



SaarTro GbR Zu den Pottaschwiesen 12 D-66386 St. Ingbert

## **Moderne Bauwerksdiagnostik Vom Klimaschreiber zum Bodenradar**

### **Vorwort**

In den letzten Jahren hat sich eine rasche Entwicklung der Meßtechnik im Bauwesen vollzogen. Teilweise aus der Militär- und Medizintechnologie übernommen, bieten zerstörungsfreie bzw. invasive Meß- und Inspektionsverfahren heute vielfältige Lösungsansätze bei der Qualitätskontrolle von Bauleistungen und zur Diagnose von Bauschäden, z.B. bei der Ortung von Durchfeuchtungsursachen. Großflächige und teure Zerstörungen können hierbei vermieden werden. Die Verfahren sind schnell anwendbar und liefern gut reproduzierbare Ergebnisse. Erfahrene Bauwerksdiagnostiker wenden meist mehrere Verfahren in Kombination an und erzielen hierdurch eine deutlich erhöhte Diagnosesicherheit.



## **Inhalt**

1. Kurzeinführung in die technischen Merkmale der Meßverfahren
  - 1.1. Feuchtigkeitsmeßverfahren
  - 1.2. Radiometrie
  - 1.3. Mikrowellen-Meßverfahren
  - 1.4. Thermographie
  - 1.5. Akustische Meßverfahren
  - 1.6. Leitungsortungsverfahren
  - 1.7. Endoskopie, Videoskopie, Optoelektronik
  - 1.8. Tracer-Gasverfahren
  - 1.9. Rauchgasverfahren
  - 1.10. Potentialdifferenzmessung
  - 1.11. Massenspektrometer
  - 1.12. Bauwerks-Radar
  
2. Anwendungsgebiete, Fallbeispiele
  - 2.1. Hochbau
    - 2.1.1. Flachdach
      - 2.1.1.1. Zustandsanalysen
      - 2.1.1.2. Leckageortung
    - 2.1.2. Haustechnische Installation
    - 2.1.3. Kondensatschäden
    - 2.1.4. Fassaden- und Fugeninspektion
    - 2.1.5. Erdberührende Bauteilen
    - 2.1.6. Kellerwände
    - 2.1.7. Betonböden
    - 2.1.8. Rohre, Kabel
    - 2.1.9. Bewehrung
    - 2.1.10. Risse
    - 2.1.11. Denkmalschutz



- 2.2. Tiefbau
  - 2.2.1. Erd- und Straßenbau
  - 2.2.2. Vermessen, Detektieren von Anomalien
  - 2.2.3. Katastererstellung und Pflege
  - 2.2.4. Detektieren von Leckagen und Schwachstellen in Ver- und Entsorgungsnetzen
  
- 2.3. Preventive maintenance
  - 2.3.1. Elektrotechnische Industrie
  - 2.3.2. Chemische und petrochemische Industrie
  - 2.3.3. Energieversorgung
  - 2.3.4. Nahrungsmittelindustrie
  - 2.3.5. Schwerindustrie
  
- 2.4. Umweltschutz
  - 2.4.1. Altlasten
  - 2.4.2. Baugrundstücke und Industriegelände
  - 2.4.3. Pipelineüberwachung
  - 2.4.4. Leckagen in unterirdischen Flüssigkeitstanks
  - 2.4.5. Bodenverunreinigung
  
- 2.5. Forensische Anwendungen
  - 2.5.1. Sicherheitstechnische Untersuchung von Wänden und anderen Strukturen
  - 2.5.2. Auffinden von Kampfmitteln (incl. Plastiksprengstoff)
  - 2.5.3. Militärische Altlasten
  - 2.5.4. Lokalisieren vergrabener Objekte in Boden und Mauerwerk
  
- 2.6. Archäologie
  
- 3. Resümee und Ausblick



## **1. Messverfahren**

### **1.1 Feuchtigkeitsmessverfahren**

#### **1.1.1 Widerstandsmeßverfahren**

Meßgeräte, die nach dem Leifähigkeitsmeßprinzip arbeiten, werden bei der Feuchtigkeitsmessung am Häufigsten eingesetzt. Das Verfahren beruht auf dem Ohm'schen Gesetz. Zwischen zwei Elektroden wird ein elektrischer Meßstrom geleitet – der zu messende Baustoff bietet einen Widerstand, der wiederum als Leitwert gemessen werden kann.

Bei diesem Meßverfahren handelt es sich um eine Vergleichsmessung. Eine absolute Bestimmung des Feuchtegehalts von Materialien ist hiermit nicht möglich. Diverse Hersteller dieser Meßgeräte bieten zwar umfangreiche Umrechnungstabellen an, jedoch sollte man sich darauf nicht verlassen.

#### Anwendungsgebiete:

- Bestimmung der Feuchteverteilung in Bauteilen



### 1.1.2 Dielektrische Meßverfahren

Bei diesem Meßverfahren mißt man an einem Kondensator mit einem hochfrequenten Meßstrom über das entsprechende elektrische Hochfrequenzfeld die Dielektrizitätskonstante des Baustoffs.

Ein erhöhter Feuchtegehalt in Baustoffen äußert sich nicht nur in der Erhöhung des elektrischen Leitwertes, sondern auch in der Erhöhung der Dielektrizitätskonstanten. Die Dielektrizitätskonstante ist wie der elektrische Widerstand ein Merkmal von Baustoffen, dessen Wert sich ändert, wenn der Baustoff Feuchtigkeit aufnimmt.

