

Informationssystem zur Umweltmeßtechnik

Abschlußbericht

1 Wissenschaftliche Problemstellung

1.1 Ausgangspunkt

Im Zuge der europäischen Harmonisierung ist es auch für Fachleute, wie Meßgerätehersteller, Anlagenbauer, Berater und Gutachter sowie Betreiber von Meßinstituten, immer schwieriger und aufwendiger den Überblick über das europaweite Angebot an Umweltmeßtechnik zu behalten ebenso über die europäische Gesetzgebung, Richtlinien und Normen [1-3, 17, 21, 42, 43]. Insbesondere bei dieser Interessengruppe existiert ein großer Bedarf an umfassender und schneller Informationsbeschaffung zur Erhöhung der Bearbeitungsgeschwindigkeit von Aufträgen nicht zuletzt im Hinblick auf die Öffnung des europäischen Binnenmarktes.

Neben den gesetzlich vorgeschriebenen Messungen wird die Umweltmeßtechnik zunehmend in der betrieblichen Praxis im Rahmen des integrierten Umweltschutzes eingesetzt. Der Einsatz von Meßtechnik zur Optimierung und Steuerung von Prozessen und verfahrenstechnischen Umweltschutzmaßnahmen gewinnt auch in kleinen und mittleren Produktionsunternehmen zunehmend an Bedeutung. Der Bedarf an Meßtechnik und meßtechnischen Informationen steigt dementsprechend.

Bei dem betrieblichen Einsatz der Umweltmeßtechnik ist neben den meßtechnischen Anforderungen auch die Wirtschaftlichkeit einer meßtechnischen Maßnahme zu berücksichtigen. Um eine meßtechnisch und wirtschaftlich sinnvolle Lösung zu finden, müssen Minimalanforderungen, welche die Meßaufgabe an die Meßtechnik stellt, definiert werden.

Hilfestellung bei der Beurteilung des Leistungsvermögens von Meßverfahren geben die VDI-Richtlinien [47-50]. Anhand eines Meßgerätebeispiels wird der "Stand der Technik" beschrieben. Zusätzlich werden Angaben zur Durchführung von Messungen gemacht, und Prüf- und Kalibrierverfahren beschrieben. Die Richtlinien dienen dem Fachmann als Orientierungsrahmen. Bei der Festlegung z.B. der notwendigen Meßgrößen und Meßbereiche muß das zu untersuchende System mit einbezogen werden. Die Auswahl eines Meßgeräts und die Durchführung einer Messung muß immer angepaßt an die konkrete Meßaufgabe geschehen, was in vielen Fällen schwierig ist und unbedingt Fachwissen erfordert.

Bei der Planung einer Messung ist es wichtig, die gesamte Meßeinrichtung zu betrachten [9, 11, 23, 24, 49]. Dazu gehören neben dem Analysegerät auch die Probenahmeeinrichtung und die im

Hinblick auf das Analyseverfahren richtige Aufbereitung der Probe. Die Probenahme stellt bekannterweise einen besonders wichtigen, aber auch besonders kritischen Teil der Meßtechnik dar. Eine sachgerechte Probenahme entscheidet über die Aussagekraft und die Repräsentativität einer gezogenen Probe für den zu untersuchenden Prozeß. Fehler bei der Probenahme können selbst mit der besten nachfolgenden Analytik nicht mehr ausgeglichen werden und führen somit unweigerlich zu Fehlaussagen [12, 13, 48]. Probenahmesysteme spielen bei allen bedeutenden Umweltmedien, wie Boden, Wasser und Luft, eine wichtige Rolle.

Im folgenden soll die Komplexität der Aspekte, die bei der Auswahl einer Meßeinrichtung zu berücksichtigen sind, am Beispiel der Messung von Staubemissionen exemplarisch verdeutlicht werden.

Eine Meßeinrichtung setzt sich aus der Probenahmesonde und dem nachfolgenden Analysator bei kontinuierlicher Messung der Gesamtstaubkonzentration bzw. dem Staubabscheidesystem bei diskontinuierlicher Messung zusammen. Als Material für die Probenahmesonde wird je nach Einsatzzweck Edelstahl-, Titan- oder Glas benutzt. Die Wahl eines geeigneten Filtermaterials im Abscheidesystem hängt unter anderem von der jeweiligen Staubkonzentration ab. Der Filter soll effektiv sein, ohne einen zu großen Druckverlust im Probenahmesystem zu verursachen und ohne sich innerhalb kürzester Zeit zuzusetzen. Bei hoher Abgasfeuchte müssen Sonde und Filter beheizbar sein, um eine Kondensation in diesen Teilen des Systems zu verhindern. Weitere Komponenten der Meßeinrichtung sind Gasuhr, Volumenstrommeßgerät, Druck- und Temperaturfühler. Um eine repräsentative Probenahme zu gewährleisten, ist die Bedingung der Isokinie einzuhalten. Dies bedeutet, daß die Strömungsgeschwindigkeiten innerhalb des Probenahmesystems und des Kamins angeglichen werden müssen. Abhängig von der Art der Staubprobe (faserförmige Stäube, usw.) müssen unterschiedliche Probenahmeköpfe eingesetzt werden. Bei der Staubemissionsmessung bildet der Filter gleichzeitig den Träger für die Probe. Die Wahl des Filtermaterials hängt somit zusätzlich von der beabsichtigten weiteren Behandlung der Probe ab (Wägung, Staubinhaltsstoffbestimmung, IR-Spektroskopie, usw.). Werden optische Partikelzähler zur Messung der Anzahlverteilung des Staubs verwendet, ist bei Bedarf eine Verdünnungsstufe in das Probenahmesystem einzubauen. Soll der Staub größenselektiv gesammelt werden, müssen z.B. Kaskadenimpaktoren eingesetzt werden. Das Prinzip der Impaktoren erfordert jedoch einen konstanten Volumenstrom. In diesem Fall muß das Probenahmesystem so ausgelegt werden, daß diese Bedingung mit der Forderung nach einer isokinetischen Probenahme vereinbar ist [5, 8, 10, 32, 44].

An diesem Beispiel wird deutlich, wieviele Aspekte bei der Entscheidung für die optimale Meßeinrichtung zu berücksichtigen sind. Entsprechend der Komplexität der Anforderungen an die Meßtechnik, gibt es ein breites Angebot an Probenahmekomponenten, Meßgeräten und Sensoren unterschiedlicher Qualität und für verschiedene Meßzwecke. Die einzelnen Meßgeräte sind für bestimmte Meßaufgaben gut, für andere, z.B. aufgrund von Querempfindlichkeiten,

weniger gut geeignet. Weitere Einsatzmöglichkeiten werden durch zusätzliche Optionen eröffnet. Häufig sind Unübersichtlichkeit und auch mangelnde Vergleichbarkeit anhand der von den Herstellern angegebenen Leistungsmerkmale die Folge. Dies macht einen Vergleich zwischen einzelnen Meßgeräten, insbesondere wenn sie auf unterschiedlichen Meßprinzipien basieren, schwierig.

1.2 Zielsetzung

Die Komplexität des betrachteten Themas erfordert einen hohen Informationsstand, um den Entscheidungsprozeß für die Auswahl der problemangepaßten Meßtechnik durchführen zu können. Um fundierte Entscheidungen treffen zu können, ist es notwendig die vorhandenen Informationen über das Meßproblem, die meßtechnische Vorgehensweise und die in Frage kommenden Meßgeräte aufzuarbeiten. Die Aufarbeitung umfaßt im allgemeinen folgende Schritte:

- 1) Definieren des Informationsbedarfs (Meßziel, Meßplan, Meßgeräte,...),
- 2) Suchen von Informationsquellen (Literatur, Datenblätter, Gesetzestexte,...),
- 3) Auswerten der Informationen im Hinblick auf die Aufgabenstellung.

Diese Vorgehensweise bezieht sich sowohl auf die Meßplanung als auch auf die benötigte vollständige Meßeinrichtung. Verschiedene Arten von Informationsquellen sind dabei zu berücksichtigen. Je nach Fachkenntnis und Effektivität der Informationsbeschaffung muß die Informationsbasis erweitert und vertieft werden, so daß die Schritte 1) bis 3) unter Umständen mehrfach durchlaufen werden. In großen Unternehmen kann häufig auf Fachwissen von Mitarbeitern zurückgegriffen werden und es stehen teilweise Fachbibliotheken mit entsprechenden Suchmöglichkeiten zur Verfügung, so daß der Kenntnisstand zu Beginn der Suche schon hoch ist. Mitarbeiter in kleinen und mittleren Unternehmen, denen nicht diese Möglichkeiten zur Verfügung stehen, sind ganz besonders auf die fachliche und schnelle Informationsbeschaffung angewiesen.

Hilfreich bei der Beschaffung von Informationen sind Datenbanken, deren Dienste im umfangreichen Maße kommerziell angeboten werden [19, 41, 46, 53]. Die Benutzung einer Datenbank ist jedoch mit einigen Schwierigkeiten und Problemen verbunden. Der Anwender muß zum einen die für seine Problemstellung zutreffende Datenbank auswählen und zum anderen die Abfrage der Datenbank in einer geeigneten Form durchführen. Wird die Abfrage zu pauschal formuliert, z.B. nach einer Liste von Meßgeräten, die Staubgehalte bestimmen können, so erhält der Fragende eine Flut von Gerätenamen, ohne Berücksichtigung der Geräteeignung für eine spezielle Aufgabe. Das Datenmaterial muß anschließend mühsam ausgewertet werden, ob es für den geplanten Zweck geeignete Geräte enthält. Die Auswertung erfordert jedoch eigenes Wissen oder die Unterstützung eines Fachmannes. Wird im Gegensatz zu einer pauschalen eine zu

detaillierte Abfrage formuliert, kann in Abhängigkeit von dem Dateninhalt der Datenbank eventuell kein einziges Gerät ausgewählt werden. Dies geschieht besonders dann, wenn sich einzelne Auswahlkriterien widersprechen. Detailliertes Abfragen von Datenbanken erfordert von dem Anwender bereits ein hohes Maß an Wissen über das abgefragte Datenmaterial, um z. B. gezielt Staubmeßgeräte für den Einsatz in Zementwerken auszuwählen. Auch hier ist die Unterstützung durch einen Fachmann erforderlich.

Expertensysteme können den Informationssuchenden bei der effektiven Formulierung einer Datenbankabfrage und der Auswertung des Datenmaterials ganz wesentlich unterstützen. Expertensysteme sind Softwareprogramme, die durch Regeln und Objekte sowie deren Beziehungen zueinander, Teile der "realen Welt" oder eines Wissensgebiets abbilden [18, 40, 53, 54]. Durch Befragung von Experten aus Industrie, Fachverbänden und Forschungseinrichtungen sowie durch Auswertung von Literaturquellen wird das Wissen zum betreffenden Themenbereich ermittelt und dem Expertensystem zur Verfügung gestellt (s. Abb. 1). Durch die geeignete Kopplung von Datenbank und Expertensystem fragt der Anwender nicht mehr direkt eine Datenbank ab, sondern formuliert im Dialog mit dem Expertensystem die meßtechnische Aufgabenstellung. Das Expertensystem interpretiert die Antworten des Anwenders und setzt dessen Anforderungen in eine Abfrage an die Datenbank um. In einem zweiten Schritt werden die von der Datenbank erhaltenen Daten durch das Expertensystem ausgewertet in Hinblick auf die meßtechnische Aufgabenstellung des Anwenders. Der Anwender erhält als Antwort auf seine Fragen Informationen zur Meßplanung, eine Marktübersicht über geeignete Meßgeräte sowie Hinweise auf weitere Informationsquellen, wie Richtlinien und Verordnungen.

Die Kopplung von Datenbank und Expertensystem ermöglicht die Realisierung eines leistungsfähigen Informationssystems, das über das einfache Auflisten von Daten weit hinausgeht. Mit diesem System werden zusätzlich die Daten, bevor sie dem Anwender präsentiert werden, ausgewertet und interpretiert.

1.3 Stand der Technik

Im Bereich der Umweltmeßtechnik existieren bereits eine Reihe von kommerziell angebotenen Informationssystemen. Im wesentlichen sind dies Datenbankdienste, deren Nutzung jedoch insbesondere bei der Auswahl eines Meßgerätes im Hinblick auf das spezielle Meßproblem Fachwissen erfordert. Bei Fragestellungen der betrieblichen Umweltverfahrenstechnik, bei denen weitergehende Untersuchungen mit detaillierteren Meßverfahren oder die Erfassung von weiteren Meßparametern zur Problemlösung notwendig sind, ist der Benutzer in vielen Fällen überfordert. Eine umfassende Unterstützung bei der exakten Definition der Meßaufgabe, der daraus resultie-

renden Auswahl der Meßgeräte, der Meßplanung, der Berücksichtigung von Gesetzen und Vorschriften, erfolgt nicht. Es besteht daher an der Schnittstelle zwischen dem Anwender mit dem konkreten Meßproblem und dem Informationsangebot weiterhin Entwicklungsbedarf.

