modern phosphorus sustainability movement emerged around 2007. It was triggered by concerns about phosphate rock depletion ("peak phosphorus"). Since then, a proliferation of research interest in phosphorus has been observed. We argue that continued dwelling on phosphate rock reserve and resource numbers, as well as imminent depletion, may lead to a misunderstanding of the causes of the underlying crisis and threaten the possibility of real solutions. We suggest additional directions of change.

Jointly, these contributions provide new insights into processes and knowledge that can support the management and stewardship of P more sustainably. We find that both inter- and transdisciplinarity are important and argue that a global and systemic perspective is important but that we are only at the beginning of understanding the complexities involved, as well as how participatory learning processes work on the global scale. Many challenges remain in terms of generating improved understanding, as well as implementing already existing knowledge. The following orientations arise from this thesis:

- Inter-and transdisciplinarity should be more widely accepted by all parts of society. This requires a larger degree of tolerance and openness on the part of established disciplines, the scientific publication system, but also wider stakeholder cooperation.
- Future research should
  - include the evaluation of transdisciplinary processes "on the go",
  - improve overall data availability,
  - generate a sophisticated understanding of the past and of historic scarcity cases,

- take account of the processes and causes underlying current unsustainable practices.
- The phosphorus story makes a strong case for integrating environmental history into sustainability or global change science, and, in more general terms, the humanities.
- A comprehensive phosphate rock resources appraisal should be made to resolve the geological cornucopian vs. scarcity debate.
- Past and present resource knowledge should be anchored and stewarded into the future.
- Past scarcity concerns, discourse, and research should be more strongly considered in the current phosphorus security debate.
- To generate an informed and rational debate, the phosphate rock industry should communicate more actively, and the scientific community more cautiously.

## Zusammenfassung

Eine der großen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts besteht in der nachhaltigen Nutzung natürlicher und vor allem nicht-erneuerbarer Ressourcen. Unter Nachhaltigkeit wird ein Umgang verstanden, der umweltverträglich, wirtschaftlich vernünftig und gesellschaftlich gerecht ist. Im Mittelpunkt der vorliegenden Doktorarbeit steht die Ressource Phosphor (P). Phosphor ist ein essentieller, nicht substituierbarer Nährstoff für Bodenfruchtbarkeit und Pflanzenwachstum. Er wird aus dem nicht erneuerbaren, endlichen mineralischen Rohstoff Rohphosphat gewonnen, welches unverzichtbar ist für die Herstellung phosphathaltiger Düngemittel, die zur Nahrungssicherstellung weltweit beitragen. Die starke Rohstoffnachfrage, die Sorge um die Endlichkeit der globalen Phosphatreserven und der verschwenderische Eintrag des Nährstoffes in Gewässer sind nur einige der Gründe, warum von einem Ressourcenproblem die Rede ist. Diese Arbeit leistet einen Beitrag zur nachhaltigen und verantwortungsvolleren Phosphornutzung. Im Mittelpunkt steht die Frage, welche Lernprozesse und welches Wissen dafür notwendig sind. Fünf Beiträge zur Verknappungs- und Umweltproblematik sowie deren Schnittstellen tragen neue Erkenntnisse für nachhaltige Lösungen bei. Der gewählte inter- und transdisziplinäre Forschungsansatz nimmt eine systemperspektivische Sicht ein.

Der erste Beitrag verbindet die globale Verknappungstheorie "peak phosphorus" mit der Eutrophierungsproblematik am Beispiel von Lake Winnipeg in Kanada. Es wird anhand von Partizipationsforschung (*action research*) untersucht, ob und wie das Zusammenspiel beider Konzepte in einem Lernprozess mit lokalen Interessensvertretern zur Umkehr der Eutrophierung beitragen kann. Resultate sprechen für eine Verschiebung der singulären Nährstoffbelastungsproblematik hin zu einer systemischen Perspektive, in der die Wechselwirkungen zwischen Mensch und Umwelt stärker im Mittelpunkt stehen.

Der zweite Beitrag beurteilt die Chancen, Uran aus Rohphosphaten bzw. aus Phosphorsäure zu gewinnen. Uran birgt aufgrund seiner radiologischen und toxischen Wirkung ein gewisses Umwelt- und Gesundheitsrisiko bei der Herstellung und Nutzung phosphathaltiger Düngemittel. Gleichzeitig handelt es sich um eine essentielle Ressource zur Herstellung von Kernenergie. Die Nebenproduktion aus Phosphorsäure kann somit einen wichtigen Beitrag zur nachhaltigen Ressourcennutzung sowie zur Ressourcenbewahrung darstellen. Unsere Resultate zeigen, dass Uran aus Phosphorsäure einen beträchtlichen Beitrag zur nuklearen Energiesicherung leisten kann. Mehr als 5,7 Millionen Tonnen Uran werden in

Rohphosphatreserven vermutet. Für 2010 wurde eine theoretisch mögliche Extraktion in Höhe von 11.000 Tonnen errechnet. Eine profitable Nebenproduktion könnte somit soziale und umweltrelevante Risiken verringern, die durch konventionellen Uranabbau und den Einsatz von mineralischen Phosphatdüngern entsteht.

