

Dietmar MÜLLER

Reports

UBA-93-070

**Untersuchung der Altablagerung
Aderklaa**

Wien, Jänner 1993

Bundesministerium für Umwelt,
Jugend und Familie



Projektleitung: Martin Schamann (Umweltbundesamt)

Projektmitarbeit: Dietmar Müller (Umweltbundesamt)
Stefan Weihs (Umweltbundesamt)
Elisabeth Hofer (Umweltbundesamt)
Alois Fürnkranz (Errichtungsgesellschaft Marchfeldkanal)
Wolfgang Neudorfer (Errichtungsgesellschaft Marchfeldkanal)

Graphik: Walter Wannerer (Umweltbundesamt)
Manuela Kaitna (Umweltbundesamt)

Bodenluftuntersuchung: Gabriele Wirth (Geodata)
Helmut Traindl (Geodata)

Geophysik: Josef Lueger (TB Geologie)
Franz Kohlbeck (TU Wien)
Sepp Werner Roth (Physikalische Boden Sondierungen Ges.m.b.H.)

Analytik (Umweltbundesamt): Sigrid Scharf (Probenahme und Laborkoordination)
Christl Lesemann
Sabine Stapleton
Gerhard Hobiger
Renate Viktorik
Robert Eckhart
Christian Schütz

Berichterstellung: Christine Pfeiffer

Impressum:

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt, Spittelauer Lände 5, A-1090 Wien

Druck: Riegelnik, 1080 Wien

Kartendruck: Vervielfältigt mit Genehmigung des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen
(Landesaufnahme) in Wien Zl.: L 70 215/92

© Umweltbundesamt Wien, Februar 1993

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 3-85457-107-0

Kurzfassung

In der Nähe der Altablagerung "Aderklaa" bei Wien ist zur wasserwirtschaftlichen Sanierung des Marchfeldes eine Versickerungsanlage zur Grundwasseranreicherung in Bau. Aufgrund der geplanten Anhebung des Grundwasserspiegels war zu erwarten, daß die ehemalige Deponie durch das Grundwasser eingestaut wird.

Ziel der Untersuchungen war deshalb vor allem eine genauere Erkundung der Inhaltsstoffe der ehemaligen Deponie, um zukünftige Grundwasserverunreinigungen ausschließen zu können. Gleichzeitig sollten verschiedene Untersuchungsmethoden erprobt und ihre Aussagekraft überprüft werden, um bei der Planung von Untersuchungsprogrammen an anderen Altablagerungen gezielter vorgehen zu können.

In einer ersten Untersuchungsphase wurden Bodenluftuntersuchungen und geophysikalische Untersuchungsmethoden eingesetzt. Die Ergebnisse dienten als Planungsgrundlage für die direkte Erkundung der Altablagerung durch Schürfe in der zweiten Untersuchungsphase. Bei den Grabungen wurden Fässer mit flüssigen und pastösen Abfällen aus der Lackherzeugung gefunden. Die Lokalisierung der Fässer erfolgte durch die Ergebnisse der Geomagnetik.

Im vorliegenden Report werden die Erfahrungen mit den angewandten geophysikalischen Untersuchungsmethoden und Bodenluftuntersuchungen beschrieben. Aufgrund der Ergebnisse der Untersuchungen konnte festgestellt werden, daß es sich bei der Altablagerung "Aderklaa" um eine sanierungsbedürftige Altlast handelt und eine Räumung bzw. Umlagerung noch vor Inbetriebnahme der nahe gelegenen Versickerungsanlage zur Grundwasseranreicherung erfolgen sollte. Außerdem dienten die Ergebnisse als Grundlage für die Prioritätenklassifizierung der Altlast gemäß § 14 Altlastensanierungsgesetz.

Abstract

Close to the old waste site "Aderklaa" near Vienna an injection well is being built to enrich local ground water. It is expected that the planned raising of the ground water level will lead to a leaking of ground water into the waste deposit.

Therefore investigations were carried out in order to examine the components of the abandoned waste deposit to avoid future ground water contaminations. At the same time various methods of investigation and their reliability were examined to facilitate the planning of investigation programmes for other contaminated sites.

At first, soil air analyses were carried out and geophysical techniques applied. According to the results obtained the second stage of investigations by digging was planned, in the course of which in two soil profile pits barrels containing liquid and pasty wastes were detected by means of a geomagnetic detection method.

In the report at hand the applied geophysical techniques and the soil air analyses carried out are discussed. The results showed that the old waste site "Aderklaa" definitely needs cleaning up, which, preferably, should be done before the putting into operation of an injection well, which is being built nearby to enrich local ground water. Furthermore the results obtained served as a basis for the classification of priorities (according to § 14 of the "Law for the Clean-up of Contaminated Sites") as far as the implementation of clean-up measures for contaminated sites is concerned.

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG	1
2. ALTABLAGERUNG ADERKLAA	2
2.1 Historische Erkundung	2
2.1.1 Geschichtliche Entwicklung	3
2.1.2 Vermutete Abfallstoffe	4
2.1.3 Rechtliche Situation	6
2.1.4 Hydrologie/Hydrogeologie	6
2.1.5 Nutzungssituation im Umfeld	8
2.2 Grundwasseruntersuchungen	8
2.3 Problemstellung im Zusammenhang mit der Errichtung des Marchfeldkanals	9
2.4 Zielsetzung weiterer Untersuchungen	10
3. FESTLEGUNG DES UNTERSUCHUNGSPROGRAMMES	11
3.1 Durchführung einer Interessentensuche	11
3.2 Vergleich möglicher Untersuchungsprogramme	11
3.2.1 Fachlicher Vergleich	11
3.2.2 Kostenvergleich	13
3.3 Auswahl des Untersuchungsprogrammes	14

4.	GEOPHYSIKALISCHE UNTERSUCHUNGEN	16
4.1	Geoelektrische Untersuchungen	16
4.1.1	Meßprinzip	16
4.1.2	Durchführung	17
4.1.3	Ergebnis	18
4.2	Geomagnetische Untersuchungen	20
4.2.1	Meßprinzip	20
4.2.2	Durchführung	20
4.2.3	Ergebnis	21
4.3	Bodenradar	23
4.3.1	Meßprinzip	23
4.3.2	Durchführung	24
4.3.3	Ergebnis	25
5.	BODENLUFTUNTERSUCHUNGEN	27
5.1	Deponiegas	27
5.2	Durchführung	27
5.3	Ergebnis	28
6.	ERGEBNISBEWERTUNG FÜR DIE ERSTE UNTERSUCHUNGSPHASE	30
6.1	Beurteilung der Untersuchungsergebnisse	30
6.2	Überprüfung der weiteren Vorgangsweise	33

7.	DEPONIEAUFSCHLÜSSE	35
7.1	Schürfe	35
7.1.1	Auswahl der Grabungsstellen	35
7.1.2	Durchführung der Schürfe	36
7.1.3	Ergebnis der Schürfe	37
7.2	Bodenprobenahme	39
7.2.1	Probenahme und Analytik	39
7.2.2	Ergebnisse der Abfallbeprobung	40
8.	ERGEBNISBEWERTUNG FÜR DIE ZWEITE UNTERSUCHUNGS- PHASE	42
8.1	Beurteilung der Untersuchungsergebnisse	42
8.2	Überprüfung der weiteren Vorgangsweise	43
9.	DISKUSSION DER UNTERSUCHUNGEN	44
9.1	Angewandte Untersuchungsmethoden und deren Ergebnisse	44
9.2	Aufbau des Untersuchungsprogrammes	47
10.	WEITERE VORGANGSWEISE	50
10.1	Wasserrechtsgesetz	50
10.2	Altlastensanierungsgesetz	50
11.	LITERATURVERZEICHNIS	52

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Vergleich der Analyseergebnisse (Mittelwerte) im Grundwasseranstrom und -abstrom	9
Tabelle 2: Vergleich der Programme in bezug auf die vorgeschlagenen Untersuchungsmethoden	12
Tabelle 3: Vergleich der Kosten verschiedener Untersuchungsmethoden der Anbote	14
Tabelle 4: Erzielbare Eindringtiefe in Abhängigkeit von Spulenabstand und Spulenkonfiguration (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1983; McNEILL, 1980)	17
Tabelle 5: Auswahl der Aufschlußstellen	36
Tabelle 6: Gegenüberstellung der Meßwerte der Eluatanalysen und der Grenzwerte der ÖNORM S 2072	40

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Lage der Verdachtsfläche Aderklaa	2
Abbildung 2: Fortschritt der Verfüllung nach den Ergebnissen der Luftbildinterpretation	5
Abbildung 3: Lage der Verdachtsfläche "Aderklaa" in bezug auf den Versickerungsbrunnen des Marchfeldkanals und die Wasserversorgungsanlage Aderklaa	7
Abbildung 4: Funktionsprinzip der EMI-Messung: In der Empfangsspule wird das aus primärem und sekundärem Magnetfeld resultierende Feld gemessen (MILLITZER und WEBER, 1985)	16
Abbildung 5: Meßprofile und Ergebnis der elektromagnetischen Kartierung anhand von Isolien gleicher elektrischer Leitfähigkeit	19
Abbildung 6: Schematische Darstellung eines magnetischen Profils der Totalintensität in Mitteleuropa über einer Eisenschrotanhäufung	21
Abbildung 7: Ergebnis der geomagnetischen Messung als Isanomalien der Totalintensität, bezogen auf 40 nT	22
Abbildung 8: Meßprinzip des Bodenradars	23
Abbildung 9: Radargramm eines Meßprofils	24

Abbildung 10: Radargramm entlang eines Meßprofils mit Bereichen unterschiedlichen Reflexionsverhaltens	25
Abbildung 11: Ergebnis der Interpretation der Radar- gramme	26
Abbildung 12: Meßpunkte der Bodenluftuntersuchung und Konzentration von Kohlendioxid in der Bodenluft in 2 m Tiefe	29
Abbildung 13: Zusammenfassung der Ergebnisse der geophysikalischen Untersuchungen und der Bodenluftuntersuchung	32
Abbildung 14: Bodenprofile der Schürfe I, III und VII	37
Abbildung 15: Lage der Probeschürfe und Faßfundstellen	38

1. EINLEITUNG

Bei der Entscheidungsfindung über das Ausmaß der Umweltbelastung, hervorgerufen durch Altablagerungen und Altstandorte, ist die Durchführung von Untersuchungen an den Verdachtsflächen unabdinglich.

Nunmehr existiert eine große Zahl an Untersuchungsmethoden, die, jede für sich betrachtet, geeignet ist, Informationen über eine Verdachtsfläche und deren Umfeld zu liefern. Nicht immer sind die Untersuchungsergebnisse geeignet, Antworten auf konkrete Fragestellungen im Zusammenhang mit der Erkundung der Verdachtsfläche zu geben.

Im Vorfeld der Überlegungen zur gegenständlichen Publikation lag der Gedanke, daß durch einzelne Untersuchungen nur Teilaspekte eines komplexen Systems betrachtet werden. Dem zielorientierten Aufbau von Untersuchungsprogrammen, der Zusammenschau der Einzelaspekte und der Interpretation des Gesamtinformationsstandes kommt eine bedeutende Rolle zu.

Die Publikation soll Erfahrungen bei der Erkundung einer kommunalen Ablagerungsfläche dokumentieren und Anregungen zur Formulierung eines Untersuchungsrahmens in vergleichbaren Fällen geben.

2. ALTABLAGERUNG ADERKLAA

2.1 Historische Erkundung

In der Zeit von 1986 bis 1988 wurde vom Umweltbundesamt das Pilotprojekt "Luftbildgestützte Erfassung von Altablagerungen" (UBA-Monographien, Band 6) durchgeführt. Ziel des Projektes war es, die Verwendungsmöglichkeiten historischer Luftaufnahmen für Zwecke der Erfassung von Altablagerungen auszutesten. Im Zuge dieses Projektes wurden 377 Abbau- bzw. Ablagerungsflächen erfaßt. Die Verdachtsfläche "Aderklaa" war eine der bearbeiteten Flächen.



Abbildung 1: Lage der Verdachtsfläche Aderklaa

Im Anschluß an die multitemporale Auswertung historischer Luftaufnahmen wurden zu den jeweiligen Verdachtsflächen durch Akteneinsicht an den zuständigen Behörden, Begehung der Flächen und Befragung von Anrainern und Gemeindevertretern Informationen gesammelt. Diese Erhebungen wurden im Zeitraum Sommer 1987 bis Frühjahr 1988 durchgeführt.

2.1.1 Geschichtliche Entwicklung

Für die Bildinterpretation wurden Luftbilder aus den Jahren 1966, 1972 und 1980 herangezogen. Die Auswertung der Bilder des Jahres 1966 ergab, daß es sich bei der gegenständlichen Verdachtsfläche um eine Grube mit einer Tiefe von 4,7 m handelt. Im Südosten der Fläche konnte anstehendes Grundwasser festgestellt werden. In den Luftbildern aus den Jahren 1972 und 1980 konnte eine fortschreitende Verfüllung der Grube festgestellt werden. Das Ergebnis der Bildinterpretation ist in Abbildung 2 dargestellt.

Die Befragung von Anrainern und Gemeindevertretern ergab, daß eine Geländemulde von der Gemeinde Aderklaa als Hausmüll- bzw. später als Bauschuttdeponie genutzt worden war. Die Ablagerungen erfolgten etwa im Zeitraum von 1970 bis 1986. Diese Aussagen und die Ergebnisse der Luftbildinterpretation standen in Übereinstimmung mit den Aufzeichnungen der Technischen Gewässeraufsicht des Amtes der Niederösterreichischen Landesregierung. Das Gesamtausmaß der betroffenen Fläche beträgt cirka 1 ha.