Im folgenden ist eine Liste mit den wichtigsten Informationssystemen aufgeführt:

- Datenbank "DETEQ" (Dechema Enviromental Technology Equipment Databank), Verschiedene Sachgebiete der Umwelttechnik: Verfahren, Anlagen, Apparate, Meß- und Regeltechnik, Analysengeräte [25]
- Datenbank "Umwelttechnik in NRW", Meßverfahren, Geräte, Anbieter in NRW [54]
- Datenbank "DAFID", Umwelt-Meßtechnik: Luft- und Wasseranalytik, Meßverfahren, Geräte, Anbieter [33]
- Datenbank "Umweltdatenbank" der Deutschen Bank, Frankfurt, Anbieter von Produkten und Dienstleistungen, Leistungsportraits und Firmenadressen [46]
- Datenbank "Umweltdatenbank" der Firma Online, Heidelberg, Dienstleister und Anlagenanbieter im Umweltbereich [46]
- Datenbank "Umweltdatenbank" des Fachinformationszentrum Technik (FIZ), Frankfurt, Dienstleister und Anlagenanbieter im Umweltbereich [46]
- Datenbank "PSIoecos" der Firma PSI GmbH, Umweltinformatik, Velbert, Modulares Umweltinformationssystem für Industrie und öffentliche Verwaltung [40]
- Datenbank "Umweltdatenbank" der Firma BEC GmbH, Warnemünde, Umweltinformationen für den öffentlichen Dienst und für die Industrie [40]
- Expertensystem "Except" der Firma IBM und der Stadt Hannover, Expertensystem für Umweltverträglichkeitsprüfungen bei der kommunalen Raum- und Landschaftsplanung [40]

2 Informationssysteme

2.1 Datenbanken

Automatisierte Beratungssysteme zur Lösung komplexer Fragestellungen können mit Hilfe von Datenbanken realisiert werden. Es existieren verschiedene Möglichkeiten, um Daten innerhalb einer Datenbank zu organisieren. Die möglichen Strukturen berücksichtigen die unterschiedlichen Anforderungen an die Datenbank, ob z.B. bestimmte Daten besonders schnell auffindbar sein müssen oder ob z.B. unterschiedliche Daten einfach verknüpfbar sein müssen. Im folgenden werden die drei wichtigsten Datenbankstrukturen kurz vorgestellt.

2.1.1 Baumstruktur

Die sogenannte Baumstruktur besteht aus Datenelementen, die untereinander eine bestimmte Rangfolge besitzen und durch Knoten miteinander verknüpft sind. Der Ausgangspunkt (Wurzel) besteht aus genau einem Knoten und liegt auf dem höchsten Niveau der Rangfolge (Ebene 1). Jeder Knoten, mit Ausnahme des Ausgangspunktes, besitzt einen übergeordneten Knoten (Bezeichnungen: Eltern-Knoten, parent, Vater). Jedes Datenelement kann keinen, einen oder mehrere untergeordnete Datenelemente besitzen (Kinder, children, Söhne). Zwei Elemente mit denselben Eltern werden als Zwillinge, twins oder Brüder bezeichnet. Jedes Kind-Element ist genau einem Vater zugeordnet. Elemente ohne nachgeordnete Kinder werden als Endknoten oder Blätter bezeichnet (s. Abbildung 2).

Mit Hilfe dieser Struktur können nur sogenannte $1-n$ Beziehungen abgebildet werden. Einem Datenelement können n weitere untergeordnete Datenelemente eindeutig zugeordnet werden. Die eindeutige Zuordnung zu mehreren übergeordneten Datenelementen ist jedoch nicht möglich. Der Vorteil der Baumstruktur besteht in der hohen Suchgeschwindigkeit für die einzelnen Datenelemente.

2.1.2 Netzstruktur

In einer Netzstruktur besteht neben den Möglichkeiten der Zuordnung, wie sie bei der Baumstruktur bekannt sind, zusätzlich die Zuordnung eines Kind-Elementes zu mehreren übergeordneten Vater-Elementen. Die Netzstruktur stellt somit eine Baumstruktur mit zusätzlichen Redundanzen dar, in der $n-n$ Beziehungen dargestellt werden können. Die Zuordnung einer Reihenfolge der Datenelemente ist dadurch nicht mehr möglich, insbesondere Suchvorgänge

werden dadurch verlangsamt. Der Vorteil besteht in der Möglichkeit, daß alle Datenelemente untereinander verknüpfbar sind (s. Abb. 3).

2.1.3 Relationale Datenbankstruktur

Die relationale Datenbankstruktur besteht aus Datenelementen, die in Tabellen gespeichert werden. Verschiedene Tabellen werden durch Relationen miteinander verknüpft. Damit werden Redundanzen, wie bei der Netzstruktur, vermieden und die hohe Suchgeschwindigkeit wie bei Baumstrukturen erreicht, bei gleichzeitiger Verknüpfbarkeit aller Datenelemente untereinander. Die Grundlage der relationalen Datenbankstruktur basiert auf der mathematischen Theorie der Relationen und wurde von E.F. Codd im Jahr 1970 veröffentlicht [53]. Das Beispiel einer einfachen Struktur zeigt Abbildung 4.

In der abgebildeten Tabelle 1 sind z.B. die Daten über verschiedene Meßgeräte gespeichert. Die Eigenschaften der Geräte (Name, Meßprinzip, Meßbereich, ...) sind als sog. Attribute als Spaltenüberschriften aufgeführt. Jedem Meßgerät kann ein Hersteller zugeordnet werden (A oder B in der rechten Spalte der Tabelle 1). Die Informationen über die Hersteller (Name, Adresse, Vertrieb, ...) werden in einer weiteren Tabelle abgelegt (Tabelle 2) und über eine Relation mit der Gerätetabelle verknüpft. Damit ist sichergestellt, daß Daten nicht mehrfach gespeichert werden. Ein weiterer Vorteil ist, daß durch die Tabellenform der Anwender mit wenig Aufwand die Datenstruktur festlegen kann. Insbesondere ermöglicht die Tabellenform im Zusammenhang mit den definierbaren Relationen eine hohe Flexibilität bei der Gestaltung neuer zusammengesetzter Tabellen aus bereits existierenden Tabellen. Anwendungsprogrammierer können somit neue für die spezielle Anwendung notwendige Tabellen aus den bereits bestehenden zusammenstellen. Diese Eigenschaft ist besonders wichtig, wenn durch externe Programme, wie z.B. Expertensysteme, auf die Datenbank zugegriffen wird.

Für die Entwicklung des Informationssystems zur Umweltmeßtechnik wurde aus diesen Gründen eine Datenbank mit relationaler Struktur ausgewählt (Oracle 6.0).

2.2 Expertensysteme

Es gibt Aufgaben, deren Lösung sehr spezifisches Know-how verlangt. Dazu gehören z.B. die medizinische Diagnose, das Design von elektronischen Schaltungen oder meßtechnische Fragestellungen. Diese Aufgaben werden in der Regel von Experten bewältigt, die im Laufe der Zeit Spezialwissen über ihr Arbeitsgebiet erworben haben. Computerprogramme, die solche Aufgaben

ebenfalls lösen, werden als Expertensysteme bezeichnet. Auch der Begriff wissensbasiertes System wird verwendet, da im Expertensystem das Wissen eines oder mehrerer Experten gespeichert ist.

Expertensysteme werden abgegrenzt gegenüber Datenbanksystemen. Als automatisierte Beratungssysteme bieten auch Datenbanksysteme Lösungen für komplexe Fragestellungen an, die sich im Resultat von Expertensystemen nicht unterscheiden müssen. Ein grundlegender Unterschied ist, daß Datenbanken wohlstrukturierte Daten verlangen, die in einem Beratungssystem prozedural verarbeitet werden. Die Wissensdarstellung ist stark numerisch formalisiert.

Expertensysteme haben demgegenüber Komponenten, die Informationen mit einem Strukturierungsgrad akzeptiert, der dem natürlichen Sprechen näher ist. Die Wissensdarstellung ist symbolisch (Regeln, ganze Sätze), aber auch formalisiert. Die Wissensverarbeitung läuft nicht prozedural, sondern es werden Such- und Mustererkennungsverfahren verwendet.

Änderungen und Optimierungen an datenbankbasierten Beratungssystemen bedingen zwangsläufig das Umschreiben des Programms. Demgegenüber kann die Reaktion eines Expertensystems durch Anfügen einer einzigen neuen Regel verändert werden.

Anders als bei Datenbanken ist für Expertensysteme kennzeichnend, daß auf Verlangen Auskunft gegeben wird über die Art und Weise, wie die jeweilige Schlußfolgerung ermittelt wurde [18].

Die Wissensdarstellung erfolgt je nach Expertensystem in unterschiedlichen Formen, den sogenannten Frames, durch Wenn-Dann-Regeln oder semantische Netze. Für die Entwicklung des Informationssystems zur Umweltmeßtechnik wurde ein Expertensystem ausgewählt, das keine Einschränkungen in der Darstellung von Wissen besitzt und die wichtigsten Formen der Wissensdarstellung zur Verfügung stellt. Im folgenden werden diese kurz beschrieben.

2.2.1 Produktionsregel-System

Expertensysteme, die aus Regeln aufgebaut sind, werden als Produktionsregelsysteme bezeichnet. Die Regeln bestehen aus einer Prämisse und einer Schlußfolgerung (Wenn "Bedingung", dann "Aktion"). Das Wissen, bestehend aus Regeln und Fakten, wird in der Wissensbank gespeichert. Die Ausführung der in den Regeln enthaltenen Vorschriften, die Bestimmung von Variablenwerten, der Zugriff auf Datenbanken oder andere externe Programme erfolgt durch die Inferenz-Maschine (weitere Bezeichnungen: Schluß-Maschine, Problemlösungsmaschine).

Ein einfaches Beispiel für eine Produktionsregel ist:

Wenn Fakt: (Aufgabe ist Emissionsmessung)
dann Aktion ist Lade Wissensbasis "emission"

Diese Formulierung klingt etwas seltsam, aber auf die korrekte Anwendung der deutschen Grammatik muß verzichtet werden, da die meisten Expertensysteme im englisch sprachigen Raum entwickelt wurden.

2.2.2 Deduktive Shells

In deduktiven Shells wird das Wissen generell in Form von klassischen Wenn-Dann-Regeln aufbereitet. Die unterschiedliche Syntax und Form der Regelbildung bei den einzelnen Werkzeugen (Expertensystem-Shells) verhindert die Übernahme einer Wissensbasis von einer Shell zu einer anderen.

Ein aufwendigeres Beispiel ist:

Wenn Aufgabe ist Emissionsmessung
 und Meßobjekt ist Staub
 und Monitor ist eignungsgeprüft
dann Lade Wissensbasis "emission"
 und Bilde Abfrage an Datenbank

Neben der natürlichsprachigen Darstellungsform werden in den Regeln arithmetische Ausdrücke und Variablenwerte akzeptiert.

Ist in der Wissensbasis mehr als eine Regel gespeichert, so muß dem System ein Ermittlungsziel vorgegeben werden, analog zu der Vorgehensweise eines Experten, der für das Erreichen eines bestimmten Ziels konsultiert wird. Die Regeln innerhalb der Wissensbasis werden in Abhängigkeit der Ermittlungsziels abgearbeitet.

2.2.3 Induktive Shells

Induktive Expertensystem-Shells ermöglichen eine sehr einfache Form der Wissensaufbereitung und Darstellung. Dem System wird eine ungeordnete redundante Menge von Beispielen für die Problemlösung vorgegeben. Führen verschiedene Prämissen zu einer Lösung oder hat eine Prämisse mehrere Lösungsmöglichkeit, muß jeweils ein Beispiel vorgegeben werden. Ein Beratungssystem, das differenziert auf die Bedürfnisse des Anwenders reagiert und über umfangreiches Wissen zum Problembereich verfügt, benötigt mehr als tausend Beispiele zur Wissensdarstellung. Die Eingabe des Wissens wird sehr aufwendig.

Aus den einzelnen Beispielen konstruiert das System mit Hilfe eines Optimierungs-Algorithmus einen Entscheidungsbaum, der einer alles umfassenden Regel gleichsetzbar ist. In dieser Regel sind alle redundanten Informationen entfernt.

2.2.4 Frames

Expertensystem-Shells, die Frame Konstruktionen benutzen, setzen ein erkenntnispsychologisches Konzept um, welches davon ausgeht, daß auf unerwartete und unbekannte Situationen nicht jedesmal von Grund auf neu reagiert wird [34]. Erfahrungswerte bilden den Rahmen, innerhalb dessen Veränderungen registriert und bewertet werden. Falls erforderlich, werden einzelne Parameter des Rahmens geändert, die Grundstruktur wird jedoch nach Möglichkeit beibehalten. Diese Repräsentationsform der Wissensdarstellung wird benutzt, um stereotypes Wissen zu verarbeiten. Die Organisation des Wissens erfolgt in Anlehnung an Karteikarten oder den Feldern einer Datenbank.

Die einzelnen Frames sind hierarchisch miteinander verknüpft in z.B. Eltern-Kind-Verhältnissen (parent-child-relation). Dabei erben die untergeordneten Frames (Kinder) die Parameter der übergeordneten Frames (Eltern). Der Vererbungsmechanismus (Inheritance) des Frame-Konzeptes erspart im Vergleich mit Produktionsregel-Systemen und induktiven Shells viel Eingabe-Arbeit. Darüberhinaus ist der Objektbereich durch Frames klar und übersichtlich strukturiert. Der Aufbau komplexer Wissensbasen wird vereinfacht.

2.3 Wissensverarbeitung

Die unterschiedlich aufgebauten und je nach Problemstellung beliebig komplexen Wissensbasen müssen nach Vorgabe des Ermittlungszieles einer Befragung ausgewertet werden. Die kommerziell erhältlichen Expertensystemshells (Übersicht z.B. von R. Fischer [18]) bieten dazu insbesondere in Relation zu ihrem Anschaffungspreis unterschiedliche Strategien.

