

Abschlussbericht

Anschubprojekt

Förderkennzeichen: SAS-2015-IOW-LWC

Projektverantwortliche: R. Schumann (EvaPhoN, P-Digest)

V. Brüser, P-Leinweber (PAS)

Vorhabensbezeichnung: Evaluation von Phosphoraufschlüssen natürlicher Materialien (**EvaPhoN I bis III**)
Plasmabasierte Methoden zum Aufschluss von biologischen Substraten für die P-Analytik (**PAS**)
Zusammenstellung von Langzeitdaten und Ringversuchsdaten zum P-Aufschluss aus unterschiedlichen Naturmaterialien innerhalb des P-Campus für das Internet P-Handbook (**P-Digest**)

Laufzeit der Vorhaben: EvaPhoN I bis III: mit Unterbrechungen 2015 bis 2018

PAS: 19.07. bis 31.12.2018

P-Digest: 01.05. bis 30.06.2019

Autoren: R. Schumann, V. Brüser, K. Zocher, D. Zimmer

Inhaltsverzeichnis

Kapitel	Seite
1 Zusammenfassung und Schlussfolgerung	
2 Einleitung und Ziele des Projektes	
3 Material und Methoden	
4 Ergebnisse	
5 Diskussion	
6 weitere Leistungen und Ziele aus dem Projekt	
7 Literaturverzeichnis	
Danksagung	
Anhang	

1. Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Im Rahmen der Zusammenarbeit der Partner des P-Campus wurde festgestellt, dass für die Analytik vom Gesamt-P in den einzelnen Arbeitsgruppen unterschiedliche Aufschluss- und Analysenmethoden genutzt werden, deren Ergebnisse nicht immer 1 zu 1 vergleichbar sind. Um die Einarbeitung von insbesondere Nachwuchswissenschaftlern in den unterschiedlichen Arbeitsgruppen zu erleichtern und die durch die unterschiedlichen Ansprüche der Aufschluss- und Analysenverfahren möglicherweise entstehenden Fehler zu minimieren, wurden die bestehenden Methoden in einzelnen Arbeitsgruppen zusammengetragen und mit Ihren Vor- und Nachteilen bzw. Ansprüchen bewertet. Die Ergebnisse dieser Arbeit wurden im Rahmen der Anschubprojekte EvaPhoN als „Handbuch zur Auswahl der Aufschluss- und Bestimmungsverfahren für Gesamtphosphor in Umweltproben“ (e-Handbuch P-Analytik) zusammengetragen. Die entstandenen und noch entstehenden Kapitel werden online auf der P-Campus Website veröffentlicht und stehen sowohl Mitgliedern des P-Campus als auch allen anderen Personen, nach Anmeldung, frei zur Verfügung (<https://wissenschaftscampus-rostock.de/Publikationen.html>). Das Handbuch wird ständig erweitert. Im Jahr 2020 wurde begonnen, die bisher nur in Deutsch vorliegenden Kapitel ins Englische (<https://wissenschaftscampus-rostock.de/research/publications.html>) zu übersetzen und online zu stellen.

Im Rahmen der Arbeit zum e-Handbuch P-Analytik entstand die Idee, neuartige Aufschlussmethoden zu testen und zu bewerten. Im Rahmen des Anschubprojektes PAS wurden daher unterschiedliche Umweltproben (im getrockneten und veraschten Zustand, z.B. Wasserproben, Pflanzen, Boden, Sediment) sowohl mit etablierten Aufschlussverfahren als auch mit dem zu testenden Plasmaaufschlussverfahren untersucht.

Ziel des Projektes PAS war es, zu untersuchen ob physikalisches Plasma als alternative Aufschlussmethode getrockneter organischer Proben zur Bestimmung des Phosphatgehaltes geeignet ist. Als vielversprechende Plasmaquelle wurde eine Funkenentladung in Wasser zur Überprüfung herangezogen. Für die Versuche wurden die Proben in destilliertem Wasser suspendiert und kontinuierlich dem Funken ausgesetzt.