2.1.2 Vermutete Abfallstoffe

Die im Zuge der Jahre abgelagerten Stoffe waren qualitativ nicht mehr klassifizierbar. Generell war zu erwarten, daß in der Altablagerung, neben Bauschutt, ein erheblicher Anteil Hausmüll vorliegen würde. Für folgende Materialien lagen Hinweise vor:

- Hausmüll¹⁾ 2) 3)
- Bauschutt¹⁾ 2) 3)
- Leergebinde¹⁾
- Fässer¹⁾
- Landwirtschaftliche Abfälle²⁾
- Sperrmüll¹⁾
- Asphalt¹⁾
- Aushubmaterial der Deponieklasse 2 (NRW)¹⁾

Informationsquellen:

- 1) Akten bzw. Aufzeichnungen des Amtes der Niederösterreichischen Landesregierung
- 2) Errichtungsgesellschaft Marchfeldkanal - Begehung
- 3) Umweltbundesamt - Luftbilder, Begehung, Befragung

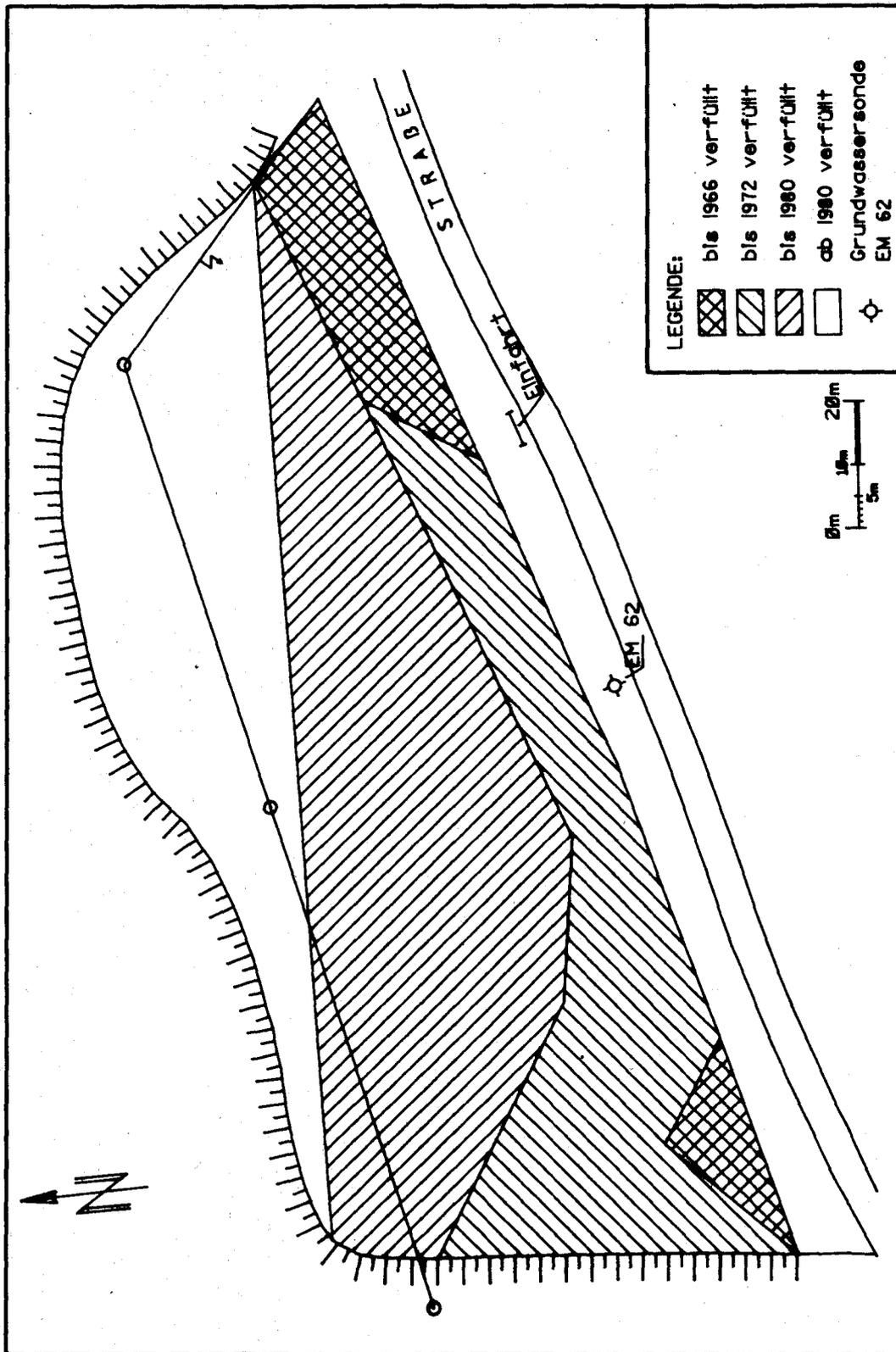


Abbildung 2: Fortschritt der Verfüllung nach den Ergebnissen der Luftbildinterpretation

2.1.3 Rechtliche Situation

Eigentümer der betroffenen Grundstücke ist die Gemeinde Aderklaa. Zum Zeitpunkt der Ablagerungen bestanden keine Bewilligungen. Im Jahr 1983 wurde von seiten der Bezirkshauptmannschaft Gänserndorf gemäß § 138 Abs. 2 Wasserrechtsgesetz 1959 ein Bescheid erlassen. Die Gemeinde Aderklaa erhielt den Auftrag, um die wasserrechtliche Bewilligung für den Betrieb einer Bauschuttdeponie anzusuchen oder die Ablagerungen einzustellen und die bestehende Oberfläche der Deponie und die Böschungen zu rekultivieren.

Im Jahr 1985 erging durch den Landeshauptmann von Niederösterreich ein Bescheid, die Deponie zu planieren, mit bewuchsfähigem Material abzudecken und zu rekultivieren. Ein gewerberechtliches bzw. ein sonstiges Verfahren war nicht bekannt. Die endgültige Abdeckung und Rekultivierung erfolgte im Jahr 1987.

2.1.4 Hydrologie/Hydrogeologie

Die Verdachtsfläche befindet sich auf der Niederterrasse des Marchfeldes im Randbereich des pannonischen Klimas. Die mittleren Jahresniederschlagssummen betragen zwischen 550 und 700 mm. Die Verdunstung übersteigt im Durchschnitt das Niederschlagsdargebot.

Der Untergrund wird von quartären Schottern aufgebaut. Die vorliegenden sandigen Kiese sind grundwasserführend und sehr gut durchlässig. Das Grundwasser strömt etwa von NNW nach SSO. Die Bezugshöhe des Geländes ist etwa 160 m ü.A. Das Grundwasser befand sich 1987 etwa 153,3 m ü.A. Der höchste Grundwasserstand ist mit 155,8 m ü.A. anzugeben. Die Sohle der Ablagerungen befindet sich im Grundwasserschwankungsbereich. In 25 m Tiefe besteht ein Grundwasserstauer.

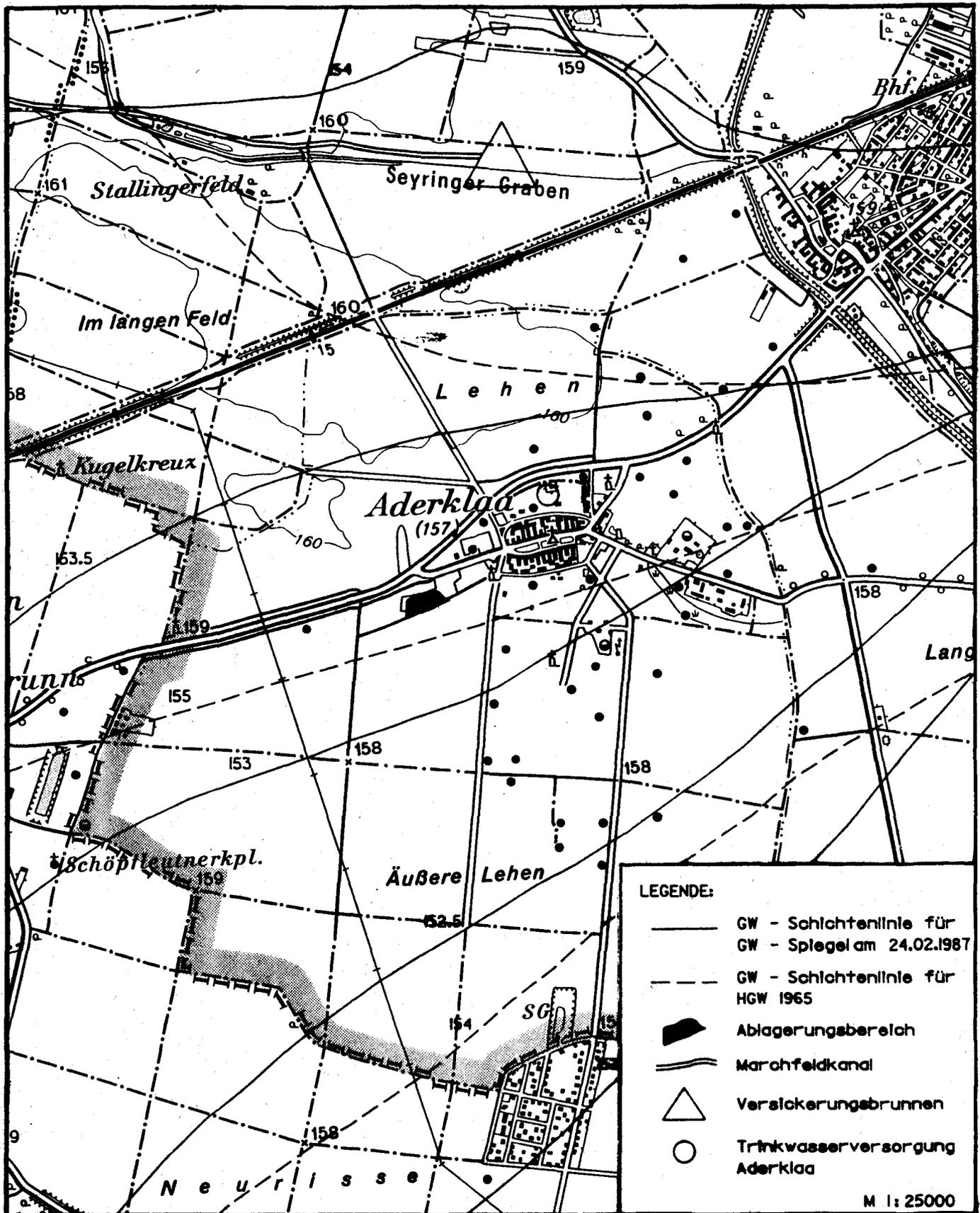


Abbildung 3: Lage der Verdachtsfläche "Aderklaa" in bezug auf den Versickerungsbrunnen des Marchfeldkanals und die Wasserversorgungsanlage Aderklaa

Aufgrund der intensiven Nutzung des Grundwassers im Marchfeld kam es im Zeitraum zwischen 1965 und 1985 zu einem großräumigen Absinken des Grundwasserspiegels um bis zu drei Meter. Seit 1985 ist wieder ein Aufspiegeln um etwa einen Meter feststellbar.

2.1.5 Nutzungssituation im Umfeld

Die Verdachtsfläche befindet sich in einem intensiv landwirtschaftlich genutzten Raum. Die nächsten Häuser der Ortschaft Aderklaa befinden sich etwa 200 m östlich der Fläche. Für das Gebiet besteht eine wasserwirtschaftliche Rahmenverfügung (BGBl.Nr. 32/1964 bzw. BGBl.Nr. 126/1969). Das nächstgelegene Wasserbenutzungsrecht besteht cirka 500 m nordöstlich (grundwasserstromaufwärts) der Verdachtsfläche für die Wasserversorgungsanlage der Gemeinde Aderklaa (siehe Abb. 3). Im Grundwasserabstrom bestehen Nutzungen zu Bewässerungszwecken.

2.2 Grundwasseruntersuchungen

Im Frühjahr 1989 wurde von der Errichtungsgesellschaft Marchfeldkanal im Abstrom der Verdachtsfläche eine Grundwassersonde (EM 62) errichtet. In weiterer Folge wurden im Zeitraum April 1989 bis Oktober 1989 an drei Terminen Wasserproben genommen. Aufgrund der Analyseergebnisse ergaben sich keine Hinweise auf eine Beeinflussung der Grundwasserqualität durch die Altablagerung (siehe Tab. 1).

Tabelle 1: Vergleich der Analysenergebnisse (Mittelwerte) im Grundwasseranstrom und -abstrom

		WVA Aderklaa	EM 62
Leitfähigkeit	($\mu\text{S}/\text{cm}$)	906	928
pH-Wert		7,5	7,4
Gesamthärte	(dH)	28,8	29,2
Karbonathärte	(dH)	13,1	14,7
Bleibende Härte	(dH)	15,7	14,5
Calcium	(mg/l)	118	116
Magnesium	(mg/l)	54,0	57,0
KMnO ₄	(mg/l)	3,5	3,9
HCO ₃	(mg/l)	286	321
Chlorid	(mg/l)	68,0	56,0
Sulfat	(mg/l)	128	151
Nitrat	(mg/l)	59,0	59,0
Natrium	(mg/l)	11,5	13,0
Kalium	(mg/l)	2,1	4,0
CKW	($\mu\text{g}/\text{l}$)	< 1,0	< 1,0

2.3 Problemstellung im Zusammenhang mit der Errichtung des Marchfeldkanals

Nach dem Zweiten Weltkrieg kam es im Zuge von landwirtschaftlicher Intensivproduktion und Industrialisierung zu einem raschen Anstieg der Grundwasserentnahmemenge im Marchfeld und im Zuge dieser Übernutzung zu einem Absinken des Grundwasserspiegels um etwa drei Meter. Gesetzlicher Auftrag der Errichtungsgesellschaft Marchfeldkanal ist die wasserwirtschaftliche Sanierung des Marchfeldes. Einen Teil des Konzeptes stellt die Grundwasseranreicherung mittels einer Versickerungsanlage bei Deutsch-Wagram dar.

Im Bereich der Verdachtsfläche ist durch den Betrieb der Versickerungsanlage mit einer Hebung des Grundwasserspiegels um bis zu zwei Meter zu rechnen. Der zu erwartende Einstau der Deponiesohle wird eine verstärkte Auswaschung der abgelagerten Abfälle bewirken und kann zu einer Mobilisierung der am Standort möglicherweise vorhandenen Schadstoffe führen.

2.4 Zielsetzung weiterer Untersuchungen

Aufgrund der bis Herbst 1989 erfolgten Erkundung war es noch nicht möglich, eine bereits bestehende bzw. eine zukünftige nachteilige Beeinflussung des Grundwassers durch die Altablagerung auszuschließen. Vor allem die Änderung der Grundwassersituation durch das Marchfeldkanalsystem ergab die Notwendigkeit zur Fortsetzung der Erkundung.

Ziel weiterer Untersuchungen mußte sein,

- den Kenntnisstand über die Art der tatsächlich abgelagerten Abfälle, deren Verteilung und volumsmäßiges Ausmaß zu verbessern und
- bereits möglicherweise bestehende Schadstoffemissionen zu lokalisieren.

Die erzielten Ergebnisse sollten die Beurteilung einer Gefährdung des Grundwassers durch die Altablagerung im Falle einer Anhebung des Grundwasserspiegels ermöglichen. Daraus waren abschließende Maßnahmen (z.B. Sanierung durch Umlagerung, weitere qualitative Grundwasserkontrolle, keine Maßnahmen) für die Verdachtsfläche abzuleiten.

Für das Umweltbundesamt war es ein weiteres wesentliches Ziel, innerhalb eines Projektes die Einsatzmöglichkeiten von geophysikalischen und geochemischen Methoden im Zusammenhang mit der Erkundung von Altablagerungen zu erproben.

3. FESTLEGUNG DES UNTERSUCHUNGSPROGRAMMES

3.1 Durchführung einer Interessentensuche

Im Herbst 1989 wurde eine öffentliche Interessentensuche durchgeführt. Mittels eines Zeitungsinsertes wurde versucht, Firmen und Institutionen, die Untersuchungen an Altablagerungen durchführen, anzusprechen. Es meldeten sich zehn Fachfirmen bzw. Ingenieurbüros.

An die Interessenten erging die Einladung zur Erarbeitung eines mehrstufigen Untersuchungsprogrammes (Zielsetzung siehe Kap. 2.4) und zu einer entsprechenden Anbotslegung. Als Grundlage für die Ausarbeitungen wurde eine Unterlagenzusammenstellung der bis zu diesem Zeitpunkt bekannten Informationen zur Verfügung gestellt.

