

Hubert Hein, Wolfgang Kunze

Umweltanalytik mit Spektrometrie und Chromatographie

Von der Laborgestaltung bis zur Dateninterpretation

3., aktualisierte und erweiterte Auflage



**WILEY-
VCH**

WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

H. Hein, W. Kunze
**Umweltanalytik
mit Spektrometrie
und Chromatographie**

Weitere Titel Wiley-VCH

Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung

Herausgegeben von der Wasserchemischen Gesellschaft, Fachgruppe in der GDCh,
in Gemeinschaft mit dem Normenausschuss Wasserwesen (NAW) im DIN Deutsches
Institut für Normung

2004

ISBN 3-527-30359-6

Handbuch der Bodenuntersuchung

Herausgegeben vom Deutschen Institut für Normung

2004

ISBN 3-527-19080-5

Analytische Methoden zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe

Herausgegeben von der Senatskommission der Deutschen Forschungsgemeinschaft
zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe

Band 1: Luftanalysen

2004

ISBN 3-527-19021-X

Band 2: Analysen in biologischem Material

2004

ISBN 3-527-19022-8

Hubert Hein, Wolfgang Kunze

Umweltanalytik mit Spektrometrie und Chromatographie

Von der Laborgestaltung bis zur Dateninterpretation

3., aktualisierte und erweiterte Auflage



**WILEY-
VCH**

WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

Hubert Hein
Am Steinchen 4
63776 Mömbris-Niedersteinbach

Wolfgang Kunze
Kirchgasse 3
88662 Überlingen

Das vorliegende Werk wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autor und Verlag für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung.

Bibliografische Information

Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

© 2004 Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Mikroverfilmung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie nicht eigens als solche markiert sind.

Printed in the Federal Republic of Germany.
Gedruckt auf säurefreiem Papier.

Satz Mitterweger & Partner
Kommunikationsgesellschaft mbH, Plankstadt

Druck betz-druck gmbH, Darmstadt

Bindung Großbuchbinderei J. Schäffer
GmbH & Co. KG, Grünstadt

ISBN 3-527-30780-X

Vorwort zur 3. Auflage

Seit der 2. Auflage im Jahre 1995 ist in den Bereichen Umweltgesetzgebung, Umweltanalytik und analytische Qualitätssicherung eine Fülle von Änderungen erfolgt.

Das Kapitel 3 Labormanagement und Organisation wurde in der Neuauflage um die Themen Wissens-, Informations- und Beziehungsmanagement erweitert und deshalb in Managementstrategien für Umweltlabore umbenannt.

Die Umweltgesetzgebung ist einer permanenten Veränderung ausgesetzt und musste deshalb komplett überarbeitet werden.

In den Kapiteln Probenahme, Konservierung und Lagerung, Probenvorbereitung und Instrumentelle Analysenverfahren waren zahlreiche Änderungen erforderlich, um den aktuellen Stand zu gewährleisten. Als neue Analysenmethode wurde die Atomfluoreszenz-Spektrometrie aufgenommen, die in der Quecksilber-Analytik das empfindlichste Bestimmungsverfahren darstellt.

Die Vor-Ort-Analytik gewinnt immer mehr an Bedeutung im Vorfeld der instrumentellen Laboranalytik, da mit ihr schnelle und kostengünstige Informationen zu erhalten sind. Deshalb wurde dieses Analysegebiet, entsprechend seinem Stellenwert in der Umweltanalytik, neu in das Buch aufgenommen.

Die Bedeutung der analytischen Qualitätssicherung für Umweltlaboratorien ist schon aus dem Umfang des neu gestalteten Kapitels 11 Analytische Qualitätssicherung (AQS) deutlich erkennbar. Akkreditierung nach DIN EN ISO 17025 und darauf aufbauend Notifizierungen für die unterschiedlichen Einsatzbereiche werden ausführlich beschrieben, da sie eine größere Herausforderung für Umweltlabore darstellen.

Die Aktualisierung der Kapitel Labordatenverwaltung sowie Interpretation und Dokumentation von Analysendaten runden die umfangreiche Überarbeitung dieses Buches ab.

Wir wünschen den Benutzern, dass diese 3. Auflage für ihre vielseitigen Anforderungen eine gute Informationsquelle darstellt. Dem Wiley-VCH-Verlag danken wir für die Umsetzung der zahlreichen Änderungswünsche und dem angenehmen Teamgeist in der Zusammenarbeit.

Niedersteinbach und Überlingen, im Januar 2004

Hubert Hein
Wolfgang Kunze

Geleitwort zur 3. Auflage

In den letzten zehn bzw. acht Jahren seit dem Erscheinen der 1. bzw. 2. Auflage haben sich die Umweltgesetzgebung und die Technologie der Analysengeräte stetig weiter entwickelt. Damit haben auch die Anforderungen an den Umweltanalytiker zugenommen – sowohl im Hinblick auf seine fachliche Kompetenz als auch seine Kenntnisse und Fähigkeiten im Management.

Beide Bereiche haben die Autoren Hubert Hein und Wolfgang Kunze in der 3. Auflage ihres Buches gleichermaßen berücksichtigt. So wurden die Kapitel über die Management-Strategien für Umweltlabore sowie zur Umweltgesetzgebung ergänzt bzw. auf den neuesten Stand gebracht. Auf Untersuchungsstrategien und Datenmanagement wurde besonderer Wert gelegt sowie die Ausführungen zur Probenahme und Probenvorbereitung und über die instrumentellen Analysemethoden ihrem Stellenwert in der Umweltanalytik entsprechend wesentlich erweitert. Neu ist das Kapitel zur Vor-Ort-Analytik und zur Anwendung der Atomfluoreszenz-Spektrometrie. Für den Anwender besonders hilfreich sind die tabellarischen Übersichten über die Einsatzbereiche der jeweiligen instrumentellen Analysemethoden.

Die wichtigen Bereiche Aufgaben der Qualitätssicherung, Labordatenverwaltung und Interpretation und Dokumentation von Analysendaten schließen sich daran an.

Die Autoren haben mit dieser 3. Auflage ein für den Praktiker umfassendes Fach-, ja Handbuch der Umweltanalytik vorgelegt, das dem neuesten Stand des gesellschaftlich sensiblen Anwendungsbereiches der modernen Analytik voll entspricht.

TU Clausthal, im Dezember 2003

Georg Schwedt

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Laborgestaltung	4
3	Managementstrategien für Umweltlabore	8
3.1	Selbstmanagement	10
3.2	Teammanagement	13
3.3	Labormanagement	15
3.3.1	Zertifizierung	22
3.3.2	Akkreditierung	22
3.3.3	Grundsätze der Guten Laborpraxis (GLP)	23
3.4	Beziehungsmanagement	24
3.4.1	Der König Kunde	26
3.4.2	Staatliche Institutionen	27
3.4.3	Auditoren	28
3.4.4	Kundendienst	28
3.4.5	Zulieferer	28
3.5	Zukunftsaspekte	28
4	Umweltgesetzgebung	31
4.1	Trink- und Brauchwasser	32
4.1.1	E.U. Richtlinien	32
4.1.2	Nationale Gesetze, Empfehlungen, Beurteilungskriterien	33
4.2	Mineral- und Tafelwasser	34
4.2.1	E.U. Richtlinien	34
4.2.2	Nationale Gesetze, Empfehlungen, Beurteilungskriterien	34
4.3	Badewasser	35
4.3.1	E.U. Richtlinien	35
4.3.2	Nationale Gesetze, Empfehlungen, Beurteilungskriterien	35
4.4	Oberirdische Gewässer	35
4.4.1	E.U. Richtlinien	35
4.5	Abwasser	36
4.5.1	E.U. Richtlinien	36

