

**Standortsuche für Siedlungsabfalldeponien
im Surabaya–Gebiet und dessen Umgebung, Indonesien
sowie
Evaluierung der Tonsedimente als geologische Barriere und Rohstoff
für mineralische Deponiebasisabdichtungen**

Von der Fakultät für Geowissenschaft, Geotechnik und Bergbau
der Technischen Universität Bergakademie Freiberg

genehmigte

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades

Doctor rerum naturalium

Dr. rer. nat.

vorgelegt

von *Ir. Arief Rachmansyah*

geboren am 20. 4. 1966 in Surabaya Indonesien

Gutachter : Univ. Prof. Dr. R. Azzam (Freiberg)

Univ. Prof. Dr. L. Müller (Hörtex)

Frau Dr. U. Nienhaus (Kaarst)

Tag der Verleihung : 2. 3. 2001

**„Gedruckt mit Unterstützung
des Deutschen Akademischen Austauschdienst“**

Vorwort

Die vorliegende Dissertation wurde auf Anregung von Herrn Prof. Dr. R. Azzam durchgeführt. Ihm möchte ich an erste Stelle ganz besonders für die Unterstützung bei der Planung und Durchführung der Geländearbeit sowie für die kritische Durchsicht dieser Arbeit und für die Bereitstellung aller Einrichtungen des Lehrstuhls für Ingenieurgeologie, Deponiebau und geotechnische Sicherungsverfahren der TU Bergakademie Freiberg danken. Bedanken möchte ich ferner bei Herrn Prof. Dr. L. Müller und Frau Dr. U. Nienhaus für die Übernahme der Korreferate.

Alle Kollegen am Lehrstuhl für Ingenieurgeologie, besonders Herr Dr. W. Oey und Frau Dipl. Ing. Y. Höbelbarth, die mir in vielen Diskussionen und bei der Redaktion dieser Arbeit tatkräftig halfen, fühle ich mich dankbar verbunden. Ich bedanke mich auch bei Dipl. Geol. A. Choirudi für die Hilfsbereitschaft bei den Geländeuntersuchungen, bei Dipl. Geol. R. S. Bintoro für die Verarbeitung der Satellitendaten sowie bei Frau T. Darmiasih für die Untersuchungen an bodenphysikalischen und –mechanischen Eigenschaften. Für die chemische Analyse möchte ich Herrn Dipl. Chem. Volke am Lehrstuhl für Hydrogeologie und Herrn Dr. Ziegenbalg am Institut für Technische Chemie herzlichen Dank aussprechen.

Dem Deutschen Akademischen Austauschdienst (DAAD) möchte ich für die Unterstützung bei meinem Aufenthalt in Deutschland und für die Gewährleistung des Stipendiums sowie finanzielle Unterstützung bei der Geländearbeit danken.

Nicht zuletzt gilt mein Dank meiner Frau und meinen Kindern für ihr Verständnis und ihre Geduld.

Freiberg, den 10. 3. 2001

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung.....	2
1.3 Lage des Untersuchungsgebietes	2
1.4 Klima des Untersuchungsgebietes	3
2 Entsorgung der Siedlungsabfälle in der Surabaya-Stadtregion..	6
2.1 Allgemeines	6
2.2 Sozial- und Wirtschaftsentwicklung	7
2.3 Arten- und Mengenentwicklung des Abfalls	8
2.3.1 Abfallarten und deren Mengen	8
2.3.1 Mengenprognose	10
2.4 Zusammensetzung und Eigenschaften des Abfalls	11
2.4.1 Zusammensetzung	11
2.4.2 Chemische Zusammensetzung	12
2.4.3 Physikalische Eigenschaften	12
2.5 Sammlung und Transport der Siedlungsabfälle	13
2.6 Behandlung der Abfälle	14
2.6.1 Kompostierung	15
2.6.2 Thermische Behandlung	15
2.6.3 Deponierung	16
2.7 Vorhandene Siedlungsabfalldeponie	16
2.7.1 Keputih-Deponie	18
2.7.2 Lakarsantri-Deponie	18
2.7.3 Benowo-Deponie	19
2.7.4 Umweltverhältnisse in den betriebenen Deponien	20
2.8 Prognose des Flächenbedarfs für Siedlungsabfalldeponien	21

	Seite
3 Standortsuche und Bewertung der aufgelassenen Bergbaurestlöcher für die mögliche Anlage einer Siedlungsabfalldeponie	22
3.1 Grundlage der Deponiestandortsuche	22
3.1.1 Anforderungen des Deponiestandortes	23
3.1.2 Stand der Technik von Siedlungsabfalldeponien	24
3.2 Morphologie, Geologie und Hydrogeologie des Untersuchungsgebietes	25
3.2.1 Morphologischer, geologischer und hydrogeologischer Kenntnisstand	26
3.2.2 Regionalgeologischer Überblick	27
3.2.3 Topographie und Morphologie	28
3.2.3.1 Morphologische Einheiten	28
3.2.3.2 Überschwemmungsgebiet	31
3.2.4 Geologie	31
3.2.4.1 Übersicht über Schichtenfolge und Tektonik	31
3.2.4.2 Beschreibung der lithologischen Einheiten	32
3.2.4.3 Strukturgeologie	36
3.2.5 Hydrogeologie	37
3.2.5.1 Hydraulische Eigenschaften der Formationen	37
3.2.5.2 Grundwassergleichenplan	37
3.2.5.3 Beschaffenheit des Grundwassers und Grundwasservorkommen	40
3.3 Raumnutzung und –planung	41
3.3.2 Raumnutzung	41
3.3.3 Raumplanung	41
3.4 Landeignungsanalyse für Deponiestandorte	46
3.4.2 Erstellung der Landeignungskarte des Untersuchungsgebietes	46
3.4.3 Diskussion	47
3.5 Bewertung der aufgelassenen Bergbaurestlöcher für die mögliche Anlage von Siedlungsabfalldeponien	53
3.5.2 Beschreibung der aufgelassenen Bergbaurestlöcher	54
3.5.2.1 Karangpilang	54

	Seite
3.5.2.2 Warugunung	55
3.5.2.3 Lebanisuko	55
3.5.2.4 Karangandong	59
3.5.2.5 Gending	59
3.5.3 Bewertung und Diskussion	62
3.5.3.1 Karangpilang	64
3.5.3.2 Warugunung	64
3.5.3.3 Lebanisuko	65
3.5.3.4 Karangandong	65
3.5.3.5 Gending	66
4 Evaluierung der Tonsedimente als geologische Barriere und als Rohstoff für mineralische Deponiebasisabdichtungen	67
4.1 Allgemeines	67
4.2 Grundlage der Tonsedimente	67
4.2.1 Zusammensetzung der Tonsedimente	68
4.2.2 Genese der Tonsedimente	71
4.3 Grundlage der Stofftransportprozesse in geologischen Barrieren und mineralischen Deponieabdichtung	71
4.3.1 Konvektion	72
4.3.2 Diffusion	74
4.3.2.1 Stationäre Diffusion	75
4.3.2.2 Instationäre Diffusion	75
4.3.2.3 Quasistationäre Diffusion	76
4.3.3 Dispersion	76
4.3.4 Sorption	77
4.3.5 Stoffabbau und –produktion	80
4.4 Ergebnisse der Evaluierung und Diskussion	82
4.4.1 Art der Tonsedimente	82
4.4.2 Zusammensetzung der Tonsedimente	83