Assoziatives und kontextabhängiges Schließen als typische Lösungstechniken für Problemstellungen konnte bisher nicht befriedigend in Computerprogramme implementiert werden. Speicherkapazität und Rechengeschwindigkeit setzen hier auch heute noch die Grenzen. Expertensystemshells verwenden Suchstrategien und Zuordnungen als grundlegende Methoden zur Problemlösung. Die Wissensbasis besteht aus Wenn-Dann-Regeln, Frames oder semantischen Netzen und enthält alle Lösungen des Problems. Durch Zuordnung von passenden Fakten (patern matching) wird durch Versuch-und-Irrtums-Methode eine Lösung gesucht und gefunden.

Die Wissensbasis, auch Suchraum genannt, kann graphisch in der Form eines Suchbaumes dargestellt werden. Die Knoten stellen Wissens Elemente dar, deren Abhängigkeiten voneinander durch Linien verdeutlicht werden. Die Struktur ist streng hierarchisch und beginnt mit dem Startknoten. Jeder Knoten (parent) besitzt in der untergeordneten Ebene Nachfolgeknoten (children). Im Normalfall sind Suchräume sehr umfangreich und können nicht graphisch dargestellt werden. Hier dient er als Hilfsmittel, um die Suchstrategie der Inferenzmaschine zu

verdeutlichen. Die Suche nach einer Lösung kann prinzipiell an jedem beliebigen Knoten innerhalb des Suchbaumes beginnen. Die zugehörigen Fakten werden ermittelt und zugeordnet, anschließend wird ein weiterer zufällig ausgewählter Knoten konsultiert und ausgewertet. Zeit- und Speicheraufwand sind bei dieser Vorgehensweise sehr hoch und nicht kalkulierbar. Der Inferenzmaschine einer Expertensystemshell stehen wesentlich effektiver und systematischer arbeitende Suchstrategien zur Verfügung. Die gebräuchlichsten Suchstrategien sind Breiten- und Tiefensuche sowie Vorwärts- und Rückwärtsverkettung. Details zu den einzelnen Strategien sowie deren Vor- und Nachteile, sind in der Literatur ausführlich beschrieben [18, 27, 34, 53].

3 Prototyp "Informationssystem zur Umweltmeßtechnik"

Es wurde der Prototyp eines Informationssystems zur Umweltmeßtechnik erstellt unter Verwendung eines Expertensystems gekoppelt an eine Datenbank. Im Vordergrund des Projektes steht die Entwicklung von Methoden, um ein so komplexes und umfangreiches Wissensgebiet wie es die Umweltmeßtechnik sowie die unübersehbare Datenmenge über Meßgeräte und Probenahmesysteme zur Umweltmeßtechnik darstellt, in einem Informationssystem zu implementieren, welches auch von Laien genutzt werden kann. Es wurde eine strenge Trennung von Daten- und Wissensbereich durchgeführt. Das Wissen aus dem Bereich der Umweltmeßtechnik wurde durch Literaturrecherchen und Expertenbefragung ermittelt [4, 7, 14, 15] und in der Wissensbasis des Expertensystems (NexpertObject 2.0) [35] gespeichert. Alle weiteren Daten, wie z.B. Meßgeräte- oder Literaturdaten, sind in einer Datenbank (Oracle 6.0) [36] enthalten. Diese Struktur gestattet die unabhängige Erweiterung von Daten- und Wissensbasis. Des weiteren können über Datenvernetzung zusätzliche externe Datenbanken mit weiteren Informationen zur Umweltmeßtechnik in das System eingebunden werden.

Der umfangreiche Daten- und Wissensbereich zur Umweltmeßtechnik wurde in dem ausgeführten System stark eingeschränkt, da allein die Wissensakquisition den Rahmen des Projektes gesprengt hätte. Durch den modularen Aufbau des Systems besteht jedoch jederzeit die Möglichkeit zur Erweiterung von Daten- und Wissensbasis sowie der betrachteten Themengebiete.

3.1 Datenbank Oracle 6.0

Am Anfang der Erstellung eines Informationssystems steht die Wissensakquisition. In dieser Phase werden, z.B. für ein Informationssystem zur Umweltmeßtechnik, Daten über Meßgeräte, Hersteller und Vertriebe sowie Betriebs- und Abgasparameter repräsentativer Industrieanlagen gesammelt [5, 28, 29, 52]. Die erhobenen Daten werden in einer Datenbank abgelegt. Es erfolgt

dabei eine sehr detaillierte Aufteilung der Daten; z.B. werden Meßbereichsgrenzen und die zugehörigen Einheiten getrennt gespeichert, um Vergleiche durchführen zu können.

3.1.1 Inhalte

Der Prototyp enthält in der Datenbasis (Datenbank Oracle 6.0) Informationen über:

- kontinuierlich messende Staubmeßgeräte,
- Hersteller- und Vertriebsadressen,
- Literaturquellen über allgemeine und aufgabenbezogene meßtechnische Fragestellungen, Meßgeräte, Richtlinien, Gesetze und Verordnungen.

3.1.2 Struktur der Datenbank

Die Struktur der Datenbank hat ganz erheblichen Einfluß auf die Leistungsfähigkeit eines darauf basierenden Informationssystems. Ein hoher Informationsgehalt wird durch zahlreiche und detaillierte Daten über ein Objekt erreicht. Es ist nicht sinnvoll, z.B. ein Meßgerät über eine geringe Anzahl von Attributen zu beschreiben. Die fundierte Auswahl für einen bestimmten Einsatzzweck ist in diesem Fall nicht gewährleistet.

Weiterhin ist es notwendig, wohldefinierte und allgemein anerkannte Attribute zur Beschreibung von Objekten zu verwenden. Insbesondere während des Prozesses der Datenerhebung muß sichergestellt sein, daß alle Beteiligten (Informationssuchende und -gebende) dieselbe Nomenklatur und Definition benutzen. Während der Erstellung der Datenbanktabellen zur Beschreibung der Meßgeräte wurden Definitionen für die Attribute gewählt, die in den VDI-Richtlinien und den relevanten behördlichen Texten benutzt werden.

Die folgende Liste zeigt den Detaillierungsgrad, der in der Datenbank gespeicherten Daten sowie die Quellenangabe für die Definition der verwendeten Attribute. Es sind alle Daten aufgeführt, die durch das später beschriebene Expertensystem pro Meßgerät abgefragt werden können. Als Beispiel sind die Attribute zur Beschreibung von Meßgeräten aufgelistet, die zur Messung der Staubemissionen nach dem Meßprinzip der optischen Transmission arbeiten. Zur besseren Übersichtlichkeit sind die Attribute alphabetisch geordnet. Analog aufgebaute Tabellen existieren für Geräte, die nach den Meßprinzipien Streulicht, Radiometrie und Differenzdruck arbeiten.

Attribut	Definition	Quelle
Abgastemperatur	Für das Gerät maximal zulässige Temperatur im Abgaskanal bzw. am Geräteeingang	Herstellerangabe
Abgastemperatur, optional	Für das Gerät maximal zulässige Temperatur im Abgaskanal bzw. am Geräteeingang bei Sonderausführungen	Herstellerangabe
Abmessungen	Angabe	Herstellerangabe
Analogausgang	Angabe über Art und Anzahl	Herstellerangabe
Analogeingang	Angabe über Art und Anzahl	Herstellerangabe
Anschlüsse	Anschlußmöglichkeit von Peripheriegeräten	Herstellerangabe
Ausgabe für Null- und Kontrollpunkt	Angabe, ob vorhanden	GMBL Prüfinstitut
Automatische Korrektur bei Linsenverschmutzung	Angabe, ob eine Korrekturschaltung vorhanden ist	GMBL Prüfinstitut
Bezugsgröße	Wert, auf den einige Attribute bezogen werden; meist Meßbereichsendwert ME	Prüfinstitut
Eignung	Angabe des Prüfinstituts über die Einsatzmöglichkeit des Gerätes in Industriebranchen und Anlagen	Prüfinstitut
Eignungsgeprüft	Angabe, ob das Geräte eignungsgeprüft ist	GMBL
Einschränkung	Angabe aus der Eignungsprüfung	Prüfinstitut

Attribut	Definition	Quelle
Einstellzeit min. bzw. max.	Summe aus Totzeit und Anstiegszeit oder Totzeit und Abfallzeit. Totzeit: Zeitabstand zwischen der sprunghaften Änderung des Wertes des Luftbeschaffungsmerkmals und dem Anstieg des Meßwertes auf 10% der erwarteten Höhe der Sprungantwort. Anstiegszeit: Zeitabstand nach einer sprunghaften Änderung des Wertes des Luftbeschaffungsmerkmals zwischen dem Anstieg des erwarteten Meßwertes auf 10% und 90% der erwarteten Höhe der Sprungantwort. Abfallzeit: Zeitabstand nach einer sprunghaften Änderung des Wertes des Luftbeschaffungsmerkmals zwischen dem Abfall des erwarteten Meßwertes um 10% und um 90% der erwarteten Höhe der Sprungantwort.	VDI 2449 Blatt 2
Geprüfte Meßbereiche	Während der Eignungsprüfung geprüfte Meßbereiche	Prüfinstitut
Gerätename	Gerätebezeichnung durch den Hersteller	Herstellerangabe
Gewicht	Angabe	Herstellerangabe
Hinweise	Angabe aus der Eignungsprüfung	Prüfinstitut
Kompensation von Spannungs- und Sendelichtschwankungen	Angabe, ob Kompensationsschaltungen vorhanden sind	GMBL Prüfinstitut
Laufende Nummer	Eindeutige Numerierung aller Meßgeräte	Systemvariable
Maximale Umgebungstemperatur	Maximale Umgebungstemperatur am Gerätestandort in °C	Herstellerangabe
Meßbereich Einheit	Einheit zum Meßbereich in Abhängigkeit des verwendeten Meßprinzips	Herstellerangabe
Meßbereich klein	Kleinster Meßbereich bei der Eignungsprüfung	Prüfinstitut
Meßbereich max.	Oberer Wert des jeweiligen Meßbereiches	Herstellerangabe
Meßbereich min.	Unterer Wert des jeweiligen Meßbereiches	Herstellerangabe

Attribut	Definition	Quelle
Meßbereiche Anzahl	Anzahl der gleichzeitig verfügbaren Meßbereiche eines Gerätes	Herstellerangabe
Meßobjekt	Luftbeschaffenheitsmerkmal, das durch Messen ermittelt werden soll hier: Gesamtstaubkonzentration	VDI 2449 Blatt 2
Meßprinzip	Angabe	Herstellerangabe
Meßstrecke max. optional	Maximale Meßstrecke in m bei Sonderausführung	Herstellerangabe
Meßstrecke max.	Maximale Meßstrecke in m	Herstellerangabe
Meßstrecke min.	Minimale Meßstrecke in m	Herstellerangabe
Meßstrecke min. optional	Minimale Meßstrecke in m bei Sonderausführung	Herstellerangabe
Minimale Umgebungstemperatur	Minimale Umgebungstemperatur am Gerätestandort in °C	Herstellerangabe
Nachweisgrenze	Kleinster Wert des Luftbeschaffenheitsmerkmals, der mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % von einem Zustand Null unterschieden werden kann	VDI 2449 Blatt 2
Optische Visiereinrichtung	Angabe, ob vorhanden	Prüfinstitut
Probenahme	Art der Probenahme, in-situ oder extraktiv	Herstellerangabe
Probenvolumenstrom	Volumenstrom durch die Probenahmesonde in l/min	Herstellerangabe
Prüfbericht	Angabe über Prüfinstitut, Berichtsnummer, Datum	GBMI.
Relative Luftfeuchtigkeit	Relative Luftfeuchtigkeit am Gerätestandort	Herstellerangabe
Reproduzierbarkeit	Die Reproduzierbarkeit $R = \bar{x} / U$ (\bar{x} Meßbereichsendwert; U Unsicherheitsbereich) ist aus Doppelbestimmungen zu ermitteln. Hierzu sind Messungen mit zwei gleichartigen Meßeinrichtungen am selben Meßort durchzuführen.	VDI 2449 Blatt 1 und 2

Attribut	Definition	Quelle
Schutzart	Konstruktive Merkmale, die einerseits die Meßeinrichtung vor schädlichen äußeren Einwirkungen schützen, andererseits verhindern, daß die Meßeinrichtung Risiken für die Umgebung und den Betreiber auslöst. Sie wird gemäß der entsprechenden Schutzartvorschrift gekennzeichnet.	VDI 2449 Blatt 2.
Sicherung gegen unbefugtes Verstellen	Angabe, ob vorhanden	Prüfinstitut
Stand	Datum der letzten Aktualisierung	Systemvariable
Statusausgänge	Statusmeldungen über z.B. Wartung, Fehler etc.	Herstellerangabe
Störeinfluß durch Auswanderung des Lichtstrahles	Der Störeinfluß sollte im Winkelbereich von +/- 0,3° nicht mehr als 2 % des Anzeigebereiches betragen.	GMBL Prüfinstitut
Stromversorgung	Angabe	Herstellerangabe
Stufenlos einstellbarer Grenzwert	Angabe, ob vorhanden	Prüfinstitut
Taupunktunterschreitung zulässig	Angabe, ob das Gerät einsetzbar ist, wenn mit einer Taupunktunterschreitung im Abgas zu rechnen ist	Prüfinstitut, Herstellerangabe
Temperaturabhängigkeit der Empfindlichkeit	Angabe in % vom ME / 10K	Prüfinstitut
Temperaturabhängigkeit des Nullpunktes	Angabe in % vom ME / 10K	Prüfinstitut
Überwachbarer Grenzwert, min	Minimaler, überwachbarer Grenzwert in mg/m ³	Herstellerangabe, Literaturangabe
Überwachbarer Grenzwert, max	Maximaler, überwachbarer Grenzwert in mg/m ³	Herstellerangabe, Literaturangabe

Attribut	Definition	Quelle
Verfügbarkeit	Anteil der als Gesamtheit aller Betriebszeiten, Ausfallzeiten und Wartungszeiten definierten Einsatzzeit, während der die Meßeinrichtung zur Erzeugung von verwertbaren Signalen in der Lage ist. Die Verfügbarkeit ist das Verhältnis von Meßzeit zu Einsatzzeit.	VDI 2449 Blatt 2
Wartungsintervall	Zeit zwischen zwei Wartungen in Wochen	Prüfinstitut
Weiteres Meßobjekt	Angabe über weitere erfassbare Meßobjekte	Prüfinstitut
Zeitliche Änderung der Empfindlichkeit	Änderung der Empfindlichkeit über eine gegebene Zeit, innerhalb der nicht justiert wird.	VDI 2449 Blatt 2
Zeitliche Änderung der Nullpunktes	Änderung des Nullpunktes über eine gegebene Zeitdauer, innerhalb der nicht justiert wird. Sie wird durch den Erwartungswert der zeitlichen Änderung des Nullpunktes sowie dessen Schwankungsbreite (95 %-Wahrscheinlichkeit) quantifiziert.	VDI 2449 Blatt 2
Zubehör	Angaben über Zubehör	Herstellerangabe
Zyklischer Selbsttest	Angabe, ob vorhanden	GMBL VDI 2066 Blatt 4 Prüfinstitut

Die in der linken Spalte aufgeführten Bezeichnungen der Attribute existieren ebenfalls in den Eingabemasken der Datenbank. Mit Hilfe der Eingabemasken werden durch den autorisierten Systemmanager Daten hinzugefügt oder aktualisiert. Des weiteren können einfache Suchvorgänge innerhalb der einzelnen Tabellen durchgeführt werden.