Anhand der Ergebnisse konnte festgestellt werden, dass die Funkenentladung in dem bestehenden System nur bedingt geeignet ist, um die verwendete Probenarten aufzuschließen. Es ist daher empfehlenswert die Proben durch eine andere Plasmaquelle erneut zu überprüfen oder das verwendete System neu zu konzipieren.

Im Anschluss an das Projekt PAS wurde ersichtlich, dass die in den gesamten Anschubprojekten (EvaPhoN und PAS), auch durch etlichen Bachelor-, Masterarbeiten, Dissertationen, dem BMBF-Verbundprojekt BACOSA sowie durch die Erprobung immer weiterer Materialien durch weitere Doktoranden auch von außerhalb des P-Campus,

entstandene Datenflut entsprechend zusammenfassend ausgewertet und zusammengestellt werden muss. Dies geschah im Rahmen des Anschubprojektes P-Digest. Es bestätigte sich u.a. das Aufschlussmethode und Bestimmungsmethode gut aufeinander abgestimmt sein müssen, da beispielsweise in einem Königwasseraufschluss P aufgrund der hohen HNO_3 -Konzentrationen nicht mittels Molybdänblau bestimmt werden kann.

2. Einleitung und Ziele der Projekte

In den unterschiedlichen Umweltmaterialien liegt Phosphor in ganz unterschiedlichen Konzentrationen vor. In Abhängigkeit von der P-Konzentration und dem Umweltmaterial selbst erfolgt die Auswahl der Aufbereitung-, Aufschluss- und Messmethode zur P-Bestimmung. Da unterschiedliche Messmethoden unterschiedliche Messbereiche der P-Konzentrationen abdecken und unterschiedliche Aufbereitungs- und Aufschlussmethoden erfordern oder auch andere ausschließen, sollte in den **Projekten EvaPhoN I bis III** Literatur zusammengestellt und mit praktischen Erfahrungen aus den Arbeitsgruppen des P-Campus hinterlegt und daraus ein Handbuch erstellt werden, welches die gängigsten Aufbereitungs-, Aufschlussverfahren und Messmethoden mit ihren Vor- und Nachteilen sowie Ihren Anforderungen an die Probenaufbereitung zusammenstellt. Dies soll als Orientierungshilfe insbesondere für Studenten und DoktorandInnen dienen aber auch ganz generell Hilfestellung für Arbeitsgruppen geben, welche neue Methoden oder auch neue Umweltmaterialien in ihr Methodenspektrum aufnehmen möchten.

Zur Bestimmung des Phosphatgehaltes in organischen und anorganischen Probenmaterial sind diverse mechanische und nasschemische Aufschlussmethoden anwendbar. Der Phosphatgehalt in diesen Proben lässt Rückschlüsse auf den Phosphorgehalt in größeren Gewässern, wie zum Beispiel der Ostsee, oder auf den Düngeszustand von Böden zu. Nachteilig an den bisher verwendeten Aufschlussmethoden sind beispielsweise die lange Behandlungszeit, der Einsatz ökologisch bedenklicher Lösungsmittel sowie der geringe Probendurchsatz.

Physikalisches Plasma und seine chemischen und physikalischen Eigenschaften, d.h. Generierung von reaktiven Spezies, starke elektrische Felder, UV-Licht und Schockwellen, kann daher eine Alternative zu den bereits vorhandenen Methoden darstellen. Insbesondere Plasmafunken habe bereits gezeigt, dass sie schonend und dennoch effektiv die Zellwände von Mikroalgen aufbrechen können, ohne dabei die hitzesensiblen Inhaltsstoffe zu zerstören. Inwiefern sich dieses Verfahren auch zur auch zur Abtrennung von Phosphat eignet, sollte im **Projekt PAS** untersucht werden. Zu diesem Zweck wurden Sediment- und Knochenproben, sowie ein Standard plasma-behandelt und anschließend der Phosphorgehalt im Lösungsmittel bestimmt. Die Ergebnisse des Ringversuches in PAS sollen in das P-Handbuch integriert werden. Die in den Projekten EvaPhoN I bis III und PAS gewonnen Daten sollen im Projekt **P-Digest** zusammengestellt werden.