	Seite
4.4.2.1 Mineralogische Zusammensetzung	83
4.4.2.2 Chemische Zusammensetzung	84
4.4.3 Bodenphysikalische Eigenschaften	85
4.4.3.1 pH-Wert	85
4.4.3.2 Korndichte	86
4.4.3.3 Korngrößenverteilung	86
4.4.3.4 Wasseraufnahmevermögen	87
4.4.3.5 Zustandsgrenzen	88
4.4.3.6 Verdichtbarkeit	89
4.4.4 Bodenmechanisches Verhalten	90
4.4.5 Schadstoffrückhaltevermögen	91
4.4.5.1 Konvektionsversuch	91
4.4.5.2 Diffusionsversuch	95
4.4.5.3 Perkolationsversuch	100
4.4.5.4 Schüttelversuch (Batch-Versuch)	102
4.4.6 Bewertung der Ergebnisse	106
5 Zusammenfassung	110
6 Literaturverzeichnis	113
7 Anlagenverzeichnis und Anlagen	118

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abb. 1-1: Lage des Untersuchungsgebietes	3
Abb. 1-2: Die Klimadaten der Surabaya-Region und deren Umgebung	4
Abb. 2-1: Entwicklung der Bevölkerungszahl der Surabaya-Stadtregion von 1990 bis 2020	7
Abb. 2-2: Die Wirtschaftsentwicklung in der Surabaya-Stadtregion	8
Abb. 2-3: Entwicklungsmenge der Siedlungsabfälle	10
Abb. 2-4: Sammel- und Transportsystem der Siedlungsabfälle in Surabaya	13
Abb. 2-5: Lage der Deponien in Surabaya von 1949 bis 2000	17
Abb. 2-6: Situation in der Keputih-Deponie	18
Abb. 2-7: Situation in der Lakarsantri-Deponie	19
Abb. 2-8: Prognose der gesamten Abfallmenge bis zum Jahr 2020	21
Abb. 3-1: Schema der Siedlungsabfalldeponie (nach Czurda, 1993)	24
Abb. 3-2: Schema von Abdichtungssystemen für Siedlungsabfalldeponie	25
Abb. 3-3: Physiographische Gliederung von Ostjava	27
Abb. 3-4: Morphologische Karte des Surabaya-Gebietes und dessen Umgebung	29
Abb. 3-5: Einteilung des Entwässerungsnetzes des Surabaya - Gebietes und dessen Umgebung	30
Abb. 3-6a: Geologische Karte des Surabaya-Gebietes und dessen Umgebung	34
Abb. 3-6b: Geologisches Querprofil des Surabaya-Gebietes und dessen Umgebung	35
Abb. 3-7: Hydrogeologische Karte des Surabaya-Gebietes und dessen Umgebung	38
Abb. 3-8: Grundwassergleichenplan des Surabaya-Gebietes und dessen Umgebung	39
Abb. 3-9: Raumnutzungskarte des Surabaya-Gebietes und dessen Umgebung ..	42
Abb. 3-10: Schematische Darstellung der Raumnutzung des Surabaya-Metropole-Gebietes	43
Abb. 3-11: Raumplanungskarte des Surabaya-Gebietes und dessen Umgebung ...	44

	Seite
Abb. 3-12:	Flußdiagramm der Landeignungsanalyse für Siedlungsabfalldeponien 46
Abb. 3-13:	Landeignungskarte für Siedlungsabfalldeponie des Surabaya-Gebietes und dessen Umgebung 49
Abb. 3-14:	Suchraumkarte I für Siedlungsabfalldeponie des Surabaya- Gebietes und dessen Umgebung 51
Abb. 3-15:	Suchraumkarte II für Siedlungsabfalldeponie des Surabaya- Gebietes und dessen Umgebung 52
Abb. 3-16:	Die Lage der aufgelassenen Bergbaufolgelandschaften, die für die mögliche Anlage von Deponien bewertet werden. 53
Abb. 3-17:	Geologische Karte des Karangpilang-Gebietes, Surabaya und Situation sowie anstehendes Gestein in der aufgelassenen Tongrube 56
Abb. 3-18:	Geologische Karte des Warugunung-Gebietes, Surabaya und Situation sowie anstehendes Gestein in der aufgelassenen Tongrube 57
Abb. 3-19:	Geologische Karte des Lebanisuko-Gebietes, Gresik und Situation sowie anstehendes Gestein in der aufgelassenen Sandgrube 58
Abb. 3-20:	Geologische Karte des Karangandong-Gebietes, Gresik und Situation sowie anstehendes Gestein in der aufgelassenen Sandgrube 60
Abb. 3-21:	Geologische Karte des Gending-Gebietes, Gresik und Situation sowie anstehendes Gestein in der aufgelassenen Kalkgrube 61
Abb. 3-22:	Erläuterung und Klassifikation für die Bewertungsergebnisse der aufgelassenen Bergbaurestlöcher für die mögliche Anlage von Siedlungsabfalldeponien und deren Gefährdungspotential mit Hilfe Der LeGrand- Methode (1980), verändert 63
Abb. 4-1:	Kristallaufbau der Phyllosilikate 68
Abb. 4-2:	Anordnung der Tonpartikel nach der Lambe-Theorie und Wassertransport durch relativ großen Poren zwischen den Klumpen nach der Olsen-Theorie 73
Abb.4-3:	Schematische Darstellung der Sorptionsmechanismen 78
Abb. 4-4:	Schematischer Verlauf der verschiedenen Sorptionsisothermen 80
Abb. 4-5 :	Korngrößenverteilung der untersuchten Tone 86
Abb. 4-6 :	Wasseraufnahmevermögen der untersuchten Tone..... 87
Abb.4-7:	Darstellung der untersuchten Tone im Plastizitätsdiagramm..... 88
Abb. 4-8:	Proctorkurven der untersuchten Tonsedimente 89

	Seite
Abb. 4-9: Durchlässigkeitsbeiwert in Abhängigkeit vom Wassergehalt bei der Verdichtung der untersuchten Tone	93
Abb. 4-10: Veränderung der Durchlässigkeit im Verlauf des Versuches, mit Wasser und chemischen Lösungen als Permeant.....	94
Abb. 4-11: Schematische Darstellung der von AZZAM entwickelten Diffusionszelle	95
Abb. 4-12: Konzentrationsänderung beim Diffusionsversuch mit KCl-Lösung ...	96
Abb. 4-13: Konzentrationsänderung von Blei an der Salzseite (a) und der Wasserseite (b)	97
Abb. 4-14: Massenströme durch die Grenzflächen des Kedamean-Tones und des Karangpilang-Tones bei einer Ausgangskonzentration von 1 M KCl	98
Abb. 4-15: Zeitliche Konzentrationsveränderung beim Perkolationsversuch	100
Abb. 4-16: Durchbruchkurven der untersuchten Tone beim Perkolationsversuch	101
Abb. 4-17: Erreichter Gleichgewichtszustand der Suspension während der Vorversuche	102
Abb. 4-18: Adsorptionsisothermen des Warugunung-Tones an Zink aus den Batch-Versuchen, Freundlich-Isotherme (a) und Langmuir-Isotherme (b)	103
Abb. 4-19: Freundlich-Adsorptionsisotherme des Kedamean-Tones (a) und des Karangpilang-Tones (b) an Kalium (K)	105