Weitere Tabellen existieren mit Daten über die Hersteller und Vertriebe (Name, Anschrift, Telefon, Ansprechpartner etc.). Für die Verwaltung von Literaturdaten über allgemeine Literatur zur Umweltmeßtechnik, aufgaben- und gerätebezogene Literatur sowie Gesetzestexte, Verordnungen und Verwaltungsvorschriften stehen ebenfalls Tabellen zur Verfügung. Es existieren weitere Tabellen, welche die Verwaltung der Haupttabellen steuern und gewährleisten, daß die Verknüpfungen der einzelnen Tabellen konsistent sind.

Zur Verwaltung des Systems werden die allgemein üblichen Werkzeuge für relationale Datenbanken benutzt (Schlüsseldefinitionen, Trigger, Forms etc.), auf die hier nicht näher eingegangen wird [36, 39, 45].

3.2 Expertensystem NexpertObjekt 2.0

Der wesentliche Bestandteil eines Informationssystems ist neben der Datenbasis die Wissensbasis. Hier werden das Wissen und die Erfahrungen von Experten und Anwendern gespeichert über Probenahme, Meßplanung und Geräteauswahl. Als Quelle zur Datenerhebung stehen die Befragung von Experten sowie die Auswertung von Literaturquellen und Herstellerangaben zur Verfügung [27, 35].

Das Wissen wird innerhalb des Expertensystems abgebildet in zwei orthogonalen Repräsentations- und Schlußfolgerungsebenen. Der Schnittpunkt der Ebenen markiert den aktuellen Zustand des Systems (Abbildung 5). Innerhalb der Schlußfolgerungsebene werden für jeden einzelnen Wissenspunkt eine oder mehrere Regeln formuliert. Eine Regel besteht aus Bedingungen, bei deren Bestätigung die zugehörige Hypothese den Status "wahr" erhält. Dadurch können Aktionen ausgelöst werden, wie z.B. der Zugriff auf die Datenbank und das Übernehmen ausgewählter Daten.

Die Regeln werden angewendet auf Objekte mit deren Eigenschaften. Gruppen gleichartiger Objekte werden zu Klassen zusammengefaßt. Mit Hilfe der Klassen, Objekte, deren Eigenschaften und Beziehungen zueinander erfolgt in der Repräsentationsebene die Beschreibung der "realen Welt" bzw. des betrachteten Wissensgebietes (Abbildung 6).

Die Vorgehensweise zur Beantwortung einer Anfrage an das Informationssystem beginnt mit der Definition der Aufgabenstellung. Anschließend wird die Wissensbasis nach bereits gespeichertem Wissen zu dem betreffenden Thema durchsucht. Nach diesen Vorgaben formuliert das System selbständig die Abfrage an die Datenbank. Die erhaltenen Daten werden in Bezug zur Aufgabenstellung ausgewertet und angezeigt.

3.2.1 Inhalte

Die Wissensbasis (Expertensystem Nexpert Objekt 2.0) enthält:

- Wissen von Fachleuten, wie Meßgeräteherstellern, Anlagenbetreibern, Mitarbeitern von Universitäten und Forschungsinstituten,
- Betriebs- und Abgasparameter von Industrieanlagen, geordnet nach der 4. BImSchV [1] (hier: Branche 2 "Steine und Erden, Glas, Keramik, Baustoffe")

- Vorgaben von Gesetzen und Verordnungen
(hier: BImSchG, TA Luft 86 etc. [17, 21])

3.2.2 Struktur des Expertensystems

Das Expertensystem ist modular aufgebaut. In Abhängigkeit der Antworten, die der Benutzer gibt, werden unterschiedliche Wissensbasen in das System geladen. Dies hat den Vorteil, daß die Anzahl der Regeln und Objekte, die zur Bearbeitung einer bestimmten Aufgabenstellung notwendig ist, überschaubar bleibt. Die Ablaufgeschwindigkeit des Systems wird dadurch wesentlich erhöht. Des weiteren können Erweiterungen des Systems durch Hinzufügen neuer Module, welche die Wissensbasen für zusätzliche Aufgabenstellungen enthalten, relativ einfach durchgeführt werden.

Zum Beginn einer Konsultation wird eine Initialisierungsroutine gestartet, die alle Wissensbasen und Daten löscht. Anschließend wird in Abhängigkeit der Benutzerantwort zum Hauptthema der Befragung eines der Module zur Arbeitsplatz-, Emissions- oder Immissionsmessung geladen. Jedes Hauptthema ist als Klasse mit einer Anzahl von Objekten, Subobjekten und deren Eigenschaften definiert (s. Abb. 7).

Es existieren die

Klassen: arbeitsplatz
 emission
 immission

Die Klasse "emission" besteht aus den

Objekten: init_2_1
 :
 init_2_9

Der Ausdruck "init" steht für eine Initialisierungsroutine, durch die der Anwender nach weiteren Informationen zur Definition der Aufgabenstellung gefragt wird. Der Ausdruck "_2_" steht für das zweite Hauptthema "Emissionsmessung"; die laufenden Nummern 1 bis 9 sind die möglichen Teilaufgaben, die der Anwender entsprechend der folgenden Liste auswählen kann.

1. Überprüfung der Grenzwerte
2. Messung zur Emissionserklärung
3. Kalibrierung kontinuierlich messender Monitore
4. Auswahl eignungsgeprüfter kontinuierlich messender Monitore

5. Messung bei Beschwerden
6. Abnahmemessung zum Garantienachweis
7. Messung zur Eigenüberwachung
8. Messung bei speziellen Betriebsbedingungen
9. Messung zur Beurteilung des Emissionsverhaltens bei Verfahrensumstellungen, Kapazitätsänderungen etc.

Jede dieser Teilaufgaben benötigt ganz spezifische Informationen von dem Benutzer zur weiteren Ermittlung der Aufgabenstellung. Die Objekte "init_2_zahl" enthalten daher weitere Subobjekte mit deren Eigenschaften zur Ermittlung der notwendigen Daten. Z.B. enthält das Objekt "init_2_4", dies entspricht der Frage des Anwenders nach eignungsgeprüften Monitoren zur kontinuierlichen Messung von Emissionskomponenten, die

Subobjekte: ziel
 ziel_messobjekt
 ziel_branche
 ziel_anlage
 betriebswert
 grenzwert
 auswahl

Jedes Subobjekt besitzt eine Anzahl von Eigenschaften, mit deren Hilfe die Daten z.B. für die Betriebswerte von Anlagen oder die gültigen Grenzwerte festgelegt werden. Die Daten werden zu einem späteren Zeitpunkt, wenn die Art der Anlage durch den Anwender definiert wurde, aus dem entsprechenden Modul in die Wissensbasis geladen.

Das Subobjekt "ziel" enthält die

Eigenschaften: anlage
 aufgabe
 branche
 branche_dat
 id
 kb_dat
 messobjekt

Durch Belegung dieser Eigenschaften mit numerischen Werten wird ein Ausdruck generiert, der die Aufgabenstellung in verschlüsselter Form enthält und die entsprechende Wissensbasis in das System geladen wird. Zur Definition von Branche und Anlage werden dem Anwender Listen geordnet nach der 4. BImSchV gezeigt. Aus den laufenden Nummern wird die Kodierung der betrachteten Anlage gebildet.

Liste der Branchen nach 4. BImSchV:

1. Wärmeerzeugung, Bergbau, Energie
2. Steine und Erden, Glas, Keramik, Baustoffe
3. Stahl, Eisen und sonstige Metalle einschließlich Verarbeitung
4. Chemische Erzeugnisse, Arzneimittel, Mineralraffination und Weiterverarbeitung
5. Oberflächenbehandlung mit organischen Stoffen, Herstellung von bahnenförmigen Materialien aus Kunststoffen, sonstige Verarbeitung von Harzen und Kunststoffen
6. Holz, Faserstoffe
7. Nahrungs-, Genuß- und Futtermittel, landwirtschaftliche Erzeugnisse
8. Verwertung und Beseitigung von Reststoffen
9. Lagerung, Be- und Entladen von Stoffen und Zubereitungen
10. Sonstiges

Liste der Anlagen der Branche 2:

1. Steinbrüche, in denen Sprengstoffe oder Flammstrahler verwendet werden
2. Anlagen zum Brechen, Mahlen oder Klassieren von natürlichen oder künstlichem Gestein einschließlich Schlacke und Abbruchmaterial, ausgenommen Klassieranlagen für Sand oder Kies und Anlagen zur Behandlung von Abbruchmaterial am Entstehungsort
3. Anlagen zur Herstellung von Zementklinker oder Zementen
4. Anlagen zum Brennen von Bauxit, Dolomit, Gips, Kalkstein, Kieselgur, Magnesit, Quarzit oder Schamotte
5. Anlagen zum Mahlen von Gips, Kieselgur, Magnesit, Mineralfarben, Muschelschalen, Talkum, Ton, Tuff (Traß) oder Zementklinker
6. Anlagen zur Gewinnung, Bearbeitung oder Verarbeitung von Asbest
7. Anlagen zum Blähen von Perlite, Schiefer oder Ton
8. Anlagen zur Herstellung von Glas, auch soweit es aus Altglas hergestellt wird, einschließlich Glasfasern, die nicht für medizinische oder fernmeldetechnische Zwecke bestimmt sind
9. Anlagen zum Säurepolieren oder Mattätzen von Glas oder Glaswaren unter Verwendung von Flußsäure
10. Anlagen zum Brennen keramischer Erzeugnisse
11. Anlagen zum Schmelzen mineralischer Stoffe
12. Anlagen zur Herstellung von Kalksandsteinen, Gasbetonsteinen oder Faserzementplatten
13. Anlagen zur Herstellung von Beton, Mörtel oder Straßenbaustoffen
14. Anlagen zur Herstellung von Formstücken unter Verwendung von Zement oder anderen Bindemitteln
15. Anlagen zur Herstellung oder zum Schmelzen von Mischungen aus Bitumen oder Teer mit Mineralstoffen

Die Kodierung für die Aufgabe zur Auswahl von eignungsge-
eigneten kontinuierlich messenden
Monitoren (4) für Emissionskomponenten (e) innerhalb der
einige Steine und Erden, Glas,
Keramik, Baustoffe (2) für Anlagen zur Herstellung von Zement
klinker oder Zementen (3) lautet
dementsprechend: e4_2_3

Diese Systematik ist für alle Aufgabenstellungen und zur Identifikation der betrachteten Anlage
gültig. Das entsprechende Modul mit der Wissensbasis wird geladen. In der Wissensbasis sind
möglichst vollständige Daten gespeichert, um die Aufgabenstellung lösen zu können, ohne den
Anwender nach weiteren Fakten fragen zu müssen. So sind Standardbetriebswerte der betrachte-
ten Anlage im Subobjekt "betriebswert" mit den

Eigenschaften: abgas_mit_tropfen
abgas_temperatur
:
gesamtstaub
CO
NO2
O2
:

bereits in der Wissensbasis enthalten. Das gleiche gilt für die gesetzlich vorgegebenen Grenzwerte
im Subobjekt "grenzwert". Die Daten stehen dem Expertensystem für den folgenden Auswahl-
prozeß zur Verfügung. Des weiteren ist Wissen in der Form von Erfahrungswerten hinterlegt,
z.B. daß Transmissionsphotometer nicht in mit Tropfen beaufschlagten Abgasen eingesetzt
werden können.