Dieses Meßverfahren ist absolut zerstörungsfrei.

*DMG messen als Meßgröße eigentlich die Kapazität eines Kondensators. Ein Kondensator besteht schematisch normalerweise aus zwei Platten, die aus einem stromleitenden Material bestehen. Diese Platten sind einander gegenüber angeordnet, dürfen sich aber nicht berühren. Legt man an beiden Platten jeweils einen Pol einer Spannung an, lädt sich die eine Platte positiv, die andere negativ auf. Zwischen den Platten bildet sich ein elektrisches Feld, welches nachdem es seine volle Stärke aufgebaut hat, konstant bleibt. Diese Möglichkeit der Speicherung von Energie im elektrischen Feld eines Kondensators wird Kapazität genannt. Je größer die Fläche der Kondensatorplatten und je geringer der Abstand der Platten ist, desto höher ist die Kapazität des Kondensators. Zusätzlich ist die Kapazität aber auch noch abhängig von dem Stoff, der die Kondensatorplatten trennt. Dieses Trennmateriale nennt man Dielektrikum. Das Dielektrikum ändert die Kapazität des Kondensators, obwohl es den Strom nicht leitet. Der Wert der Dielektrizitätszahl ist eine Verhältniszahl und gibt an, um wieviel mal mehr ein Stoff die Kapazität eines Kondensators erhöht gegenüber trockener Luft.*

#### *Dielektrizitätszahl*

<i>von Luft oder Vakuum</i>	<i>1</i>
<i>von Glas</i>	<i>2 - 16</i>
<i>mineralischer Baustoffe</i>	<i>2 – 8</i>
<i>von Wasser</i>	<i>78,54</i>

*Wasser läßt sich durch seine hohe Dielektrizitätskonstante daher gut nachweisen.*

*Kondensatoren leiten Gleichstrom nicht weiter, bilden aber für Wechselstrom einen Widerstand, dessen Größe von der Kapazität abhängt. So lässt sich mit einem geeigneten Wechselstrom die Kapazität des Kondensators und damit die Dielektrizitätskonstante des Kondensatordielektrikums messen.*



### 1.1.3 C-M-Verfahren

Bei der CM-Messung wird der Feuchtigkeitsanteil einer Baustoffprobe mittels einer chemischen Reaktion über den entstehenden Druck bestimmt.

*Das Calciumcarbid-Verfahren ist eine Untersuchungsmethode, bei der eine Materialprobe in einen Druckbehälter gegeben wird. Zusätzlich fügt man 5 Metallkugeln in unterschiedlicher Größe und eine Glasampulle mit Calciumcarbid ( $\text{CaC}_2$ ) hinzu. Durch kräftiges Schütteln wird das  $\text{CaC}_2$  mit dem Probenmaterial vermischt. Das Wasser der Probe verbindet sich mit dem Calciumcarbid und es entsteht u. a. Acetylgas. Die Gasmenge ist ein Maß für das in der Probe enthaltene Wasser. Meßgenauigkeiten liegen in der Praxis bei ca. 1...3 %.*

#### Anwendungsgebiete:

- Bestimmung des Feuchtegehaltes von Bauteilen und Baustoffen

### 1.1.4 Darr-Methode

Bei der Darr-Methode wird der Feuchtigkeitsanteil einer Baustoffprobe durch eine Differenzmessung bestimmt. Die entnommene Probe wird in einem Labor gewogen, kommt anschließend in einen Trocknungsofen, der der Probe die Feuchtigkeit entzieht. Das erneute Wiegen der getrockneten Materialprobe und die daraus resultierende Differenz ist der Anteil Wasser.

#### Anwendungsgebiete:

- Bestimmung des Feuchtegehaltes von Baustoffen

### 1.1.5 Gel-Verfahren

Bei dem Gel-Verfahren wird eine Materialprobe entnommen, im Labor gewogen und kommt danach in einen Exikator. Zusätzlich wird der Probe ein hygroskopisches Material, wie z.Bsp. Silicagel hinzugegeben. Dieses Material entzieht der Probe die Feuchtigkeit. Nach mehreren Wochen oder sogar Monaten wird die Materialprobe wieder gewogen und die Differenz zur ersten Messung ist dann der Anteil Wasser.

#### Anwendungsgebiete:

Bestimmung des Feuchtegehaltes von Baustoffen



## **1.2 Neutronenradioskopie**

### **1.2.1 Neutronensonde**

Bei diesem Meßverfahren werden Neutronen mit hoher kinetischer Energie (schnelle Neutronen) in die Materie eingestrahlt. Durch elastische Stöße an Atomkernen vergleichbarer Masse, in unserem Fall Wasserstoff mit einem Proton und einem Neutron im Kern, übergeben die Neutronen einen Teil ihrer kinetischen Energie und werden abgebremst. Vergleichbar ist dies mit dem Zusammenstoß zweier Billardkugeln. Andere, schwerere Atomkerne werden durch eine Kollision mit einem Neutron nicht beeinflußt, das Neutron behält seine Energie, ändert nur seine Richtung. Dies ist vergleichbar mit dem Zusammenstoß einer Murmel mit einer Bowlingkugel. Nach etwa zwanzig Zusammenstößen eines schnellen Neutrons mit einem Wasserstoffkern wird es thermisches Energieniveau besitzen. Bei Sauerstoffkernen wären hierzu bereits etwa 150 Stöße nötig, bei Blei etwa 2000.