4.5.2	Nationale Gesetze, Empfehlungen, Beurteilungskriterien	37
4.6	Sickerwasser und Grundwasser	38
4.6.1	E.U. Richtlinien	38
4.6.2	Nationale Gesetze, Empfehlungen, Beurteilungskriterien	38
4.7	Nutz- und Kulturböden	39
4.7.1	E.U. Richtlinien	39
4.7.2	Nationale Gesetze, Empfehlungen, Beurteilungskriterien	39
4.8	Altlasten	40
4.8.1	Nationale Gesetze, Empfehlungen, Beurteilungskriterien	40
4.9	Klärschlamm	41
4.9.1	E.U. Richtlinien	41
4.9.2	Nationale Gesetze, Empfehlungen, Beurteilungskriterien	41
4.10	Abfall	41
4.10.1	E.U. Richtlinien	41
4.10.2	Nationale Gesetze, Empfehlungen, Beurteilungskriterien	44
4.11	Gefahrstoffe	46
4.11.1	E.U. Richtlinien	46
4.11.2	Nationale Gesetze, Empfehlungen, Beurteilungskriterien, usw.	50
4.12	Immissionsschutz	51
4.12.1	E.U.-Richtlinien	51
4.12.2	Nationale Gesetze, Empfehlungen, Beurteilungskriterien, usw.	55
4.13	Bezugsquellen von Gesetzen, Verordnungen, Richtlinien, usw.	59
4.14	Bezugsquellen für Bundesländer spezifische Umweltgesetze	60
4.15	Bezugsquellen von nationalen und internationalen Analyseverfahren	64
5	Untersuchungsstrategie	68
5.1	Gesetzliche Vorgaben	69
5.2	Von der Analysenstrategie bis zur Interpretation und Dokumentation von Analysendaten	69
5.3	Auswahlkriterien für Analyseverfahren	72
5.3.1	Vorgaben für das Analyseverfahren aus der Umweltgesetzgebung	73
5.3.2	Auswahl des geeigneten Analysengerätes	74
5.3.3	Analytische Sicherheit	74
5.3.4	Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	75
6	Probenahme	76
6.1	Probenahme von Gasen	77
6.1.1	Probenahme mittels einer Gasmaus	78
6.1.2	Probenahme durch Sammeln von Aerosolen und Staubpartikeln auf Filtern	78
6.1.3	Probenahme durch Absorption der zu analysierenden Stoffe in Flüssigkeiten	79
6.1.4	Probenahme durch Adsorption der zu bestimmenden Komponenten an Adsorptionsmaterialien	80
6.2	Probenahme von Flüssigkeiten	81

6.3	Probenahme von Feststoffen	82
6.3.1	Probenahme von Böden	83
6.3.2	Probenahme von Schlämmen	85
6.3.3	Probenahme von Sedimenten	85
6.3.4	Probenahme von Abfällen und Müll	86
6.3.5	Probenahme von Altlasten-Verdachtsflächen	86
7	Konservierung und Lagerung von Umweltproben	88
8	Probenvorbereitung	92
8.1	Physikalische Probenvorbereitungstechniken	92
8.1.1	Bestimmung des Trockenrückstandes nach DIN 38414-2 (DEV-S 2) bei 105 C	93
8.1.2	Bestimmung und Herstellung der Trockenmasse durch Gefriertrocknung	93
8.1.3	Trocknung von Bodenproben an der Luft	96
8.1.4	Zerkleinern und Sieben	96
8.2	Lösungen, Eluate und Aufschlüsse	97
8.2.1	Lösungen	97
8.2.2	Eluate	97
8.2.3	Aufschlüsse	99
8.3	Abtrennungs- und Anreicherungsverfahren	107
8.3.1	Adsorption und Absorption von gasförmigen Proben	108
8.3.2	Purge- und Trapverfahren	112
8.3.3	Dampfraumanalyse	113
8.3.4	Flüssig-Flüssig-Extraktion	115
8.3.5	Festphasenextraktion	118
8.3.6	Soxhlet-Extraktion	120
8.3.7	Extraktion mit überkritischen Gasen	122
8.4	Clean-up-Verfahren	122
9	Vor-Ort-Analytik	125
9.1	Sensorbasierte Messmethoden	126
9.2	Nicht sensorbasierte Messmethoden	127
9.2.1	UV/VIS-Spektrometrie (UV/VIS)	128
9.2.2	Infrarot-Spektrometrie (IR)	129
9.2.3	Atomabsorptions-Spektrometrie (AAS)	130
9.2.4	ICP-Atomemissions-Spektrometrie (ICP-AES)	132
9.2.5	ICP-Massenspektrometrie (ICP-MS)	132
9.2.6	Gaschromatographie (GC) und GC-Massenspektrometrie (GC-MS)	133
9.2.7	Hochleistungs-Flüssigkeits-Chromatographie (HPLC)	134
9.2.8	Kapillarelektrophorese (CE)	134
10	Instrumentelle Analysenverfahren	136
10.1	Spektrometrie	138

10.1.1	UV/VIS-Spektrometrie (UV/VIS)	141
10.1.2	Fluoreszenz-Spektrometrie (FLUO)	158
10.1.3	Infrarot-Spektrometrie (IR)	169
10.1.4	Atomabsorptions-Spektrometrie (AAS)	178
10.1.5	ICP-Atomemissions-Spektrometrie (ICP-AES)	196
10.1.6	ICP-Massenspektrometrie (ICP-MS)	208
10.1.7	Atomfluoreszenz-Spektrometrie (AFL)	218
10.2	Chromatographie	220
10.2.1	Gaschromatographie (GC)	221
10.2.2	Hochleistungs-Flüssigkeits-Chromatographie	247
10.2.3	Dünnschicht-Chromatographie (DC)	268
10.3	Kapillarelektrophorese (CE)	271
11	Analytische Qualitätssicherung (AQS)	276
11.1	AQS-Systeme im Überblick	277
11.1.1	Zertifizierung auf der Basis von DIN EN ISO 9000 ff	277
11.1.2	Akkreditierung nach DIN EN ISO 17025	277
11.1.3	Grundsätze der Guten Laborpraxis (GLP)	278
11.1.4	Notifizierung für die Fachmodule Umweltanalytik durch die Bundesländer	279
11.2	Einführung eines AQS-Systems	280
11.2.1	Akkreditierung nach DIN EN ISO 17025	280
11.2.2	Notifizierung für entsprechende Fachmodule	282
11.3	AQS-Maßnahmen in der Laborpraxis	285
12	Labordatenverwaltung	288
13	Interpretation und Dokumentation von Analysendaten	293
	Sachregister	297

1

Einleitung

Zwei wesentliche Trends sind im Bereich der Analytik festzustellen. Immer niedrigere Konzentrationsbereiche noch sicher analytisch zu erfassen, ist eine der Forderungen. Zum anderen erhöht sich die Anzahl der zu bestimmenden Stoffe in einem rasanten Tempo. Beide Entwicklungen sind besonders im Bereich der Umweltanalytik erkennbar. Schätzungen gehen davon aus, dass von den mehr als 12 Millionen bekannten chemischen Verbindungen ca. 100 000 Stoffe ein akutes Gefährdungspotenzial für die Umwelt darstellen.

Viele dieser Komponenten können noch in äußerst geringen Konzentrationen Biosysteme schädigen, wie am Beispiel einiger hoch toxischer Verbindungen in Abb. 1-1 aufgeführt ist.

Dieser Sachverhalt rechtfertigt die Weiterentwicklung der Analytik mit dem Ziel, immer niedrigere Konzentrationsbereiche zu erfassen.

Der Gesetzgeber unterstreicht diese Forderung durch die Festlegung strengerer Richt- und Grenzwerte für gefährliche Stoffe, die sich sehr oft an den Bestimmungsgrenzen der instrumentellen Analysenverfahren orientieren.