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tab. 2-1: Arten und Mengenentwicklung des Siedlungsabfalls in Surabaya	9
Tab. 2-2: Produktionsrate des Hausmülls (kg/Person/Tag)	9
Tab. 2-3: Zusammensetzung des Siedlungsabfalls in der Surabaya-Stadtregion	11
Tab. 2-4: Chemische Zusammensetzung (% Feuchtgewicht) nach JICA (1993) .	12
Tab. 2-5: Physikalische Eigenschaften des Siedlungsabfalla	12
Tab. 2-6: Die von Pemulung gesammelten verwertbaren Abfallkomponente	16
Tab. 2-7: Siedlungsabfalldeponien in Surabaya von 1949 bis 2000	17
Tab. 2-8: Beschaffenheit des Sickerwassers der Deponien in Surabaya	20
Tab. 3-1: Übersicht über die Schichtenfolge des Surabaya-Gebietes und dessen Umgebung	33
Tab. 3-2: Hydraulische Eigenschaften der Formationen des Untersuchungsgebietes	37
Tab. 3-3: Klassifikation in der Landeignungskarte des Arbeitsgebietes für Siedlungsabfalldeponien	47
Tab. 3-4: Berechnungsmodelle für die Erstellung der Landeignungskarte des Untersuchungsgebietes für Siedlungsabfalldeponien	48
Tab. 3-5 : Bewertungsergebnisse aufgelassener Bergbaurestlöcher für die Anlage einer Siedlungsabfalldeponien und deren Gefährdungspotential sowie deren Kontaminationswahrscheinlichkeit mit Hilfe der LeGrand-Methode (1980)	62
Tab. 4-1: Mineralogische Zusammensetzung der untersuchten Tonsedimente	83
Tab. 4-2: Chemische Zusammensetzung der ausgewählten Tonsedimente	84
Tab. 4-3: pH-Wert der untersuchten Tonsedimente	87
Tab. 4-4: Atterberg-Grenzen und Klassifikation der untersuchten Tone	89
Tab. 4-5: Bodenmechanische Parameter der untersuchten Tonsedimente	90
Tab. 4-6: Durchlässigkeitsbeiwert in Abhängigkeit der Agrgegatgröße	92
Tab. 4-7: Versuchsbedingungen der Durchlässigkeitsermittlung in der Triaxialzelle	92
Tab. 4-8: Parameter der untersuchten Tone des Proctoroptimums im Vergleich zu der geringsten Durchlässigkeit	93
Tab. 4-9: Diffusionskoeffizient von K und Pb unter instationären Versuchsbedingungen	98

	Seite
Tab. 4-10: Diffusionskoeffizient für K^+ unter quasistationären Versuchsbedingungen	99
Tab. 4-11: Longitudinale hydrodynamische Dispersionskoeffizienten	101
Tab. 4-12: Adsorptionsparameter für Pb und Zn nach Freundlich- und Langmuir-Isothermen	103
Tab. 4-13: Adsorptionsparameter für Kalium (K) nach Freundlich- und Langmuir-Isothermen	105
Tab. 4-14a: Bewertung des Kedamean-Tones als Rohstoff für mineralische Deponiebasisabdichtungen im Vergleich zu verschiedenen Literaturquellen	107
Tab. 4-14b: Bewertung des Karangpilang-Tones als Rohstoff für mineralische Deponiebasisabdichtungen im Vergleich zu verschiedenen Literaturquellen	108
Tab. 4-14c: Bewertung des Warugunung-Tones als Rohstoff für mineralische Deponiebasisabdichtungen im Vergleich zu verschiedenen Literaturquellen	109

Kurzfassung

Surabaya, die zweitgrößte Stadt in Indonesien mit einer Bevölkerungszahl von etwa 2,85 Millionen, erfährt zur Zeit große Schwierigkeiten bei der Beseitigung bzw. Deponierung von Siedlungsabfällen. In dieser Stadtregion fallen ca. 2200 Tonnen Abfälle pro Tag an. Die Prognose des Flächenbedarfs für Siedlungsabfalldeponien wurde für einen Zeitraum von 1990 bis 2020 durchgeführt. Aus der Berechnung ergab sich, daß ca. 72 ha Fläche zur Deponierung benötigt wird. Daher stellt die Standortsuche für geeignete Deponien ein bedeutendes Lösungselement zu dieser Krise dar. Zu diesem Zweck wurde eine Landeignungsanalyse durchgeführt, die auf den Kriterien für den modernen Deponiebau basiert. Mit dieser Analyse läßt sich das Arbeitsgebiet in vier Zonen klassifizieren: das ungeeignete Gebiet und die geeigneten Gebiete mit hohem, mittlerem und geringem Risiko.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde auch die Eignung der aufgelassenen Bergbaurestlöcher (Karangpilang, Warugunung, Lebanisuko, Karangandong und Gending) für die mögliche Anlage einer Siedlungsabfalldeponie mit Hilfe der LeGrand-Methode bewertet. In dieser Arbeit wurden sowohl die Wirtschaftsaspekte bzw. vorhandene Infrastruktur als auch die raumordnerischen Aspekte berücksichtigt. Aus dieser Bewertung ergab sich, daß zwei von den untersuchten Tagebaue (Warugunung und Karangandong) für die Anlage von Deponien geeignet sind.

In der vorliegenden Arbeit wurde die Eignungsprüfung von drei verschiedenen Tonsedimente (Kedamean, Karangpilang und Warugunung) als geologische Barriere und Rohstoff für mineralische Deponiebasisabdichtungen in Bezug auf Stoffbestand, bodenphysikalische und bodenmechanische Eigenschaften sowie Schadstoffrückhaltevermögen durchgeführt. Aus dem Vergleich zwischen den Untersuchungsergebnissen und den Werten von verschiedenen Literaturquellen ergab sich, daß die untersuchten Tone die Anforderungen an mineralische Deponiebasisabdichtung erfüllen. Im Vergleich zu den anderen stellt der Karangpilang-Ton die bessere Qualität dar, da er die geringere Durchlässigkeit, die höhere Stabilität gegen Schadstoffe und das höhere Adsorptionsvermögen besitzt. Als geologische Barriere sind diese tertiären Tone geeignet, da sie eine geringe Gebirgsdurchlässigkeit ($K_f < 1E-7$) und eine große Mächtigkeit haben.

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Die Stadt Surabaya, die Hauptstadt der Ostjava-Provinz, ist die zweitgrößte Stadt in Indonesien. Surabaya hat sich zur wichtigsten und größten Industrie- und Handelsstadt im östlichen Teil von Indonesien entwickelt. Diese Entwicklung wird infolge der Urbanisation von einem starken Zuwachs der Einwohnerzahl begleitet. Nach der Volkszählung von 1990 leben 2,473 Millionen Menschen in Surabaya. Für das Jahr 2020 wird die Bevölkerungszahl auf 3,5 Millionen geschätzt. Aufgrund dieser Entwicklung treten Probleme mit der Entsorgung der Siedlungsabfälle auf. Im Jahr 2000 fallen ca. 2200 Tonnen Siedlungsabfall pro Tag an. Dies bedeutet, daß jährlich ca. 803000 Tonnen Siedlungsabfälle entsorgt werden.