3. Material und Methoden

EvaPhoN I bis III:

In den Projekten EvaPhoN I bis III wurden ausführliche Literaturrecherche zu Aufbereitung-Aufschluss und Messmethoden für P sowie P-Konzentrationen in Umweltproben erstellt. Außerdem wurde aus den AGs des P-Campus' die gängigen Methoden mit Vergleich der Vor- und Nachteile sowie ggf. Restriktionen der Methoden zusammengetragen. Es wurden die Methoden aus folgenden AGs zusammengestellt: Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät: AG Bodenkunde, AG Bodenphysik, AG, Pflanzenbau, AG Aquakultur und Sea-Ranching sowie aus dem Institut für Biologie die AG Angewandte Ökologie und Phykologie. Außerdem sollen nachträglich im Laufe der Jahre 2020 und 2021 Methoden aus dem IOW aus der AG Biologische Meereskunde in das e-Handbuch P-Analytik integriert werden.

PAS: Plasmaaufschluss

Für die Behandlungen der Probensuspensionen wurde eine Anordnung für eine Funkenentladung eingesetzt. In dieser Anordnung wurde das Plasma zwischen zwei Wolframstabelektroden (Abstand 0.5mm) mit einem Durchmesser von 2 mm gezündet (Abbildung 1). Die Elektroden befanden sich in einer zylindrischen Reaktionskammer aus Polymethylmethacrylat (PMMA), mit einem Volumen von etwa 2 ml für die Probensuspension, welche mittels einer Peristaltikpumpe (TL 150, medorex Messtechnik + Bio-Verfahrenstechnik, Deutschland) permanent bewegt wurde. Mit Ausgleichsgefäß und Pumpschläuchen umfasste das gesamte System ein Volumen von 50 ml. Es wurde eine Flussrate von 50 ml / min eingestellt, entsprechend einer Behandlungszeit des Probenvolumens in 1 min und einer Verweilzeit in der Kammer von 2,4 s. Für die Erzeugung von Funkenentladungen wurde ein Blumlein-Line Pulsgenerator verwendet. Die Dauer des Hochspannungsimpulses betrug 100 ns mit einer Wiederholrate von 4 Hz. Die Impulsamplitude betrug 20-25 kV und die Behandlungszeit 30 min. Positive Hochspannungspulse wurden mit einer Gleichspannungsquelle von Glassman High Voltage Inc. generiert (PS / EQ060R020-22, Glassman High Voltage Inc., High Bridge, NJ, USA). Eine typische Pulsform ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Spannung wurde mit einer Hochspannungssonde (Tektronix P6015A, Tektronix Inc., Beaverton, OR) gemessen, während der Strom mit einer Rugowski-Spule bestimmt wurde (Modell 5046, Pearson Electronics, Palo Alto, CA). Beide Werte wurden auf einem Oszilloskop (Wave Surfer 64MXs-B, LeCroy, Chestnut Ridge, NY) aufgenommen. Ein Plasmafunkle entsteht beim Anlegen einer Spannung zwischen zwei Elektroden, d.h. sobald der Plasmakanal die Gegenelektrode erreicht hat, fällt die Spannung schlagartig ab und gleichzeitig steigt der Strom an.

Die Temperatur des Systems wurde mit einem Infrarot-Thermometer (PeakTech 4975, PeakTech Prüf- und Messtechnik GmbH, Deutschland) kontrolliert. Unter den gewählten Bedingungen blieb die Temperatur immer unter 25 ° C.