Wie Abb. 1-2 verdeutlicht, erhöht sich der Arbeitsaufwand in der Umweltanalytik mit der Anzahl der zu bestimmenden Parameter und der Herabsetzung von Bestimmungsgrenzen stark. Den Zusammenhang zwischen der theoretisch möglichen

Substanz	Minimum letale Dosis µg/kg
Botulinus Toxin A	0,00003
Tetanus Toxin	0,0001
Diphtheria Toxin	0,3
TCDD: Dioxin	1
Saxitoxin	9
Tetrodotoxin	8 – 20
Bufotoxin	390
Curare	500
Strychnin	500
Muscarin	1100
Diisopropylfluorophosphat	3100
NaCN	10000

Abb. 1-1 Vergleich der Giftigkeit von ausgewählten toxischen Substanzen.

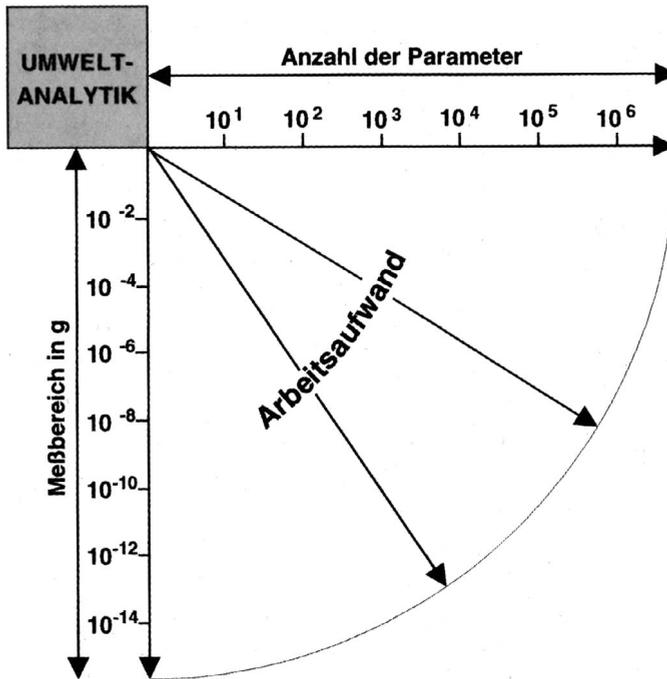


Abb. 1-2 Die Anzahl der möglichen Parameter und der über mehrere Zehnerpotenzen gehende Messbereich sind für den hohen Arbeitsaufwand in der Umweltanalytik verantwortlich.

Komponentenanzahl beim entsprechenden Konzentrationsbereich und der wahrscheinlich vorhandenen Einzelstoffe hat Kaiser in einer grafischen Darstellung (Abb. 1-3) aufzuzeigen versucht.

Der Umweltanalytiker muss deshalb instrumentelle Analyseverfahren einsetzen, die es trotz einer Vielzahl von Störkomponenten ermöglichen, die gesuchte Substanz mit ausreichender Empfindlichkeit und Selektivität zu bestimmen. Besonders die spektrometrischen und chromatographischen Analysetechniken haben wegen ihrer hohen Selektivität und Nachweisempfindlichkeit einen beachtlichen Stellenwert in der Umweltanalytik erlangt. Diese instrumentellen Analyseverfahren haben sich in den letzten drei Jahrzehnten rasant weiterentwickelt, was sich auch in einem exponentiellen Anstieg der Anwendungsliteratur niederschlägt [1-1].

Ziel dieses Buches ist es, die wichtigsten Einsatzbereiche der Spektrometrie und Chromatographie in der Umweltanalytik aufzuzeigen. Wegen des umfangreichen Stoffes muss jedoch in vielen Fällen auf aktuelle und geeignete weiterführende Literatur verwiesen werden.

Neben der Analytik mit Probenahme und Probenvorbereitung werden auch weitere wichtige Faktoren wie

- Laborgestaltung,
- Managementstrategien für Umweltlabore,

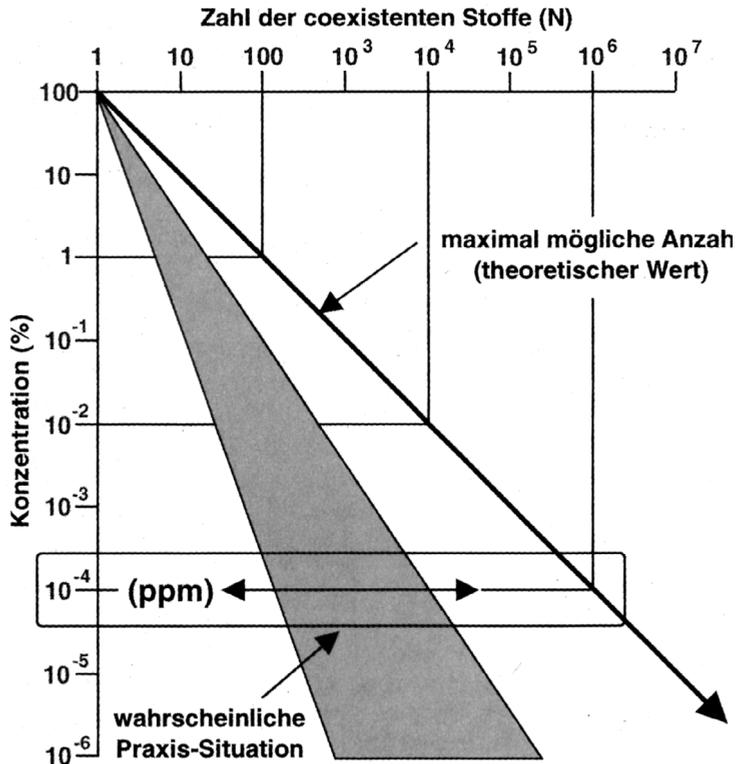


Abb. 1-3 Zusammenhang zwischen Komplexität einer Probe und der gewählten Analysenkonzentration (Quelle: R. E. Kaiser, LABO, Juli 1987, S. 7–15).

- Umweltgesetzgebung,
- Untersuchungsstrategie,
- Auswahlkriterien für Analysenverfahren,
- Vor-Ort-Analytik,
- Analytische Qualitätssicherung (AQS),
- Labordatenverwaltung sowie
- Interpretation und Dokumentation von Analysendaten

mit eingebunden, da diese Bereiche ganz wesentlich zu einer leistungsfähigen Analytik und zum Erfolg eines Umweltlabors beitragen.

Literatur

- [1-1] H. Hein: Datenbank Umweltanalytik, Literatur-Datenbank für spektrometrische und chromatographische Methoden. Verlag Hoppenstedt GmbH, Darmstadt 1998.

2 Laborgestaltung

In einem Labor für Umweltanalytik wird eine Vielzahl von Proben auf ihre Gefährlichkeit für den Menschen und sein biologisches Umfeld hin untersucht.

Chemische, physikalische, biologische und mikrobiologische Untersuchungsverfahren sind erforderlich, um in den Matrices

- Wasser,
- Boden, Sedimente, Abfälle und
- Luft

die breite Palette an

- toxischen,
- kanzerogenen und
- mutagenen Stoffen sowie
- pathogenen Mikroorganismen

zu bestimmen.

Die Vielfalt der Probenarten, der große Konzentrationsbereich an zu bestimmenden Parametern aus einer immer umfangreicher werdenden Gefahrstoffpalette und die hierfür erforderlichen Analyseverfahren führen zu einem recht komplexen Aufbau eines Umweltlabors. Die Tätigkeits- und Raumvernetzung eines solchen Laboratoriums ist schematisch in Abb. 2-1 dargestellt.

Die Räume für Verwaltung, Analytik und das dadurch bedingte Umfeld stellen letztlich, wie aus der Abb. 2-1 hervorgeht, ein hochvernetztes System dar, das die Analyseprobe, bei optimaler Gestaltung, wie auf einem Förderband durchlaufen soll. Dazu sind eine entsprechende Raumaufteilung und Organisation notwendig.