Der überwiegende Anteil an Siedlungsabfällen wird deponiert. Diese Entsorgungsart wurde gewählt, da geringe Kosten entstehen und die Handhabung einfach ist. Die Deponierung benötigt jedoch große Landflächen. Im Jahr 2020 werden ungefähr 75 ha Landflächen für die Anlage von Siedlungsabfalldeponien benötigt. Aus dem Blickpunkt einer integrierten Abfallentsorgungsplanung gehört die Standortsuche für Deponien zu der Vernetzung der Planungsschritte. Die Standortsuche für Deponien in der Surabaya-Region hat eine große Bedeutung, da morphologisch ein großer Teil der Region zum Überschwemmungsgebiet gehört. Wegen der Zunahme des Flächenbedarfs für Wohn- und Industriegebiete sowie für andere Nutzungen wird in der Zukunft die Standortsuche für Deponien immer schwieriger.

Auf der anderen Seite befinden sich viele aufgelassene Bergbaurestlöcher in der Surabaya-Region und deren Umgebung, die noch nicht saniert sind. Ein kleiner Teil davon wurde bereits als Wohn- und Industriegebiet genutzt. Untersuchungen zur Nutzung der aufgelassenen Tagebaue für Deponien wurden bisher nicht durchgeführt. Die vorliegende Arbeit soll daher einen wesentlichen Beitrag zur Wiedernutzbarmachung der aufgelassenen Bergbaufolgelandschaft in Verbindung mit der Planung und dem Bau von modernen Deponien leisten.

Bei der Standortsuche und der Errichtung von Deponien spielen Tonsedimente eine entscheidende Rolle, da diese eine geeignete geologische Barriere darstellen und als

mineralische Deponiebasisabdichtung dienen können. Tonsedimente besitzen eine geringe Durchlässigkeit und eine hohe Rückhaltefähigkeit für Schadstoffe, wie z. B. für Schwermetalle. Daher ist es wichtig, die Standorte hinsichtlich der Untergrundverhältnisse zu untersuchen und die geeigneten Tonvorkommen für die Gestaltung der Basisabdichtung zu finden.

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es, die geeigneten Standorte für Siedlungsabfalldeponien in der Surabaya–Stadtregion und deren Umgebung zu suchen und die Eignung der aufgelassenen Bergbaurestlöcher für die Anlage einer Siedlungsabfalldeponie zu bewerten. Hierbei werden insbesondere die Raumnutzung und -planung berücksichtigt.

Ein weiteres Ziel der Arbeit ist es, Tonvorkommen aus dem Untersuchungsgebiet auf deren Eignung als geologische Barriere und Rohstoff für mineralische Deponiebasisabdichtungen zu untersuchen.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung sollen in der Zukunft

- von der Surabaya-Stadtverwaltung sowie der Gresik- und Sidoarjo-Landkreisverwaltung im Rahmen der Standortsuche für Siedlungsabfalldeponien und der Suche nach mineralischen Rohstoffen für Deponiebasisabdichtung genutzt und
- als Grundlage bei der Erarbeitung einer technischen Richtlinie für den Bau von Siedlungsabfalldeponien in der Ostjava-Provinz verwendet werden.

1.3 Lage des Untersuchungsgebietes

Die Stadt Surabaya mit einer Größe von ca. 327 km² liegt im östlichen Bereich der Insel Java und etwa 1000 km östlich der indonesischen Hauptstadt Jakarta. Im Norden und Osten ist die Surabaya-Stadtregion vom Madura-Meer, im Süden vom Sidoarjo-Landkreis und im Westen vom Gresik-Landkreis begrenzt.

Das Arbeitsgebiet erstreckt sich auf Bereiche außerhalb der Surabaya-Region, da einige aufgelassene Bergbaurestlöcher in benachbarten Regionen liegen. Geographisch liegt das

Untersuchungsgebiet zwischen $7^{\circ}8'$ und $7^{\circ}25'$ S sowie $112^{\circ}30'$ und $112^{\circ}51'$ E (Abb. 1-1). Administrativ gehört es zur Surabaya-Stadtregion, Sidoarjo- und Gresik- Landkreise.