Mit zunehmender Feuchte (gleichbedeutend mit einer erhöhten Anzahl an Wasserstoffatomen) werden also mehr schnelle Neutronen zu langsamen Neutronen abgebremst. Diese können mit einem Zählrohr erfaßt und numerisch angezeigt werden. Dies erfolgt äußerst schnell: eine Punktmessung ist innerhalb von 7,5-15 s vorgenommen.

Die zerstörungsfreie Feuchtemessung mit der Neutronensonde ist ein anerkanntes radiometrisches Meßverfahren im Bauwesen. Mittels dieses Verfahrens können Feuchteverteilungen und -gehalte ohne jegliche Oberflächenzerstörung in Bauteilen geprüft werden. Im Bereich der Flachdach-Analyse ermöglicht dieses Prüfverfahren flächendeckende Aussagen über die Dichtigkeit von Flachdachabdichtungen. Die Messungen ermöglichen eine exakte Zustandsanalyse der Wärmedämmung sowie die Ausdehnung der Durchfeuchtung ohne die sonst üblichen Maßnahmen, wie Probenentnahmen. Zu sanierende Bereiche können mit der Sonde genau eingegrenzt werden. Weitere wichtige Applikationen sind Fußbodenheizung- und Rohrleitungsleckortung; Ursachenanalyse bei Keller- oder Wandfeuchtigkeit.

#### Anwendungsgebiete:

- Flachdachanalyse (Dichtigkeit, Feuchteverteilung)
- Langzeitüberwachung von Flachdach; Parkdecks; Behälter
- Fußbodenheizungs- und Rohrleitungsleckagesuche
- Ursachenanalyse bei Keller- Wand- und Bodenfeuchtigkeit
- Dichtigkeitsprüfungen an Industrieböden und Auffangwannen



### 1.2.2 Isotopensonde

Das Meßverfahren beruht auf der Tatsache, daß in natürlichen Materialien eine definierter Anteil an bestimmten Isotopen bei einer definierten Dichte vorhanden ist. Durch Messung der für diese Isotope charakteristische Strahlung kann auf die Verdichtung und den Wassergehalt geschlossen werden.

Die Isotopensonde dient als Schnellprüfverfahren für die zerstörungsfreie und produktionsbegleitende Qualitätskontrolle beim Bau von Dämmen, Deichen, Deponien, bei der Bodenverdichtung, beim Bau von Fundamenten, beim Einbau von Frostschutz und Tragschichten, beim Belagsbau und vielen anderen Aufgaben im Tief- und Straßenbau. Sie mißt gleichzeitig Dichte und Wassergehalt im Erd- und Grundbau. Direktanzeige von Feucht- und Trockenraumdichte, Wassergehalt, % Feuchte und %-Proctor. Im bituminösen Belagsbau mißt die Sonde die Raumdichte. Direktanzeige von Dichte, Verdichtungsgrad ( % Marshall ) und Hohlraumgehalt. Bei der Feuchtemessung von Estrichbelägen wird nach einer Kalibrierung mittels C-M-Probe die % Feuchte angezeigt.

#### Anwendungsgebiete:

- Qualitätskontrolle im Straßenbau (Dichte, Verdichtung, Hohlraum)
- Erd- und Grundbau (Dichte, Wassergehalt)
- Estrichfeuchtemessungen

### 1.3 Mikrowellen-Meßverfahren

Das Mikrowellen-Meßverfahren gehört zu den dielektrischen Meßverfahren, bei denen der Unterschied zwischen der Dielektrizitätskonstante von Wasser und der DK der Baustoffe gemessen wird. Wegen des großen Unterschiedes zwischen diesen Werten lassen sich auch kleine Wassermengen schon gut detektieren.

Die Meßköpfe der Moist Serie sind als Reflexionsanordnung aufgebaut. Der Meßkopf Moist-P beinhaltet einen Planarantenne und erreicht dadurch Eindringtiefen bis etwa 30 cm.

Im Meßkopf Moist-R ist ein offener Streufeld-Resonator enthalten, der mit einer Eindringtiefe von etwa 2 – 3 cm korrespondiert.



### Meßprinzip:

Die Antennen-Anordnung erzeugt eine elektromagnetische Welle, die sich ins Material hinein ausbreitet. Zur Reflexion dieser Wellen tragen dabei nicht nur die oberflächennahen Volumenelemente des Meßguts bei, sondern auch die tieferliegenden.

[ Bei zunehmenden Frequenzen im Mikrowellenbereich kann das Wassermolekül wegen stoffinterner Bindungskräfte einem von außen angelegten elektromagnetischen Wechselfeld immer schlechter folgen. Zwischen der Rotationsbewegung der Moleküle (Polarisation) und dem äußeren Feld entsteht eine Phasenverschiebung. Diese bewirkt mit wachsender Frequenz zunehmende dielektrische Verluste, welche u.a. auch die Ursache für die Erwärmung von Speisen in der Küchen-Mikrowelle sind. ]



## 1.4 Thermographie

Die infrarote Thermografie gilt auch als eine der zerstörungsfrei operierenden Methoden, um Rohrbrüche zu orten. Auch in der Langzeitüberwachung von Fernwärmeleitungsnetzen wird sie erfolgreich eingesetzt. Desweiteren eignet sie sich zur Feststellung und Analyse von Wärmebrücken an Fassaden und Flachdächern, sowie zur Kontrolle von Kabelisolatoren. Moderne Geräte verfügen über 12 Bit Hochgeschwindigkeits-Farbsysteme mit Echtzeit-Temperaturmessung und -darstellung und sind mit eingebauten Floppy-Disk-Laufwerken versehen. Dadurch lassen sich die Thermobilder über PC analysieren und dokumentieren. Vom kleinen Farb-Handycam über die langwellige, stirling gekühlte Echtzeit Kamera bis zum Focal-Plane-Array-System sind alle Leistungsanforderungen in Bezug auf thermische und geometrische Auflösung verfügbar.