3.2 Vergleich möglicher Untersuchungsprogramme

3.2.1 Fachlicher Vergleich

Es wurden neun Angebote für Untersuchungsprogramme vorgelegt. Bei keinem der vorgelegten Angebote war ein mehrstufiges Untersuchungsprogramm ausgearbeitet worden. Stattdessen waren oft einzelne Untersuchungsmethoden als Wahlpositionen vorgesehen. In Tabelle 2 ist eine Übersicht der in den verschiedenen Programmen enthaltenen Untersuchungsmethoden gegeben.

Bei fünf Angeboten (Nr. 1 bis 4, 7) konnten die vorgesehenen Untersuchungen, die sich weitgehend auf die Erkundung des Deponiekörpers beschränkten, als einer ersten Untersuchungsstufe entsprechend angesehen werden.

Tabelle 2: Vergleich der Programme in bezug auf die vorgeschlagenen Untersuchungsmethoden

Untersuchungsmethode	Anbot - N r .								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Geomagnetik	*	*	*			*		*	*
Geoelektrik	*	*	*					*	*
Bodenradar		*			*	*	*	*	
Geoseismik			*						
Bodenluft				*	*	*		*	*
Grundwassersonden	*		*		*	*		*	*
Grundwasseranalysen					*	*		*	*
Schürfe u.ä. und Bodenproben		*			*	*	*	*	*

Allerdings wurden zwei dieser Programme (Angebote Nr. 1 und 3), die sich auf indirekte Methoden (Geophysik und Ermittlung der lokalen Grundwasserströmungsverhältnisse) beschränkten, als nicht zweckmäßig zur Erreichung der in Kapitel 2.3 beschriebenen Erkundungsziele eingestuft. Auch die in einem weiteren Anbot (Nr. 7) vorgeschlagene Kombination einer indirekten Erkundung durch Bodenradar und der direkten Erkundung durch Schürfe wurde aufgrund der sehr beschränkten Aussagekraft eines einzeln angewendeten geophysikalischen Verfahrens als nicht zweckmäßig eingestuft. Bei den letztgenannten drei Angeboten wurde außerdem der jeweils vorgeschlagene Umfang der Einzeluntersuchungen (z.B. Anzahl der Meßpunkte) durchwegs als zu groß erachtet.

Anbot (Nr. 4) beschränkte sich, aufgrund der Tatsache, daß es sich um eine spezialisierte Firma handelt, auf Bodenluftuntersuchungen.

Bei vier Angeboten (Nr. 5, 6, 8 und 9) war jeweils eine Gesamt-erkundung der Verdachtsfläche mit umfangreichen Untersuchungsprogrammen vorgesehen. Es wurden in allen Angeboten geo-

physikalische Untersuchungen, Bodenluftuntersuchungen, Schürfe mit Probenahme und Grundwasseruntersuchungen vorgeschlagen. Der Umfang der Einzeluntersuchungen wurde bei diesen Angeboten auch durchwegs als zu groß befunden.

Unter dem Gesichtspunkt einer zweckmäßigen Kombination von Untersuchungsmethoden ergab die Beurteilung, daß eines der vorgeschlagenen Programme (Nr. 2) als erste Untersuchungsstufe für ein durchzuführendes mehrstufiges Erkundungsprogramm geeignet war. Vier weitere Programme (Nr. 5, 6, 8 und 9) waren für eine Gesamterkundung der Altablagerung geeignet. Allerdings waren die Angebote, die eine Gesamterkundung vorsahen, aufgrund des jeweils zu großen Umfanges der geplanten Einzeluntersuchungen nur bedingt geeignet.

3.2.2 Kostenvergleich

Grundsätzlich ergaben sich im Zuge des Kostenvergleichs aus dem unterschiedlichen Umfang der vorgeschlagenen Untersuchungsprogramme sehr hohe Differenzen in den Gesamtsummen der Angebote. Bei zwei Angeboten, die sich auf die Anwendung einzelner Untersuchungsmethoden (Geophysik bzw. Bodenluft) beschränkten, ergaben sich Gesamtkosten von etwa öS 50.000,--. Bei den Programmen, die eine Kombination mehrerer Untersuchungsmethoden zur Gesamterkundung vorsahen, lag der Kostenrahmen (ohne Wahlpositionen) zwischen öS 250.000,-- und öS 600.000,--.

Der Kostenvergleich zwischen allen Angeboten erfolgte jeweils getrennt für die einzelnen Untersuchungsmethoden und nach den Kosten pro "Meßeinheit" (Grundwasserprobe, Meßpunkt, Profilmeter etc.). Es konnten vor allem bei den geophysikalischen Methoden größere Kostenschwankungen zwischen den einzelnen Angeboten festgestellt werden.

Tabelle 3: Vergleich der Kosten verschiedener Untersuchungsmethoden der Angebote

Untersuchung	Einheit	Kosten je Einheit (öS)		Vorgesehene Einheiten		Gesamtkosten (öS) max/min
		min	max	min	max	
Geomagnetik	Meßpunkt	15,--	50,--	200	1100	55.000,-- 5.100,--
Geoelektrik (elektromagnetische Kartierung)	Meßpunkt	35,--	65,--	240	400	26.000,-- 8.400,--
Bodenradar	Laufmeter	15,--	50,--	900	8000	73.000,-- 15.000,--
Bodenluftuntersuchung (Deponiegas und CKW)	Meßpunkt	2.100,--	2.500,--	20	30	75.000,-- 44.000,--
Schürfe (fachtechnisch beaufsichtigt)	Arbeitstag	15.000,--	36.500,--	1	6	219.000,-- 15.000,--

3.3 Auswahl des Untersuchungsprogrammes

Da die ersten orientierenden Grundwasseruntersuchungen keinen Hinweis auf eine Grundwasserverunreinigung ergeben hatten, war es notwendig, das Augenmerk verstärkt auf eine mögliche zukünftige Grundwassergefährdung und somit auf den Deponiekörper selbst zu wenden.

Es wurde ein dreistufiges Untersuchungsprogramm erstellt:

Phase I: Indirekte Erkundung des Deponiekörpers

- Geoelektrik (elektromagnetische Kartierung)
- Bodenradar
- Geomagnetik
- Bodenluftuntersuchung (Deponiegas, CKW, BTX)

Phase II: Direkter Aufschluß des Deponiekörpers

- Schürfe
- Abfall- bzw. Bodenprobenentnahme

Phase III: Grundwasserbeobachtung

- Errichtung weiterer Grundwassersonden
- Grundwasserbeweissicherung

Nach Abschluß jeder Untersuchungsphase sollten die Ergebnisse überprüft und vor allem im Hinblick auf die Fortführung des Untersuchungsprogrammes bzw. notwendige Abänderungen bewertet werden.

In Phase I wurden mit der Durchführung der einzelnen ausgewählten Untersuchungen jeweils die Billigstbieter beauftragt.

4. GEOPHYSIKALISCHE UNTERSUCHUNGEN

4.1 Geoelektrische Untersuchung

4.1.1 Meßprinzip

Die angewandte Methode beruht auf elektromagnetischer Induktion. Es werden zwei tragbare Spulen verwendet, von denen eine als Sender, die andere als Empfänger wirkt. Betrachtet wird das aus dem Senderfeld und dem durch Einlagerungen im Untergrund entstehende Anomaliefeld resultierende elektromagnetische Wechselfeld in der Empfangsspule. Über dieses wird die Leitfähigkeit des Untergrundes ermittelt. In Abbildung 4 ist das Funktionsprinzip der Messung dargestellt.

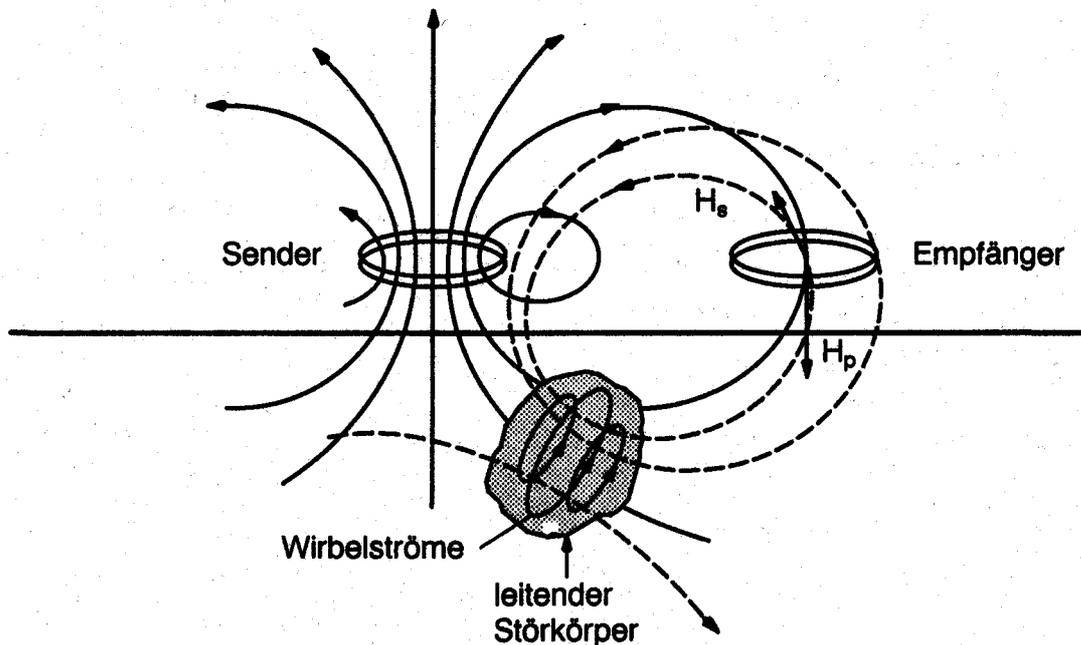


Abbildung 4: Funktionsprinzip der EMI-Messung: In der Empfangsspule wird das aus primärem und sekundärem Magnetfeld resultierende Feld gemessen (MILLITZER und WEBER, 1985)

Bei Sendefrequenzen von 1 bis 100 kHz und einem Leitfähigkeitsbereich zwischen 1 und 1.000 mS/m herrscht Linearität in der Beziehung zwischen Untergrundleitfähigkeit und Stärke der induzierten elektromagnetischen Felder. Die Eindringtiefe ist sowohl vom Spulenabstand als auch der gewählten Anordnung abhängig (siehe Tab. 4). Bei horizontaler Dipolanordnung werden die Spulen vertikal bzw. bei vertikaler Dipolanordnung werden die Spulen horizontal angeordnet.

Tabelle 4: Erzielbare Eindringtiefe in Abhängigkeit von Spulenabstand und Spulenkonfiguration (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1983; McNEILL, 1980)

Spulenabstand (in m)	Eindringtiefe bei	
	horizontalem Dipol (in m)	vertikalem Dipol (in m)
1	0,75	1,5
3,7	2,8	5,6
10	7,5	15
20	15	30
40	30	60

4.1.2 Durchführung

Die Messungen erfolgten mit dem Wechselstromgerät EM34 in horizontaler Dipolanordnung und einer Senderfrequenz von 6.400 Hz. Aufgrund der geringen Mächtigkeit der Anschüttung (cirka 5 m) wurde die Messung ausschließlich mit einem Spulenabstand von 10 m durchgeführt. Daraus ergibt sich eine Eindringtiefe von cirka 7,5 m. Die Messungen erfolgten auf der Altablagerung in Abständen von 10 m entlang von 14 Profilen (E1 bis E14, siehe Abb. 5). Zusätzlich wurde ein Profil (E15) im Nahbereich um die Verdachtsfläche gelegt.

4.1.3 Ergebnis

Die gemessenen Leitfähigkeiten sind in Abbildung 5 dargestellt. Die Lage bezeichnet jeweils den Mittelpunkt einer Auslage. Die Ablagerungen weisen generell Leitfähigkeiten über 10 mS/m auf, während im ungestörten Boden Werte zwischen 5 und 7 mS/m gemessen wurden. Das Ergebnis der elektromagnetischen Kartierung zeigt eine gute Übereinstimmung bei der lateralen Abgrenzung der Deponie mit den Ergebnissen der Luftbildinterpretation.

Im westlichen Teil ist ein ausgeprägtes Leitfähigkeitsmaximum mit bis zu 24,8 mS/m ausgebildet. Dieser Bereich hebt sich deutlich von der übrigen Fläche der Altablagerung (Leitfähigkeiten zwischen 10 und 15 mS/m) ab. Einige weitere lokale Leitfähigkeitsmaxima zeigen Leitfähigkeitswerte zwischen 16 und 18 mS/m. Die Differenzen dieser Maxima gegenüber den durchschnittlich feststellbaren Leitfähigkeiten sind jedoch gering, sodaß eine weitere Differenzierung der Altablagerung in unterschiedliche Schüttungsbereiche nicht möglich ist.

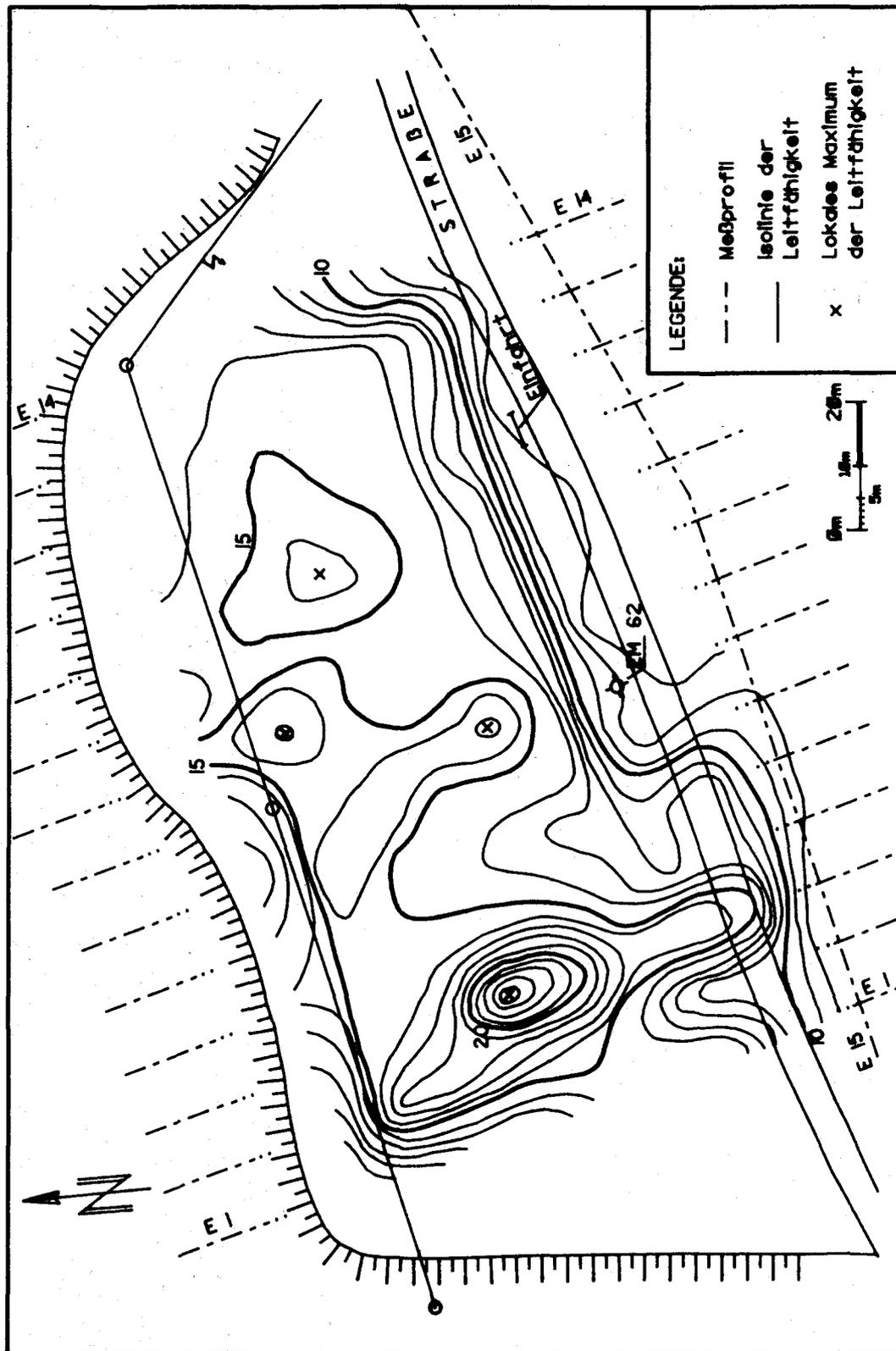


Abbildung 5: Meßprofile und Ergebnis der elektromagnetischen Kartierung anhand von Isolinien gleicher elektrischer Leitfähigkeit