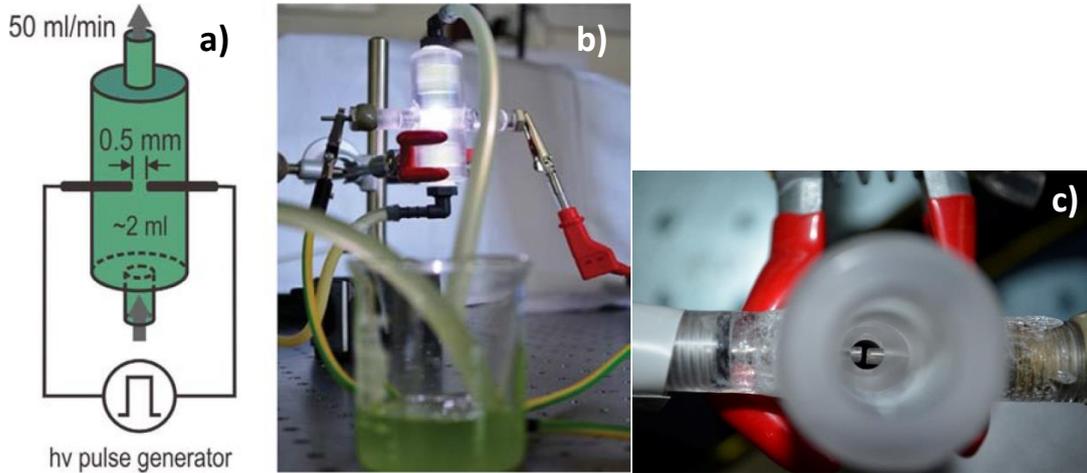


Abbildung 1 Funkenentladungskammer (links: schematisch, rechts: Aufbau) zur Umlaufbehandlung der Probensuspension; a) Prinzipskizze; b) Seitenansicht; c) Blick von oben in den Reaktorraum

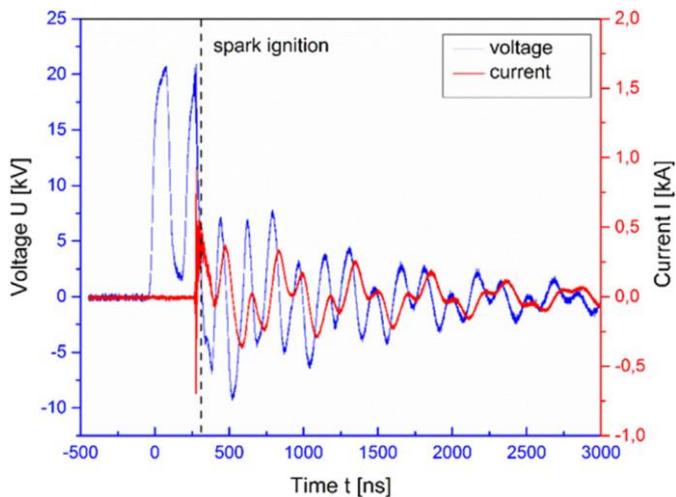


Abbildung 2 Strom-Spannungskurve einer Funkenentladung im ungematchten Modus

Probenvorbereitung:

Folgende Proben wurden auf diese Weise behandelt:

- Tierknochen, getrocknet
- Sediment, getrocknet
- Sediment, verascht
- Phosphatstandard
- Blindprobe

Je 10 mg Festsubstanz wurden in 50ml destilliertem Wasser suspendiert. Die Konzentration des Standards betrug 10µmol/l in 50ml. Als Blindprobe wurde nur destilliertes Wasser mit der oben beschriebenen Plasmaaufschlussmethode behandelt. Die Gesamtbehandlungszeit betrug je 30 Minuten, mit je n=4 pro Probenart. Nach jeder Behandlung wurde das Reaktorsystem mittels destilliertem Wasser und 70% 2-Propanol gereinigt und nach jeder Probenart zusätzlich mittels Druckluft getrocknet. Nach der Plasmabehandlung wurden die Proben mittels eines phosphatfreien Filterpapiers filtriert und der Rückstand verworfen. Das Filtrat wurde bei -80°C eingefroren und dort bis zur Weiterbearbeitung gelagert. Der Phosphatnachweis wurde auf der biologischen Station Zingst durchgeführt.