Kühlung der Thermokamera:

Die von allen Objekten ausgestrahlte Infrarotstrahlung führt natürlich auch zur Erwärmung des Infrarotsensors der thermokamera selbst. Um die Meßgenauigkeit der Thermokamera zu verbessern, wird sie gekühlt. Dazu gibt es verschiedenen Möglichkeiten:

- flüssiger Stickstoff
- Peltierelemente nutzen einen thermoelektrischen Effekt, der an der Berührungsfläche zweier Metalle entstehen kann. Wird die Berührungsfläche in der richtigen Richtung von elektrischem Strom durchflossen, entzieht sie der Umgebung Wärme
- Stirling-Prinzip; arbeitet thermomechanisch, ein Gas in einem geschlossenen Kreislauf erzeugt mit Kompressorkolben bei erzwungener Volumenvergrößerung die erwünschte Untertemperatur – mechanischer Antrieb
- Joule-Thomson-Kühler; hierbei nutzt man die Abkühlung, die ein stark komprimiertes Edelgas beim Auströmen aus einer Düse erzeugt, aus.

Anwendungsgebiete:

- Rohr- und Kanalbruchortung
- Überprüfung von Gebäudeisolierungen, d h. Wärmebrücken
- Analyse von Rohrleitungs- und Kabelisolationen
- Rollenlager von Transportbändern
- sowie diverse weitere Einsatzgebiete im Bereich preventive maintenance



## 1.5 Akustische Verfahren

### 1.5.1 Frequenzanalyse (Horchtechnik)

Mittels der Frequenzanalyse kann man akustische Körperschallwellen, die von austretenden Flüssigkeiten verursacht werden und sich von der Schadstelle im Bauteil oder Erdreich bis zur Oberfläche ausbreiten, orten. Da aber die Stelle größter Intensität nicht unbedingt auch die Leckstelle bedeutet, muß das aufgenommene Geräusch in seine Frequenzanteile zerlegt werden. Es zeigt sich dann, welche Frequenz in dem empfangenen Geräuschspektrum am stärksten vertreten ist. Auf diese Frequenz kann sich jetzt die Ortung konzentrieren bei Ausgrenzung aller anderen störenden Nebenfrequenzen mittels besonderer Steilpaßfilter. Da diese Differenzierung für das menschliche Ohr nicht möglich ist, wird sie elektronisch gesteuert und über ein Vollsicht-Meßinstrument angezeigt.

#### Anwendungsgebiete:

-Rohr- / Leitungsbruchortung im Erdreich und Mauerwerk



### **1.5.2 Korrelationsanalyse (Horchtechnik)**

Der Korrelator errechnet aus den unterschiedlichen Laufzeiten des Strömungsgeräusches zu zwei Meßpunkten die Entfernung zwischen der Schadensstelle und einem Meßpunkt, und zeigt sie grafisch und in Zahlenwerten an. Die Schwingungen (Leckgeräusch), die das aus der Schadensstelle austretende Flüssigkeit verursachen, werden durch das Rohr selbst und durch die darin befindliche Wassersäule nach beiden Seiten weitergeleitet. Die am Rohr oder an den Armaturen befestigten Sensoren empfangen diese Schwingungen und wandeln sie in elektrische Signale um. Die Schwingungen erreichen die Sensoren, je nach Entfernung, zu unterschiedlichen Zeiten. Der Korrelator mißt diese Zeitdifferenz  $T_D$  und errechnet daraus die Entfernung.

#### Anwendungsgebiete:

-Mikroprozessorgesteuerte Rohrbruchortung an Wasserleitungen, auch an Kunststoffrohren



## 1.6 Tonfrequenzanalyse (i. w. Horchtechnik)

Eine erfolgreiche Leckortung setzt die Kenntnis des genauen Leitungsverlaufs voraus. Bei schwierig zu ortenden Rohrschäden kann eine Abweichung vom genauen Leitungsverlauf um weniger als 1 m schon Mißerfolg bedeuten. Deshalb sollte vor dem Einsatz der Rohrbruchortungsanlagen stets eine Trassenmarkierung vorausgehen. Der Sender erzeugt in der Leitung einen elektrischen Strom als Meßsignal. Dieses Magnetfeld wird von der Empfangseinrichtung geortet und damit Lage und Verlegungstiefe bestimmt. Diese Form der Leitungsortung ist nur für metallische Leitungen anwendbar, die elektrischen Strom weiterleiten. Nichtmetallischen Rohren muß ein Ortungsband beigegeben werden, oder man ortet den Leitungsverlauf mit einem Molchsender. Ein Tonfrequenzsender in wasserdichtem Gehäuse wird in das Rohr eingeschoben oder eingezogen. Beim Überqueren der besendeten Leitung signalisiert der Empfänger optisch und akustisch einen Ton. Damit ist eine Rohrortung mit nur wenigen Zentimetern Abweichung möglich.