4.2 Geomagnetische Untersuchungen

4.2.1 Meßprinzip

Es wird die Totalintensität des vorherrschenden Magnetfeldes gemessen. Dieses setzt sich aus dem Erdmagnetfeld und überlagernden magnetischen Anomalien, die durch magnetisierbare Einlagerungen im Untergrund hervorgerufen werden (siehe Abb. 6), zusammen. Die meßbaren magnetischen Differenzen sind, außer von der Magnetisierung, Form und Größe magnetischer Körper, vor allem auch von der Tiefenlage abhängig. Die Intensität magnetischer Felder nimmt mit zunehmender Entfernung mit der dritten Potenz ab.

Zusätzlich ist die Form magnetischer Anomalien von der geographischen Breite abhängig. Wie in Abbildung 6 dargestellt, stimmen die Lage eines magnetischen Körpers und die gemessenen Maxima und Minima bzw. die Amplitude nicht überein. Auf der Nordhalbkugel ergibt sich die dargestellte Anomalieversetzung nach Süden.

4.2.2 Durchführung

Es wurde die Totalintensität des Magnetfeldes mit einem Protonenmagnetometer gemessen. Der Abstand des Sensors vom Boden betrug 2 m. Da die laterale Begrenzung der Altablagerung bereits bekannt war, wurde die Messung auf die unmittelbare Deponiefläche beschränkt. Es wurden sechs Profile (siehe Abb. 7) mit einem Punktabstand von 5 m aufgenommen.

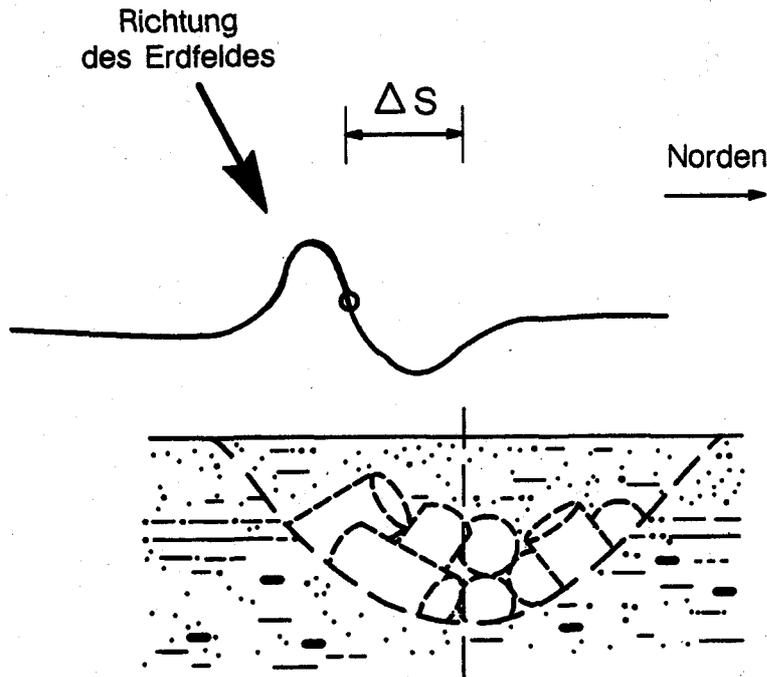


Abbildung 6: Schematische Darstellung eines magnetischen Profiles der Totalintensität in Mitteleuropa über einer Eisenschrottanhäufung

4.2.3 Ergebnis

Das Ergebnis der geomagnetischen Messung ist in Abbildung 7 als Isanomalkarte, bezogen auf 40 nT, dargestellt. Erkennbar ist vor allem eine magnetische Störung im südlichen Mittelteil. In diesem Teilbereich der Altablagerung konnten auf einer größeren Fläche magnetische Totalintensitäten über 48 nT gemessen werden. Am östlichen bzw. am westlichen Ende dieser magnetischen Störung treten außerdem zwei ausgeprägte Amplituden der magnetischen Totalintensität auf. Die östliche Amplitude ist mit annähernd 2 nT (Maximum 49,28 nT; Minimum 47,32 nT) ausgeprägter als die westliche Amplitude (Maximum 48,53 nT; Minimum 47,55 nT).

Die im übrigen Deponiebereich auftretenden magnetischen Maxima (> 48 nT) sind nicht sehr ausgeprägt, sodaß eine weitere Differenzierung unterschiedlicher Schüttbereiche nicht möglich ist.

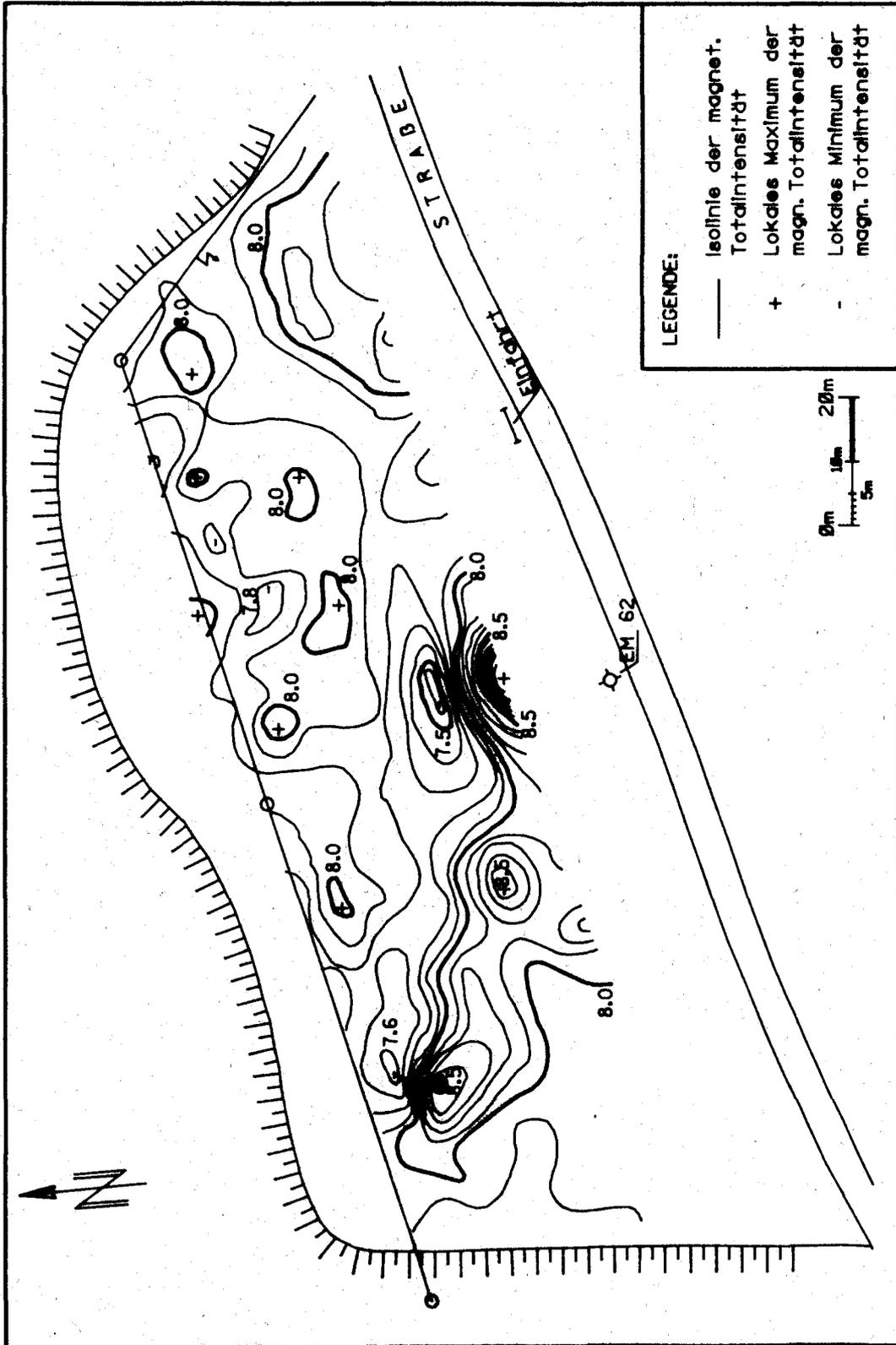


Abbildung 7: Ergebnis der geomagnetischen Messung als Isoanomalien der Totalintensität, bezogen auf 40 nT

4.3 Bodenradar

4.3.1 Meßprinzip

Das Bodenradar beruht auf dem Prinzip der Echosondierung. Es werden hochfrequente elektromagnetische Wellen (von 10 bis 500 MHz) von einer Sendeantenne abgestrahlt, die an horizontalen Materialgrenzen, an denen sich die elektrischen Eigenschaften ändern, reflektiert werden (siehe Abb. 8). Ein Empfänger registriert die an Diskontinuitätsflächen reflektierten Signale. Meßgröße ist die vom Untergrund abhängige Zweiweglaufzeit. Aus der Laufzeit kann bei Kenntnis der Ausbreitungsgeschwindigkeit die Tiefenlage des Reflektors ermittelt werden.

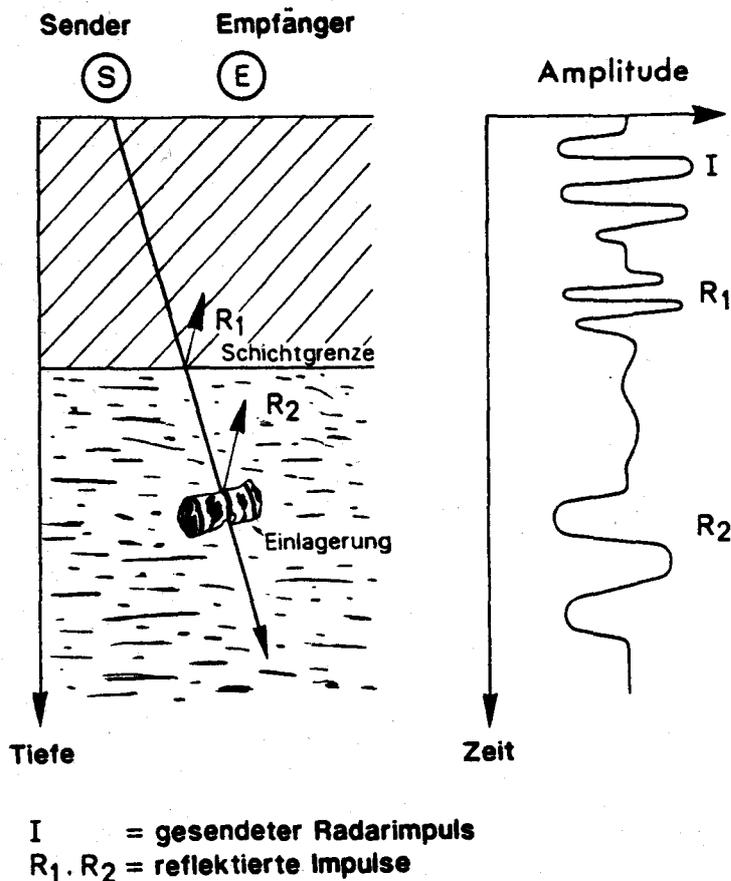


Abbildung 8: Meßprinzip des Bodenradars

Radarmessungen ermöglichen kontinuierliche Messungen mit schnellem Meßfortschritt. Sie bieten grundsätzlich ein hohes Auflösungsvermögen, sind jedoch in der Eindringtiefe sehr begrenzt. Abhängig von der gewählten Sendefrequenz sind höhere Eindringtiefen auf Kosten des Auflösungsvermögens möglich.

4.3.2 Durchführung

Für die Messung wurde eine 80 MHz-Antenne verwendet, die im Schrittempo entlang der Meßprofile gezogen wurde. Die Reflexionssignale des Untergrundes werden von derselben Antenne wieder empfangen und zu kontinuierlichen Reflexionsbildern verarbeitet (siehe Abb. 9). Es wurden im nördlichen Teil der Verdachtsfläche sieben Meßprofile mit einem Profilabstand von fünf Metern gemessen (siehe Abb. 10).