Ein Umweltlabor benötigt für seine wirtschaftliche Existenz Analysenaufträge, die durch

- Werbung (Fachzeitschriften, Internet, usw.),
- Abgabe von Angeboten bei Ausschreibungen,
- persönliche Kontakte usw.

erhalten werden.

Die Geschäfts- und/oder Laborleitung muss einen Großteil ihrer Zeit in Besprechungen mit Kunden über den Umfang und die Preisgestaltung der Analytik inve-

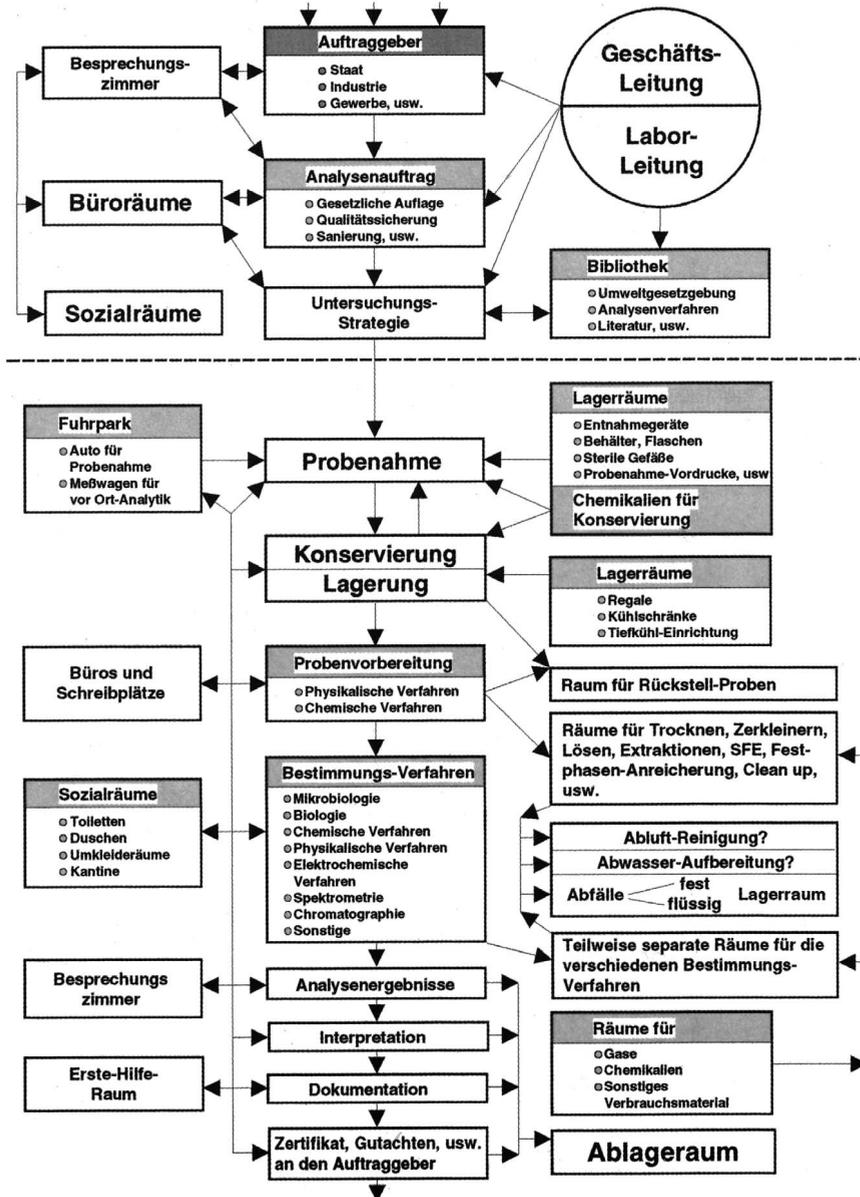


Abb. 2-1 Tätigkeits- und Raumvernetzung eines Umweltlabors.

stieren. Finden diese Besprechungen und sonstige Kundenkontakte im eigenen Hause statt, so ist hierfür ein Besprechungszimmer erforderlich.

Für die Abgabe von Angeboten und die Reaktion auf Preis- und Analytikanfragen wird eine Büroeinheit benötigt, wo mithilfe der modernen Datenverarbeitung allgemeine Preislisten für analytische Leistungen sowie Textbausteine für komplizierte und umfangreiche Angebote vorhanden sein müssen. Eingehende Analysenaufträge werden dann nach Prioritäten bearbeitet, wobei die Verfügbarkeiten von Laborkapazität und Mitarbeitern zu berücksichtigen sind. Der Analysenauftrag ist in eine Untersuchungsstrategie einzubinden, die mit der Festlegung der durchzuführenden Analytik beginnt und mit der Erstellung eines Zertifikates, Gutachtens, usw. endet.

Bei der Festlegung der Analytik ist besonderes Augenmerk auf die gesetzlichen Vorgaben und auf die vorgeschriebenen Analysenverfahren zu legen. Zentraler Bestandteil jeder umweltrelevanten Untersuchung ist der Bereich der Probenahme. Abhängig von der zu untersuchenden Matrix, den darin zu bestimmenden Einzel- und Summenparametern und des vorgegebenen Untersuchungszieles müssen unterschiedliche Techniken bei der Probenahme berücksichtigt werden, siehe auch Kapitel 6 „Probenahme“.

Oft ist auch eine Vor-Ort-Analytik (siehe Kapitel 9 „Vor-Ort-Analytik“) erforderlich, wenn es z. B. um die Erkennung von Altlasten oder Altablagerungen geht. Meistens reichen Screeninganalysen für die Eingrenzung der Gefahrstoffquelle aus, die in mobilen Messwagen durchgeführt werden. Für die Bestimmung einiger Parameter im Labor ist sehr oft im Zusammenhang mit der Probenahme eine Konservierung durchzuführen, siehe Kapitel 7 „Konservierung und Lagerung“.

Der überwiegende Teil der entnommenen Proben wird anschließend in das Labor gebracht und je nach durchzuführender Analytik an die verschiedenen Laborbereiche weitergegeben. Der Aufbau und die Gestaltung dieser Laboratorien sind einer Fülle von gesetzlichen Anforderungen unterworfen. Ausführliche Hinweise sind in den BGR 120 „Richtlinien für Laboratorien“ (bisher ZH 1/119 [2-1]) und dem Merkblatt M006 (6/89) „Besondere Schutzmaßnahmen in Laboratorien“ [2-2] der Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie zu entnehmen.

Besonders im Anhang 2 der BGR 120 „Richtlinien für Laboratorien“ wird auf weiterführende

- Gesetze/Verordnungen,
- Unfallverhütungsvorschriften,
- Berufsgenossenschaftliche Regeln, Richtlinien, Sicherheitsregeln, Grundsätze, Merkblätter und andere Stoffe,
- DIN-Normen,
- VDE-Bestimmungen,
- DVGW-Arbeitsblätter,
- andere Schriften

verwiesen.

Die Laborgestaltung ist auf die durchzuführende Analytik und deren Schwerpunkte abzustimmen. Dieser Sachverhalt erfordert einen hohen Planungsaufwand, da zu-

künftige Entwicklungen im Bereich Umweltanalytik mit zu berücksichtigen sind. Hinweise auf räumliche Grundanforderungen sind aus der Abb. 2-1 zu ersehen.

Die Datenflut eines solchen Labors muss sinnvoll kanalisiert werden, um rechtzeitig alle Analysenergebnisse für eine Interpretation zur Verfügung zu haben.

Ein wohldurchdachtes und auf Erweiterung konzipiertes Labor-Information-Management-System (LIMS) muss ebenfalls mit in die Laborplanung eingebunden werden.

Büros und Schreibplätze für die Mitarbeiter, die notwendigen und per Gesetz geforderten Sozialräume, Besprechungszimmer und ein Erste-Hilfe-Raum sind weitere Forderungen an eine sinnvolle Laborgestaltung.

