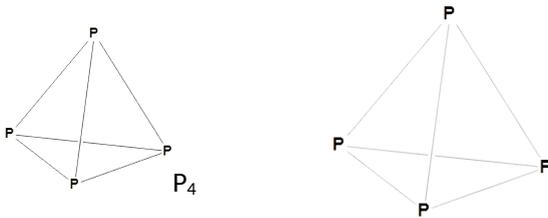
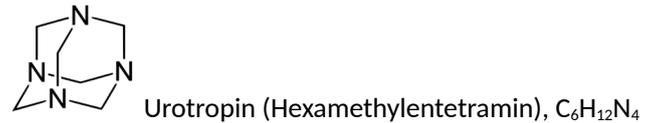


Phosphoroxide

**Phosphor(III)-oxid, P<sub>4</sub>O<sub>6</sub>:** Die Struktur leitet sich ausgehend von P<sub>4</sub> ab, indem sich zwischen die P-P-Bindungen noch jeweils ein O-Atom schiebt, so dass P-O-P-Bindungen vorliegen:

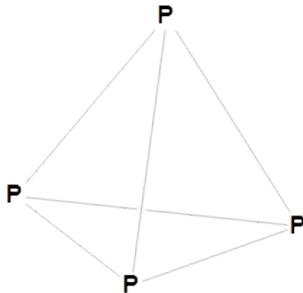


Diese Struktur gleicht der von Adamantan und wird deshalb auch **Adamantan-Struktur** genannt. Ein weiteres Molekül mit Adamantan-Struktur ist das Urotropin:



Phosphor(III)-oxid ist das Anhydrid der ..... Entsprechend hydrolysiert es in kaltem Wasser nach folgender Reaktionsgleichung:

**Phosphor(V)-oxid, P<sub>4</sub>O<sub>10</sub>:** Diese Verbindung wird traditionell auch **Phosphorpentoxid** genannt und ist das Verbrennungsprodukt von Phosphor, wenn ausreichend Sauerstoff zur Verfügung steht. Aufbauend auf der Adamantan-Struktur vom P<sub>4</sub>O<sub>6</sub> leitet sich die Struktur von P<sub>4</sub>O<sub>10</sub> ab, in dem jedes Phosphoratom noch mit einem weiteren O-Atom verbunden ist. Mit der Überschreitung der Oktettregel resultiert also die Struktur:



P<sub>4</sub>O<sub>10</sub> besitzt auch ein Adamantan-Grundgerüst!

P<sub>4</sub>O<sub>10</sub> ist extrem wasserziehend und dient als Trockenmittel und zur Darstellung von Säureanhydriden. **Es selbst hydrolysiert dabei über Zwischenstufen letzten Endes zu ortho-Phosphorsäure:** Diese Zwischenstufen kann man bei vorsichtiger Zugabe auch erhalten. Man kann den P<sub>4</sub>O<sub>10</sub>-Käfig zum Ring aufschneiden, indem man zwischen 2 P-Atomen die Verbrückung hydrolysiert. Zwischen den anderen beiden P-Atomen verfährt man ebenso. Dadurch kommt man zur **Tetrametaphosphorsäure (Rkt.gl. 1)**. Schneidet man den Ring an zwei Stellen auf, so resultiert die **Diphosphorsäure (Rkt.gl. 2)**. Eine weitere Hydrolyse liefert die **ortho-Phosphorsäure (Rkt.gl. 3)**. Insgesamt ergibt sich also:

Rkt.gl. 1

Rkt.gl. 2

Rkt.gl. 3

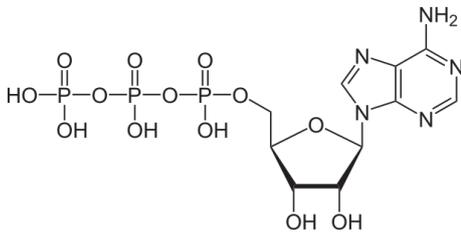
Brutto:

Beispiel: Rktgl. zur Herstellung von Essigsäureanhydrid aus Essigsäure:

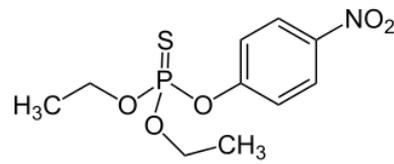
Phosphorsäureester und ihre Derivate

**Phosphorsäureester** (auch **Alkylphosphate**) sind Ester der Orthophosphorsäure. Sie können als *organische Phosphate/Organophosphate* bezeichnet werden, gehören aber nicht zur Gruppe der *Organophosphorverbindungen*, da keine Kohlenstoff-Phosphorbindung vorliegt. Bei den Estern der Orthophosphorsäure unterscheidet man Monoester, Diester und Triester. *Allgemeine Strukturformeln:*

Auch von *meta-* und *poly-*Phosphorsäuren gibt es entsprechende Ester, z.B. das physiologisch besonders wichtige **Adenosintriphosphat (ATP)**, die „Energiewährung“ der Zellen. Von größerer Bedeutung sind auch die von der **Thiophosphorsäure** ( $S=P(OH)_3$ ) abgeleiteten **Thiophosphorsäureester**, die häufig biozide und neurotoxische Eigenschaften zeigen.



Bsp.: Adenosintriphosphat (ATP) - die Energiewährung des Körpers



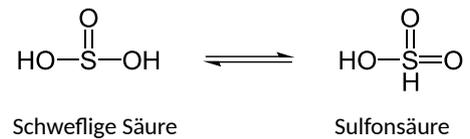
Bsp.: Parathion, ein wichtiges Insektizid

Phosphonsäure ( $H_3PO_3$ ) und ihre Ester

Von der Phosphonsäure gibt es zwei Tautomere, wobei das Gleichgewicht auf Seite der Phosphonsäure (enthält P-H-Bindung) liegt. **Merke:** Völlig analoge Verhältnisse liegen auch bei der Schwefligensäure/Sulfonsäure vor.

„Phosphonsäure“  $\rightleftharpoons$  „Phosphorige Säure“

zum Vergleich:



Kennzeichen von Tautomerie(allgemein): . . . . .  
 . . . . .  
 . . . . .

Von beiden Tautomeren gibt es Ester mit 1-3 org. Resten. Allgemein werden alle diese Vertreter und dem Begriff **Phosphonsäureester** zusammengefasst.

- allgemeine Halbstrukturformel von Phosphorigsäureestern:  $P(OR)_3$ .
- allgemeine Strukturformeln von Phosphonsäureestern (im engeren Sinn):  $R-P(O)-(OR)_2$ .

Wie auch bei den Thiophosphorsäureestern gehören zu den Phosphonsäureestern zahlreiche Insektizide, Akarizide (Zecken- und Milbenbekämpfungsmittel) aber auch Nervenkampfstoffe wie Sarin und VX.