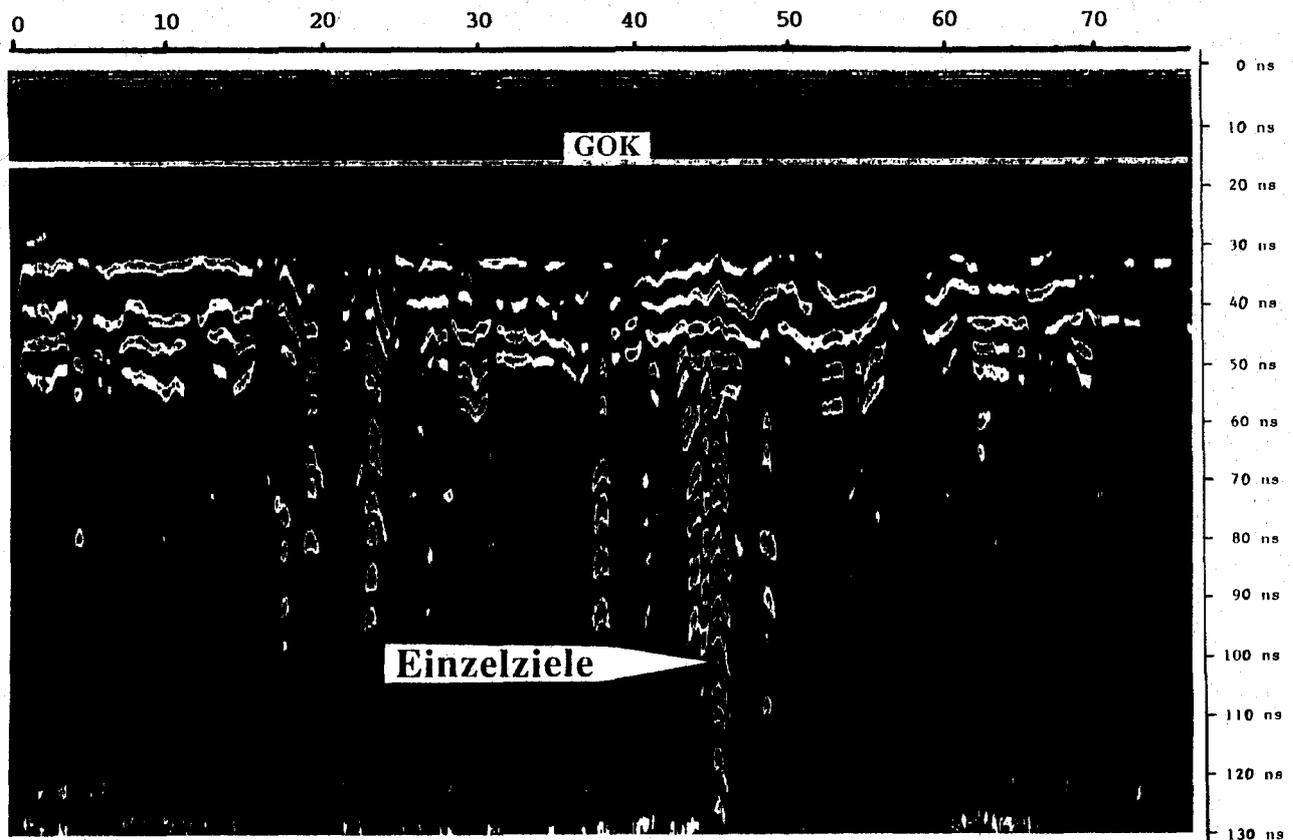


Abbildung 9: Radargramm eines Meßprofils

4.3.3 Ergebnis

Die Interpretation der Reflexionsbilder ergab eine Unterteilung des nördlichen Teilbereiches der Verdachtsfläche in zwei Bereiche (siehe Abb. 11) mit unterschiedlichem Reflexionsverhalten (siehe Abb. 10). Darüber hinaus wurden auch auffällige Einzelobjekte kartiert (siehe Abb. 9 bzw. Abb. 11).

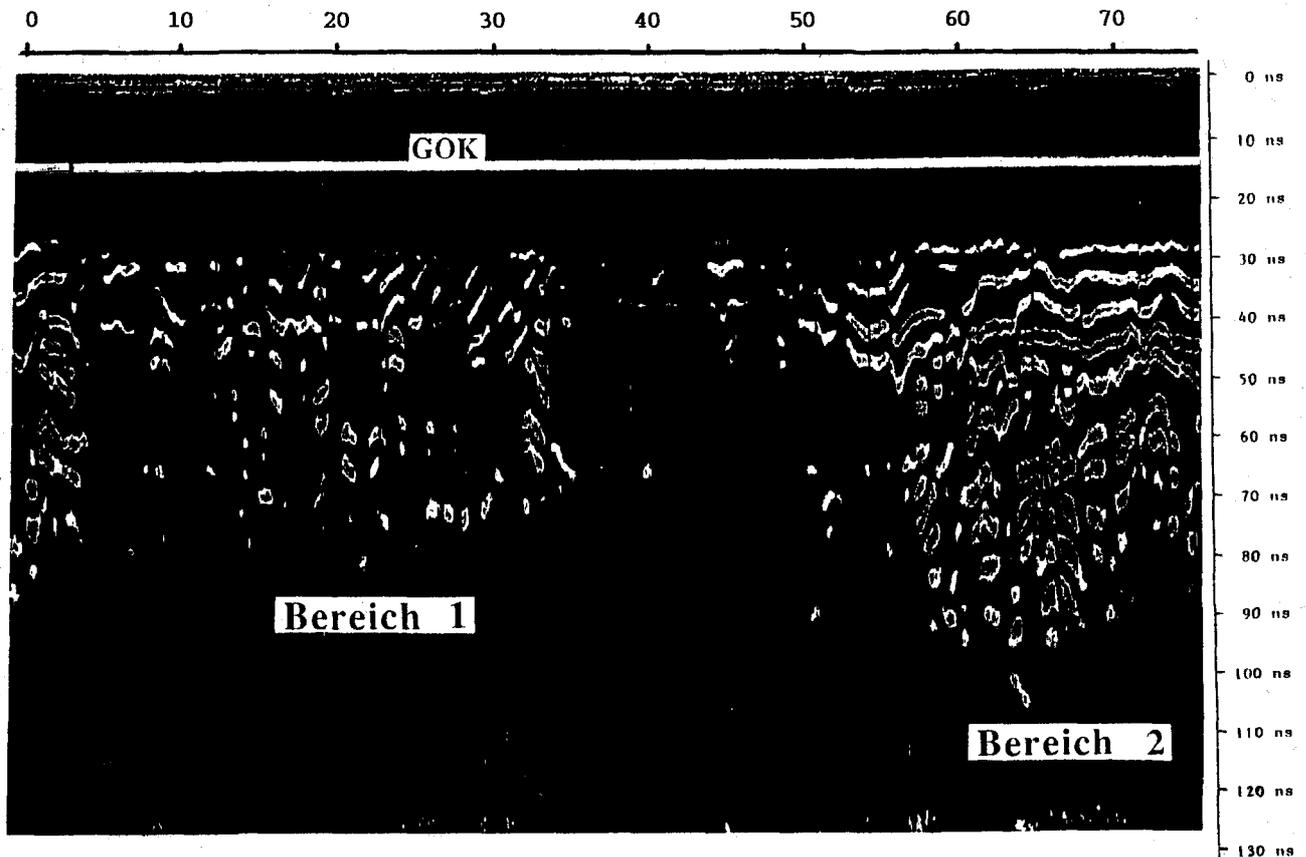


Abbildung 10: Radargramm entlang eines Meßprofils mit Bereichen unterschiedlichen Reflexionsverhaltens

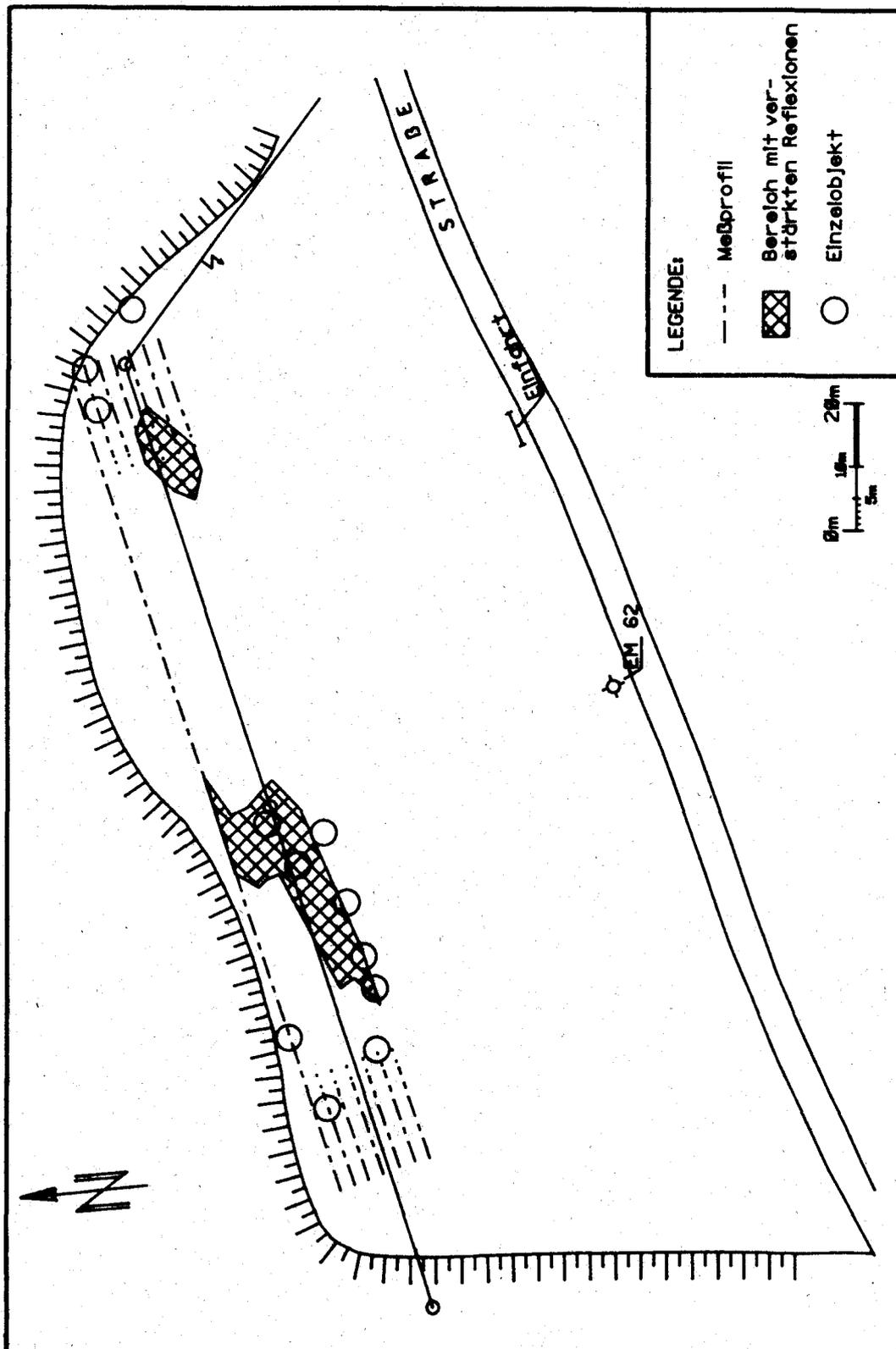


Abbildung 11: Ergebnis der Interpretation der Radargramme

5. BODENLUFTUNTERSUCHUNGEN

5.1 Deponiegas

Organische Bestandteile von Abfallstoffen in Deponiekörpern werden durch biochemische, mikrobielle Prozesse zumeist unter anaeroben Bedingungen abgebaut. Die Hauptbestandteile des entstehenden Deponiegases sind Methan und Kohlendioxid. Für unverdünntes Deponiegas in Hausmülldeponien kann ein CH_4 -Gehalt von 55 Vol.% sowie ein CO_2 -Gehalt von 45 Vol.% als durchschnittlich angesehen werden. Neben geringeren Mengen an Stickstoff, Sauerstoff, Wasserstoff, Schwefelwasserstoff und Kohlenmonoxid können eine Vielzahl organischer und anorganischer Spurenbestandteile vorliegen. Diese können in erhöhten Konzentrationen unter anderem Hinweise auf industrielle Abfälle geben. Von Bedeutung sind vor allem leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (Kühlmittel, Lösungsmittel etc.), die in Zusammenhang mit Grundwasserverunreinigungen durch Deponien wiederholt feststellbar sind und deren Übertritt in die Bodenluft bzw. in die Atmosphäre durch ihre physikalischen Eigenschaften (Dampfdruck) begünstigt wird.

5.2 Durchführung

Es wurden 20 Meßpunkte auf der Verdachtsfläche angeordnet. Die Probenahme erfolgte mittels einer circa 25 mm starken Sonde, die mit einem Motorhammer 2 m tief in den Boden gerammt wurde. Sonde, Anschlußschläuche und Gasfalle wurden mit Wasser gefüllt, um den Einfluß atmosphärischer Luft auszuschließen. Durch Anheben der Sonde öffnet sich die Sondenspitze im Boden und es wird mittels einer Unterdruckpumpe Bodenluft über eine Gasfalle in ein evakuiertes Probefläschchen abgefüllt. Die Analyse der so gewonnenen Bodenluftproben erfolgte im Labor. Es wurden Methan, Kohlendioxid, leichtflüch-

tige halogenierte Kohlenwasserstoffe (CKW) und aromatische Kohlenwasserstoffe (BTX) analysiert. Die Probenahme erfolgte im Winterhalbjahr.

5.3 Ergebnis

Nur an drei Meßpunkten (9, 10 und 14, siehe Abb. 12) konnte Methan im Prozentbereich (max. 3,1 Vol.%) in der Bodenluft gemessen werden. Im Gegensatz dazu konnte Kohlendioxid fast im gesamten Bereich der Verdachtsfläche im Prozentbereich nachgewiesen werden. Die gemessenen Kohlendioxidkonzentrationen lagen zwischen 0,9 und 5,5 Vol.% (siehe Abb. 12). Chlorierte Kohlenwasserstoffe und aromatische Kohlenwasserstoffe konnten in geringer Konzentration (Trichloräthylen $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. Toluol 1 ppm) lediglich in einem Meßpunkt (16, siehe Abb. 12) beobachtet werden.

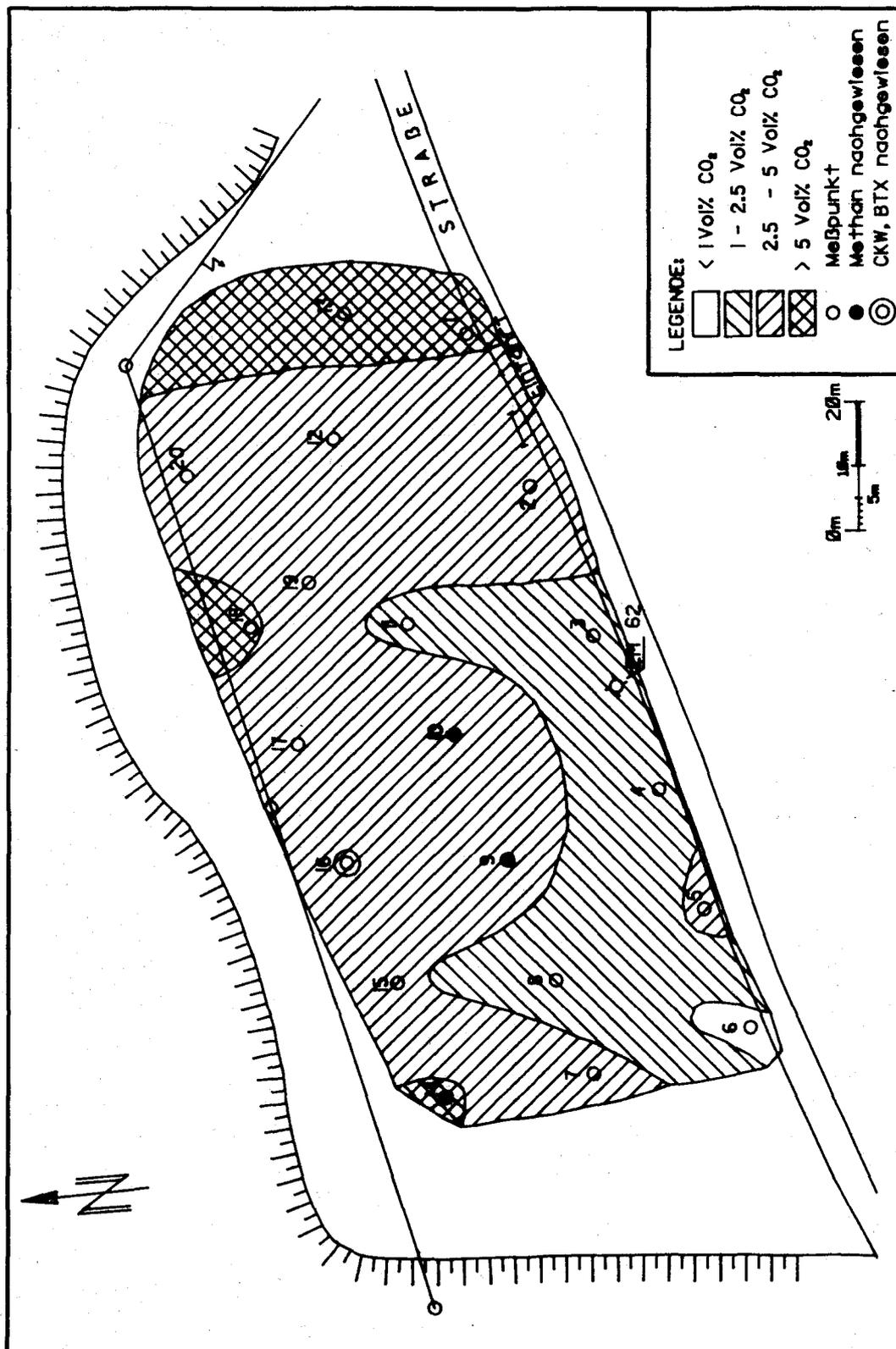


Abbildung 12: Meßpunkte der Bodenluftuntersuchung und Konzentration von Kohlendioxid in der Bodenluft in 2 m Tiefe

6. ERGEBNISBEWERTUNG FÜR DIE ERSTE UNTERSUCHUNGSPHASE

6.1 Beurteilung der Untersuchungsergebnisse

Nach Abschluß der ersten Stufe des Untersuchungsprogrammes erfolgte die Beurteilung der Ergebnisse in Gegenüberstellung mit den definierten Erkundungszielen (siehe Kap. 2.4).