Literatur

- [2-1] BGR 120 „Richtlinien für Laboratorien“ (bisher ZH 1/119), Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Fachausschuss „Chemie“, Oktober 1993, aktualisierte Fassung 1998. www.hvbg.de.
(Anmerkung: Der gesamte Umfang der aktualisierten Fassung 1998 lässt sich von der „Datenbank BG-Vorschriften“ herunterladen.)
- [2-2] Merkblatt M006 (6/89), Besondere Schutzmaßnahmen in Laboratorien. Hrsg.: Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie, Jedermann-Verlag, Mittelgewannweg 15, 69123 Heidelberg-Wieblingen.

3 Managementstrategien für Umweltlabore

Die Aufgaben, die Laborleiter bzw. Labormanager in einem Labor für Umweltanalytik wahrnehmen, sind vielschichtig. Abbildung 3-1 veranschaulicht recht deutlich, welchen Sachzwängen, Pflichten und Aufgaben der Leiter des Labors ausgesetzt ist [3-1], [3-2].

Im Wesentlichen sind es

- gesetzliche Vorgaben,
- Labororganisation,
- Forderungen der Auftraggeber und
- Managementaufgaben usw.

die seine Arbeitszeit beanspruchen.

Die Bedeutung, die seiner Tätigkeit im Bereich Umweltanalytik zukommt, ist aus der Abb. 3-2 ersichtlich.

Legislative (Gesetzgebung) und Exekutive (staatliche Überwachung) können nur funktionieren, wenn umweltrelevante Emissionen (Abgabe von Schadstoffen) und

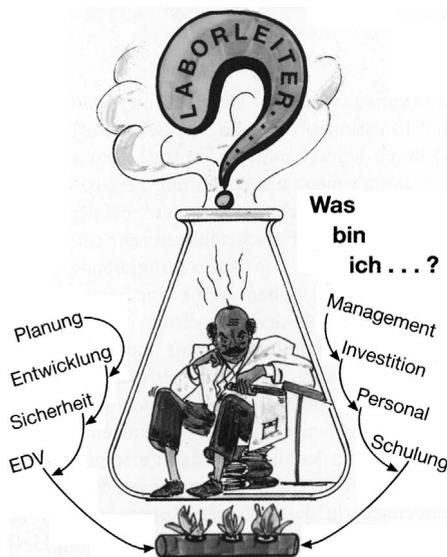


Abb. 3-1 Der Laborleiter und seine Aufgabenbereiche.

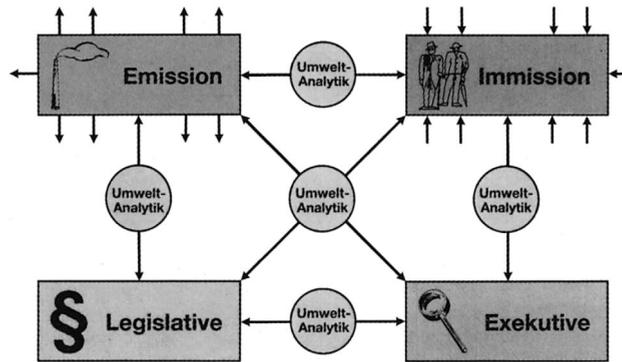


Abb. 3-2 Umweltanalytik im Spannungsfeld.

Immissionen (Schadstoffaufnahme) durch Umweltanalytik kontrollierbar sind. Aus dieser Tatsache kristallisiert sich immer mehr die Bedeutung heraus, die dem Umweltanalytiker zukommt. Er muss die „Schiedsrichterfunktionen“ bei der Umsetzung von Umweltrecht übernehmen, da rechtliche Entscheidungen sehr oft nur mit Hilfe von analytischem Datenmaterial möglich sind. Die daraus resultierende Verantwortung für seinen Tätigkeitsbereich erfordert in hohem Maße eine entsprechende Qualifikation und permanente Weiterbildung. Für den Laborleiter reicht es heute nicht mehr, dass er die entsprechenden Analysemethoden kennt und selbst durchführen kann. Immer mehr muss er sich mit organisatorischen, sicherheitstechnischen, entwicklungs- und investitions- aber auch personalbezogenen Problemen auseinandersetzen. Hierbei darf er auch nicht die Firmenpolitik und Konkurrenzsituation außer Acht lassen. Der Umweltanalytiker kann letztlich nur dann erfolgreich sein, wenn er die Bereiche Selbstmanagement (Ich-Bereich), Team- und Beziehungsmanagement (Du-Bereich) und Labormanagement (Sachbereich) in der richtigen Ausgewogenheit beherrscht. Dieser Zusammenhang ist in der Abb. 3-3 grafisch dargestellt [3-3], [3-4].

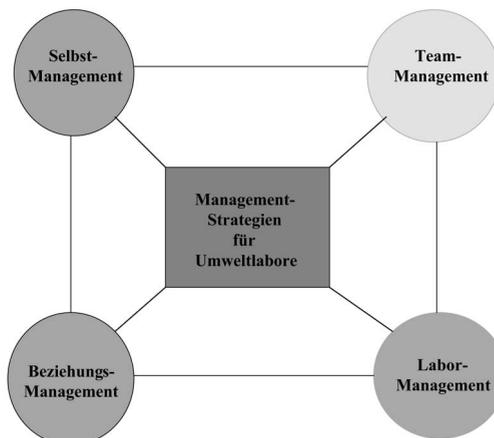


Abb. 3-3 Selbst-, Team-, Beziehungs- und Labormanagement als Basis erfolgreicher Tätigkeit.

3.1

Selbstmanagement

Spezialisten für besondere Aufgaben, Gruppen-, Abteilungs- und Laborleiter benötigen für ihre tägliche Arbeit im Umweltlabor eine Vielzahl von Selbstmanagement-Techniken. Unter dem Begriff Selbstmanagement versteht man in diesem Zusammenhang Arbeits- und Lebenstechniken, die dazu beitragen, sich selbst erfolgreich zu führen und zu organisieren [3-5].

Das Ziel ist, mehr aus sich zu machen, sein Leben bewusst zu steuern (Selbstbestimmung) und weniger Spielball der Arbeits- und Lebensverhältnisse anderer (Fremdbestimmung) zu sein. Eine der wichtigsten Aufgaben des Selbstmanagements stellt der Weg von der Zielsetzung bis zur Zielrealisierung dar.

Der Selbstmanagement-Regelkreis in Abb. 3-4 zeigt die erforderlichen Teilbereiche wie

- Analyse und Formulierung der angestrebten Ziele (Zielsetzung),
- Planung als Vorbereitung zur Verwirklichung der Ziele (Planung),
- Entscheidung über durchzuführende Aufgaben (Entscheidung),
- Organisation und Durchführung von Maßnahmen (Realisierung),
- Kontrolle der Zielerreichung und Abweichungsanalyse (Kontrolle)

und die Bedeutung, die der Funktion „Information und Kommunikation“ zukommt.

Die einzelnen Funktionen laufen, wie in diesem vereinfachten Schema dargestellt, nicht immer nacheinander ab, sondern sind vielfältig ineinander verflochten.

Selbstmanagement kann nur dann zum Erfolg führen, wenn man seine komplexen, unübersichtlichen Aufgabenbereiche transparent macht und aufgliedert (Denken in vernetzten Systemen!), wichtige Aufgaben herauskristallisiert und systematisch nach den Kriterien der Abb. 3-4 bearbeitet, ohne dabei den Überblick über die in Bearbeitung befindlichen Projekte zu verlieren.

