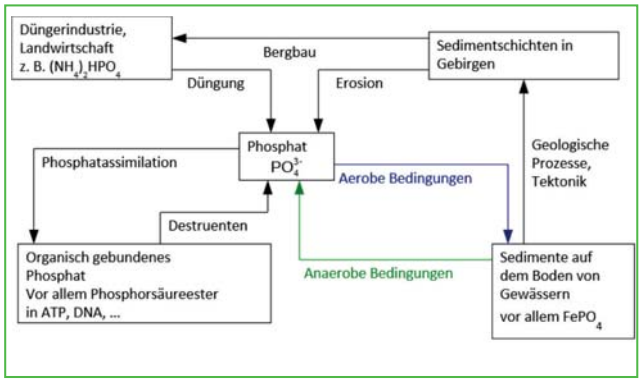
Autor: Dave Hartig

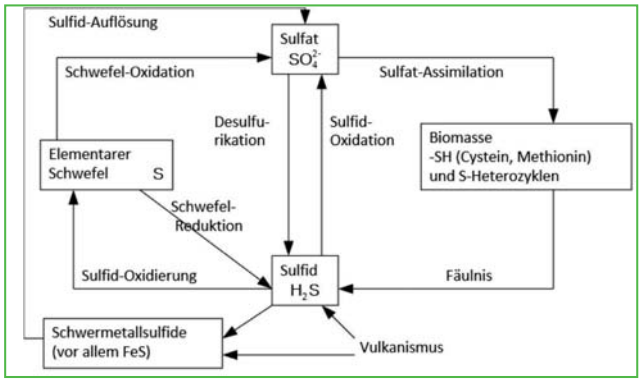
Internationale BiologieOlympiade

IBO

IPN Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik

Ökologie I Kreislauf des Phosphors und Schwefels





Phosphatassimilation

Phosphat ist ein wichtiger Bestandteil von Biomolekülen wie zum Beispiel DNA, Phospholipiden oder ATP. Auch in Knochen kommt es als Calciumapatit vor. Aufgenommen wird es durch Pflanzen in gelöster Form aus dem Boden. Tiere nehmen Phosphat mit der Nahrung in gebundener (Nukleotide) oder gelöster Form auf. Dabei erfolgt kein grundlegender Umbau, da auch im Stoffwechsel ganze Phosphatgruppen übertragen bzw. verestert werden (Phosphorylierung, Dephosphorylierung). Das bekannteste Beispiel ist der Aufbau von ATP aus ADP und anorganischem Phosphat:

$$\mathbf{ADP + P_i \longrightarrow ATP \quad \Delta G = 32{,}3\ kJ/mol}$$

Phosphatbildung durch Zersetzer

Das in totem organischen Material gebundene Phosphat wird durch Destruenten wieder freigesetzt und steht damit den Pflanzen wieder zur Verfügung.

Sedimentation

Vor allem in Seen findet man auf dem Grund den sogenannten Phosphatspeicher. Dabei ist unter aeroben Bedingungen das Phosphat in Form von Eisenphosphat ($FePO_4$) gebunden und wasserunlöslich. Unter anaeroben Bedingungen kommt es jedoch vermehrt zu einer Reduktion des Eisens zu Fe_{2+} verbunden mit einer Freisetzung des Phosphats.

Durch Auswaschen von Phosphatdüngern wird Phosphat vermehrt über Seen und Flüsse in die Meere gespült. Dort bildet es mit der Zeit Sedimentschichten. Jedoch sind diese erst wieder abbaubar, wenn sie durch geologische Prozesse an die Erdoberfläche gelangen, was viele Millionen Jahre dauern kann.

Einbringung durch Düngung oder Erosion

An wenigen Stellen auf der Erde – wie in Chile – können phosphathaltige Sedimentschichten abgebaut werden. Auch können Sedimente durch Erosion verschwinden und so auf natürlichem Wege zum Eintrag von Phosphat in Ökosysteme führen.

Schätzungen lassen vermuten, dass die abbaubaren Phosphatlagerstätten in etwa 60 Jahren erschöpft sein werden. Das stellt große Herausforderungen an Landwirtschaft und Industrie, nachhaltig mit Phosphat umzugehen, eventuell Phosphat auch aus Seen und Flüssen zurückzugewinnen. Denn gibt es kein Phosphat im Dünger mehr, kann nach dem Minimumgesetz dieser trotz Kalium, Ammonium oder Nitrat nichts mehr bewirken.

Ungeahnte Hungersnöte wie vor der Erfindung des Kunstdüngers durch Justus von LIEBIG wären die Folgen, denn die Menschheit hat sich in dieser Zeit gleichzeitig verzehnfacht.

Sulfatassimilation

Pflanzen sind in der Lage, im Boden gelöstes Sulfat aufzunehmen und über Adenosin-5-phosphosulfat (APS) und 3-Phosphoadenosin-5-phosphosulfat (PAPS) zu aktivieren. Mit Hilfe von PAPS werden verschiedene schwefelhaltige organische Produkte gebildet.

Fäulnis (Desulfurylation)

Abgestorbenes biologisches Material wird durch organismeneigene Enzyme (Autolyse) und Mikroorganismen (z. B. *Proteus*) abgebaut. Unter anoxischen Bedingungen entsteht Schwefelwasserstoff, z. B.:

$$\mathbf{(CH_3)_2S + 3\ O_2 \longrightarrow H_2S + 2\ H_2O + 2\ CO_2}$$

Sulfid-Oxidation

Verschiedene chemoautotrophe (z. B. *Beggiatoa*) oder phototrophe Bakterien (z. B. grüne Schwefelbakterien) vermögen, Sulfid zu elementarem Schwefel zu oxidieren und die dabei freiwerdende Energie zur Kohlenstoffassimilation zu nutzen:

$$\mathbf{6\ CO_2 + 12\ H_2S \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 12\ S + 6\ H_2O}$$

Schwefel-Oxidation (Sulfurikation)

Eine Reihe von Bakterien und Archäen (z. B. *Thiobacillus*) oxidieren zur Energiegewinnung elementaren Schwefel zu Schwefelsäure. Außerdem können einige der Sulfid-oxidierenden Bakterien das auftretende Sulfit direkt zu Sulfat umsetzen:

$$\mathbf{2\ S + 2\ H_2O + 3\ O_2 \longrightarrow 2\ H_2SO_4} \qquad \mathbf{H_2S + 2\ O_2 \longrightarrow H_2SO_4}$$

Desulfurikation

Unter anoxischen Bedingungen oxidieren bestimmte Bakterien (z. B. *Desulfovibrio*) molekularen Wasserstoff oder andere Reduktionsmittel mit Sulfat zu Schwefelwasserstoff.

Schwefel-Reduktion

Ein weiterer Weg zur Energiegewinnung wird durch Bakterien der Gattung *Desulfuromonas* beschritten. Dabei werden organische Stoffe oder molekularer Wasserstoff mit elementarem Schwefel oxidiert, wobei dieser zu Schwefelwasserstoff reduziert wird.

Schwermetallsulfid-Bildung/-Auflösung

Bei der Erzlaugung macht man sich die Fähigkeit einiger Bakterien (z. B. *Thiobacillus ferrooxidans*) zunutze, Kupfersulfide mit Sauerstoff zu wasserlöslichen Sulfaten zu oxidieren. Dabei wird auch das Metall gelöst und ist für die weitere Aufbereitung verfügbar.

Vulkanismus

Schwefelwasserstoff gelangt auch durch Vulkanismus an die Erdoberfläche oder in hydrothermale Quellen.