### Anwendungsgebiete:

- genaue Rohr- / Leitungsortung in Beton und Erdreich bis 9 m Tiefe, auch bei nichtmetallischen Rohrleitungen
- Kabelsuche, Kabelauslese und Kabelfehlerortung
- Tiefenbestimmung von Rohren und Leitungen



## 1.7 Endoskopie, Optoelektronik

Endoskope stammen ursprünglich aus der Medizintechnik. Man unterscheidet heute in drei Bauarten, die je nach Einsatzgebiet Ihre Anwendung finden: Boreskope, Fiberskope und Videoskope. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit der Längenangaben, einige technische Daten, die von Hersteller zu Hersteller natürlich variieren:

**Boreskope** sind starre Endoskope. Die Übertragung der optischen Information erfolgt über Linsen. Licht wird über Glasfasern zum Inspektionsort gebracht. Boreskope gibt es mit Arbeitsdurchmessern von 4 bis 16 mm bei Arbeitslängen von etwa 30 bis 80 cm. Neuentwicklungen sind Mini-Boreskope mit Durchmessern von 1,2 mm bei einer Arbeitslänge von etwa 19 cm.

**Fiberskope** sind flexibel. Minimale Kurvenradien von bis zu 25 mm sind Stand der Technik. Die Informationsübertragung erfolgt über Lichtleiterfasern, die bei namhaften Herstellern mit Teflon beschichtet sind, um die Flexibilität zu erhöhen. Zur mechanische Verstärkung werden in der Regel Stahlspiralen eingesetzt. Licht zur Inspektion wird ebenfalls über Lichtleitfasern zur Endoskopspitze gebracht. Gängige Baugrößen variieren von 4 bis 14 mm Höchstdurchmesser bei Arbeitslängen von bis zu 6 m. Die Fiberskop-Köpfe sind bei namhaften Herstellern zudem in zwei bzw. vier Raumrichtungen um etwa  $120^\circ$  abwinkelbar. Der technische Fortschritt hat zur Entwicklung von ultradünnen Fiberskopen geführt: Arbeitsdurchmesser 2,4 mm bei etwa 1,40 m Länge sowie das zur Zeit dünnste Fiberskop mit einem maximalen Durchmesser von 0,64 mm (!) bei einer Länge von etwa 1 m. Eine mechanische Verstärkung durch Stahlspiralen ist hier natürlich nicht mehr praktikabel. Ein mechanischer Schutz und eine gewisse Versteifung erfolgt bei diesen Geräten durch einen Teflonmantel, der gleichzeitig für ein leichteres Einführen der Fiberskope in die Inspektionsöffnung sorgt.

**Videoskope** sind in der Regel ebenfalls flexibel. Die Aufnahme der optischen Informationen erfolgt über CCD-Farbchips, die an der Videoskopspitze angebracht sind, zusammen mit einem für die Inspektion geeigneten Objektiv. Die Informationsübertragung erfolgt in Echtzeit über Drähte. Durch die digitale Technik dieser Geräte sind Merkmale wie Standbildfunktion zur genaueren Inspektion und eine elektronische Signalaufbereitung (averaging) möglich. Averaging bewirkt eine Anhebung der Signalstärke in dunklen Bereichen des aufgenommenen Bildes. Dadurch ist es möglich, auch große Hohlräume „auszuleuchten“, ohne helle Partien im Vordergrund zu übersteuern. Das Glanzlicht unter den verfügbaren Videoskopen stellt ein Gerät mit einer Arbeitslänge von 16 m bei einem Durchmesser von nur 6 mm dar. Die Videoskopköpfe können auch hier in vier Raumrichtungen um bis zu  $120^\circ$  abgewinkelt werden. Die Baugrößen reichen weiter ab 20 mm Durchmesser und bis zu 150 m Länge

Unabhängig von der Bauart können alle Phasen der Inspektion auf einem Monitor überwacht und zur späteren Kontrolle und Auswertung per Videorecorder aufgezeichnet werden. Zur besseren Inspizierung können bei Bedarf Rohrrinnenwandungen



vorher mit einem Höchstdruck-Reinigungssystem gereinigt und freigespült werden, dies gilt für Leitungen ab einem Durchmesser von 25 mm auf einer Länge von bis zu 200 m. Kleinere Durchmesser können auf chemischem Wege gereinigt werden.

Grundsätzlich kommt die bautechnische Endoskopie immer dann zum Einsatz, wenn Schäden in schwer zugänglichen Hohlräumen vorhanden sind oder vermutet werden. Entsprechend groß ist das Anwendungsgebiet.

### Anwendungsgebiete:

- Inspektion von Rohr-, Kanal-, Drainageleitungen sowie Schacht- und Tanksystemen
- Hohlraumuntersuchungen
- explosionsgeschützte Systeme zum Einsatz in der chemischen und petrochemischen Industrie
- Inspektion aktiver Gasleitungen
- Flachdächer
- Außenwände mit Luftspalt
- Ständerkonstruktionen
- Holzbalkendecken und abgehängte Decken



## 1.8 Tracergas-Verfahren

Dieses Verfahren wird auch als Indikator-Verfahren bezeichnet. Dazu wird einem Gasstrom ein Indikatorgas, das in dem normalerweise zu erwartenden Gasgemisch nicht vorhanden ist, beigemischt. In der Regel sollte dies ein Inertgas, beispielsweise Helium oder Stickstoff sein, damit es nicht zu unerwünschten chemischen Verbindungen mit dem Trägergas kommt.