Der hohe Stellenwert von „Information und Kommunikation“ ist deutlich aus der Abb. 3-4 zu ersehen. Ohne Information und Kommunikation lässt sich der Weg von

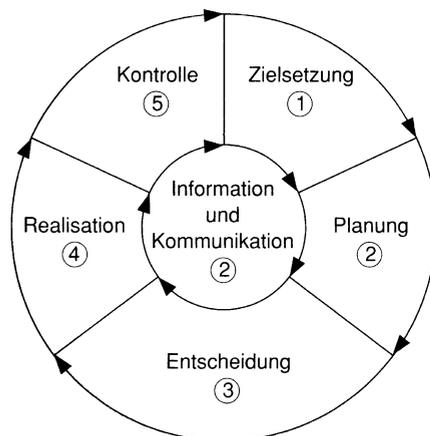


Abb. 3-4 Selbstmanagement-Regelkreis.

der Zielsetzung bis zur Zielrealisierung nicht verwirklichen. So benötigt der Umweltanalytiker eine Fülle wichtiger und aktueller Informationen aus den Bereichen

- Gesetzgebung,
- gesetzlich vorgeschriebene Analysenverfahren, wie z. B. DIN EN ISO-Verfahren, VDI-Richtlinien usw.,
- Laborinstrumentarium, neue Analysetechniken usw.,
- Anwendungsliteratur,
- Weiterbildung, wie z. B. Kurse, Seminare, Fachtagungen.

Seit einiger Zeit verdoppelt sich in fast allen genannten Bereichen der Wissenszuwachs in einem Zyklus von etwa zwei Jahren. Auf uns rollt eine „Informationslawine“ immer größeren Ausmaßes zu, die zur „Informationsüberfütterung“ führt. Deshalb ist es außerordentlich wichtig, nur solche Informationen herauszufiltern, die für den spezifischen Lebens- und Arbeitsbereich interessant sind. Diese Informationsfilterung ist in Abb. 3-5 schematisch dargestellt.

Die sinnvolle Speicherung wichtiger Informationen stellt ein weiteres Segment im Bereich des Selbstmanagements dar. Informationen müssen so gespeichert werden, dass sie jederzeit vollständig und aktuell für das entsprechende Sachgebiet abrufbar sind. Für die Datenspeicherung werden immer häufiger Personalcomputer eingesetzt, die bei entsprechender Softwaregestaltung einen sehr schnellen Zugriff auf gesuchte Informationen erlauben. Die größte Selbstmanagement-Herausforderung ist jedoch im richtigen Umgang mit der Zeit zu sehen. So wird der Nutzungsgrad des menschlichen Leistungspotenzials in der Wirtschaft auf 30 bis 40% geschätzt. Die meiste Energie und Zeit verpuffen, weil klare Ziele, Planung, Prioritäten und Übersicht fehlen [3-6].

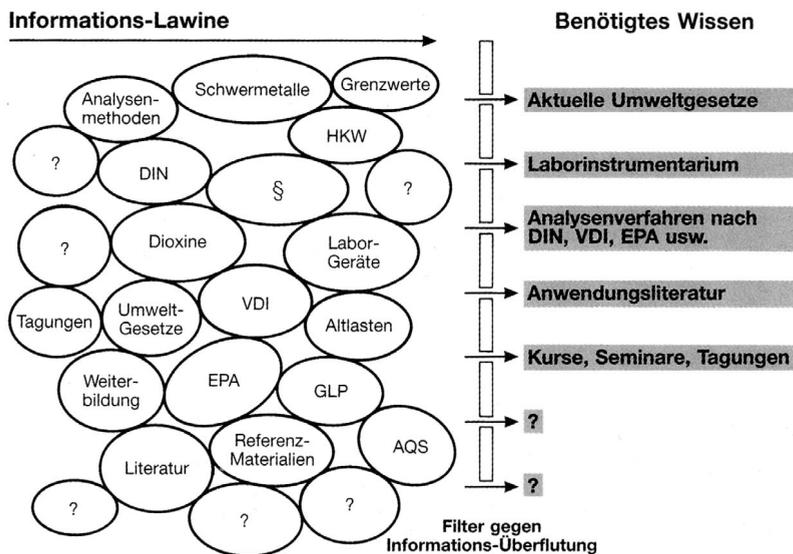


Abb. 3-5 Informationsfilterung aus dem Wissensangebot.

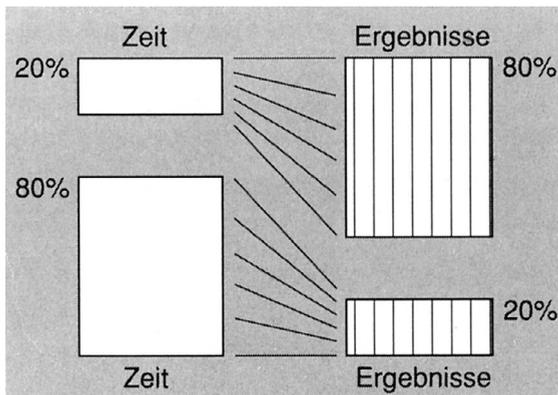


Abb. 3-6 Die 80 : 20-Regel (Pareto-Prinzip).

Wirklich erfolgreiche Menschen haben eines gemeinsam: Sie haben gründlich über die Verwendung und Nutzung ihres persönlichen Zeitkapitals nachgedacht. Viel Zeit wird für relativ nebensächliche Probleme und Aufgaben aufgewendet, wodurch wichtige Aktivitäten vernachlässigt werden. Oft erbringen bereits 20% der strategisch richtig eingesetzten Zeit und Energie 80% des Ergebnisses. Diese Zusammenhänge der 80 : 20-Regel wurden erstmals von dem italienischen Ökonomen Vilfredo Pareto im 19. Jahrhundert beschrieben und sind in der Abb. 3-6 noch einmal bildlich dargestellt.

Durch statistische Untersuchungen fand Pareto z. B. heraus, dass 20% der Bevölkerung 80% des Volksvermögens besaßen. Für viele andere Lebensbereiche konnte das Pareto-Prinzip ebenfalls nachgewiesen werden.

Für die Definition von Zielen und die Planung von Maßnahmen und Aktivitäten im Bereich der Umwelanalytik bedeutet dies, dass die 20 : 80% Erfolgsverursacher herauszufiltern und mit der höchsten Priorität zu versehen sind. Um die dargelegten Aktivitäten optimal zu organisieren, ist der Einsatz eines persönlichen Arbeitsmittels unbedingt erforderlich. Dieses bietet Unterstützung um

- einen Überblick über alle anstehenden Aufgaben zu gewinnen,
- alle wichtigen Vorhaben, Termine und Aktivitäten systematisch und zielorientiert zu planen, aufeinander abzustimmen und
- ihre Erledigung und Weiterführung erfolgreich zu organisieren und zu kontrollieren.

Ein solches Arbeits-, Ordnungs- und Selbstdisziplinierungsmittel stellt ein Zeitplanbuch dar, mit dem die tägliche Arbeit besser geplant, organisiert, koordiniert und rationeller durchgeführt werden kann [3-7].

Diese wenigen ausgewählten Beispiele sollen zeigen, wie wichtig der Bereich Selbstmanagement für Führungskräfte im Umweltlabor ist. Dies gilt besonders dann, wenn Labormitarbeiter zu führen und komplizierte Aufgabenstellungen aus dem Bereich Umwelanalytik zuverlässig umzusetzen sind.

3.2

Teammanagement

Der analytische Aufwand im Umweltbereich wird immer umfangreicher und der Einsatz komplizierter instrumenteller Analysenverfahren zunehmend wichtiger. Bei der Umsetzung analytischer Aufgabenstellungen sind Führungskräfte deshalb auf gut ausgebildete und zuverlässige Mitarbeiter angewiesen. Sehr oft sind diese Mitarbeiter hochkarätige Spezialisten mit langjähriger Erfahrung in einer bestimmten Analysendisziplin, wie z. B. der Gaschromatographie-Massenspektrometrie-Kopplung usw.