Die Auswahl von Meßgeräten erfolgt durch Vergleich der Meßgerätedaten mit den Betriebs- und
Grenzwerten für die betrachtete Anlage, durch Vorgaben, die aus der Aufgabenstellung folgen,
durch Berücksichtigung des Meßprinzips, nach dem die Geräte arbeiten sowie durch Eignungs-
angaben von Prüfinstituten (Eignungsprüfung) und Herstellern. Innerhalb der Wissensbasis
existieren für die unterschiedlichen Meßobjekte Klassen, deren Eigenschaften den Meßgeräte-
daten entsprechen. Die Klassen der kontinuierlich messenden Monitore sind:

Klassen: staub_monitore
co_monitore
no2_monitore
o2_monitore
:

Für die Klasse "staub_monitore" sind folgende Eigenschaften definiert (s. Abb. 8):

Eigenschaften: name
hersteller
lfd_nr
messobjekt
messprinzip
probenahme
mb1u
mb1o
mb1e
:
gw1
gw2
abgas_mit_tropfen
abgas_temperatur
:
eignung
eignung_id1
:
eignung_her_id1
:

Die Belegung der Eigenschaften mit konkreten Werten erfolgt bei Bedarf durch Abfrage der Datenbank. Die Daten können insgesamt oder selektiv in die Wissensbasis übernommen werden. Während der Datenübernahme von der Datenbank in die Wissensbasis wird in der Klasse "staub_monitore" für jedes Meßgerät ein

temporäres Objekt: geraet_1
:
geraet_n

angelegt, an das die Eigenschaften der Klasse vererbt (d.h. übergeben) werden.

Neben der Struktur von Klassen, Objekten und Eigenschaften sind in den einzelnen Wissensbasen Regeln definiert, die sich auf die oben aufgeführten Objekte beziehen. Insbesondere der Auswahlprozeß der Meßgeräte erfolgt durch Auswertung von Regeln. Ein erstes Auswahlkriterium für ein Meßgeräte ist der Vergleich der Abgasrandbedingungen am Einsatzort des Gerätes mit den für das Gerät zulässigen Werten (Temperatur, Druck, Strömungsgeschwindigkeit etc.).

Eine einfache Regel hat folgende Form:


```

(@LHS=
(< (<|staub_monitore|>.abgas_temperatur-betriebswert.abgas_temperatur) (0.0))
)
(@HYPO= auswahl)
(@RHS=
(DeleteObject (<|staub_monitore|>))
)

```

Durch die Regel wird jedes Gerät innerhalb der Klasse "staub_monitore" nach der Eigenschaft "geraet_n.abgas_temperatur", d.h. nach der zulässigen maximalen Temperatur am Einsatzort befragt und mit der Abgastemperatur "betriebswert.abgas_temperatur" verglichen. Ist die Differenz aus beiden Werten kleiner als null, ist das Gerät für den Einsatzort nicht geeignet. Es wird aus der Klasse "staub_monitore" entfernt und steht für den weiteren Auswahlprozeß nicht mehr zur Verfügung.

Des weiteren wird der Meßbereich der Geräte mit den zu erwartenden Emissionswerten und den Grenzwerten verglichen. Der Anzeigebereich eines Gerätes muß auf die jeweilige Meßaufgabe abgestimmt sein und den 2,5- bis 3-fachen Wert des geltenden Emissionsgrenzwertes betragen. Weiterhin wird geprüft, ob aufgrund des verwendeten Meßprinzips die Geräte unter den vorgegebenen Bedingungen einsetzbar sind.

Werden eignungsgeprüfte Meßgeräte durch den Anwender gefordert, werden alle nichteignungsgeprüften Geräte ausgeschlossen. Im Rahmen der gesetzlich vorgeschriebenen Eignungsprüfung werden Geräte sowohl im Laboreinsatz als auch an realen Anlagen über mehrere Monate untersucht. Das Prüfergebnis wird mit der Angabe über die Art der Anlage veröffentlicht. Diese Information ist in der Datenbank des Prototypen gespeichert und kann durch das Expertensystem genutzt werden. Das gleiche gilt für Angaben, die von Herstellern über die Eignung der Geräte für bestimmte Einsatzmöglichkeiten abgegeben werden.

Am Ende des Auswahlprozesses existiert eine Liste mit Geräten, die zur Lösung der Aufgabenstellung geeignet sind. Anhand der einmalig vergebenen Identifikationsnummer pro Gerät können weitere Daten zur Information aus der Datenbank abgerufen werden. Die Angaben sind aufgeteilt in gerätebezogene Daten (Gewicht, Größe, Energieverbrauch, Anschlüsse etc.) und Literaturdaten. Allgemeine Literaturdaten werden anhand des oben beschriebenen Schlüssels zur Aufgabendefinition ausgewählt; gerätespezifische Literaturangaben werden anhand der Identifikationsnummer der Meßgeräte selektiert.

3.3 Ablauf einer Befragung

Das im Informationssystem implementierte Wissen über meßtechnische Aufgabenstellungen sowie die gespeicherten Daten über Meßgeräte und Adressen sind für den Anwender des

Informationssystem einfach abrufbar. In einem menügeführten Dialog zwischen Anwender und Informationssystem wird die Meßaufgabe definiert. Die Integration eines Expertensystems in das Informationssystem hat den wesentlichen Vorteil, daß bereits umfangreiches Wissen implementiert ist, das nicht mehr vom Anwender einzugeben ist. Damit reduziert sich der Aufwand für die Befragung des Anwenders ganz erheblich. Es ist ausreichend, wenn die Meßaufgabe (z.B. Emissionsmessung), die Meßgröße (z.B. Gesamtstaub) und die betriebene Anlage (z.B. Zementwerk) vorgegeben werden. In der Wissensbasis des Informationssystems sind bereits die geltenden Grenzwerte und eventuelle Sonderregelungen für die betrachtete Anlage hinterlegt. Darüberhinaus sind auch Standardbetriebsbedingungen und Abgasparameter der Anlage enthalten.

Im folgenden wird der Ablauf einer Konsultation des Informationssystems zur Umweltmeßtechnik demonstriert. Die Abbildungen und Antworten des Systems entsprechen dem Erscheinungsbild und der Arbeitsweise des real ausgeführten Prototypen.

Eine Fragestellung an das Informationssystem zur Umweltmeßtechnik kann z.B. sein: "Welche Meßgeräte sind geeignet zur Bestimmung des Staubgehaltes in den Abgasen von Zementwerken?"

Im ersten Bildschirmmenü des Informationssystems (s. Abb. 9) hat der Anwender die Wahl zwischen drei Hauptthemen: Arbeitsplatz-, Emissions- und Immissionsmessungen. Zur Zeit ist in dem Prototyp der Punkt "2. Emissionsmessungen" mit Wissen und Daten hinterlegt. Mit Hilfe der Pfeiltasten auf der PC-Tastatur steuert der Benutzer diesen Punkt an und wählt ihn mit der Return Taste aus.

Es erscheint das zweite Bildschirmmenü zur Konkretisierung der Aufgabenstellung. Die in der Abbildung 10 aufgeführten vier Punkte (1. Überprüfung der Grenzwerte etc.) können mit Hilfe der Pfeiltasten verschoben werden, so daß weitere Auswahlpunkte dem Benutzer angeboten werden. Im folgenden wird davon ausgegangen, daß der Benutzer in Anlehnung an obige Fragestellung den Punkt "4. Auswahl eignungsgeprüfter kontinuierlich messender Monitore" auswählt.

Im dritten Bildschirmmenü wird das Meßobjekt, für das der geeignete Monitor ausgewählt werden soll, durch den Benutzer vorgegeben. In diesem Fall ist es der Punkt "1. Gesamtstaub". Des weiteren stehen die wichtigsten Gaskomponenten und Abgasrandbedingungen, wie z.B. Feuchte und Sauerstoffgehalt, durch Verschieben des Bildschirmausschnitts zur Auswahl (s. Abb. 11).

Die beiden folgenden Bildschirmmenüs (s. Abb. 12 und 13) sind gegliedert in Anlehnung an die 4. BImSchV, welche die genehmigungsbedürftigen Anlagen auflistet. Der Anwender identifiziert

die von ihm betriebene Anlage, in dem er zuerst die Branche und anschließend die betrachtete Anlage auswählt.

Die bisher gestellten Fragen sind von Anwendern zu beantworten, die keine Fachleute auf dem Gebiet der Meßtechnik sind. Das System zeigt dem Anwender in Abhängigkeit der Antworten und dem in der Wissensbasis gespeicherten Wissen die Standardbetriebsparameter der Anlage, die gesetzlich festgelegten Grenzwerte und die zu überwachenden Quellen an (s. Abb. 14). Der Anwender hat an diesem Punkt die Möglichkeit z.B. die Abgasparameter (Temperatur, Wassertaupunkt etc.) der betrachteten Anlage einzugeben, wenn diese von den Standardwerten stark abweichen.

Das Expertensystem bildet aus den Vorgaben des Anwenders die Abfrage an die Datenbank. Hierbei ist es prinzipiell unerheblich, ob sich die Datenbank lokal auf dem Computer befindet der das Expertensystem beherbergt oder über eine Vernetzung angesprochen wird. Die ausgewählten Geräte, hier zur Staubmessung, werden mit ihren Attributen (Name, Hersteller, Meßprinzip, Meßbereich, Eignungsprüfung, zulässige Abgastemperatur, ... usw.) in die Wissensbasis des Expertensystems geladen. Aus der Aufgabenstellung folgend, werden in diesem Beispiel alle eignungsgeprüften kontinuierlich messenden Staubmonitore angezeigt (s. Abb. 15). Neben den Hersteller- und Gerätenamen werden der für Emissionsmessungen wichtige kleinste Meßbereich einschließlich der zugehörigen Einheit sowie die Art der Probenahme aufgelistet.

Aus den Vorgaben des Anwenders und unter Berücksichtigung des in der Wissensbasis gespeicherten Wissens zur Meßtechnik erfolgt die Auswahl der geeigneten Geräte. Diese werden dem Anwender angezeigt mit den Angaben der Hersteller- und Gerätenamen, dem verwendeten Meßprinzip und der Art der Probenahme (s. Abb 16). Des weiteren werden insbesondere die Daten der Eignungsprüfung für die betrachtete Anlage aufgeführt. Dazu gehören der kleinste geprüfte Meßbereich, das Prüfinstitut, die Prüfberichtsnummer sowie zu beachtende Einschränkungen des Einsatzbereiches des Gerätes (s. Abb 17). Zum Abschluß werden Hinweise auf Fachliteratur gegeben, in der die ausgewählten Geräte beschrieben und meßtechnische Aspekte der betrachteten Anlage behandelt werden; des weiteren Angaben zu den relevanten Gesetzen, Verordnungen, Richtlinien und Normen (s. Abb 18).

Durch das Informationssystem erhält der Anwender sowohl eine Liste der für die Meßaufgabe geeigneten Geräte als auch weitere Hinweise über Gerätehersteller und Vertriebe sowie Literaturquellen, um den Wissensstand zum betrachteten Thema zu erweitern und zu vertiefen.

4 Ausblick

Die Rentabilität einer meßtechnischen Maßnahme hängt wesentlich von der richtigen Auswahl und dem problemgerechten Einsatz eines Meßgeräts sowie der detaillierten Meßplanung ab. An diesem Punkt setzt das Informationssystem zur Umweltmeßtechnik an. Mit den von Fachleuten erarbeiteten Regeln zur Umweltmeßtechnik, die in der Wissensbasis gespeichert sind, ist der Prototyp des Informationssystems in der Lage dem Anwender die gewünschten Antworten zu liefern. Dazu gehören:

- Standardbetriebsbedingungen und Abgasparameter von Industrieanlagen,
- geltende Grenzwerte,
- zu beachtende Gesetze und Verordnungen,
- Meßgeräte, die eingesetzt werden können, bzw. dürfen,
- Adressen von Herstellern und Vertrieben,
- Literaturhinweise zu Meßgeräten, Meßtechnik und anlagenspezifischen Problemen.

Ein über den gegenwärtigen Status eines Prototypen hinausgehendes, um weitere Meßaufgaben und Daten erweitertes Informationssystem zur Umweltmeßtechnik, stellt dem Anwender sehr schnell den Zugang zu benötigten Daten und Informationen zur Verfügung. Das Informationssystem liefert spezifische Informationen zu unterschiedlichen Meßaufgaben. Die individuelle Beratung durch den Experten kann in Einzelfällen nicht vollständig ersetzt werden, der Nutzer erhält jedoch eine fundierte Vorbereitung auf eine solche Beratung.

Der Zugriff auf ein Informationssystem, das von vielen Firmen unterschiedlicher Branchen genutzt und getragen wird, ermöglicht dem einzelnen Unternehmen eine gezielte und dadurch kostensparende Informationsbeschaffung. Insbesondere im Zuge der europäischen Harmonisierung ist es auch für Fachleute, wie Meßgerätehersteller, Anlagenbauer, Berater und Gutachter sowie Betreiber von Meßinstituten, immer schwieriger und aufwendiger den Überblick über das europaweite Angebot an Umweltmeßtechnik zu behalten ebenso über die europäische Gesetzgebung, Richtlinien und Normen. Speziell bei dieser Interessengruppe existiert ein großer Bedarf an umfassender und schneller Informationsbeschaffung zur Erhöhung der Bearbeitungsgeschwindigkeit von Aufträgen.