Mit Hilfe unterschiedlichster Meßsysteme können nun diese Spurengase erschnüffelt werden. Bei Helium kann dies mit Hilfe eines speziell entwickelten Massenspektrometers oder im System befindlicher Ionen-Zerstäuber-Pumpen (I-Z-Pumpen) mit Helium-Sensoren (erhitzter Quarzfilter) erfolgen, wobei die Abhängigkeit des Entladestroms dieser Pumpen vom eindiffundierten Helium als Signal genutzt wird. Andere Meßtechniken arbeiten mit einer Gow-Mac-Zelle und nutzen die spezifische Wärmeleitfähigkeit eines Gases als Signal. Schließlich kommen in der noch gasartspezifisch beschichtete Halbleiterdetektoren zum Einsatz, mit denen man Fremdgase erschnüffeln kann. Letzteres Verfahren befindet sich allerdings, soweit bekannt ist, noch in der Probephase.

### Anwendungsgebiete:

- Rohr- und Leitungsbruchortung
- Flachdachleckagen
- Leckageortung bei unterirdisch verlegten Überdruckleitungen (Telefon)
- alle Arten von Dichtigkeitsprüfungen in Kraftwerken, in der Luftfahrt-, Halbleiter-, Automobil- oder petrochemischen Industrie.
- diverse weitere Einsatzgebiete im Bereich Bauwerksdiagnostik und preventive maintenance



## **1.9 Rauchgasverfahren**

Das Rauchgasverfahren wird unter bestimmten Voraussetzungen bei der Flachdach-Leckage-Ortung eingesetzt. Dabei wird ein Luft-Rauchgas-Gemisch mit speziellen Aggregaten unter die Flachdach-Bitumen- oder Folien-Abdichtung eingeflutet, d.h., die gesamte Dachkonstruktion wird unter leichten Überdruck gesetzt und somit ein großflächiges Luftpolster aufgebaut. Dabei entweicht an der Leckstelle das Luft-Gas-Gemisch und wird optisch sichtbar. Anwendbar ist dieses Verfahren überall dort, wo sich unterhalb der Dichtungsbahn ein Luftpolster aufbauen läßt.

### Anwendungsgebiete:

- Flachdach-Leckage-Ortung
- Kontrolle von Rohrleitungen / Abwasser
- Unterstützung des Blower Door Verfahrens

## **1.10 Impulsstromverfahren**

Dieses (zerstörungsfreie) Verfahren wird erfolgreich eingesetzt um Undichtigkeiten in Flachdach-Abdichtungen aufzuspüren. Sie erspart Zeit und kostenaufwendiges Suchen. Das Impulsstromverfahren ist selbst bei begrünten oder mit Pflastersteinen belegten Dächern mit Erfolg einzusetzen. Damit finden wir selbst stecknadelgroße Leckagen in der Abdichtungshaut.

### Anwendungsgebiete:

- Flachdach-Leckage-Ortung



## 1.11 Massenspektrometer

Der Einsatz tragbarer Massenspektrometer hat sich auf Grund der erzielbaren Nachweisempfindlichkeit, Genauigkeit und Reproduzierbarkeit für die Detektion unterschiedlichster Gase als unverzichtbar im Rahmen einer Umwelt-Meßtechnik erwiesen. Es können mühelos Gas-Freisetzungsraten (Leckagen) im Bereichen ( $10^7 \text{ mbar}(\text{l} \cdot \text{s}^{-1})$ ) detektiert werden. Speziell bei dem Massenspektrometer, das bei der „von der Lieck“-Gruppe eingesetzt wird, können nebeneinander bis zu fünf unterschiedliche Gase, deren Molmassen zwischen 1 und 200 liegen müssen, durch Einprogrammierung ihrer signifikanten Massen vorgewählt werden. Zur Steigerung der Nachweisempfindlichkeit kann die umgebende Atmosphäre vor der Messung in einfachster Weise herauskalibriert werden.

Unbekannte Gase können mittels Gaschromatographie entschlüsselt und anschließend qualitativ und quantitativ nachgewiesen werden.

Das Meßprinzip beruht auf dem unterschiedlichen Beschleunigungsverhalten von Ionen unterschiedlicher Masse im elektrische Feld. Schwerere Ionen werden bei gleicher wirkender Kraft aufgrund der Massenträgheit weniger stark beschleunigt als leichte Ionen. Durch Laufzeit- bzw. Wegmessungen kann dann auf die Molmasse und damit auf die Substanz geschlossen werden.

Obwohl dieses Gerät ein sehr hochentwickeltes Analysesystem darstellt, kann es als einfach handhabbar und benutzerfreundlich bezeichnet werden. Allerdings ist es aufgrund der hohen Investitionen und der großen Anforderungen an das technische und chemische Basiswissen des Personals in der Bauwerksdiagnostik nur bei einzelnen Spezialfirmen im Angebot.