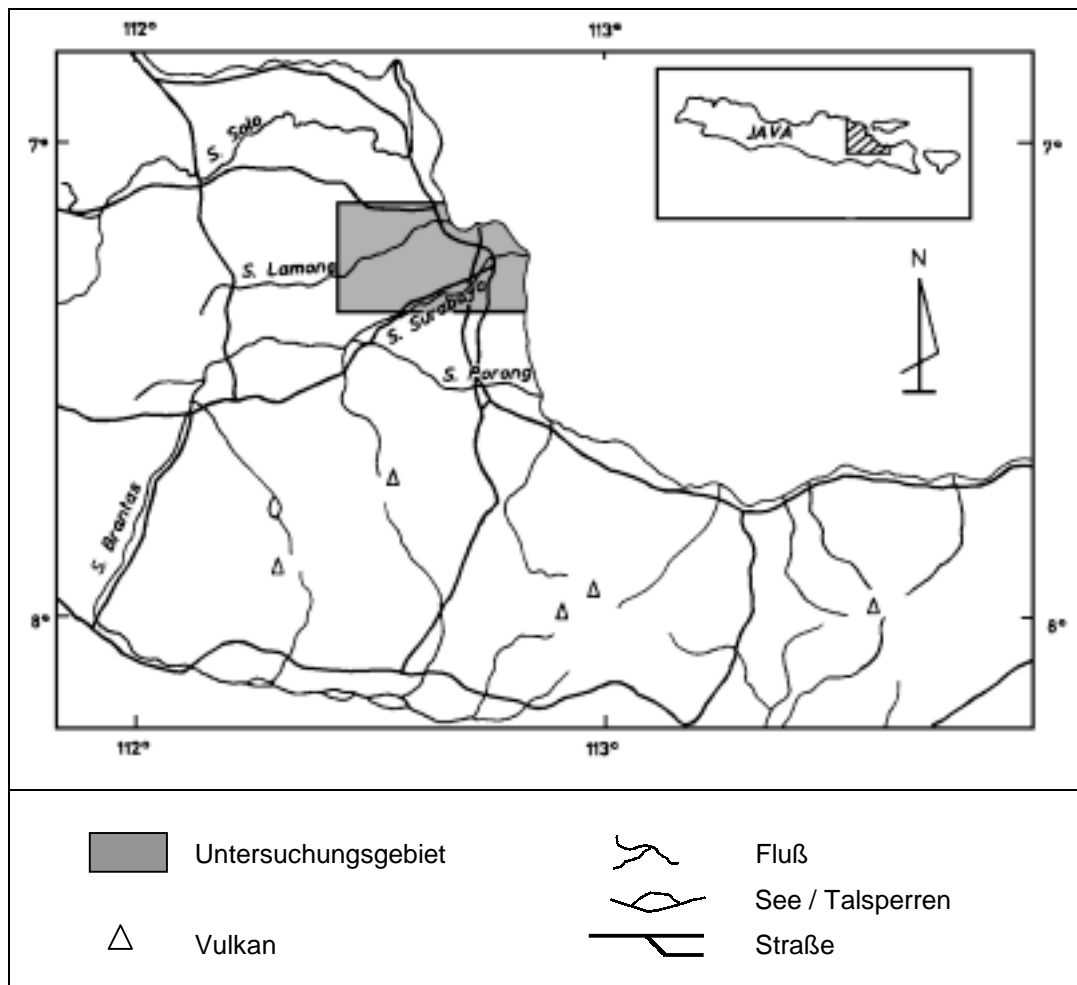


Abb. 1-1: Die Lage des Untersuchungsgebietes

1.4 Klima des Untersuchungsgebietes

Das Arbeitsgebiet liegt in der tropischen Klimazone bzw. in der immerfeuchten inneren Tropenregion, in der Tagesmitteltemperaturen im Laufe des Jahres nur geringe Schwankungen zeigen. Die höchste Jahresschwankung beträgt 6°C . Das jährliche Temperaturmittel liegt oberhalb 25°C und der monatliche Durchschnitt oberhalb 18°C . Die jährliche Niederschlagshöhe beträgt mindestens 1500 mm. Jeweils mit dem Sonnenhöchststand erreichen die Niederschläge in der jährlichen Verteilung ein Maximum.

Die repräsentativen Klimadaten für die Surabaya-Stadtregion und deren Umgebung können aus zwei Meßstationen ermittelt werden: der Meßstation Juanda-Flughafen im Südosten und der Meßstation Perak-Hafen im Norden des Untersuchungsgebietes. Klimadaten, die von diesen zwei Meßstationen stammen und als Mittel für die Jahre 1987 bis 1996 berechnet wurden, sind in der Abbildung 1-2 dargestellt.

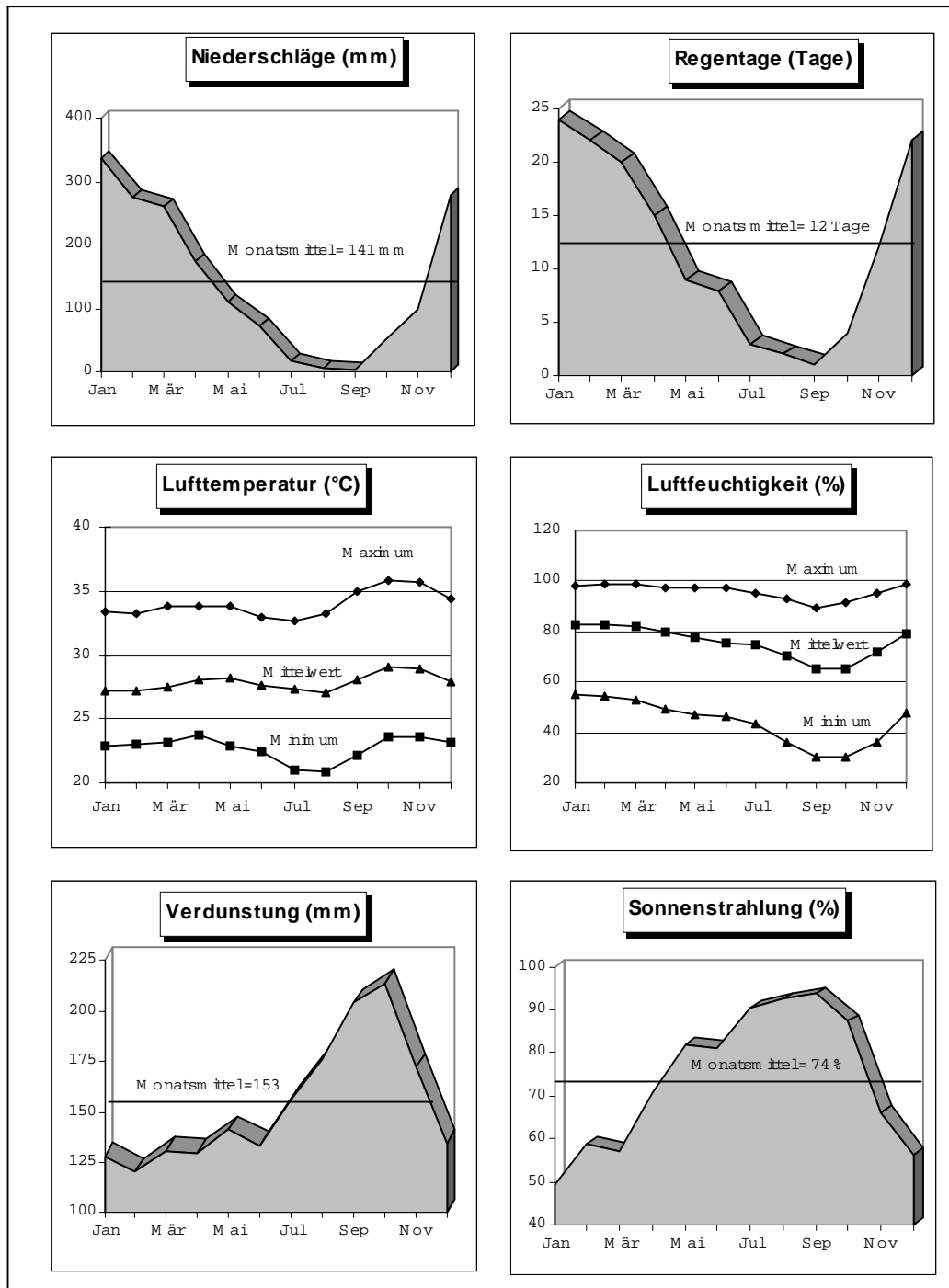


Abb. 1-2: Die Klimadaten der Surabaya-Region und deren Umgebung

Bei der Niederschlagsverteilung ist deutlich eine Regenzeit von November bis Mai mit monatlichen Niederschlagshöhen von ca. 239 mm und eine Trockenzeit von Juni bis Oktober von ca. 43 mm erkennbar. Die höchsten monatlichen Niederschläge finden im Dezember und Januar statt, während die niedrigsten monatlichen Niederschläge im Juli bis September vorkommen. Die Niederschlagssummen erreichten Jahreswerte um 1700 mm.

Von 1987 bis 1996 regnete es zwischen 115 und 172 Tagen pro Jahr mit einem Durchschnitt von 138 Tagen pro Jahr. In der Regenzeit betragen die Regentage monatlich etwa 19, während es in der Trockenzeit nur an 5 Tagen im Monat regnet.

Die monatliche relative Luftfeuchtigkeit beträgt im langjährigen Mittel 75,5 %, wobei Einzelwerte zwischen 63 % und 82 % liegen. Die niedrigste monatliche Luftfeuchtigkeit von 65 % weist der Monat Oktober auf, während der höchste Wert von 83 % im Januar gemessen wurde.

Die mittlere langfristig ermittelte Monatstemperatur beträgt 27,8°C. Die höchste mittlere Monatstemperatur von 29°C wurde im Oktober und die niedrigste von 27°C im August errechnet. Die höchsten Tagestemperaturen bewegen sich zwischen 33°C und 36°C, während die tiefsten zwischen 21°C und 24°C lagen.

Im Durchschnitt beträgt die jährliche potentielle Verdunstung ca. 1838 mm und die monatliche 153,2 mm. Die höchste Monatsverdunstung von 204 mm findet im September und die niedrigste von 120,3 mm im Februar statt.