5 Zusammenfassung

Der Erfolg einer meßtechnischen Maßnahme in bezug auf Qualität und Rentabilität hängt wesentlich von der richtigen Auswahl und dem problemgerechten Einsatz der Meßgeräte sowie der detaillierten Meßplanung ab. Die Auswahl einer Meßeinrichtung muß sich an den speziellen

Anforderungen der jeweiligen Meßaufgabe orientieren. Um fundierte Entscheidungen treffen zu können, ist es notwendig die vorhandenen Informationen über das Meßproblem, die meßtechnische Vorgehensweise und die in Frage kommenden Meßgeräte aufzuarbeiten. Je nach Fachkenntnis und Effektivität der Informationsbeschaffung muß die Informationsbasis erweitert und vertieft werden. In großen Unternehmen kann häufig auf Fachwissen von Mitarbeitern zurückgegriffen werden und es stehen teilweise Fachbibliotheken mit entsprechenden Suchmöglichkeiten zur Verfügung, so daß der Kenntnisstand zu Beginn der Suche schon hoch ist. Mitarbeiter in kleinen und mittleren Unternehmen, denen nicht diese Möglichkeiten zur Verfügung stehen, sind ganz besonders auf fachliche und schnelle Informationsbeschaffung angewiesen.

Informationsbeschaffung durch Benutzung von Datenbanken, deren Dienste im umfangreichen Maße kommerziell angeboten werden, ist jedoch mit einigen Schwierigkeiten und Problemen bei der Formulierung und Auswertung einer Abfrage verbunden. Abhilfe kann hier der Einsatz eines Expertensystems schaffen, das im Dialog mit dem Anwender das Ziel der Datenbankabfrage ermittelt, die Abfrage formuliert und die erhaltenen Daten interpretiert.

Im Rahmen des Projektes wurde durch die Kopplung von Expertensystem und Datenbank ein Informationssystem, am begrenzt ausgeführten Beispiel des Prototypen eines Informationssystems zur Umweltmeßtechnik, entwickelt. Es wurden Strukturen erstellt zur Integration der Wissensbasen zur Umweltmeßtechnik. Konkret ausgeführt wurden Dateien und Wissensbasen zur Auswahl von Staubmeßgeräten für Emissionsmessungen unter besonderer Berücksichtigung der Betriebszustände in Industrieanlagen der Branche Steine und Erden, Glas, Keramik, Baustoffe. Aufgrund des modularen Aufbaus kann der Prototyp um zusätzliche Themengebiete der Umweltmeßtechnik erweitert werden. Darüberhinaus besteht die Möglichkeit, den Prototyp als Vorlage für ähnliche Fragestellungen zu nutzen.

Der Einsatz eines Informationssystems zur Auswahl problemangepaßter Umweltmeßtechnik reduziert den notwendigen Aufwand zur Problemlösung erheblich. Durch die kontinuierliche Aktualisierung von Daten- und Wissensbasis wird der aktuelle Stand der Technik erfaßt und die Qualität und Aussagefähigkeit der Meßergebnisse erhöht. Daraus resultierende Optimierungen von Prozessen und verfahrenstechnischen Umweltschutzmaßnahmen führen letztlich zu einer Reduzierung der Betriebskosten. Durch den Zugriff auf das Informationssystem von unterschiedlichen Interessengruppen wird eine gemeinsame Informationsbasis und Diskussionsgrundlage für alle Beteiligten geschaffen.

Zielgruppe für die Nutzung des Informationssystems sind Anlagenbetreiber (Eigenüberwachung und Optimierung der Prozeßführung), Anlagenbauer (Auswahl der Meßtechnik für Gewährleistungsmessungen), Berater und Gutachter sowie Betreiber von Meßinstituten (schnelle Informationsbeschaffung und Beurteilung von anwenderspezifischen Meßaufgaben).

6 Literaturverzeichnis

- [1] 4. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen - 4. BImSchV vom 15.7.1988, BGBl. I, S. 1059f
- [2] 13. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. Verordnung über Großfeuerungsanlagen - 13. BImSchV vom 22.6.1983, BGBl. I, S. 718f
- [3] 17. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. Verordnung über Verbrennungsanlagen für Abfälle und ähnliche brennbare Stoffe - 17. BImSchV vom 23.11.1990, BGBl. I, S. 2545, 2832
- [4] Baum, G.R.; Grenzwertfindung im Umweltschutz aus politischer Sicht, VDI-Berichte 832, Tagung Köln vom 6. bis 7. November 1990, S. 31-42
- [5] Baumbacher G., Luftreinhaltung, Springer-Verlag, Berlin, 1993
- [6] Bekanntmachung über das Inkrafttreten des Übereinkommens über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung vom 25.7.1983, BGBl. II, S. 548
- [7] Birkle, M.; Meßtechnik für den Umweltschutz, Vom Meßgerät zum Umweltinformationssystem, Technische Rundschau, Heft 8, 1992, S. 42-44
- [8] Bühne, K.W.; Verfahren zur kontinuierlichen Emissionsmessung geringer Staubgehalte, VDI-Berichte 87, VDI-Kommission Reinhaltung der Luft, Kolloquium Heidelberg 17.-19. September 1986. Aktuelle Aufgaben der Meßtechnik in der Luftreinhaltung, 1987, S. 279-300
- [9] Bühne, K.W.; Schenk, H.; Bresser, H.; Überlegungen zur Planung und Bewertung von stichprobenartigen Emissionsmessungen, Staub-Reinhaltung der Luft, 48, 1988, S. 405-409
- [10] Bühne, K.W.; Jockel, W.; Neuartiges Konzept zur automatisierten Probenahme staubförmiger Stoffe bei Stichprobenmessungen, Staub-Reinhaltung der Luft, 51, 1991, S. 433-438
- [11] Buchholz, N.; Grundlagen zur Kennzeichnung vollständiger Meßverfahren, VDI-Berichte 608, Tagung Heidelberg vom 17. bis 19. September 1986, S. 91-92
- [12] Bürkholz, A.; Untersuchungen zum Meßfehler bei nichtisokinetischer Entnahme, Teil 1, Staub-Reinhaltung der Luft, 51, 1991, S. 395-400

- [13] Bürkholz, A.; Untersuchungen zum Meßfehler bei nichtisokinetischer Entnahme, Teil 2, Staub-Reinhaltung der Luft, 51, 1991, S. 439-443
- [14] Bruckmann, P.; Problematik des meßtechnischen Nachweises der Einhaltung von Grenzwerten, VDI-Berichte 832, Tagung Köln vom 6. bis 7. November 1990, S. 57-79
- [15] Davids, P.; Emissionsbegrenzungen im Bereich der Luftreinhaltung - Bedarf, Ausgestaltung, Bewertung, VDI-Berichte 832, Tagung Köln vom 6. bis 7. November 1990, S. 81-102
- [16] Eignung von Meßeinrichtungen zur kontinuierlichen Überwachung von Emissionen, Rd.Schr. des BMU, GMBI. 1990 Nr.12, S.230-245, GMBI. 1990 Nr.20 S. 399f., GMBI. 1991 Nr.16 S. 470.
- [17] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung des Bundes-Immissionschutzgesetzes (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA Luft) vom 27.2.1986, GMBI., S. 95-202
- [18] Fischer, R.; PC-Expertensystem, Markt & Technik Verlag, Haar bei München, 1989
- [19] Fissan H., Trampe A., Datenbankunterstützte Auswahl von Meßeinrichtungen, Tagungsband zum Workshop Qualitätssicherung, Leipzig 20.3.1991
- [20] Gesetz zu dem Übereinkommen vom 13. November 1979 über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung vom 29.3.1982, BGBl. II, S. 373
- [21] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG) vom 15.3.1974, BGBl. I, S. 721, ber. S. 1193, in der Fassung vom 29.11.1986, BGBl. I, S. 2089
- [22] Gesetz zu dem Übereinkommen vom 22. März 1985 zum Schutz der Ozonschicht vom 26.9.1988, BGBl. II, S. 901
- [23] Hartkamp, H.; Meßplanung - Vermittlung zwischen Anspruch und Wirklichkeit, VDI-Berichte 608, Tagung Heidelberg vom 17. bis 19. September 1986, S. 91-92
- [24] Geueke, K.J.; Emissionsmessungen - Aufgaben, Struktur, Durchführung - , UTA, 6, 1992, S. 354-358

- [25] Informationsblatt "DETEQ Bezugsquellen für die Umwelttechnik" des FIZ Chemie, Berlin; Datenbank der Deutschen Gesellschaft für chemisches Apparatewesen Chemische Technik und Biotechnologie e.V., Frankfurt.
- [26] Junker, A.; Grenzwertüberwachung aus betrieblicher Sicht, VDI-Berichte 832, Tagung Köln vom 6. bis 7. November 1990, S. 233-248
- [27] Karbach, W.; Linster, M.; Wissensakquisition für Expertensysteme, Techniken, Modelle und Softwarewerkzeuge, Carl Hanser Verlag, München, 1990
- [28] Kroboth, K.; Kuhlmann, K.; Xeller, H.; Stand der Technik der Emissionsminderung in Europa, Zement-Kalk-Gips, Nr. 3, 1990, S. 121-131
- [29] Kuhlmann, K.; Kuck, U.; Kontinuierliche Emissionsmessungen in Zementwerken, Zement-Kalk-Gips, Heft 6, 1988, S. 300-304
- [30] Kutscheidt, E.; Anforderungen an die Grenzwertdefinition und -ermittlung aus der Sicht der Verwaltungsgerichtspraxis, VDI-Berichte 832, Tagung Köln vom 6. bis 7. November 1990, S. 43-55
- [31] Linnenkamp, R.; Grenzwertüberwachung aus behördlicher Sicht, VDI-Berichte 832, Tagung Köln vom 6. bis 7. November 1990, S. 217-232
- [32] Lützke, K.; Leitlinien zur Messung und Bewertung von Emissionen, VDI-Berichte 608, Tagung Heidelberg vom 17. bis 19. September 1986, S. 113-138
- [33] Matner H.-J., Informationszentrum für Umweltmeßtechnik, cogito 3-1990, S. 36; Datenbank des Informationszentrums Umweltmeßtechnik DAFID, Syke.
- [34] Minsky, M.; A Framework for Representing Knowledge, Winston, 1975
- [35] Nexus Gesellschaft für wissensverarbeitende Systeme mbH, Technologie Park Dortmund, Martin-Schmeisser-Weg 12, 44227 Dortmund
- [36] Oracle Deutschland GmbH Niederlassung Düsseldorf, Paul-Thomas-Straße 56, 40599 Düsseldorf
- [37] Plass L., Die Industrie als Partner für Energie- und Umwelttechnik in den östlichen Bundesländern, Staub-Reinhaltung der Luft 52 (1992), S.23-29.

- [38] Pütz, M.; Bruckmann, P.; Meßtechnische Überwachung von Emissionen - wirksames Instrument der Schadstoffüberwachung?, Umwelt-Special, März, 1993, S. L44-L53
- [39] Rautenstrauch, C., Moazzami, M.; Effiziente Systementwicklung mit Oracle, Addison Wesley GmbH, 1989
- [40] Remus A., Informationssysteme spüren viele Umweltprobleme auf, VDI-Nachrichten, Nr. 21 vom 28.5.1993
- [41] Renker, K.; Informationssysteme Datenbanken, Verlag Dr. Max Gehlen, 1988
- [42] Richtlinie des Rates vom 28.6.1984 zur Bekämpfung der Luftverunreinigung durch Industrieanlagen (84/360 EWG), Amtsblatt der EG vom 16.7.1984, Nr. L 188/20
- [43] Richtlinie des Rates vom 7.3.1985 über Luftqualitätsnormen für Stickstoffdioxid (85/203/EWG), Amtsblatt der EG, Nr. L 87/1 (1985)
- [44] Riehl, E.; Automatische Probenahme zur Staubmessung in strömenden Gasen, Staub-Reinhaltung der Luft, 49, 1989, S. 107-111
- [45] Schäfer, G.; Datenstrukturen und Datenbanken, Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig, 1989
- [46] Schulze R., Datenbank hilft bei der Suche nach der richtigen Umwelttechnik, VDI-Nachrichten, Nr. 47 vom 26.9.1993
- [47] VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft, Berlin, Köln: Beuth, wird fortlaufend mit neuen Richtlinien ergänzt
- [48] VDI-Richtlinie 2066, Blatt 1 bis 8, Messen von Partikeln
- [49] VDI-Richtlinie 2448, Blatt 1, Oktober 1990: Planung von stichprobenartigen Emissionsmessungen an geführten Quellen
- [50] VDI-Richtlinie 2450, Blatt 2, September 1977: Messen von Emissionen, Transmission und Immission luftverunreinigender Stoffe; Meßplanung; Grundlagen
- [51] Wagner, M.; Definition von Grenz-, Richt- und Anhaltswerten, VDI-Berichte 832, Tagung Köln vom 6. bis 7. November 1990, S. 11-29

- [52] Xeller, H.; Messen und Verarbeiten von umweltrelevanten Daten, Zement-Kalk-Gips, Nr. 1, 1994, S. 13-23
- [53] Zehnder, C.A.; Informationssysteme und Datenbanken, Verlag der Fachvereine an den Schweizerischen Hochschulen und Techniken, Zürich, 1981
- [54] Zenit-Info Sonderausgabe Umwelttechnik und Umweltmanagement, S.11, Zenit GmbH, Mülheim a. d. Ruhr.