Außerdem wurden im Projekt PAS vergleichend unterschiedliche Umweltproben in der AG Bodenkunde und der Biologischen Station Zingst mit den jeweiligen Verfahren aufgeschlossen und P sowohl am ICP-OES als auch mittels der Molybdänblau-Methoden bestimmt. Der Versuchsplan des Projekts befundet sich im Anhang.

P-Digest

Für das Projekt P-Digest sollen die Laborbücher von 2013 bis 2017 gesichtet und die Daten in Exceltabellen zusammengestellt werden. Daraus sollen Daten in das e-Handbuch P-Analytik integriert werden.

4. Ergebnisse und Diskussion

EvaPhoN I bis III

In den Projekten EvaPhoN I. bis III. wurde als finales Ergebnis das „Handbuch zur Auswahl der Aufschluss- und Bestimmungsverfahren für Gesamtphosphor in Umweltproben“ (e-Handbuch P-Analytik) mit folgenden Kapiteln erstellt: 1. P-Konzentrationen in Umweltproben, 2. Analyenauswahl, 3. Probenvorbereitung, 4. Aufschlüsse, 5. Nachweismethoden, 6. Qualitätsmanagement, 7. Chemisches Rechnen, 8. Vorschläge für Formblätter bei Probenlieferung, 9. Methodenvergleiche, 10. Ansprechpartner. Das e-Handbuch P-Analytik ist unter www.wissenschaftscampus-rostock.de/intern.html nach einmaliger Registrierung kapitelweise abrufbar. Das e-Handbuch P-Analytik wird kontinuierlich erweitert. Im I. Quartal 2020 wurde begonnen die vorliegenden Kapitel des P-Handbuchs ins Englische zu übersetzen. Im 2. Quartal 2020 wurden die ersten englischsprachigen Kapitel mit einer DOI online gestellt (<https://wissenschaftscampus-rostock.de/research/publications.html>).

PAS, INP:

Ein wichtiges Merkmal eines Plasmafunkens ist die Entstehung starker Schockwellen, die hauptverantwortlich für den erfolgreichen Aufschluss von Mikroalgen sind. Anhand der hier dargestellten Ergebnisse scheint die **verwendete Plasmaquelle** dennoch **nur bedingt**

geeignet um Phosphat aus in Wasser suspendierten Feststoffen zu extrahieren. Mögliche **Ursachen** sind die **schlechte Suspendierbarkeit der Proben im Lösungsmittel**, da sich der Großteil der Proben im Pumpsystem trotz Peristaltikbewegung festgesetzt hatte und damit einem erfolgreichen Aufschluss nicht zur Verfügung stand. Ebenso konnte beobachtet werden, dass sich zum Beispiel Knochenproben **an den Wänden des Ausgleichsgefäßes als Film abgesetzt** hatte; auch dies verminderte die Feststoffmenge im Funken. Eine **Behandlung der Feststoffe** mithilfe einer **anderen Plasmaquelle**, welche **in Luft gezündet** werden kann, könnte möglicherweise eine bessere Alternative darstellen (z.B. Gliding Arc o.ä.). Ebenso wäre es möglich, mithilfe einer anderen Plasmaquelle die **suspendierten Proben mittels einer Oberflächenentladung** zu behandeln und danach den Phosphatgehalt im Lösungsmittel zu bestimmen. Als Beispiel käme eine DBD- oder Pin-to-liquid-Quelle infrage, welche sich vor allem durch starke Radikalbildung auszeichnen. In diesem Fall könnten die Radikale komplexierende Eigenschaften auf den gebundenen Phosphor haben. Mit der im Projekt PAS benutzten Plasmaquellen könnten aber **Sestonproben** aufgrund ihrer geringeren Partikelgröße und damit langsameren Absinkens behandelt werden. Die benutzte Plasmaquelle wäre auch für eine **Extraktion von Phosphatasen** interessant.