### Anwendungsgebiete:

- Rohr- und Leitungsbruchortung
- alle Arten von Dichtigkeitsprüfungen in Kraftwerken, in der Luftfahrt-, Halbleiter-, Automobil- oder petrochemischen Industrie.
- Altlasten- und Giftstoffdetektion
- diverse weitere Einsatzgebiete im Bereich Bauwerksdiagnostik und preventive maintenance



## **1.12 Rotationslaser**

Mit Hilfe des selbstkallibrierenden Rotationslasers können Flächen schnell, rationell und äußerst genau vermessen, nivelliert oder kontrolliert werden. Meterrisse, Maßtoleranzen im Hochbau DIN 18202 etc., selbst bei großen Räumen oder Flächen, sind binnen kürzester Zeit von nur einem Techniker angefertigt oder kontrolliert. Ein weiteres Anwendungsgebiet ergibt sich aus der Kontrolle von Deckenunterzügen und abgehängten Decken mittels Rastermessungen.

### Anwendungsgebiete:

- Nivellierungsmessungen
- Meterrisse
- Kontrolle der DIN 18202



## **1.13 Oberflächendurchdringendes Radar – Georadar**

### **Fallbeispiele**

#### **Defekte Heizungsleitung unter einer Betonbodenplatte (GAS)**

Über Monate zeigt ein offenes System Wasserverluste. Im ersten Schritt wird das System geschlossen und mit erhöhter Temperatur weiterbetrieben.

Ein Abfahren des Leitungsverlaufs mit der Thermografiekamera ergibt keine greifbaren Ergebnisse. Die Abtastung mit der Neutronensonde ergibt zwei Zonen mit leicht erhöhter Durchfeuchtung, jedoch keinen zwingenden Hinweis auf eine Leckstelle.

Auch Tests mit Horchgeräten und Korrelatoren bleiben ohne Ergebnis. Das Leitungssystem wird daraufhin entleert und mit Helium mit einem leichten Überdruck beaufschlagt.

Nach ca. einer Stunde zeigt der Gasdetektor an den beiden Stellen, wo auch die Neutronensonde erhöhte Werte angezeigt hat, Gasdiffusion durch die Bodenplatte an. Eine Öffnung ergibt an beiden Stellen eine durchkorrodierte Leitung.



## **Pilzbefall des weitverzweigten Rohrleitungssystems einer Großbrauerei (EN)**

In einer Großbrauerei trat trotz wiederholter intensiver Reinigungsmaßnahmen immer wieder eine Verpilzung des Leitungssystem auf.

Bei einer endoskopischen Untersuchung des im betroffenen Bereich aus relativ dünnen Rohren bestehenden Systems konnte der Pilzherd im Plattenkühler des Sudhauses festgestellt werden. Hierzu wurde ein 6-mm-Endoskop bei einer Arbeitslänge von 16 m verwendet.

Weitere teure Produktionsausfälle und Reklamationen konnten verhindert werden.



## **Leckageortung von Leitungen mit petrochemischen Flüssigkeiten unterhalb 1 m starker Stahlbetondecken (MS)**

Innerhalb eines unterirdisch verlegten und weit verzweigten Rohrsystems zeigten sich seit längerer Zeit Flüssigkeitsverluste.

Aus verschiedenen Gründen versagten die herkömmlichen Verfahren bzw. konnten nicht zum Einsatz kommen.

Die Flüssigkeit wurde mittels einer GC-MS Analyse aufgeschlüsselt und im Suchgerät einprogrammiert.

Nach mehrtägiger Suche über ein Areal von mehreren Hektar wurde eine erhöhte Konzentration dieses Mediums erschnüffelt.

Nach Freilegung des Rohres unter einer über 1,5 m starken Stahlbetonschicht, einer Landebahn, konnte die Leckage entdeckt werden.

Hätte das Rohr entleert und mit Tracergas, hier Helium befüllt werden müssen, wäre der Betriebsausfall in die hunderttausende Mark gegangen und aufgrund der Abmessungen müsste Helium für viele Tausend Euro verfüllt werden.



## **Fehlstellen in Schlitzwänden einer Baugrube vom ca. 30 m Tiefe mit anstehender Grundwassersäule von ca. 27 m (RAD, EN)**

Aufgrund der geologischen Gegebenheiten werden auf einer Großbaustelle Baugruben mit einer Hilfs-Schlitzwand-Konstruktion erstellt.

Bei der Betonierung dieser Schlitzwände entstehen Fehlstellen durch losgelöstes Erdreich und Bentoniteinschlüsse. Bentonit wird als Stütz- und Verdrängungsflüssigkeit während des Ausbaggerns bis zum Verfüllen mit Beton verwendet. Nach der Fertigstellung dieser Hilfskonstruktion wird die Baugrube ausgebaggert und nach dem Gießen der Bodenplatte aus Unterwasserbeton leer gepumpt.

Durch den enormen Druck des anstehenden Grundwassers versagte eine Schlitzwand an einer Fehlstelle mit der Folge eines massiven Wassereintruchs. Mit dem Wasserstrom wurde Sand und Erdreich in die Baugrube gespült. Als Folge davon brach eine entlang der Baugrube verlaufende Straße ein. An weiteren Stellen des Baugeländes ist historische Bebauung im Wiederholungsfall gefährdet.