Da im Umweltlabor Proben nach unterschiedlichen Kriterien untersucht werden müssen, setzt sich der gesamte Untersuchungsbefund aus verschiedenen Einzelergebnissen zusammen, die von mehreren Mitarbeitern erarbeitet wurden. Diese Mitarbeiter richtig zu führen und zu motivieren, gehört zum Aufgabenbereich Teammanagement [3-8].

An die Qualifikation des Personals in einem Umweltlabor sind besonders hohe Anforderungen zu stellen, da das gewonnene analytische Datenmaterial sehr oft den Anforderungen gesetzlicher Auflagen standhalten muss [3-2]. Abbildung 3-7 verdeutlicht die Konsequenzen von Analysendaten, wenn es um die Überwachung von Richt-, Schwellen- und Grenzwerten im Abwasserbereich geht.

Der Mitarbeiter muss deshalb einige wesentliche fachliche und charakterliche Kriterien erfüllen, wie z. B.

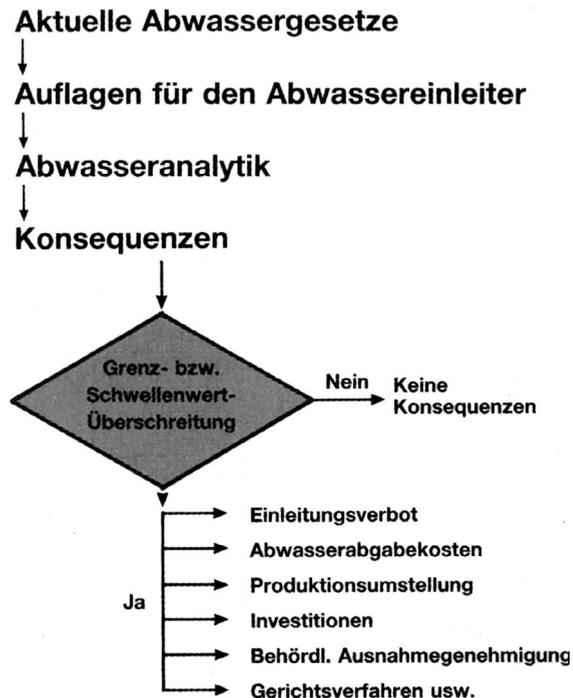


Abb. 3-7 Konsequenzen aus Gesetzgebung und Analytik: Schema für Arbeitsvorgänge in der Abwasserbehandlung von den gesetzlichen Grundlagen über die Analytik bis zu möglichen Konsequenzen.

- Spezialwissen für seinen Arbeitsbereich,
- praktisches Geschick,
- konstante Arbeitsleistung,
- persönliches Engagement,
- kritisches Urteilsvermögen,
- Motivation zur Weiterbildung,
- kollegiales Verhalten.

Für Mitarbeiter mit diesem erwünschten Anforderungsprofil ist zwangsläufig ein besonders sensibler Führungsstil erforderlich, um ein leistungsorientiertes Team zu bilden und dann auf diesem Niveau zu halten. Vorgesetzte sollten bei Entscheidungsprozessen gegenüber Mitarbeitern bedenken, dass Menschen ein unsichtbares Transparent vor sich hertragen, auf dem sinnverwandt folgendes zu lesen ist:

ICH MÖCHTE WICHTIG SEIN
 ICH MÖCHTE ANERKANNT SEIN
 ICH MÖCHTE BELIEBT SEIN

Dies mögen einfache und triviale Forderungen sein, die spontan von den wenigsten zugegeben werden. Sie beinhalten aber die Summe aller Kriterien, die erforderlich sind, um Mitarbeiter leistungsorientiert und motiviert zu führen.

Führungskräfte sind gut beraten, wenn sie an qualifizierte Mitarbeiter nicht nur Arbeiten, sondern auch gleichzeitig die Gesamtverantwortung für ihre Tätigkeiten übertragen. Mitarbeiter entwickeln sich in dem Maße persönlich und fachlich weiter, in dem sie gefordert werden.

Die analytischen Anforderungen, die von einem Umweltlabor zu erfüllen sind, unterliegen einem permanenten Entwicklungsprozess zu immer komplizierteren Analysentechniken. So erfordern die Erkenntnisse über z. B. neu entdeckte Schadwirkungen von organischen Spurenstoffen in immer höherem Umfang die Einführung von „High-Tech“-Analysenverfahren in den Umweltlabors. Diese vorwiegend instrumentellen Analysenverfahren können aber nur mit Erfolg in einem Labor eingeführt werden und effektiv arbeiten, wenn gleichzeitig geschulte Mitarbeiter zur Verfügung stehen.

„Anwendungsprobleme“ im Zusammenhang mit Geräteneuanschaffungen haben ihre eigentlichen Ursachen oft im Mitarbeiterbereich, da bei Neuinvestitionen die persönliche und fachliche Einbeziehung des Bedienungspersonals, z. B. durch ein Training beim Gerätehersteller usw., zu spät oder gar nicht erfolgte. Weiterbildung durch interne und externe Schulungen gewinnt immer mehr an Bedeutung, wenn ein entsprechendes Niveau erreicht bzw. gehalten werden soll. Zahlreiche, mitunter sehr fachspezifische Weiterbildungsmöglichkeiten bieten z. B.

- Analysengerätehersteller
- Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V.
 Fortbildung
 Postfach 900 440, Varrentrappstr. 40–42
 60444 Frankfurt/Main

Tel. 069/7917-364
 Fax 069/7917-475
 Internet: www.gdch.de

- Haus der Technik e.V.
 Hollestr. 1
 45127 Essen
 Tel. 0201/1803-1
 Fax 0201/1803-269
 Internet: www.hdt-essen.de
- Technische Akademie Wuppertal e.V.
 Hubertusallee 18
 42117 Wuppertal
 Tel. 0202/7495-0
 Fax 0202/7495-202
 Internet: www.taw.de
- Technische Akademie Esslingen e.V.
 An der Akademie 5
 73760 Ostfildern
 Tel. 0711/34008-0
 Fax 0711/34008-27
 Internet: www.tae.de
- Die Adressen für Analytiker
 Internet: www.analytik.de und www.analytik-news.de
- Universitäten
- Fachinstitute

Es gilt hierbei, aus dem breit gefächerten Weiterbildungsangebot zu selektieren, was für den entsprechenden Mitarbeiter den größten umsetzbaren Nutzen garantiert. In einem Umweltlabor mit mehreren Mitarbeitern in unterschiedlichen Arbeitsbereichen kann die vom Einzelnen erbrachte Arbeitsleistung leicht untergehen und zur Demotivation führen. Daher sollten Führungskräfte in gewissen Zeitabständen in gemeinsamen Besprechungen die Einzelbeiträge der Mitarbeiter für das Gesamtergebnis eines Labors transparent machen. Durch diese Maßnahme wird der so genannte „Teamegeist“ gefördert und die einzelnen Mitarbeiter bleiben motiviert.

Richtige Personalführung trägt in hohem Maße dazu bei, dass die umfangreichen Investitionen für die Laborausrüstungen effektiv zur Gewinnung wichtiger Analysendaten für den Umweltbereich genutzt werden können.

3.3

Labormanagement

Labormanagement ist neben dem Teammanagement die Aufgabe der Laborleitung. Ein Umweltlabor muss unter Beachtung wirtschaftlicher Aspekte geführt werden. Über die zu analysierenden Proben muss in möglichst kurzer Zeit und mit vertretbarem Personalaufwand eindeutig abgesichertes Datenmaterial vorliegen.

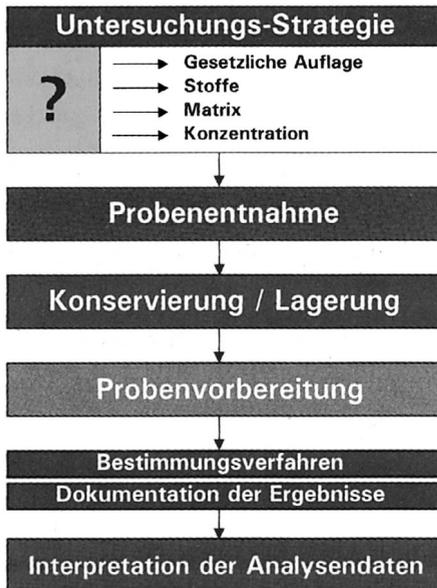


Abb. 3-8 Wesentliche Bereiche der Untersuchungsstrategie in der Umweltanalytik.