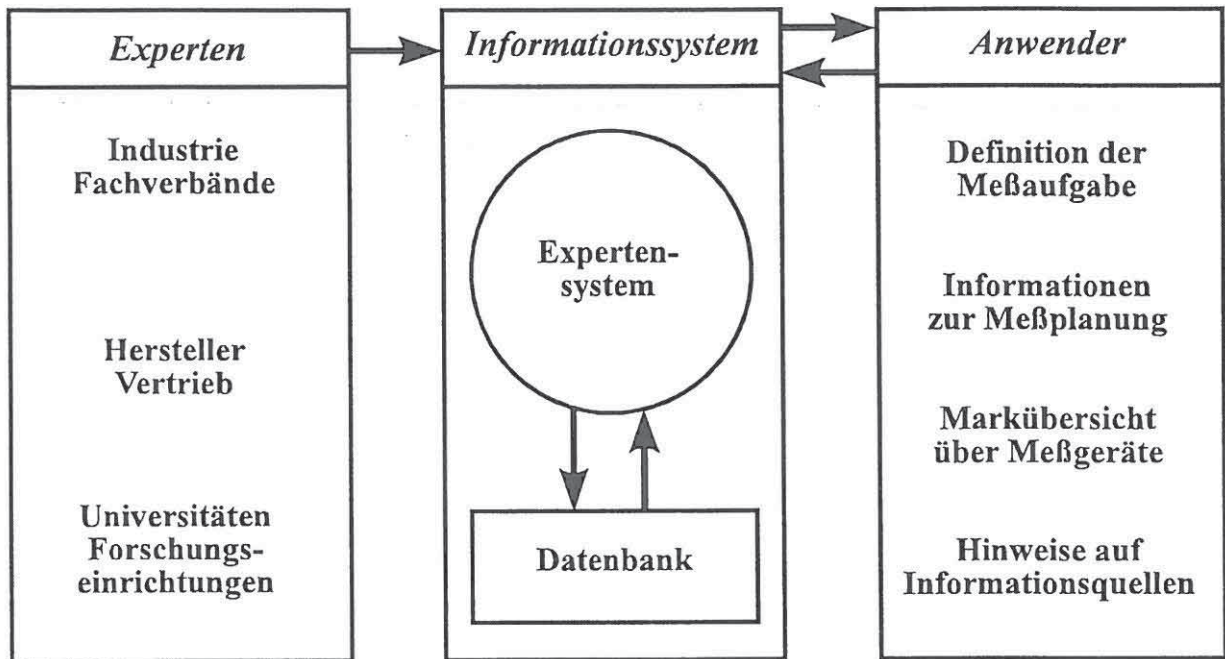


Abbildung 1 Lösungskonzept: Informationssystem zur Umweltmeßtechnik

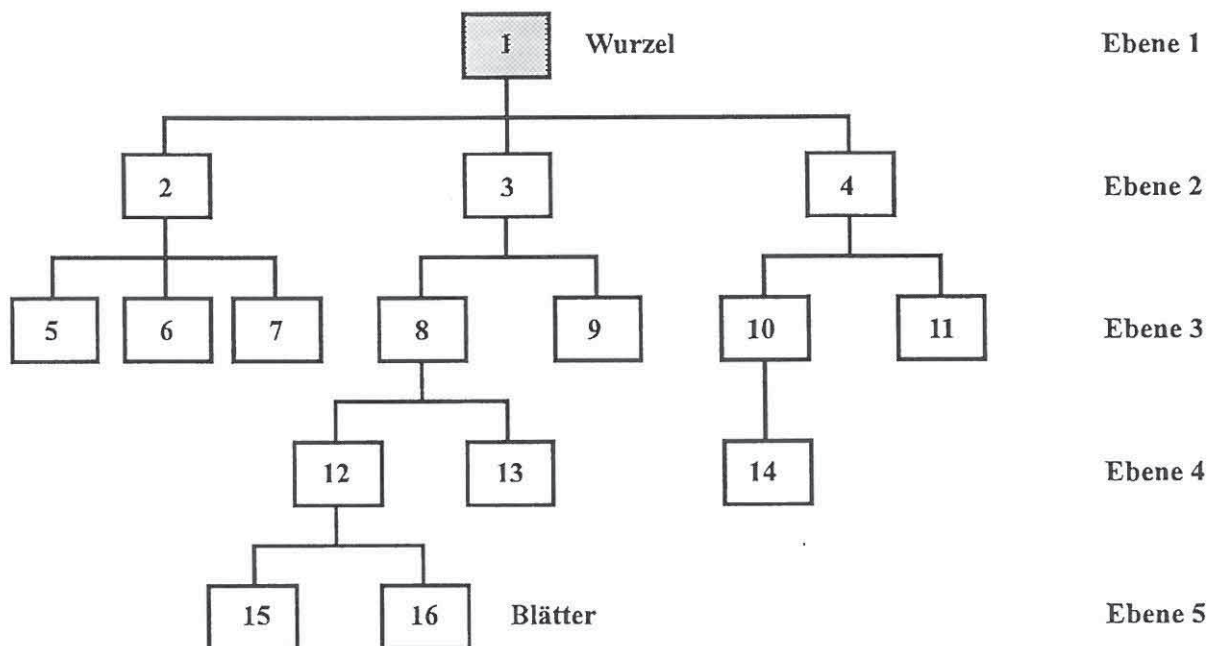


Abbildung 2 Baumstruktur

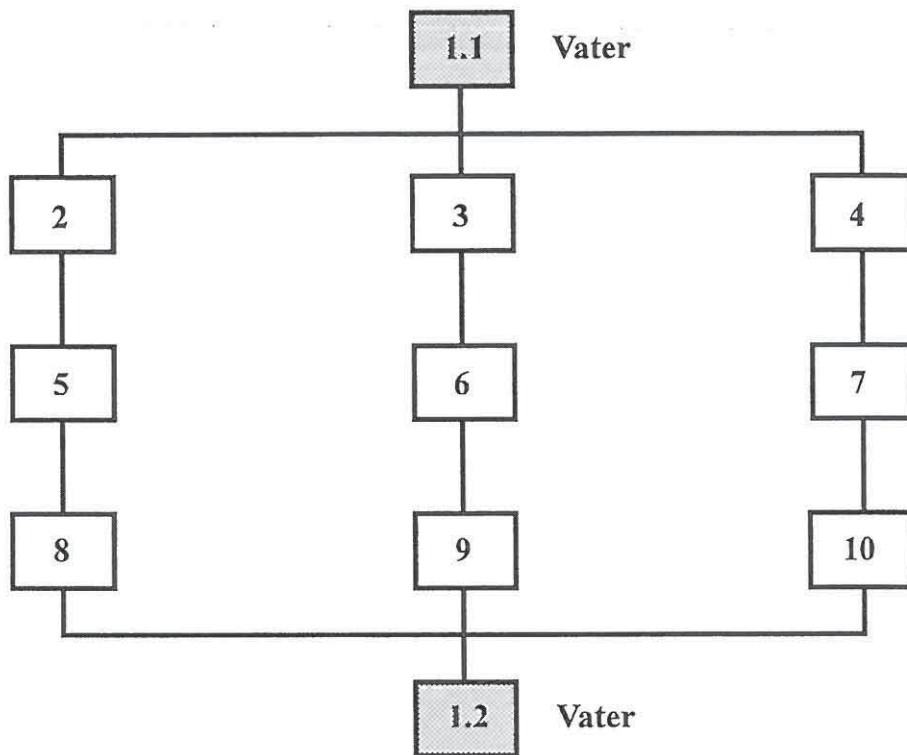


Abbildung 3 Netzstruktur

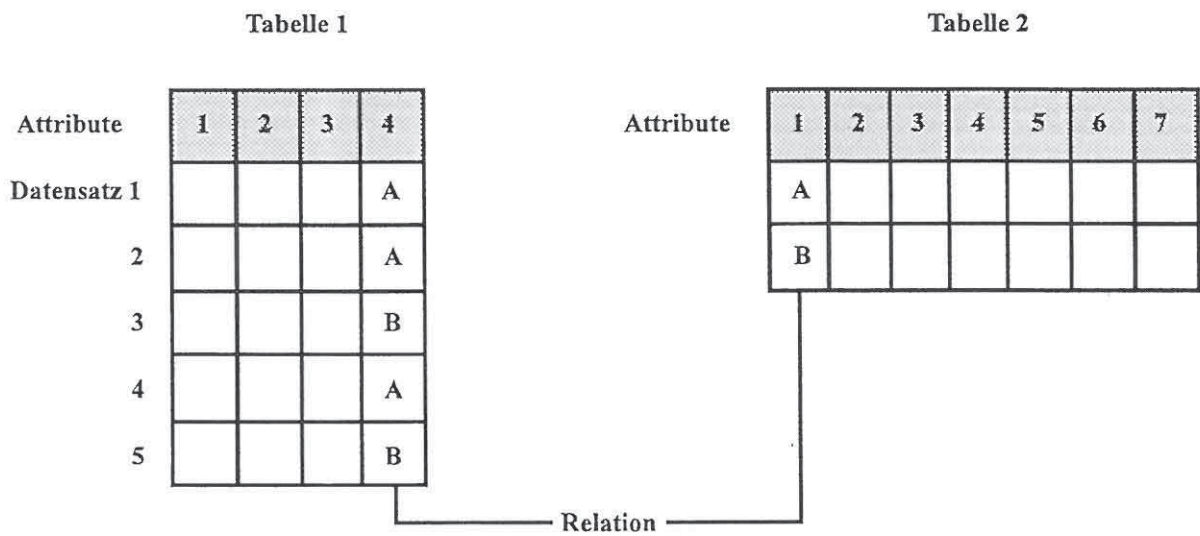


Abbildung 4 Relationale Datenbankstruktur

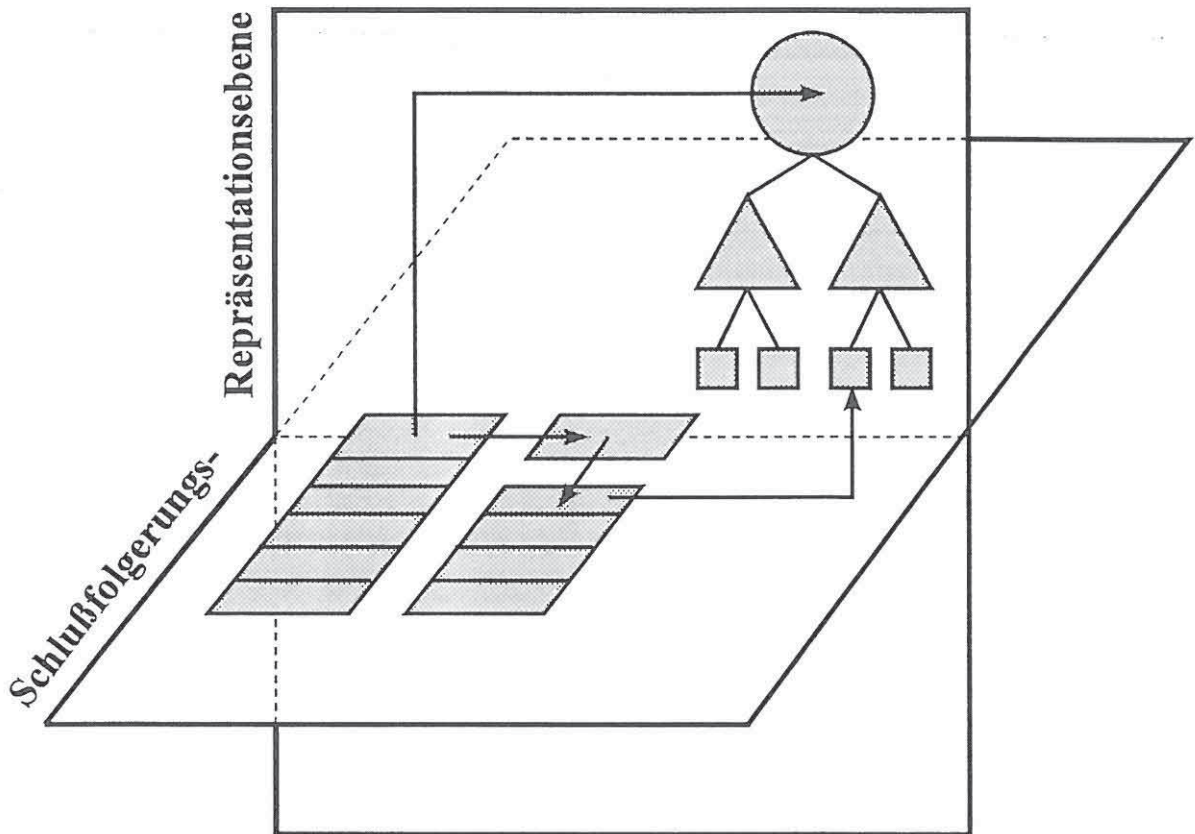
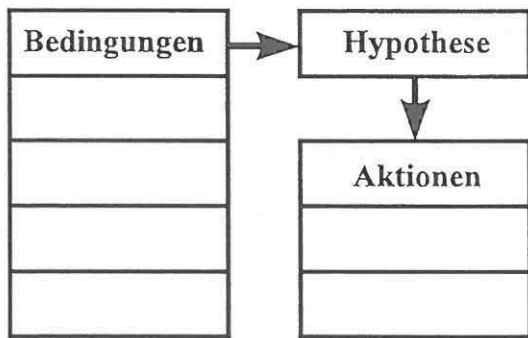


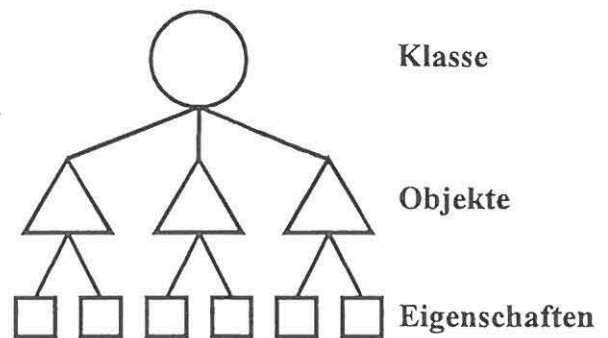
Abbildung 5 Schlußfolgerungs- und Repräsentationsebene