Mit dem oberflächendurchdringenden Radar können die Schlitzwände während des Lenzens der Baugruben auf Fehlstellen untersucht werden. Nach der Detektion einer Fehlstelle kann diese angebohrt und mit Schnellzementmörtel verpreßt werden. Nach dem Anbohren ist ggf. eine Untersuchung der Fehlstelle mittels Endoskopie nötig, um festzustellen, ob ein Hochdruckspülen (ebenfalls durch das Endoskop) vor dem Verpressen erforderlich ist.



## Einsatzgebiete der vorgestellten Geräte

### - Hochbau

#### o Flachdach

Tracergas-Verfahren und Helium-Lecksuche zur Dichtigkeitsprüfung, insbesondere bei Mikroleckagen

lange Endoskopie mit Optoelektronik zur Diagnose von Hohlräumen in der Dachkonstruktion

Radar zur Untersuchung von Bewehrungen und deren Überdeckung bei Spannbetondecken

#### o Haustechnische Installation

Tracergas-Verfahren zur Detektion von Rissen oder Undichtigkeiten in Schächten und Rohren

lange Endoskopie mit Optoelektronik zur Untersuchung von abgehängten Fassaden, Ausführungskontrolle von Wärmedämmungen, Kontrolle von Rohrleitungen (Gas, Wasser, Abwasser, Lüftung)

Radar zur Untersuchung von Bewehrungen und deren Überdeckung bei Betonwänden, Untersuchung von Betonwänden auf statisch relevante Hohlräume oder unerwünschte Einschlüsse, Kontrolle von Leitungen, Schächten, Kanälen, Kabeln

#### o Erdberührende Teile (Keller)

lange Endoskopie mit Optoelektronik zur Kontrolle von Rohrleitungen (Gas, Wasser, Abwasser, Lüftung), Kontrolle auf Unterspülungen (**s.a. Radar!**)

Radar zur Untersuchung von Bewehrungen und deren Überdeckung bei Betonböden, Untersuchung von Fundamenten auf Hohlräume (Unterspülungen) oder unerwünschte Einschlüsse, Ausführungskontrolle von Leitungen, Schächten, Kanälen

### - Erdbau, Tiefbau

#### o Straßenbau

Radar zur Schichtdicken- und Verdichtungskontrolle des Unterbaus sowie der Schwarzdeckenschicht, Untersuchung auf Hohlräume und Unterspülungen, bei Betonstraßen Untersuchung von Bewehrungen und deren Überdeckung



- Fundamentbau  
Radar zur Detektion von Fremdkörpern im Gelände wie Rohre, Kabel, Kanäle, Schächte, Altlasten, Bomben und so weiter
- Tunnelbau  
Radar zur Untersuchung von Tunnelwänden auf Unterspülungen und Feuchtigkeitsschäden, Untersuchung von Bewehrungen und deren Überdeckung, Ortung von Rissen nach Instandsetzungsarbeiten, Messung von Verstärkungsdicken
  
- Preventive maintenance  
Massenspektrometrie zur Routinekontrolle auf Dichtigkeit von Rohrleitungen, Tanks, Installationssystemen  
Tracergas-Verfahren zur Routinekontrolle von Flachdächern, routinemäßige Dichtigkeitsprüfungen in Kraftwerken, Luft- und Raumfahrt, Halbleiterindustrie  
lange Endoskopie mit Optoelektronik zur Routinekontrolle von Flachdächern, Fassaden, Kanalsystemen
  
- Umwelt  
Massenspektrometrie zur Untersuchung von Ausgasungen an Deponien, Leckagen an Rohrleitungen und Pipelines  
Tracergas-Verfahren zur Leckageortung aller denkbaren Rohrleitungssysteme  
lange Endoskopie mit Optoelektronik zur Leckageortung aller denkbaren Rohrleitungssysteme, genaue Untersuchung von Altlasten  
Radar zur Lokalisierung von Altlasten in Ausdehnung und Tiefe, Kontrolle von Sicherheitsummantelungen und -überdeckungen („Sarkophag“ bei radioaktiv verstrahlten Anlagen und Gebäuden oder Bauteilen)



- Kriminalistik

o Militär

Tracergas-Verfahren zu Dichtigkeitskontrolle sicherheitsrelevanter Gebäude (Schutzräume, Bunker)

lange Endoskopie zur Untersuchung von abgehängten Decken und Ständerwänden in sicherheitsrelevanten Gebäuden z. B. auf Abhörgeräte u.ä.

Radar zur Minensuche, Suche von Bomben und Sprengstoffen (auch Plastiksprengstoff!), Untersuchung von Räumen auf Abhörgeräte u.ä., Suche nach verborgenen Waffenarsenalen

o Polizei

Tracergas-Verfahren zur Verbindungskontrolle von Schächten und Leitungen

lange Endoskopie zur Untersuchung von abgehängten Decken und Ständerwänden auf versteckte Waffen u. ä.

Radar zur Leichensuche, Suche nach verborgenen Waffenarsenalen, Hohlräumen, versteckten Türen und Durchgängen

- Archäologie

Tracergas-Verfahren zur Kontrolle von verborgenen Verbindungen (Gänge und so weiter)

lange Endoskopie mit Optoelektronik zur zerstörungsfreien Untersuchung von Hohlräumen, Kammern und so weiter

Radar zur Aufspürung von verborgenen Gemäuern, Fundamenten, Artefakten, Detektion von Hohlräumen in oder unter bestehenden Gebäuden, Finden von verschütteten oder vermauerten Gebäudeteilen