Die durchschnittliche Intensität der Sonnenstrahlung beträgt im langjährigen Mittel 73,8 % pro Monat. Die höchste monatliche Intensität der Sonnenstrahlung von 93,7 % tritt im September und die niedrigste von 59,5 % im Januar auf.

Von Dezember bis März verläuft die Windrichtung von Ost nach West und von April bis November von West nach Ost. Die höchste Windgeschwindigkeit liegt zwischen 13 und 40 Knoten pro Stunde und die niedrigste zwischen 6 und 10 Knoten pro Stunde.

2 Entsorgung der Siedlungsabfälle in der Surabaya-Stadtregion

2.1 Allgemeines

Die Stadt Surabaya ist eine der saubersten Städte in Indonesien. Sie wurde daher hinsichtlich der Urbaneinrichtungen und des Umweltmanagements, dazu gehört die Abfallentsorgung, mit verschiedenen Preisen von der indonesischen Regierung (von 1985 bis 1990), von Aga Khan (1986), von der UNEP (1990), von der UNCED (1992) und dem Habitat-Preis von den Vereinigten Nationen (1992) ausgezeichnet.

Die genaue Kenntnis über die Menge, die Zusammensetzung sowie die chemischen und physikalischen Eigenschaften der Abfallstoffe ist Grundvoraussetzung für die Planung der Abfallentsorgung. Die Abfallmenge und -zusammensetzung, die in einer Stadt oder einer Region anfallen, sind von verschiedenen Faktoren, wie z. B. vom Bevölkerungswachstum, der Wirtschaftsentwicklung, dem Einkommen der Bewohner usw. abhängig.

Untersuchungen der Siedlungsabfälle in der Surabaya-Stadtregion wurden erstmals von Camp Dresser & McKee International Consulting Engineers (CDMICE) 1976 im Rahmen der Planung des Abwassernetzes und der Abfallentsorgung durchgeführt. Larona Consulting Engineering (LCE) arbeitete 1985 einen Bauplan für eine Siedlungsabfalldeponie und 1987 einen Plan für die Abfallentsorgung im Rahmen der Ausführung des Surabaya Urban Projektes aus. Im Jahr 1987 untersuchte das Forschungszentrum der Technischen Universität 10. November Surabaya (ITS) die Entsorgung der Gewerbeabfälle. Interdisziplinäre Untersuchungen der Siedlungsabfälle wurden von Purwadio (1988), Purwadio und Suprapti (1988), Silas (1988) und Jazuli (1988) durchgeführt. Im Rahmen einer Masterarbeit an der Universität New South Wales faßte Weiss (1988) die durchgeführten Untersuchungen zusammen. Die Japan International Cooperation Agency (JICA) plante von 1992 bis 1993 eine Verbesserung der Siedlungsabfallentsorgung. Die bisherigen durchgeführten Untersuchungen berücksichtigen nicht die Standortsuche für Siedlungsabfalldeponien.

Verantwortlich für die Abfallentsorgung in der Surabaya-Stadtregion ist die Surabaya-Stadtverwaltung. Sie wird vom Surabaya-Reinigungsdienst betrieben. Bei den einzelnen Stufen beteiligen sich Einwohner und private Unternehmen.

2.2 Sozial- und Wirtschaftsentwicklung

Die starke Zunahme der Bevölkerungszahl in Surabaya fand im Zeitraum von 1970 bis 1990 während der Periode des hohen Wirtschaftswachstums statt. In den Jahren 1971 bis 1980 erreichte die Wachstumszahl 2,84 % pro Jahr und sank von 1981 bis 1990 auf etwa 2,06 %. Nach der Volkszählung 1990 lag die Einwohnerzahl bei 2,473 Millionen. In den Jahren 1991 bis 1997 stieg diese um 1,49 % jährlich und die Zunahme kann vermutlich bis 2000 stattfinden. Unter der Annahme, daß die zehnjährliche Wachstumszahl wie bisher bleibt, wird die Zunahme von 2001 bis 2010 um 1,08 % jährlich und von 2011 bis 2020 etwa 0,85 % betragen. Die Abbildung 2-1 zeigt hinsichtlich eine Prognose der Bevölkerungszahl bis zum Jahre 2020.

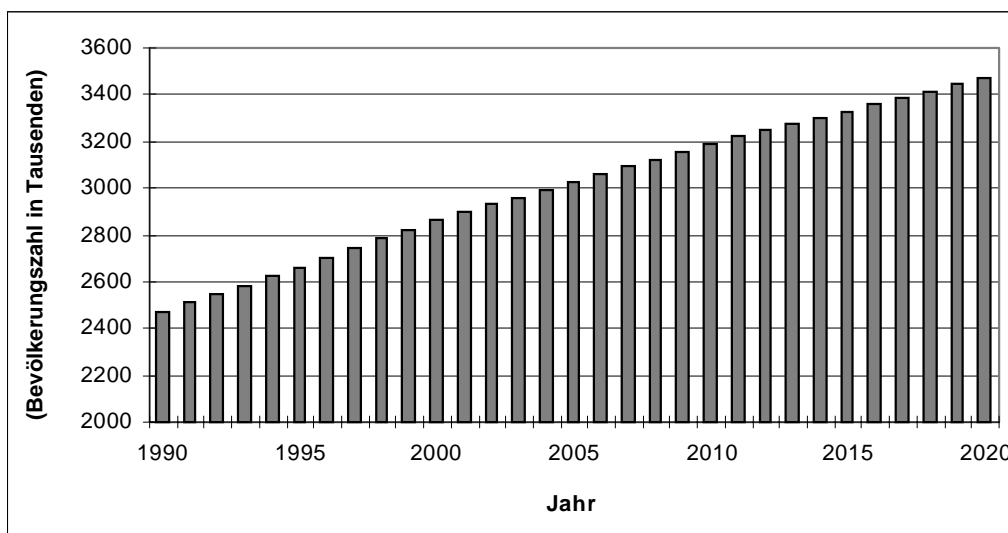


Abb.2-1: Entwicklung der Bevölkerungszahl von 1990 bis 2020

Das starke Wirtschaftswachstum in Surabaya fand von 1987 bis 1996 statt. In diesem Zeitraum stieg das *Produkt Domestik Regional Brutto (PDRB)* um 15 % pro Jahr, während das Pro-Kopf-Einkommen um 13 % jährlich zunahm. Die mittlere Inflationsrate betrug 8,12 % pro Jahr (Abb. 2-2). Die Dienstleistungsindustrie, wie z.B. Handel, Finanzen, Tourismus, Transport, Verkehrsindustrie, waren zu etwa 69,5 % bei der Erhöhung des *PDRB beteiligt*. Die Fertigungsindustrie (Konstruktion, Strom-, Wasser- und Gasversorgung) trug mit 29,3 % und die Grundstoffindustrie (Bergbau, Landwirtschaft) mit 1,2 % dazu bei.