- Abgrenzung der Verdachtsfläche

Durch die elektromagnetische Kartierung ergab sich eine gute Übereinstimmung der im Zuge der historischen Erkundung durch die Luftbildinterpretation erfolgten lagemäßigen Abgrenzung der Altablagerung.

- Abgelagerte Abfälle und deren Verteilung

Die Bodenluftuntersuchungen zeigten, daß sich, im Widerspruch zu den Informationen der historischen Erhebung, nur ein sehr geringfügiger Anteil an Hausmüll bzw. organischen Abfällen in der Altablagerung befinden. Die drei Meßpunkte, bei denen Methankonzentrationen im Prozentbereich beobachtet wurden, befanden sich im südwestlichen Mittelteil der Deponie. Dieser Teil wurde laut den Ergebnissen der Luftbildinterpretation etwa Anfang bis Mitte der siebziger Jahre geschüttet. Die festgestellten Konzentrationen an chlorierten Kohlenwasserstoffen und aromatischen Kohlenwasserstoffen in der Bodenluft waren durchwegs als sehr gering zu bezeichnen und ergaben keine Hinweise auf lösungsmittelhaltige bzw. sonstige schadstoffhaltige Abfälle.

In Zusammenschau der elektromagnetischen Kartierung und der Geomagnetik war vor allem im westlichen bzw. südwestlichen Teil (siehe Abb. 13) der Verdachtsfläche ein Schüttungsbereich abgrenzbar, der durch die größerflächig erhöhten Werte der Leitfähigkeit bzw. der Totalintensität deutlich von seiner Umgebung unterscheidbar war. Aufgrund der Ergebnisse der Geomagnetik war davon auszugehen, daß sich in diesem Bereich der Altablagerung größere Anteile an metallischen bzw. eisenhaltigen Abfällen im Deponiekörper befinden.

Durch das Bodenradar waren im nördlichen Drittel der Verdachtsfläche Einzelobjekte und aufgrund des Reflexionsverhaltens des Untergrundes zwei unterschiedliche Schüttbereiche kartiert worden. Die Leitfähigkeiten bzw. die magnetischen Totalintensitäten in diesen Bereichen zeigten jedoch keine erkennbaren Anomalien, sodaß im Vergleich der Ergebnisse keine erkennbare Übereinstimmung gegeben war.

- Schadstoffemissionen

Die elektromagnetische Kartierung entlang eines Profils im Grundwasserabstrom ergab keine Hinweise auf Schadstoffemissionen.

Zusammenfassung

Als wesentlichste Ergebnisse waren hervorstreichend, daß einerseits die Hinweise auf Hausmüllablagerungen durch die Bodenluftuntersuchung nicht bestätigt wurden und andererseits in einem Teilbereich der Altablagerung aufgrund der Ergebnisse der Geomagnetik in verstärktem Ausmaß metallische Abfälle zu erwarten waren.

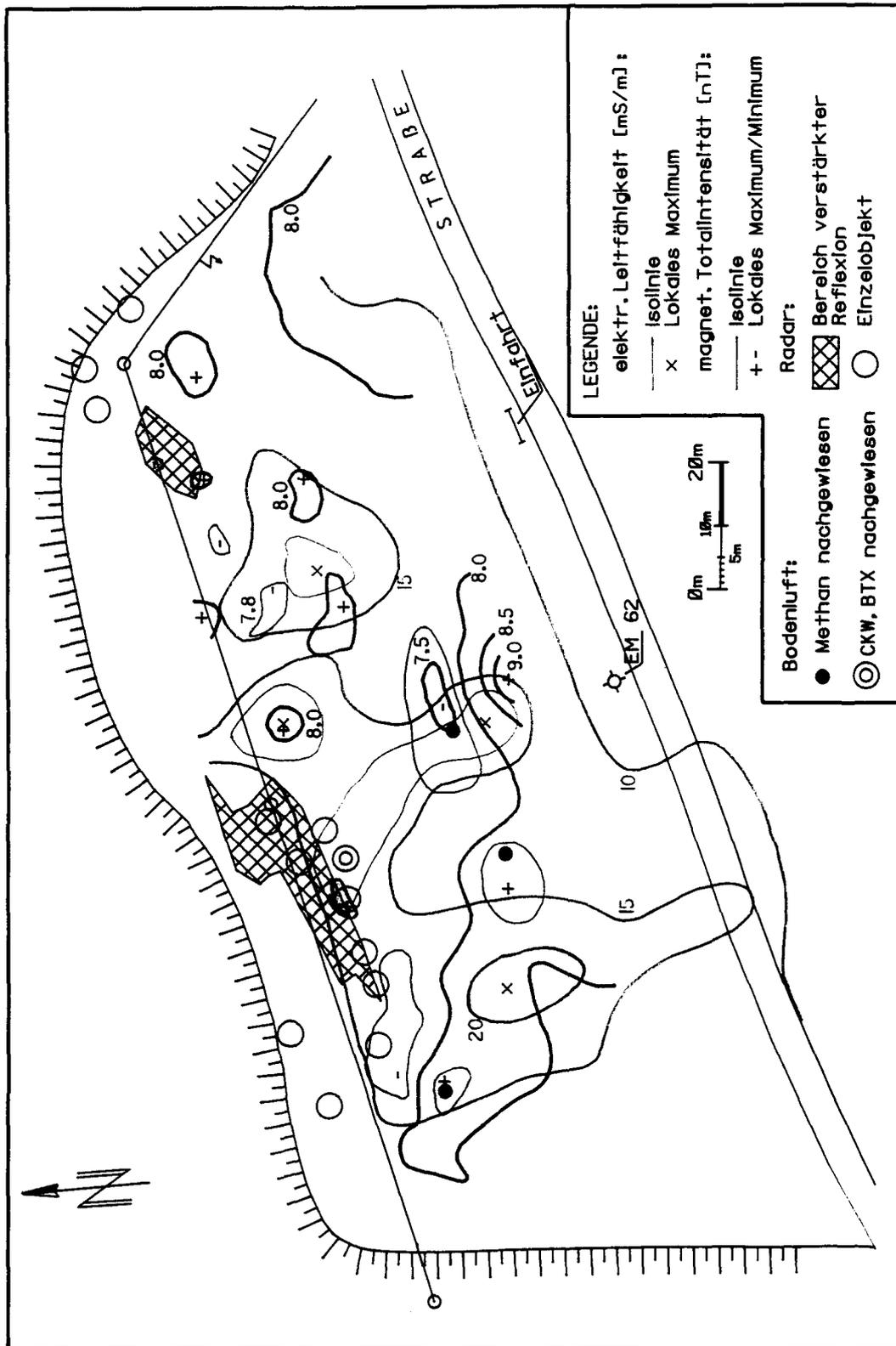


Abbildung 13: Zusammenfassung der Ergebnisse der geophysikalischen Untersuchungen und der Bodenluftuntersuchung

6.2 Überprüfung der weiteren Vorgangsweise

Es war davon auszugehen, daß die Inbetriebnahme der Versickerungsanlage des Marchfeldkanals einen Einstau von Grundwasser in der Altablagerung bewirken wird. Unter dieser Voraussetzung mußte die für die dritte Stufe des Untersuchungsprogrammes vorgesehene Errichtung weiterer Grundwassersonden und eine fortlaufende Grundwasserbeweissicherung in jedem Fall durchgeführt werden.

In der ersten Erkundungsphase hatten sich die Hinweise, daß sich in der Altablagerung grundwassergefährdende Abfälle befinden, nicht bestätigt. Unter Hinblick auf eine problemangepaßte Durchführung des gesamten Untersuchungsprogrammes wurde die weitere Vorgangsweise diskutiert. Es stellte sich vor allem die Frage, ob die geplante zweite Untersuchungsphase (direkte Aufschlüsse des Deponiekörpers) durchgeführt werden sollte bzw. notwendig sei. Der möglichen Kostenersparnis standen folgende Argumente gegenüber:

- Durch die Ergebnisse der ersten Untersuchungsstufe konnten Aufschlüsse gezielt geplant werden.
- Aufgrund der geringen Mächtigkeit der Altablagerung konnte mit Schürfen ein Aufschluß bis zur Deponiesohle hergestellt werden.
- Die bei den Schürfen festgestellten Abfälle ermöglichten einen Vergleich bzw. eine Überprüfung der Aussagekraft der in der ersten Untersuchungsstufe angewandten indirekten Erkundungsmethoden.
- Auch unter dem Augenmerk, daß die Aufschlüsse nur Stichproben darstellen, war ein wesentlicher Informationsgewinn über die tatsächlich abgelagerten Abfälle zu erwarten. Die punktuellen Zusatzinformationen würden vor allem im Zusam-

menhang mit den bereits durchgeführten flächenhaft repräsentativen, geophysikalischen Messungen die Informationsqualität bedeutend erhöhen.

- Die Kosten der zweiten Untersuchungsstufe (cirka öS 40.000,--) waren im Vergleich zur ersten (cirka öS 100.000,--) bzw. vor allem zur dritten Untersuchungsstufe (cirka öS 200.000,--) als gering einzustufen.

Die Gesamtbeurteilung ergab somit, daß bei Durchführung der zweiten Untersuchungsphase ein großer Informationsgewinn bei verhältnismäßig geringen Kosten zu erzielen war.

7. DEPONIEAUFSCHLÜSSE

7.1 Schürfe

7.1.1 Auswahl der Grabungsstellen

Die in vereinfachter Form zusammengefaßten Ergebnisse der ersten Untersuchungsphase (siehe Abb. 13) wurden als Grundlage zur Planung der Aufschlußarbeiten verwendet. Ziel der Schürfe waren

- eine Verbesserung des Informationsstandes über die tatsächlich abgelagerten Abfälle und
- die Überprüfung der Aussagekraft der in der ersten Untersuchungsphase angewandten Untersuchungsmethoden.

In einem ersten Schritt wurden mögliche Aufschlußstellen unter Berücksichtigung der genannten Kriterien festgelegt. In Tabelle 5 sind die für die verschiedenen Schürfe maßgeblichen Veranlassungen dargestellt. In weiterer Folge wurden die geplanten Schürfe auf zwei Arbeitstage aufgeteilt. Nach Abschluß des ersten Arbeitstages war unter Überprüfung der erzielten Ergebnisse über die Zweckmäßigkeit der Weiterführung der Aufschlußarbeiten zu entscheiden.

Tabelle 5: Auswahl der Aufschlußstellen

Schürf siehe Abb. 15	Hinweise aus der ersten Untersuchungsstufe	Arbeitstag
I	Maximale magnetische Amplitude; elektrisches Maximum; Methan (Bodenluft)	I
II	Trichloräthylen und Toluol (Bodenluft)	I
III	Magnetisches Maximum; Methan (Bodenluft)	I
IV	Große magnetische Amplitude; Einzelobjekt (Bodenradar)	II
V	Elektrisches Maximum	I
VI	Tiefster Sohlpunkt laut Luftbild	I
VII	Lokales magnetisches Maximum; Kohlendioxid (Bodenluft)	II
VIII	Lokales magnetisches Maximum; Grenze der Schüttbereiche 1 und 2 laut Bodenradar	I
IX	Lokales magnetisches Maximum; Einzelobjekt (Bodenradar)	II
X	Lokale magnetische Maxima	II
XI	Magnetische Amplitude; elektrisches Maximum	II
XII	Einzelobjekte und Schüttbereich 1 laut Bodenradar	II
XIII	Einzelobjekte und Schüttbereich 2 laut Bodenradar	II

7.1.2 Durchführung der Schürfe

Es wurden an den geplanten zwei Arbeitstagen neun Schürfe durchgeführt. Die Schürfe (I bis VIII, XI) wurden nach der Durchführung lagemäßig eingemessen. Außerdem wurden die ange-
troffenen Abfälle photographisch und durch Bodenprofile doku-
mentiert. Nach Abschluß der Arbeiten wurden die Schürfe wie-
derverfüllt.