Der dritte Beitrag überprüft historische Erfahrungen mit der Sorge um Phosphorknappheit. Entgegen weitläufiger Meinungen kann gezeigt werden, dass die Angst um die Endlichkeit der Ressource Rohphosphat nicht neu ist. Gesellschaftlicher, politischer, und wissenschaftlicher Diskurs hat in der Vergangenheit wiederholt stattgefunden. Die wichtigen Ergebnisse finden allerdings in der gegenwärtigen Nachhaltigkeitsdebatte keine nennenswerte Erwähnung. Wir zeigen die Notwendigkeit auf, vergangenes Wissen stärker in den heutigen Diskurs einzubinden. Des Weiteren werden Maßnahmen erörtert, die den wiederholten Wissensverlust unterbinden könnten. Wir plädieren für eine stärkere Integration der Geisteswissenschaften in die moderne Nachhaltigkeitsforschung.

Der vierte Teil leistet einen Beitrag, den anthropogenen Phosphatkreislauf in seiner globalen Gesamtheit zu erfassen. Dabei wird die Versorgungskette als Strukturkonzept gewählt, um die Phosphorproblematik umfassend darzustellen und anhand eines globalen transdisziplinären Prozesses zwischen Hauptakteuren aus Wissenschaft und Praxis zu erforschen. Wichtige Ziele sind, einen konstruktiven und informierten Nachhaltigkeitsdialog zu gestalten, sowie neues Wissen zum besseren Problemverständnis als auch mögliche Technologie- und Handlungsoptionen für die Ressourcenpolitik zu erarbeiten.

Der fünfte Beitrag zeigt auf, dass die moderne P-Nachhaltigkeitsbewegung um 2007 begründet und von der Sorge über die Verknappung von Rohphosphat ("peak phosphorus") ausgelöst wurde. Seitdem hat sich das wissenschaftliche, öffentliche und politische Interesse an der Phosphorproblematik vervielfacht. Wir legen dar, warum das Festhalten an der "peak"-Theorie zu einem falschen Verständnis von den Problemen führt, die heutigen Mangelerscheinungen und Umweltproblemen eigentlich zugrunde liegen, und warum dadurch Chancen für effektive Lösungen stark eingeschränkt werden.

Die Beiträge zeigen in ihrer Gesamtheit, dass inter- und transdisziplinäre Forschungsansätze wichtig sind, um ein fundierteres, systemumfassendes Verständnis der Phosphorproblematik zu erlangen und nachhaltige Handlungsoptionen zu erarbeiten. Die folgenden Orientierungen resultieren aus der vorliegenden Arbeit:

- Inter- und transdisziplinäre Forschungsansätze sollten breitere gesellschaftliche Akzeptanz finden. Dies bedarf allerdings größerer Toleranz und Offenheit, insbesondere auf Seiten etablierter wissenschaftlicher Disziplinen, dem wissenschaftlichen Publikationssystem, aber auch verstärkter Zusammenarbeit der unterschiedlichen Akteure.
- Zukünftige Forschung sollte
  - die Evaluierung von transdisziplinären Prozessen in Betracht ziehen,
  - generell darauf abzielen, die Datenverfügbarkeit zu erhöhen,
  - ein besseres Verständnis vergangener Knappheitsdiskurse und ihrer Ergebnisse zu schaffen,
  - und verstärkt der Frage nachgehen, welche Prozesse und Gründe den gegenwärtig wenig effektiven Nutzungspraktiken aus Produzenten- und Konsumentensicht zugrunde liegen.
- Die gegenwärtige Phosphor-Nachhaltigkeitsforschung zeigt auf, wie wichtig es ist, Umweltgeschichte, und allgemeiner, die Geisteswissenschaften verstärkt in die Forschung über nachhaltige Entwicklung und globalen Wandel zu integrieren.
- Eine umfassende Neubewertung der weltweiten Rohphosphate sollte initiiert werden, um die Verknappungsdebatte zu beruhigen.
- Vergangenes und gegenwärtiges Wissen um Phosphor-Ressourcen sollte langfristig und öffentlich leicht zugänglich gespeichert als auch in regelmäßigen Abständen erneuert werden.
- Vergangenes Wissen um Knappheit und Lösungsansätze sollten verstärkt in den gegenwärtigen Diskurs um Phosphorsicherheit eingebunden werden.
- Um eine informierte und rationale Debatte über nachhaltiges Phosphor-Management führen zu können, sollten Akteure der Phosphatindustrie aktiver und Wissenschaftler vorsichtiger argumentieren, insbesondere im Bezug auf “peak phosphorus”.