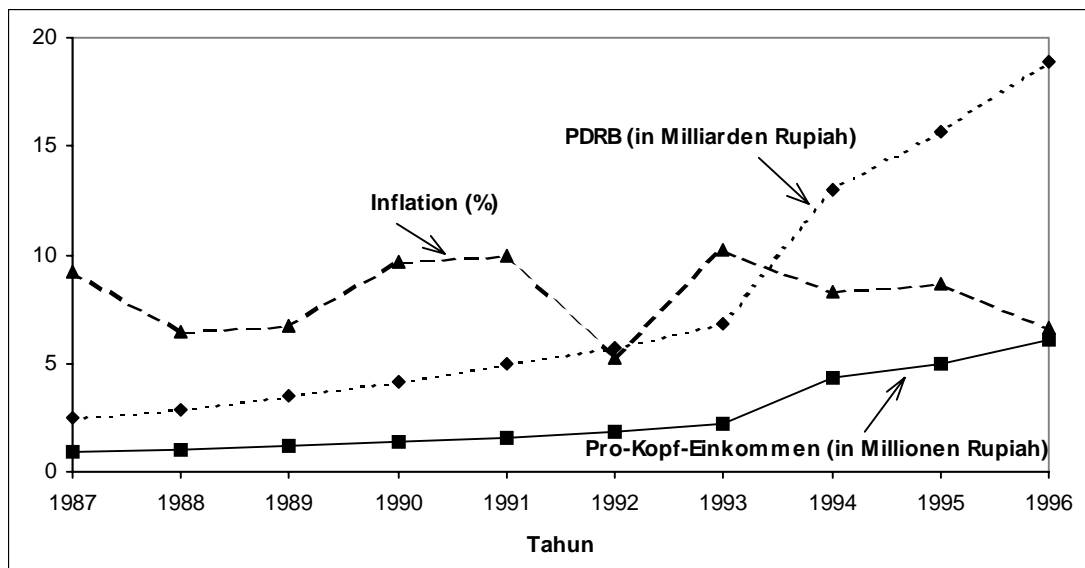


Abb. 2-2: Die Wirtschaftsentwicklung in der Surabaya-Stadtregion

2.3 Arten- und Mengenentwicklung der Siedlungsabfälle

2.3.1 Abfallarten und deren Menge

Sowohl CDMICE (1976) als auch LCE (1985) teilten die Siedlungsabfälle nach ihrem Ursprung in vier Arten ein. Dazu gehören Siedlungsabfälle aus Wohngebieten, aus Gewerbegebieten, aus Industriegebieten (hausmüllähnliche Industrieabfälle) und aus Bauschutt. Dagegen hat JICA (1993) sie in zehn Arten klassifiziert. Tabelle 2-1 stellt die Arten und deren Menge von Siedlungsabfällen dar.

Hausmüll dominiert bei dem Anteil von Siedlungsabfällen, weshalb die Prognose über die Menge und die Zusammensetzung dieser Abfallarten eine große Bedeutung besitzen. Obwohl die Gesamtmenge dieser Müllarten immer weiter zunimmt, nimmt der prozentuale Anteil am gesamten Siedlungsabfall ab. Die Untersuchungen von CDMICE (1976), LCE (1985) und JICA (1993) zeigten, daß sich die Produktionsrate des Hausmülls pro Person von 1976 bis 1993 nicht verändert. Tabelle 2-2 zeigt die Produktionsrate des Hausmülls in Abhängigkeit vom Einkommen der Bewohner. Hieraus wird ersichtlich, daß die Zunahme der Abfälle aus den Wohngebieten auf die steigende Einwohnerzahl zurückzuführen ist.

Tab. 2-1: Arten- und Mengenentwicklung der Siedlungsabfälle in Surabaya

Abfallarten	1976 (CDMICE)		1985 (LCE)		1993 (JICA)	
	t/d	%	t/d	%	t/d	%
1. Hausmüll	815	79,2	1119	80	1108	68
2. Gewerbeabfälle (Gesamt)	117	11,4	168	12	349	21,5
a. traditioneller Markt					258	
b. Handelsgebiet					37	
c. Hotel und Gaststätte					21	
d. Bürokomplex					11	
e. Hafen					17	
f. Krankenhaus					5	
3. hausmüllähnliche Industrieabfälle	81	7,9	84	6	86	5,3
4. Bauschutt (Gesamt)	16	1,5	27	2	83	5,2
a. Straßenkehricht					76	
b. Erdaushub					7	
Gesamt	1029	100	1398	100	1626	100

Tab. 2-2 : Produktionsrate des Hausmülls (kg/Tag/Person)

Einkommen	1976 (CDMICE)	1985 (LCE)	1993 (JICA)
hoch	0,90	kD	0,775
mittel	0,60	kD	0,685
niedrig	0,37	kD	0,440
Mittelwert	0,49	0,50	0,475

kD = keine Daten

Sowohl die Menge als auch der prozentuale Anteil der Gewerbeabfälle nahmen ebenfalls zu. Im Gegensatz dazu nahm zwar die Menge der hausmüllähnlichen Industrieabfälle zu, jedoch prozentual nahm sie ab. Die Menge und der prozentuale Anteil des Bauschutts bzw. Straßenkehrichts erhöhten sich von 2 % im Jahre 1985 auf 5,2 % im Jahre 1993.

Die Untersuchungen von CDMICE (1976) zeigen, daß die Produktionsrate der Siedlungsabfälle pro Einwohner etwa 0,49 kg/Tag betrug. Aus der Untersuchung von LCE ergab sich, daß die Abfallaufkommen im Jahre 1985 bei 0,52 kg/Tag/Person lag. Die Produktionsrate pro Person im Jahre 1993 erhöhte sich auf 0,64 kg/Tag (JICA, 1993).

2.2.2 Mengenprognose

Im Rahmen durchgeführter Untersuchungen zur Vorhersage von Siedlungsabfallmengen wurden Informationen über die Bevölkerungszahl, die Wirtschaftsentwicklung und die Produktionsrate der Siedlungsabfälle benötigt. Aus den Untersuchungen in den asiatischen Großstädten ergab sich, daß die zwei letzten Faktoren miteinander verknüpft sind (JICA, 1993).

Die Mengenprognose der Siedlungsabfälle in der Surabaya-Stadtregion vom 1990 bis zum 2020 kann unter folgenden Annahmen durchgeführt werden:

- Die Zunahme der Bevölkerungszahl pro Jahr liegt bei 1,49 % von 1991 bis 2000, 1,08 % von 2001 bis 2010 und 0,85 % von 2011 bis 2020. Die Berechnung beginnt im Jahr 1990, als die Einwohnerzahl 2,473 Millionen betrug (s. Kapitel 2.2).
- Die Produktionsrate erhöhte sich um 4 % im Zeitraum von 1990 bis 1996, als das Wirtschaftswachstum bzw. *Product Domestic Regional Brutto* um 9,5 % pro Jahr zunahm (JICA, 1993). Von 1997 bis 2000 bleibt die Produktionsrate wie im Jahre 1996, da infolge der Finanzkrise in Asien das Wirtschaftswachstum nicht wesentlich abweicht. Von 2001 bis 2020 steigt die Produktionsrate wieder um 2 % pro Jahr.

Abbildung 2-3 zeigt die Mengenprognose für das Aufkommen von Siedlungsabfällen.