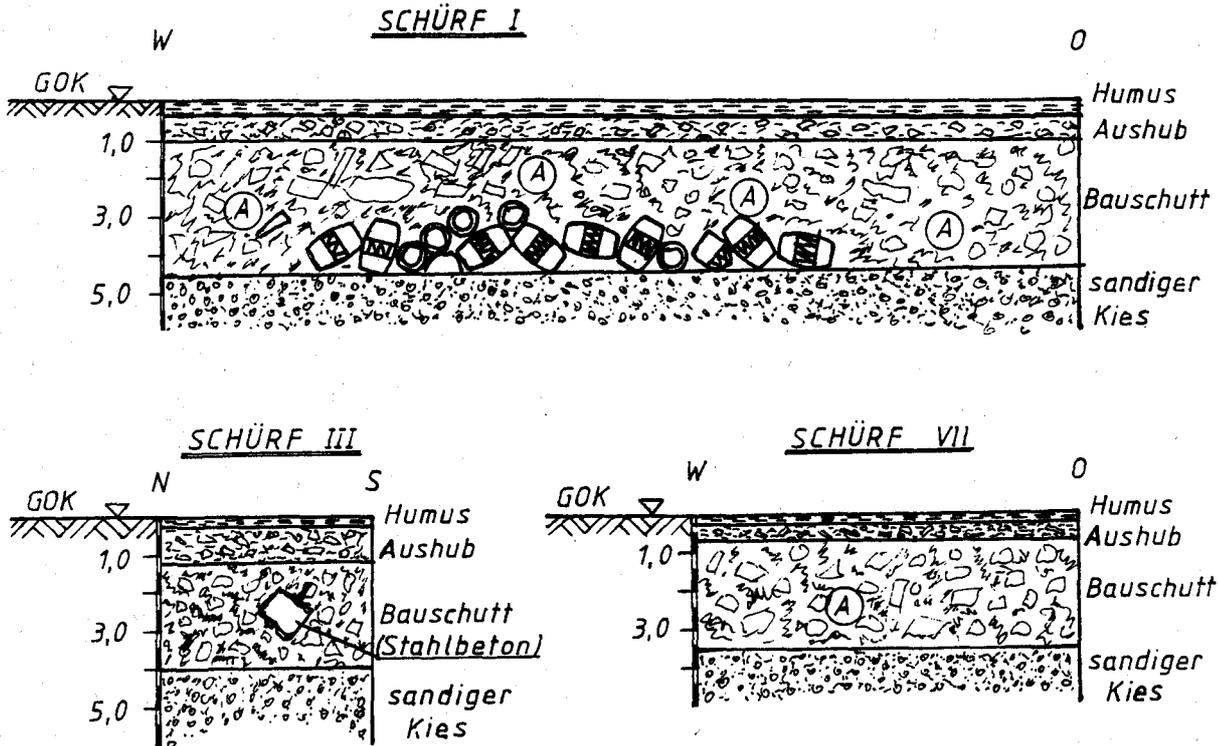


Abbildung 14: Bodenprofile der Schürfe I, III und VII

7.1.3 Ergebnis der Schürfe

Bei allen Schürfen war unter einer zumindest 0,5 m mächtigen Bedeckung mit Erdmaterial eine für ehemalige Bauschuttdeponien charakteristische Durchmischung von Bauschutt (v.a. Ziegel, Stahlbetonteile, Holz), Aushubmaterial und Sperrmüll feststellbar. Der gewachsene Boden wurde in Tiefen von 3,5 bis maximal 4,5 m angetroffen.

Im Bereich der Schürfe I, IV und XI konnten Fässer festgestellt werden. Vor allem bei Schürf I war ein größeres Faßlager gegeben, sodaß der Schürf zur Abschätzung der lagemäßigen Ausdehnung in Ost-West-Richtung auf insgesamt 24 m ausgedehnt wurde.

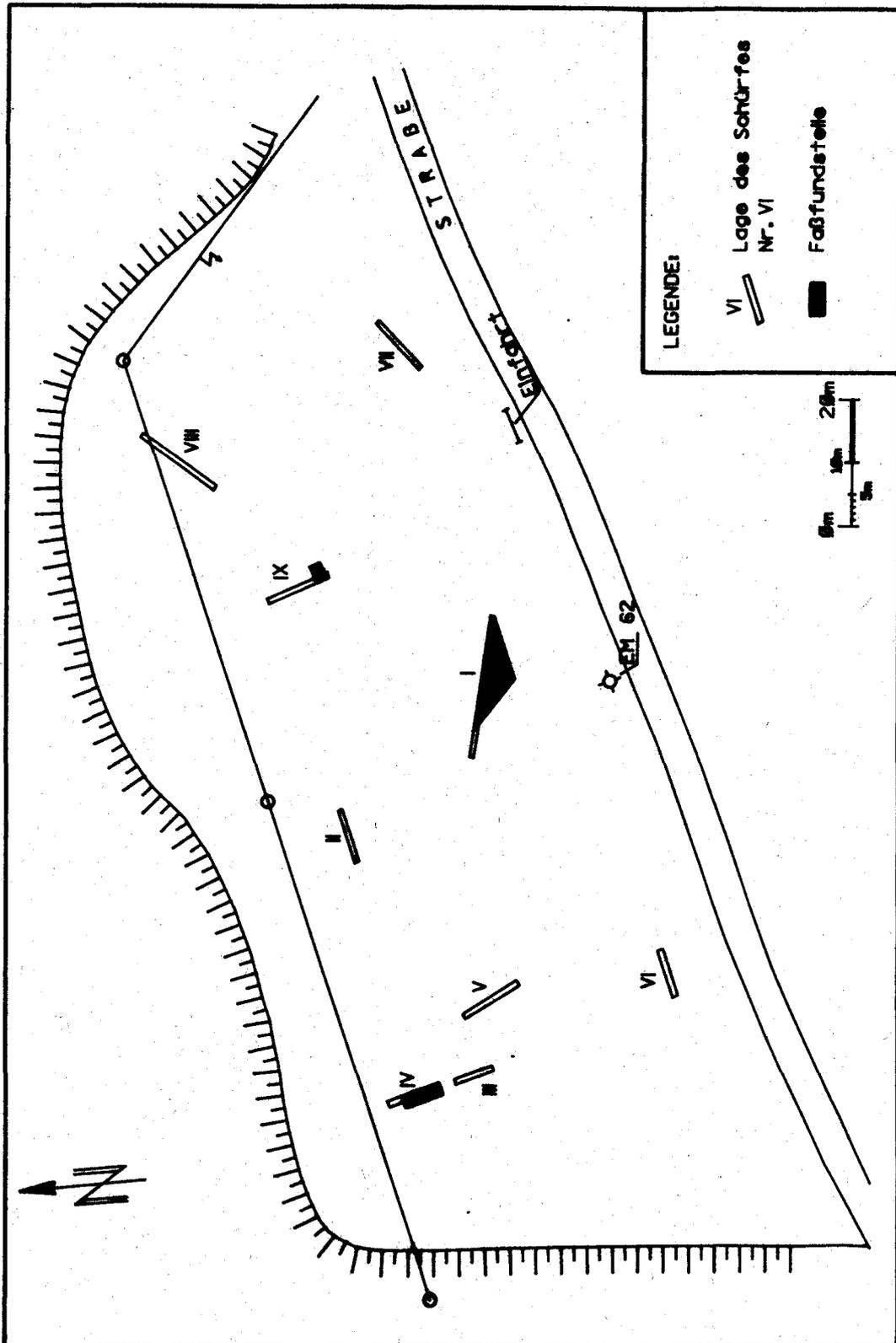


Abbildung 15: Lage der Probeschürfe und Faßfundstellen

Bei allen drei Schürfen waren die Fässer in einer Tiefe ab 2,5 m gelagert. Mit Ausnahme weniger Leergebinde handelte es sich durchwegs um zumindest teilweise gefüllte Fässer, die unterschiedlich stark beschädigt und korrodiert waren. Die Fässer enthielten teils flüssige, teils pastöse und auch feste Abfallstoffe. Zum Teil konnten eindeutig lackhaltige und mineralöhlhaltige Inhaltsstoffe identifiziert werden.

Die bei den Schürfen freigelegten Fässer wurden geborgen und in Containern zwischengelagert. In allen drei Schürfen waren weitere Fässer im Deponiekörper ersichtlich.

7.2 Bodenprobenahme

7.2.1 Probenahme und Analytik

Die Auswahl des Probenmaterials erfolgte aufgrund der optischen Begutachtung der Abfälle. Es wurden bei sechs Schürfen insgesamt 14 Erdproben genommen. Diese Proben wurden sowohl im Hinblick auf ihre Repräsentanz für die überwiegend festgestellten bzw. charakteristischen Abfälle (Bauschutt, Aushub etc.) und deren Kontrolle als auch zur Identifikation kontaminierter Bereiche, vor allem in der Umgebung der festgestellten Fässer, ausgewählt. Außerdem wurden acht Proben aus Fässern gezogen. Diese sollten die Identifikation der enthaltenen gefährlichen Abfälle gewährleisten.

Die Erdproben wurden zur Bestimmung der wasserlöslichen Inhaltsstoffe Eluatuntersuchungen gemäß DIN 38414 S unterzogen. Zusätzlich erfolgte eine Untersuchung der Erdproben auf die Gesamtgehalte an Ölen und Fetten bzw. Kohlenwasserstoffen nach der APHA-Methode (Standard methods for the examination

of water and wastewater, 1985, 503 E) mittels Infrarotspektroskopie sowie auf die Gesamtgehalte an Schwermetallen mittels Röntgenfluoreszenzanalytik.

Die flüssigen bzw. pastösen Proben aus den Fässern wurden mittels GC-IRD-MSD-Screening bzw. GC-FTIR-Analytik und IR-Untersuchung auf ihre Hauptkomponenten untersucht. Die Durchführung sämtlicher Analysen erfolgte im Labor des Umweltbundesamtes.

7.2.2 Ergebnisse der Abfallbeprobung

Der Vergleich der Analyseergebnisse der Eluatuntersuchungen an den Erdproben mit den Grenzwerten der ÖNORM S 2072 zeigt, daß neun Proben der Eluatklasse III zuzuordnen sind. Bestimmender Parameter ist bei fünf Proben das Ammonium, bei zwei Proben der Borgehalt sowie jeweils einmal der Phenolindex und der Summengehalt an Kohlenwasserstoffen (vgl. Tab. 6).

Tabelle 6: Gegenüberstellung der Meßwerte der Eluatanalysen und der Grenzwerte der ÖNORM S 2072

Parameter		Meßwerte			Grenzwert		
		MW	min.	max.	Ia	IIa	IIIa
pH-Wert		8,3	8,0	8,8	5,5 - 10	5,5 - 12	5,5 - 13
Leitfähigkeit	mS/m	43	69	26	100	300	-
Sulfat	mg/l	28	5	79	250	-	-
Chlorid	mg/l	5,3	1	10	200	-	-
Ammonium	mg/l	3,6	0,05	6,8	0,1	5,0	-
Bor	mg/l	0,7	0,19	2,8	0,5	1,0	10
Kohlenwasserstoffe gesamt	mg/l	< 0,1	< 0,1	4,2	0,1	1,0	50
Phenole	mg/l	0,015	0,005	0,29	0,01	0,1	20

Bei zwei Erdproben aus dem Umgebungsmaterial der Fässer war außerdem ein stark erhöhter Gesamtgehalt an Kohlenwasserstoffen (z.B. 6.980 mg/kg TS) feststellbar. Auffällige Schwermetallgehalte wurden an keiner Probe beobachtet.

Bei den Proben aus den Fässern ergab sich, daß es sich hauptsächlich um Abfälle aus der Lackherstellung handelt. Unter anderem konnte ein verunreinigtes Alkydharz auf Phthalsäurebasis identifiziert werden. Diese Kunstharze werden oft als Bindemittel für Lacke verwendet. Damit ergab sich eine Bestätigung der optischen Begutachtung. Ein Faß enthielt Mineralölprodukte, ein weiteres Polystyrol.

8. ERGEBNISBEWERTUNG FÜR DIE ZWEITE UNTERSUCHUNGSPHASE

8.1 Beurteilung der Untersuchungsergebnisse

Es konnte festgestellt werden, daß neben dem mengenmäßigen Hauptanteil der Abfälle an Bauschutt und Abraummateriale auch Fässer mit gefährlichen Abfällen abgelagert wurden. Der Anteil der Fässer kann aufgrund des Vergleiches der Ergebnisse der Geomagnetik mit den bei den Schürfen festgestellten Ablagerungsbereichen auf bis zu 1.000 m³ geschätzt werden. Größere Faßlager sind jedenfalls in zwei Bereichen (siehe Abb. 15) gegeben. Mit dem Vorhandensein vereinzelter Fässer ist im gesamten Bereich der Altablagerung zu rechnen.

Bei den Inhalten der Fässer handelte es sich hauptsächlich um Abfälle aus der Lackherstellung. Die Fässer waren unterschiedlich stark korrodiert und deformiert, sodaß in Übereinstimmung mit dem unterschiedlichen Füllungsgrad und den Analyseergebnissen von Erdproben aus der unmittelbaren Umgebung davon auszugehen ist, daß die Fässer nicht dicht sind. Es ist somit eine Gefährdung des Grundwassers gegeben.

Durch fortschreitende Korrosion und dadurch bedingten Leckagen kommt es vor allem bei Fässern mit Abfällen in flüssiger Phase zu Schadstoffaustritten. Diese führen, wie die Analyseergebnisse einiger Bodenproben zeigen, zu einer Kontamination des Umgebungsmaterials und verursachen in weiterer Folge kurzandauernde bzw. kleinräumige Belastungen des Grundwassers mit Schadstoffen. Die Auslaugung von Schadstoffen durch den versickernden Niederschlagsanteil ist demgegenüber aufgrund der bei den Schürfen festgestellten Überlagerung der Fässer durch Bauschutt und Erdmaterial (mindestens 2 m) und der im Marchfeld herrschenden Klimaverhältnisse (geringe Jahresniederschläge, hohe Verdunstungsraten, siehe Kap 2.4) nur in geringem Umfang zu erwarten.

Obwohl die im Abstrom durchgeführten Grundwasseruntersuchungen keine Beeinträchtigung der Grundwasserqualität erkennen lassen, ist davon auszugehen, daß es bereits seit längerer Zeit zu Schadstoffbelastungen des Grundwassers gekommen ist. Eine Aufhöhung des Grundwasserspiegels durch die geplante Anreicherungsanlage würde in jedem Fall eine weitere Verschlechterung der Situation bewirken. Da die Fässer ungeschützt im Sohlbereich der Altablagerung liegen und möglicherweise eingestaut würden, wäre mit einer kontinuierlichen Auswaschung von wassergefährdenden Stoffen zu rechnen.

8.2 Überprüfung der weiteren Vorgangsweise

Wie im vorigen Kapitel dargestellt, ist bei der Altablagerung Aderklaa eine Gefährdung des Grundwassers gegeben. Es sind somit in jedem Fall Maßnahmen zum Schutz des Grundwassers notwendig.

Die Leckagen einzelner Fässer führen zu jeweils sehr schmalen Schadstofffahnen. Diese sind durch die Errichtung und Beprobung von Grundwassersonden schwer zu erfassen. Selbst mit einer unverhältnismäßig großen Dichte von Sonden im Abstrom wäre eine Erfassung von Grundwasserbelastungen, die erwartungsgemäß auch stoßweise erfolgen, nicht gesichert möglich. Gleichzeitig würden jedoch hohe Untersuchungskosten anfallen.

Die Durchführung der geplanten dritten Untersuchungsphase (Grundwasserbeobachtung) ließ somit keine Verbesserung des Kenntnisstandes erwarten und wurde nicht durchgeführt.

9. DISKUSSION DER UNTERSUCHUNGEN

9.1 Angewandte Untersuchungsmethoden und deren Ergebnisse

Eine wesentliche Zielsetzung bei der Untersuchung der Altablagerung Aderklaa war, Erfahrungen zu den Anwendungsbereichen und Einsatzmöglichkeiten geophysikalischer und geochemischer Erkundungsmethoden zu sammeln.