Auffällig waren auch die stark schwankenden P-Gehalte in den einzelnen Proben. Mögliche Ursachen sind dafür entweder die bereits erwähnte Suspendierbarkeit der Proben oder die Probengefäße selbst. Da die Glas- und Kunststoffwaren vor Behandlung zwar mit destilliertem Wasser gespült wurden, kann dennoch nicht ausgeschlossen werden, dass noch Phosphatrückstände von Reinigungsmitteln anhaften geblieben sind. Eine Behandlung unter Zuhilfenahme garantiert phosphatfreier Materialien könnte die Schwankungen deutlich reduzieren.

Weitere wichtige Erkenntnisse aus dem Projekt PAS:

Wurden Umweltproben mittels Königswasser aufgeschlossen, kann auch nach Neutralisation P nicht mittels der Molybdänblau-Methode bestimmt werden. Es wird vermutet, dass durch die HNO_3 im Extraktionsmittel, die Nitrationen die Molybdänblaureaktion stören und so zu einer starken Dunkelfärbung der Proben führen. Möglicherweise kann der P-Nachweise mittels Vanadomolybdatgelb erfolgen, da das Reagenz selbst HNO_3 enthält und so keine Störung durch die HNO_3 im Königswasser auftreten sollte. Dies wurde im Versuch aber nicht getestet.

Saure Persulfataufschlüsse dürfen nicht im nicht-neutralisierten Zustand in PE-Zentrifugenröhrchen gelagert werden. Die Proben färben sich dann bei Zugabe des Molybdänblaureagenz ebenfalls dunkelblau bis schwarz. Anscheinend haben gelöste Kunststoffbestandteile der Zentrifugenröhrchen einen Einfluss auf die Reaktion. Sollen derartige Proben für eine spätere Molybdänblaureaktion in PE-Zentrifugenröhrchen gelagert werden, müssen sie vorher zwingend neutralisiert werden.

Um Reaktionen von Kunststoffen auf die Molybdänblau-Reaktion auszuschließen, sollten sämtliche Gefäße für den Aufschluss und bis nach der Neutralisation aus Teflon, PFA oder Glas sein.

P-Digest

Im Projekt P-Digest gelang es, alle Laborbücher der ersten 4 Jahre (2013-2017) zu sichten, etwaige Exceltabellen aufzuspüren, zusammenzutragen und eine Übersichtstabelle fertig zu stellen. Diese muss 2020/21 aus eigener Kraft fortgeführt werden. Im nächsten Schritt bzw. parallel müssen die Stellen im Handbuch identifiziert werden, an denen Vergleichsmessungen, Methodentests und Graphiken zum Qualitätsmanagement notwendig sind. Damit können viele Kapitel in einer 2. überarbeiteten und viel höherwertigen Version publiziert werden.

Ein weiteres wichtiges Projekt gab es noch am IOW zur Messung atmosphärischer Deposition von P. An diesem nahmen wir mit einem Gerät des IOW teil. Die Lebensdauer des Geräts war begrenzt mit ca. 9 Monaten. Dennoch gelang es fast 3 Jahr trockene und nasse Deposition auch in Zingst zu messen und mit Warnemünde und den viel schwerer messbaren echten Stationen in der Ostsee zu vergleichen.