Voraussetzung dafür ist eine optimale Laborstruktur und ein durchorganisiertes Probenmanagement von der Untersuchungsstrategie bis zur Interpretation der Analysendaten (Abb. 3-8).

Richtige Analysendaten sind die zentrale Forderung an das Labormanagement. In Abb. 3-9 sind die wesentlichen Bereiche, die als Voraussetzungen hierfür zu beachten sind, in einem Regelkreis dargestellt.

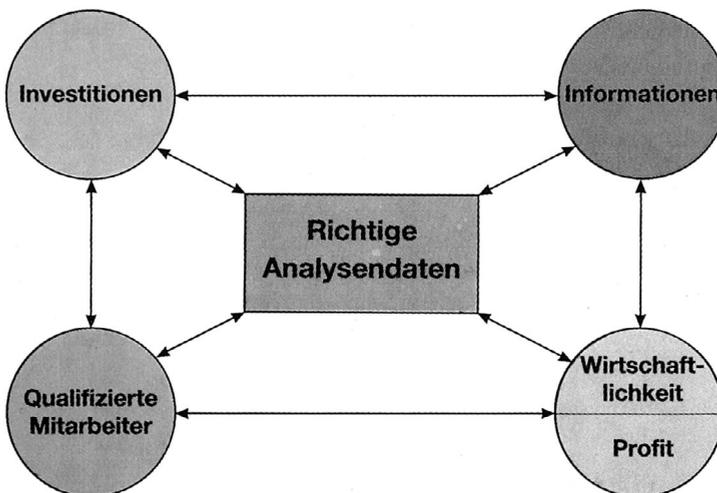


Abb. 3-9 Regelkreis „Labormanagement“ und seine wesentlichen Bereiche.

Der Bereich „Information“ bildet hierbei das Fundament, auf dem sich weitere Aktionen aufbauen. So muss der Labormanager über juristisches, fachspezifisches und kaufmännisches Wissen verfügen. Diese Herausforderungen lassen sich nur mit einem am Aufgabenbereich des Labors orientierten Wissen- und Informationsmanagement lösen. Der Labormanager muss sich mit diesen Vorgaben auseinandersetzen, um den komplexen Anforderungen an seine Tätigkeit gerecht zu werden:

- Juristisches Wissen
 - Arbeitsrecht
 - Umweltrecht [3-9]
 - Lebensmittelrecht
 - gesetzliche Vorschriften für das Labor
 - Abfallentsorgung usw.
- Fachspezifisches Wissen
 - Laborbau und Einrichtung
 - Laborinstrumentarium
 - Analysenverfahren – DIN, VDI usw.
 - Fachzeitschriften und Anwendungsliteratur [3-10]
 - Weiterbildung (Kurse, Seminare, Tagungen)
- Kaufmännisches Wissen
 - Steuerrecht
 - Buchführung
 - Werbung und Konkurrenzsituation
 - Investitionen
 - Wirtschaftlichkeit und Profit
- Wissen- und Informationsmanagement
 - Aktuelles juristisches-, fachspezifisches und kaufmännisches Wissen sind für die Führungskräfte analytischer Labore von großer Wichtigkeit. Dieser Sachverhalt lässt sich aber nur gewährleisten, wenn ein rascher Zugriff auf verlässliche Informationsquellen möglich ist. Dieses Zusammenspiel zwischen Wissen- und Informationsmanagement ist in der Abb. 3-10 dargestellt und soll im folgenden näher beschrieben werden.

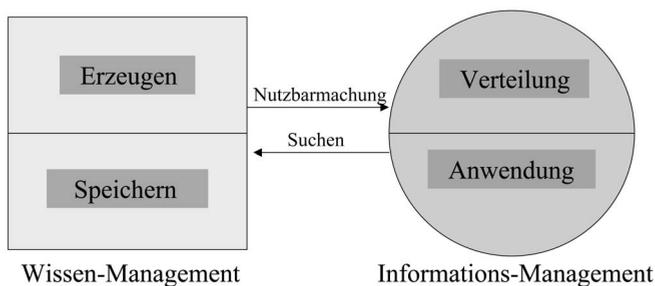


Abb. 3-10 Wissen- und Informationsmanagement.

Die Aufgabe des *Wissenmanagements* besteht im Identifizieren und Selektieren von benötigtem Wissen sowie dessen Speicherung. Dieses „Suchen und Finden“ von erforderlichem Wissen wird immer mehr zu einer Domäne des Internets.

Die Nutzung dieses Mediums für Labore wurde von Beyer unter dem Titel „Internet – Effiziente Nutzung im Labor“ [3-19] ausführlich beschrieben. In dieser Publikation werden konkrete Hinweise auf laborspezifische Suchmaschinen, Datenbanken, usw. gegeben. So sind z. B. aktuelle Informationen über Analysentechnik und das Labor auf der Internetseite www.analytik.de zu finden.

Für allgemeine Suchdienste haben sich die Seiten www.google.de und www.altavista.de bewährt. Die beste verfügbare Linksammlung zum Thema Chemie-Datenbanken mit hunderten Verweisen kann mit dem Chemfinder www.chemfinder.cambridgesoft.de durchsucht werden. Das Internet verändert Kommunikation und Informationsaustausch global und nachhaltig. Auch im Labor werden sich daraus Konsequenzen ergeben, die das Labormanagement möglichst früh erkennen sollte, um sie zum Vorteil des Labors zu nutzen. Die gezielte und schnelle Wissensbeschaffung, wie z. B. Fachliteratur, Normen, Gesetze, Applikationen, Stoffdaten usw., kann ideal über entsprechende Internetadressen erfolgen. Die Speicherung wichtiger Daten und die Aktualisierung von Internetadressen stellen eine weitere Herausforderung an das Wissenmanagement dar.

Nutzbarmachung dieser Wissensflut für die unterschiedlichsten Aufgaben des Labors bilden den zentralen Aufgabenbereich des *Informationsmanagements*. Die Lenkung und Verteilung von erforderlichem Wissen in die verschiedenen Bereiche eines Labors und dessen anwendungsorientierte Umsetzung sind weitere Betätigungsfelder eines wirkungsvollen Informationsmanagementsystems. Die Nutzbarmachung von Wissen stellt die eine Variante dar. Den gleichen Stellenwert im System Wissen- und Informationsmanagement hat das Suchen von Wissen mit entsprechenden Vorgaben vom Informationsmanagement. Kurzfristige Aufgabenstellungen aus Bereichen des Labors erfordern sehr oft einen schnellen Zugriff auf aktuelles Wissen, wie z. B. Applikationen, Normen, Gesetzesnovellierungen, usw.

Eine Zusammenstellung interessanter Internetadressen für Umweltlabore findet sich in Tab. 3-1.

Nur mit zuverlässigen Informationen lassen sich dann als Basis für ein analytisches Labor die benötigten und gewinnbringenden Investitionen tätigen. Abhängig von der analytischen Aufgabe können diese Investitionen für ein Umweltlabor oft die Million-Euro-Grenze überschreiten.

Einige bedeutende *Investitionsbereiche* sind:

- Laborgebäude, Räume und Ausstattung
 - Kosten- und zeitorientierte Arbeitsabläufe
 - Raumnutzung unter Beachtung der Analytik
 - Labormöbel (Schreib- und Auswertplätze!)
 - Wasser-, Gas- und Elektroversorgung
 - Chemikalien- und Abfalllager
- Analysengeräte
 - gesetzliche Vorgaben