Entwicklung und Formulierung von Regeln



"Schlußfolgerungsebene"

Beschreibung der realen Welt, in der die Regeln angewendet werden



"Repräsentationsebene"

Abbildung 6 Regeln und Objekte

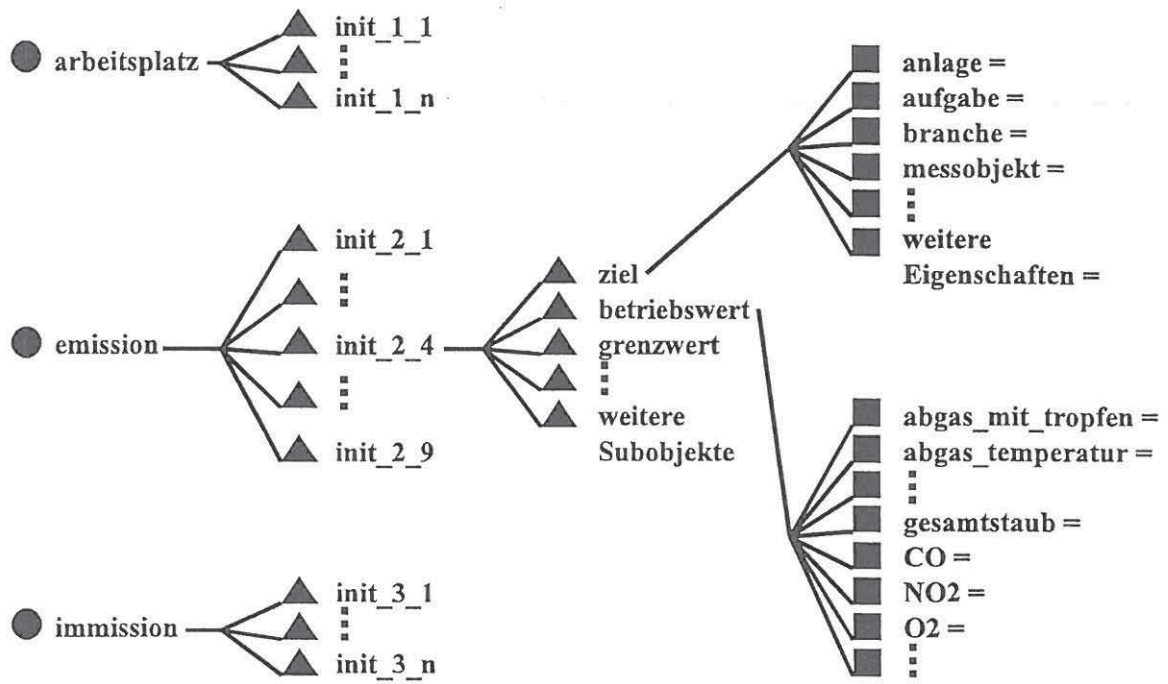


Abbildung 7 Systeminitialisierung

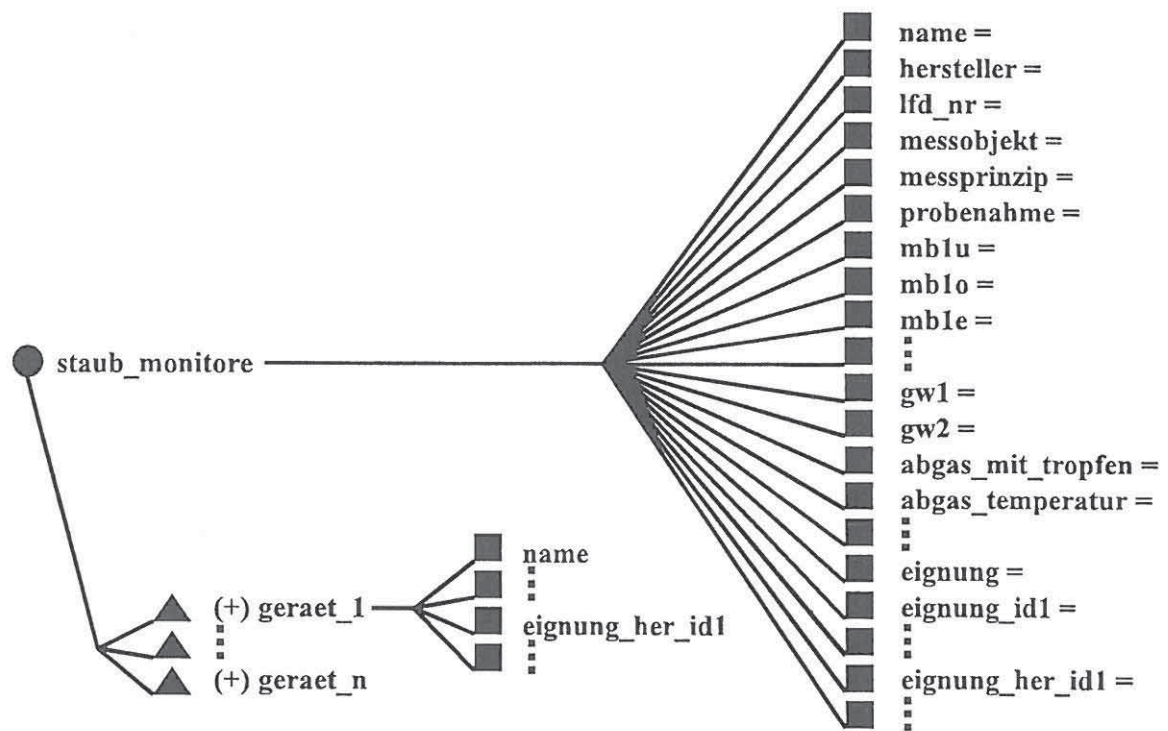


Abbildung 8 Struktur der Klasse "staub_monitore"

Informationssystem zur Umweltmeßtechnik

Bitte wählen Sie ein Thema

1. Arbeitsplatzmessungen
2. Emissionsmessungen
3. Immissionsmessungen

Ihre Wahl:

2. Emissionsmessungen

Auswahl > Pfeiltasten Bestätigen > RETURN Ändern > F2

Abbildung 9 Bildschirmenü 1

Informationssystem zur Umweltmeßtechnik

Bitte wählen Sie ein Thema

1. Überprüfung der Grenzwerte
2. Messung zur Emissionserklärung
3. Kalibrierung kontinuierlich messender Monitore
4. Auswahl eignungsgeprüfter kontinuierlich messender Monitore

Ihre Wahl:

4. Auswahl eignungsgeprüfter kontinuierlich messender Monitore

Auswahl > Pfeiltasten Bestätigen > RETURN Ändern > F2

Abbildung 10 Bildschirmenü 2

Informationssystem zur Umweltmeßtechnik

Bitte wählen Sie ein Meßobjekt

1.	Gesamtstaub	
2.	Chlorverbindungen	R-CL
3.	Fluorverbindungen	R-F
4.	Kohlenmonoxid	CO

Ihre Wahl:

1. Gesamtstaub

Auswahl > Pfeiltasten Bestätigen > RETURN Ändern > F2

Abbildung 11 Bildschirmmenü 3

Informationssystem zur Umweltmeßtechnik

Wählen Sie Ihre Branche

1.	Wärmeerzeugung, Bergbau, Energie
2.	Steine und Erden, Glas, Keramik, Baustoffe
3.	Stahl, Eisen und sonstige Metalle einschließlich Verarbeitung
4.	Chemische Erzeugnisse, Arzneimittel, Mineralraffination und Weiterverarbeitung

Ihre Wahl:

2. Steine und Erden, Glas, Keramik, Baustoffe

Auswahl > Pfeiltasten Bestätigen > RETURN Ändern > F2

Abbildung 12 Bildschirmmenü 4

Informationssystem zur Umwelteptechnik

Wählen Sie Ihre Anlage

1. Steinbrüche, in denen Sprengstoffe oder Flammstrahler verwendet werden
2. Anlagen zum Brechen, Mahlen oder Klassieren von natürlichen oder künstlichem Gestein einschließlich Schlacke und Abbruchmaterial, ausgenommen Klassieranlagen für Sand oder Kies und Anlagen zur Behandlung von Abbruchmaterial am Entstehungsort
3. Anlagen zur Herstellung von Zementklinker oder Zementen

Ihre Wahl:

3. Anlagen zur Herstellung von Zementklinker oder Zementen

Auswahl > Pfeiltasten Bestätigen > RETURN Ändern > F2

Abbildung 13 Bildschirmmenü 5

Informationssystem zur Umwelteptechnik

Anlagen zur Herstellung von Zementklinker oder Zementen

Drehofen mit Zyklonvorwärmer und Abgasverwertung

	Betriebsparameter (Standardwerte)	
mittlere Kapazität	1700.00 t/d	(1700.00 t/d)
spez. Abgasvolumen	2.30 m ³ /kg	(2.10- 2.50 m ³ /kg)
Abgastemperatur	150.00 °C	(90.00-150.00 °C)
Wassertaupunkt	50.00 °C	(45.00- 60.00 °C)
Reingasstaubkonzentration	30.00 mg/m ³	(30.00- 40.00 mg/m ³)
Grenzwert "Staub"	50.00 mg/m ³	

Kontinuierlich zu überwachende Quellen:

Öfen:	quantitative Messung, immer	
Klinkerkühler:	quantitative Messung, für Staubmassenstrom	> 5 kg/h
und Mühlen	qualitative Messung, für	" 2-5 kg/h
	keine Messung, für	" < 2 kg/h

Eingabe > Ziffernblock Bestätigen > RETURN

Abbildung 14 Bildschirmmenü 6

Informationssystem zur Umweltmeßtechnik					
Eignungsgeprüfte Staubmeßgeräte zur kontinuierlichen quantitativen Überwachung:					
Hersteller	Name	kleinster Meßbereich			Probenahme
		von	bis	Einheit	
Becker	LPS-E	1.00	15.00	mg/m ³	Extraktiv
Durag	D-R 280-10	0.00	0.10	Extinktion	In Situ
Durag	D-R300-40	0.00	2.00	mg/m ³	In Situ
H&B	Intrans D	0.00	0.05	Extinktion	In Situ
Sick	GM 21	0.00	0.10	Extinktion	In Situ
Sick	GM 30	0.00	0.10	Extinktion	In Situ
Sick	RM 41-03	0.00	0.10	Extinktion	In Situ
Sick	RM200	0.00	0.50	mg/m ³	In Situ
Sigrist	KTN	0.00	0.10	mg/m ³ PLA	Extraktiv
Sigrist	KTNR	0.00	0.10	mg/m ³ PLA	Extraktiv
Sigrist	KTNRM	0.00	0.10	mg/m ³ PLA	Extraktiv
TIS	FH 62 E-NA	0.01	15.00	mg/m ³	Extraktiv
Verewa	F-904	0.00	5.00	mg/m ³	Extraktiv

Weiter > RETURN Scrollen > Pfeiltasten

Abbildung 15 Bildschirmmenü 7

Informationssystem zur Umweltmeßtechnik			
Geräte, die prinzipiell den Anforderungen genügen:			
Hersteller	Name	Meßprinzip	Probenahme
Durag	D-R 280-10	Transmission	In Situ
H+B	Intrans D	Transmission	In Situ
Sick	GM 21	Transmission	In Situ
Sick	GM 30	Transmission	In Situ
Sick	RM 41-03	Transmission	In Situ

Weiter > RETURN Scrollen > Pfeiltasten

Abbildung 16 Bildschirmmenü 8

Informationssystem zur Umweltmeßtechnik

Geräte, die eignungsgeprüft sind für die betrachtete Anlage:

Hersteller: Sick
Gerät: GM 21
Meßobjekt: Staub
Kleinster geprüfter Meßbereich: 0-0.9 und 0-0.18 Extinktion
Prüfbericht:
Rheinisch-Westfälischer TÜV Nr 4.2.2/1083/77-333161/00
vom 15.12.1980 und Nr 4.2.2/1083/77-331889/00 vom 3.9.1980
und Nr 3.5.2/258/88 vom 9.8.1990
Einschränkungen:
Im Bereich der Meßstelle darf keine Taupunktunterschreitung
auftreten

Hersteller: Sick
Gerät: GM 30
Meßobjekt: Staub
Kleinster geprüfter Meßbereich: 0-0.18 Extinktion

Weiter > RETURN Scrollen > Pfeiltasten

Abbildung 17 Bildschirmmenü 9

Informationssystem zur Umweltmeßtechnik

Literaturhinweise für den Bereich:

Anlagen zur Herstellung von Zementklinker oder Zementen

* Fachliteratur,
in der die ausgewählten Geräte beschrieben werden:

· Hersteller: Durag
Gerät: D-R 280-10

Bühne, K.W.
Verfahren zur kontinuierlichen Emissionsmessung geringer
Staubgehalte, VDI-Berichte'87 VDI-Kommission Reinhaltung der Luft
Kolloquium Heidelberg 17.-19.September 1986. Aktuelle Aufgaben der
Meßtechnik in der Luftreinhaltung, 1987, S. 279-300

Hersteller: H&B
Gerät: Intrans D

Weiter > RETURN Scrollen > Pfeiltasten

Abbildung 18 Bildschirmmenü 10