5. weitere Leistungen und Ziele aus dem Projekt

EvaPhoN

Deutsche Version e-Handbuch P-Analytik: doi 10.12754/misc-2018-0001

Englische Version e-Handbook P-Analytics: doi 10.12754/misc-2020-0001

Das Projekt EvaPhoN bzw. das P-Handbuch (deutsche Version) wurde auf den (Internationalen) P-Campus Symposien vorgestellt (März 2015, April und November 2017, November 2018).

PAS

Im November 2018 wurde außerdem das Projekt PAS auf dem P-Campus Symposium vorgestellt. Die Zusammenarbeit zwischen dem INP und der Universität Rostock waren trotz der unzureichenden Ergebnisse sehr konstruktiv. Da alternative Methoden für den Phosphataufschluss dennoch gesucht werden, empfiehlt sich die Untersuchungen mittels anderer Plasmaquellen fortzusetzen. Ebenso wäre eine Überprüfung inwieweit die Funkenentladung z.B. für phosphathaltige vitale Proben zum Aufschluss anwendbar sind, wünschenswert.

6. Literaturverzeichnis

Zocher, Katja, et al. "Comparison of extraction of valuable compounds from microalgae by atmospheric pressure plasmas and pulsed electric fields." *Plasma Medicine* 6.3-4 (2016).

Zocher, Katja, et al. "Profiling microalgal protein extraction by microwave burst heating in comparison to spark plasma exposures." *Algal Research* 39 (2019): 101416.

Danksagung

Vielen Dank an Dr. Rhena Schumann und Dr. Dana Zimmer für die großartige Unterstützung bei der Planung und Vorbereitung der Proben, sowie die geduldige Beantwortung aller großen und kleinen Fragen.

Wir danken allen Mitgliedern der P-Campus, die namentlich aufgeführt im e-Handbuch P-Analytik mit der Bereitstellung ihrer Methoden und ggf. der Überarbeitung der Kapitel des Buches zur Erstellung des Buches beigetragen haben. Wir danken außerdem Daniela Derlet-Eichler, welche das Einstellen der Kapitel des e-Handbuchs P-Analytik auf die P-Campus Website übernommen hat und sich um das Freischalten für die Interessierten gekümmert hat. Außerdem danken für Maxi Hoche, welche im Rahmen der Pflege der P-Campus Website auch die Aktualisierung des P-Handbuchs auf der Website übernommen hat und bei der Übersetzung der Kapitel ins Englische unterstützte und unterstützt.

Anhang

Ursprünglicher **Aufschlussplan PAS** (einige Aufschlüsse konnten aufgrund eines Mangels an Probenmaterial(Tierknochen) oder technischer Schwierigkeiten (Plasmaaufschluss) nicht wie geplant durchgeführt werden), Einwaage usw. mussten z. T. angepasst werden

Probe	Vorbehandlung	Einwaage in mg	Aufschlussverfahren	(End)volumen ml
Seston	Suspension		Persulfat (Bio)	4x 15
Boden BS3	getrocknet, unverascht,	später, 4x100	Plasmaaufschluss (INP)	4x 10, später auf 100 verdünnt
		4x100	Persulfat (Bio)	4x 10, später auf 100 verdünnt
		500	Köwa (BK)	100
	verascht	?	Persulfat (Bio)	
Pflanzen Triticalestroh	getrocknet, unverascht	später	Plasmaaufschluss (INP)	
		4x20	Persulfat (Bio)	4x 10, später auf 100 oder mehr verdünnt
		100	HNO ₃ +H ₂ O ₂ (BK)	20
	getrocknet, verascht	später	Plasmaaufschluss (INP)	
		4x3	Persulfat (Bio)	4x 10, später auf 100 oder mehr verdünnt
		0,01...0,1	Köwa (BK)	20
Tierknochen	getrocknet, unverascht	10 mg evtl. 0,1...0,2 g	Plasmaaufschluss (INP)	50 ml
		4x 15	Persulfat (Bio)	4x 10, später auf 100 oder mehr verdünnt
		200	HNO ₃ +H ₂ O ₂ (BK)	20
	getrocknet, verascht	ggf. 10	Plasmaaufschluss (INP)	ggf. 50 ml
		4x 3	Persulfat (Bio)	4x 10, später auf 100 oder mehr verdünnt
		10-100	Köwa (BK)	20
Sediment schlickig und sandig	je getrocknet, unverascht	10	Plasmaaufschluss (INP)	50 ml
		4x 100	Persulfat (Bio)	4x 10, später auf 100 verdünnt
		500	Köwa (BK)	100
	je getrocknet, verascht	ggf. 10	Plasmaaufschluss (INP)	ggf. 50 ml
		4x 50-80	Persulfat (Bio)	4x 10, später auf 100 verdünnt
		100	Köwa (BK)	20