Zur Auswahl der Untersuchungsmethoden für bestimmte Fragestellungen in Zusammenhang mit Altablagerungen bestehen in der Fachliteratur wiederholt Beschreibungen und Zusammenstellungen möglicher Anwendungsbereiche. An dieser Stelle sollen durch einen Vergleich der angewandten indirekten Erkundung (Untersuchungsphase I) mit der direkten Erkundung (Untersuchungsphase II) die jeweils erzielten Erkundungserfolge beschrieben werden.

- Geoelektrische Widerstandkartierung

Die bei den Schürfen festgestellten zwei Faßlager wurden nicht eindeutig geortet. Im Bereich des südlichen Faßlagers wurde ein lokales Leitfähigkeitsmaximum (cirka 17 mS/m) gemessen. Beim westlichen Faßlager wurde keine gegenüber der unmittelbaren Umgebung erhöhte Leitfähigkeit beobachtet.

Neben einer Bestätigung der Abgrenzung der Altablagerung wurde vor allem im westlichen Teil ein ausgeprägtes Leitfähigkeitsmaximum (siehe Abb. 5) festgestellt. Bei dem in diesem Bereich angelegten Schurf V wurden hauptsächlich Bauschutt und Erdmaterial, die gut durchfeuchtet waren, festgestellt. Der modrige Geruch des Aushubs wies auf einen Anteil organischer Abfälle hin. Dies bestätigte sich bei der Eluatanalyse zweier Erdproben durch erhöhte Ammoniumgehalte.

Da die elektrische Leitung in Altablagerungen vor allem elektrolytisch erfolgt und die Abfälle im übrigen Bereich der Verdachtsfläche bei den Schürfarbeiten jeweils trocken waren, ist der erhöhte Wassergehalt der Abfälle im Bereich des Schurfes V wahrscheinlich als Ursache für das gemessene Leitfähigkeitsmaximum anzusehen.

- Geomagnetische Kartierung

Durch zwei ausgeprägte Amplituden der magnetischen Totalintensität wurden die zwei Faßlager in etwa drei Meter Tiefe detektiert. Geringfügig erhöhte magnetische Totalintensitäten wurden weiters teilweise durch oberflächennahe ferromagnetische Gegenstände verursacht.

- Bodenradar

Für die durch das Bodenradar ausgewiesenen Bereiche mit unterschiedlichem Reflexionsverhalten (siehe Abb. 9 und 10) konnte bei den direkten Aufschlüssen keine nachvollziehbare Bestätigung bzw. Unterscheidung der abgelagerten Abfälle (Bauschutt, Aushubmaterialien) erhalten werden. Als Nachteil ist anzusehen, daß nur der nördliche Teilbereich der Verdachtsfläche durch das Bodenradar erkundet wurde. Anzumerken ist, daß von der ausführenden Untersuchungsfirma auf eigene Kosten auch ein Meßprofil diagonal von Nordwest nach Südost gelegt wurde. Dieses Meßprofil lief über das Faßlager im Süden. Es wurde jedoch kein Meßergebnis und keine Interpretation vorgelegt.

- Bodenluftuntersuchung

Die bei den Meßpunkten neun, zehn und 14 (siehe Abb. 12) festgestellten Methankonzentrationen im Prozentbereich stehen in Übereinstimmung damit, daß bei den Schürfen III, IV und V eine Beimengung organischer Abfälle festgestellt werden konnte. Der Aushub in diesen Bereichen wies größtenteils einen modrigen Geruch auf. Eluatanalysen von Bodenproben ergaben erhöhte Ammoniumkonzentrationen.

Für leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe und aromatische Kohlenwasserstoffe konnten in der Bodenluft keine erhöhten Konzentrationen festgestellt werden. Im Bereich der Faßlager (Meßpunkte 10 und 14) waren diese Stoffe nicht meßbar. Eine Ursache kann die ungünstige Meßperiode in der kalten Jahreszeit sein. Andererseits befanden sich die Probenahmepunkte für die Bodenluftuntersuchung in zwei Meter Tiefe, während die Fässer mindestens 2,5 m tief, unter relativ dichten Aushubmaterialien, gelagert waren.

- Direkte Aufschlüsse bzw. Schürfe

Durch die direkten Aufschlüsse des Deponiekörpers wurde stichprobenartig konkrete Information zu den tatsächlich abgelagerten Abfällen erlangt. Die Schürfe zeigten, daß es sich bei den abgelagerten Abfällen hauptsächlich um Bau-schutt und Aushub handelt. Organische Abfälle befinden sich nur in geringem Umfang in der Schüttung. In zwei Teilbereichen konnten gefährliche Abfälle festgestellt werden.

- **Beprobung und Analytik (Eluatanalyse, Gesamtgehalte für Schwermetalle und Kohlenwasserstoffe)**

Die gezogenen Abfallproben bestätigten, daß das Umgebungsmaterial der Fässer bereits kontaminiert ist. Demgegenüber konnten für die gezogenen Mischproben aus Bauschuttbereichen keine erhöhten Schadstoffgehalte analysiert werden.

9.2 Aufbau des Untersuchungsprogrammes

Nach dem Abschluß von Untersuchungsprogrammen an Altablagerungen muß gewährleistet sein, daß die vorliegenden Untersuchungsergebnisse eine Beurteilung der Frage, ob eine Umweltgefährdung gegeben ist, ermöglichen. Mit der Planung und Durchführung eines mehrstufigen Untersuchungsprogrammes an einer Altablagerung soll gleichzeitig ein effizienter Einsatz finanzieller Mittel erreicht werden.

Die Planung eines Untersuchungsprogrammes erfolgt immer aufgrund der vorliegenden Informationen. In diesem Zusammenhang ist vor allem die Qualität dieser Informationen zu beachten. An der Altablagerung "Aderklaa" bestätigte sich, daß die Qualität der vorhandenen Informationen nach der Historischen Erhebung auch nach den ersten Untersuchungsschritten (siehe Grundwasseruntersuchungen) in vielen Fällen nur ungenügend ist. Mit jedem an der Altablagerung "Aderklaa" durchgeführten Untersuchungsschritt veränderte sich der Informationsstand grundsätzlich:

- Nach der Historischen Erhebung und einer Erstabschätzung wurden Grundwasserverunreinigungen mit hoher Wahrscheinlichkeit erwartet. Bei den daraufhin durchgeführten Grundwasseruntersuchungen ergaben sich jedoch keine Hinweise auf eine negative Beeinflussung der Grundwasserqualität.

- Es ergab sich somit die Notwendigkeit, eine nähere Erkundung des Deponiekörpers durchzuführen. Im nächsten Untersuchungsschritt wurde durch die Bodenluftuntersuchungen die Information, daß zumindest in einem Teilbereich der Altablagerung hauptsächlich Hausmüll abgelagert wurde, widerlegt. Nur an drei von 20 Meßpunkten konnte Methan im Prozentbereich (max. 3,1 Vol.%) festgestellt werden.
- Es bestand bei der Altablagerung "Aderklaa" außerdem die Erwartung, daß räumlich unterscheidbare Bereiche mit unterschiedlichen Abfallarten vorliegen. Die Ergebnisse der Bodenluftuntersuchung und der geophysikalischen Untersuchung zeigten jedoch keine Hinweise, die eine eindeutige Differenzierung des Deponiekörpers ermöglicht hätten. Lediglich die Ergebnisse der Geomagnetik ließen im westlichen Teil und im südlichen Mittelteil der Verdachtsfläche das Vorhandensein von größeren Anteilen an metallischen bzw. eisenhaltigen Abfällen erwarten.
- Bei den Schürfarbeiten konnten in den oben genannten Bereichen Fässer festgestellt werden. Die Fässer waren unterschiedlich stark beschädigt und korrodiert und enthielten teilweise lackhaltige Abfälle. Festzuhalten ist in diesem Zusammenhang, daß in diesen Bereichen bei der Untersuchung der Bodenluft leichtflüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe (BTX), die lackhaltige Abfälle indizieren könnten, nicht nachgewiesen wurden.

Neben dem Sachverhalt, daß die Qualität der Informationen zu einer Verdachtsfläche mit jedem Untersuchungsschritt steigt und sich aufgrund ungenügender oder manchmal falscher Vorinformationen bei jedem Untersuchungsschritt neue Gesichtspunkte ergeben können, lassen sich aufgrund der Erfahrungen bei der Untersuchung der Altablagerung "Aderklaa" folgende, weitere Punkte zusammenfassen:

- Bei der Planung von Untersuchungsprogrammen an Altablagungen sollten Untersuchungsziele (z.B. Grundwasserverunreinigung, Lage der Deponie etc.) definiert werden.
- Den Untersuchungszielen sind die anwendbaren Untersuchungsmethoden (z.B. Grundwasseruntersuchung, Geoelektrik, Luftbildinterpretation etc.), die zur Lösung der Problemstellung in Frage kommen, zuzuordnen.
- Die Ergebnisse der angewandten Untersuchungsmethoden sind mit den Untersuchungszielen zu vergleichen. Es ist zu beurteilen, ob die Untersuchungsergebnisse eine eindeutige Lösung der Problemstellung (z.B. Grundwasserverunreinigung möglich?) darstellen.
- Bei der Planung von mehrstufigen Untersuchungsprogrammen können von Beginn an für jede Untersuchungsstufe Ziele definiert werden.
- Bei der Durchführung mehrstufiger Untersuchungsprogramme sind nach der Interpretation der Ergebnisse einer Untersuchungsstufe jeweils die Untersuchungsziele der nächsten Stufen zu überprüfen.

10. WEITERE VORGANGSWEISE

10.1 Wasserrechtsgesetz

Am ersten Arbeitstag der Schürfarbeiten wurde an der Altablagerung "Aderklaa", nach der Freilegung des Faßlagers im südlichen Mittelteil, von der Wasserrechtsbehörde "Gefahr in Verzug" gegeben. Bei der Wasserrechtsbehörde des Amtes der Niederösterreichischen Landesregierung ist seither ein wasserrechtliches Verfahren betreffend der Räumung der ehemaligen Deponie anhängig. Außerdem wurden aufgrund anonymer Hinweise Ermittlungen betreffend der Herkunft der Fässer durchgeführt. Laut Mitteilung des Amtes der Niederösterreichischen Landesregierung mußten diese Ermittlungen ergebnislos eingestellt werden.

Im Rahmen eines Sanierungskonzeptes, das von der Errichtungsgesellschaft Marchfeldkanal im Sommer 1990 erstellt wurde, wurden die Kosten zur Räumung der Deponie mit 2,5 Millionen öS abgeschätzt. Im Frühjahr 1992 wurde ein befugtes Zivilingenieurbüro von der Gemeinde Aderklaa mit der Erstellung eines Sanierungsprojektes beauftragt. Die Kostenschätzung für das Projekt belief sich im Herbst 1992 auf etwa 8,5 Millionen öS.

10.2 Altlastensanierungsgesetz

Bei der Vollziehung des Altlastensanierungsgesetzes (BGBl.Nr. 299/89) erstellt das Umweltbundesamt Gefährdungsabschätzungen, die Grundlage zur Aufnahme in den Österreichischen Altlastenatlas sind, sowie Vorschläge zur Prioritätenklassifizierung. Beides ist Voraussetzung für eine allfällige Förderung von Sicherungs- bzw. Sanierungsprojekten durch den Ökofonds.

Die im Altlastensanierungsgesetz vorgesehene Prioritätenklassifizierung ist ein Ausdruck für den Gefährdungsgrad und die Dringlichkeit der Finanzierung von Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen an Altlasten. Es bestehen drei Prioritätenklassen, wobei Prioritätenklasse I die höchste Dringlichkeit darstellt.

Die Altablagerung "Aderklaa" wurde mit 21. September 1990 in den österreichischen Altlastenatlas aufgenommen. Aufgrund einer Beurteilung nach den Kriterien des § 14 Abs. 1 Altlastensanierungsgesetz (BGBl.Nr. 299/89) wurde die Altablagerung "Aderklaa" in die Prioritätenklasse III eingestuft.

11. LITERATURVERZEICHNIS

BACHER, R. (1989)

Erkundung von Altlasten unter Anwendung bestimmter Methoden der Ingenieurgeophysik. In: Österreichische Wasserwirtschaft, Jahrgang 41, Heft 1/2, Springer Verlag, Wien - New York

DER RAT DER SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN (1989)

Sondergutachten Altlasten. Hrsg.: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Wiesbaden

DVWK (1982) (Hrsg.)

Auswertung hydrochemischer Daten - DVWK-Schriften 54. Verlag Paul Parey, Hamburg

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (1983)

Geophysical Techniques for Sensing Buried Wastes and Waste Migration. Las Vegas, Nevada

FELFER, W. (1989)

Erkundung von Altlast-Verdachtsflächen. Eine vergleichende Beschreibung der wichtigsten geophysikalischen Meßverfahren. Graz, unveröffentlicht

FRANZIUS, V., STEGMANN, R. und K. WOLF (1989)

Handbuch der Altlasten-Sanierung. R. v. Decker's Verlag, G. Schenk

GEO-DATA (1990)

Bericht über Bodenluftuntersuchungen zur Erfassung von Depo-niegas, Chlorkohlenwasserstoffen und BTX in der Verdachtsfläche "Aderklaa". Gänserndorf, unveröffentlicht

LANDESAMT FÜR WASSER UND ABFALL NORDRHEIN-WESTFALEN (1989)

Probenahme an Altlasten. LWA-Materialien 3/89, Düsseldorf

LANDESAMT FÜR WASSER UND ABFALL NORDRHEIN-WESTFALEN (1991)
Probenahme an Altlasten. LWA-Materialien 1/91, Düsseldorf

LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (1990)
Leitlinien zur Geophysik an Altlasten. Materialien zur Altlastenbearbeitung, Band 2, Karlsruhe

LUEGER, J. (1990)
Geophysikalische Untersuchungen auf der Verdachtsfläche Aderklaa (Bericht). St. Leonhard a.F., unveröffentlicht

MCNEILL, J.D. (1980a)
Electrical conductivity of soils and rocks. 22 S., Technical Note TN-5, Geonics Ltd. (Mississauga, Ontario, Canada)

MCNEILL, J.D. (1980b)
Electromagnetic terrain conductivity measurement at low induction numbers. 16 S., Technical Note TN-6, Geonics Ltd. (Mississauga, Ontario, Canada)

MILLITZER, H. und F. WEBER (Hrsg.) (1984)
Angewandte Geophysik. Band 1: Gravimetrie und Magnetik, 353 S., Springer Verlag (Wien - New York), Akademie-Verlag (Berlin)

MILLITZER, H. und F. WEBER (Hrsg.) (1985)
Angewandte Geophysik. Band 2: Geoelektrik, Geothermik, Radiometrie, Aero-geophysik, 371 S., Springer Verlag (Wien - New York), Akademie-Verlag (Berlin)

VOGELSANG, D. (1991)
Geophysik an Altlasten - Leitfaden für Ingenieure, Naturwissenschaftler und Juristen. Springer-Verlag, Heidelberg

WALACH, G. (1989)

Geophysikalische Verfahren zur Analyse der Ablagerungen und des Untergrundes. In: ÖGNU, Öko-Text 3/89, Altlastensanierung - Kontaminierte Standorte. Wien

ZIRM, K. et al. (1987)

Luftbildgestützte Erfassung von Altablagerungen. Hrsg.: Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Wien