Inhaltsverzeichnis e-Handbuch P-Analytik (Unterkapitel der 3. und 4. Ordnung sind aus Platzgründen nicht angegeben)

Nr.	Kapitelname
1	P-Konzentrationen in Umweltproben
1.1	Bindungsformen des Phosphors
1.2	Konzentrationen in mineralischen Rohphosphaten
1.3	Atmosphäre und Niederschlag
1.4	Gewässer
1.5	Ab- und Prozesswässer
1.6	Böden
1.7	Sedimente
1.8	Pflanzen- und Tierbiomasse
1.9	Kohlen
1.10	Düngemittel
2	Methodenauswahl
2.1	Allgemeines Vorgehen
2.2	Einfluss der Matrix
2.3	Bedeutung des Redoxpotentials und Einfluss auf die Probenahme und die P-Bindungsformen in Böden, Sedimenten u. ä. Umweltproben
2.4	Einfluss der Trocknung und Lagerung auf die P-Bindungsformen in Umweltproben
3	Probenvorbereitung
3.1	Probennahme, Aufbereitung und Lagerung
3.2	Trockenmasse und Trockenraumdichte
3.3	Veraschung und Glühverlust
3.4	Entfernung des Carbonats
3.5	Homogenisierung
4	Aufschlüsse
4.1	Mikrowellenaufschlüsse
4.2	Subboiling Aufschlüsse
4.3	Kochende Aufschlüsse
4.4	Neutralisation
4.5	Methoden zur Bestimmung von P-Fractionen bzw. Bindungsformen in Bodenproben
4.6	Methoden zur Bestimmung von P-Fractionen bzw. Bindungsformen in Sedimenten
4.7	Methoden zur Bestimmung von P-Fractionen und Bindungsformen im Wasser
4.8	Methoden zur Bestimmung von P-Bindungsformen in Düngemitteln
5	Nachweismethoden
5.1	Messung mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP)
5.2	Photometrie
5.3	Elementaranalyser
5.4	Autoanalyser
5.5	Nanomolare Phosphatkonzentrationen
5.6	Ionenchromatographie
6	Qualitätsmanagement

6.1	Kalibration
6.2	Nachweis- (NG) und Bestimmungsgrenzen (BG)
6.3	Blindwert-Zielkarten
6.4	Sollwert-Zielkarten
6.5	Spannweitenzielkarten
6.6	Standards
6.7	Fehlereinschätzung und Fehlerfortpflanzung
7	Chemisches Rechnen
7.1	Verdünnung und Mischung
7.2	Umrechnung der Messwerte (pro Liter) in die Konzentration in der Umweltprobe (pro kg)
8	Vorschläge für Formblätter bei Probenlieferung
8.1	Beispiele aus der AG Bodenkunde
8.2	Praxis der Biologischen Station Zingst
8.3	Abläufe am IOW
9	Methodenvergleiche
9.1	Aufschlussmethoden
9.2	Messmethoden
10	Infrastruktur
10.1	Ansprechpartner(innen) und Geräteverfügbarkeit
10.2	Danksagung
	Glossar