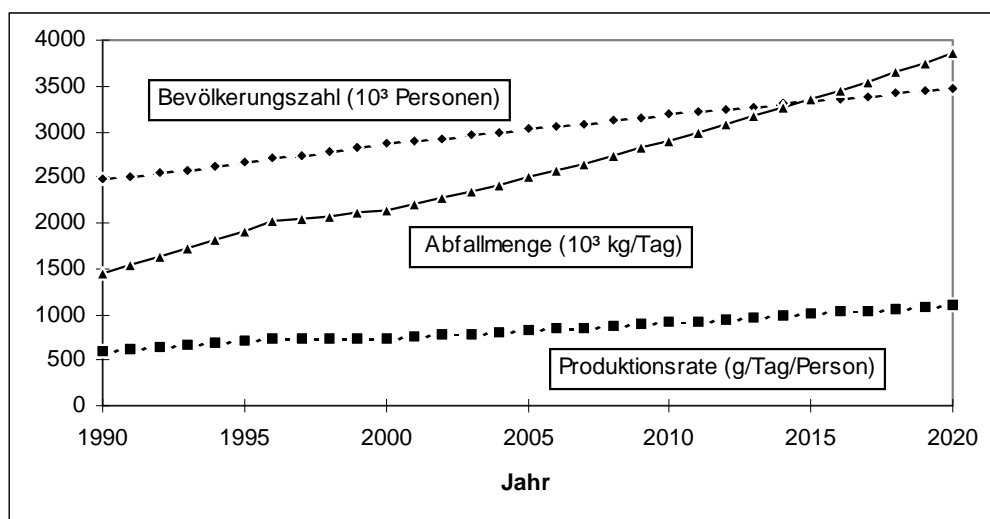


Abb. 2-3: Mengenprognose der Siedlungsabfälle in der Surabaya-Stadtregion

2.4 Zusammensetzung und Eigenschaften der Siedlungsabfälle

2.4.1 Zusammensetzung

Nach den Untersuchungen von CDMICE (1976), LCE (1985), Weiss (1988) und JICA (1993) verändert sich die Zusammensetzung der Siedlungsabfälle in Surabaya ständig. Die Veränderung des Abfallbestandes und deren Prognose bis zum Jahre 2000 ist in der Tabelle 2-3 dargestellt. Daraus ist zu entnehmen, daß der Hauptbestandteil des Siedlungsabfalls aus den vegetabilen (organischen) Resten besteht. Der Anteil dieses Bestandes vermindert sich im Laufe der Zeit, und zuletzt lag er im Jahr 1998 bei 47 %, während der Anteil an verwertbaren Komponenten, wie z. B. Papier und Pappe, Kunststoff, Holz und Stein, stetig zunahm. Es zeigte sich eine besonders starke Erhöhung der Anteile von Papier und Pappe sowie Holz. Die Anteile von Metall und Glas sind sehr gering und liegen jeweils bei 1,0 %.

Tab 2-3: Zusammensetzung des Siedlungsabfalls in der Surabaya-Stadtregion

Abfallzusammensetzung	1976 (CDMICE) % Gewicht	1985 (LCE) % Gewicht	1988 (WEISS) % Gewicht	1993 (JICA) % Gewicht	1998* (JICA) % Gewicht
vegetabiler Rest	94	89	77,3	54,41	47,3
Holz	k D	k D	1,9	17,44	16,9
Knochen	k D	k D	0,4	0,68	1,2
Papier und Pappe	2	4	6,2	12,46	18,7
Kunststoff	2	3	5,6	6,61	7,8
Metalle	0,7	2	1,0	1,05	1,0
Glas	0,3	1	0,4	0,90	1,5
Textilien	k D	k D	2,2	1,94	1,8
Gummi und Leder	k D	k D	0,8	0,54	0,6
Stein	k D	k D	1,5	3,06	3,1
Feinmüll	1	1	2,8	0,01	0,1

k D = keine Daten

* = Prognose

Die Änderung der Abfallzusammensetzung ist auf folgende Gründe zurückzuführen.

- Die Reduzierung der vegetabilen Reste läßt sich durch die Zunahme des Verbrauches an verpackten Lebensmitteln erklären.
- Die Abfallbestandteile aus Kunststoff nehmen zu, weil heutzutage Kunststoff ein bekanntes und billiges Verpackungsmaterial ist.
- Die Anteile von Metall und Glas bleiben unverändert, da sie von *Pemulung* (Straßenkehrern) gesammelt, sortiert und der Wiederverwertung zugeführt werden.

2.4.2 Chemische Zusammensetzung

Die sechs Hauptelemente des Siedlungsabfalls in Surabaya werden in der Tabelle 2-4 gezeigt. Nach dieser Tabelle betrug der Brennindex in beiden Jahreszeiten 1,2 (JICA, 1993).

Tab. 2-4 : Chemische Zusammensetzung (% Feuchtgewicht) nach JICA (1993)

Jahreszeit	C	H	N	S	Cl	O	Gesamt
Regenzeit	13,28	1,70	0,31	0,02	0,05	7,66	23,02
Trockenzeit	17,20	2,36	0,44	0,02	0,06	9,21	29,29

2.4.3. Physikalische Eigenschaften

Die physikalischen Eigenschaften der Abfälle haben einen großen Einfluß auf die Behandlung und deren Beseitigung. Diese beziehen sich auf die Dichte, den Wassergehalt, den Aschegehalt und den Heizwert. Tabelle 2-5 stellt die physikalischen Eigenschaften der Siedlungsabfälle zusammen.

Tab. 2-5 : Physikalische Eigenschaften der Siedlungsabfälle

Parameter	Einheit	1988 (WEISS)			1993 (JICA)		
		Regenz.	Trockenz.	Mittelwert	Regenz.	Trockenz.	Mittelwert
Dichte	kg/m ³	kD	kD	188	332	348	340
Wassergehalt	% Gewicht	75,2	58	66,5	67,1	55,6	61,4
Aschegehalt	% Gewicht	9	12	10,5	9,9	15,1	12,5
Heizwert	kcal/kg	1075	1470	1272,5	1050	1300	1174

kD : keine Daten

Alle physikalischen Eigenschaften von Siedlungsabfällen in Surabaya zeigen große Unterschiede zwischen der Regenzeit und der Trockenzeit. Die Dichte des Abfalls in der Trockenzeit ist 5 % höher als in der Regenzeit. Während in der Regenzeit der Wassergehalt zwischen 67 % und 75 % liegt, beträgt er in der Trockenzeit etwa 57 %. Der Aschegehalt beträgt etwa 9 % in der Regenzeit und zwischen 12 % bis 15 % in der Trockenzeit. Der Heizwert des Abfalls in der Trockenzeit ist 30 % höher als in der Regenzeit. Die großen

Unterschiede der physikalischen Verhältnisse zwischen der Trockenzeit und der Regenzeit sind auf den höheren Gehalt an vegetabilen Resten zurückzuführen (WEISS, 1988).

2.5 Sammlung und Transport der Siedlungsabfälle

Bei dem Sammeln und dem Transport der Siedlungsabfälle in Indonesien spielt die Bürgerinitiative eine große Rolle. Das Sammeln und der Transport vom Wohngebiet zu einem Zwischenlager (*Temporary Disposal Site*) liegen in der Verantwortung der Einwohner und werden vom *Ketua RT/RW* (informeller Leiter in einem kleinen Wohngebiet) organisiert. Abbildung 2-4 zeigt das Sammel- und Transportsystem von Siedlungsabfall aus verschiedenen Orten bis zur Deponie und deren Verantwortlicher.

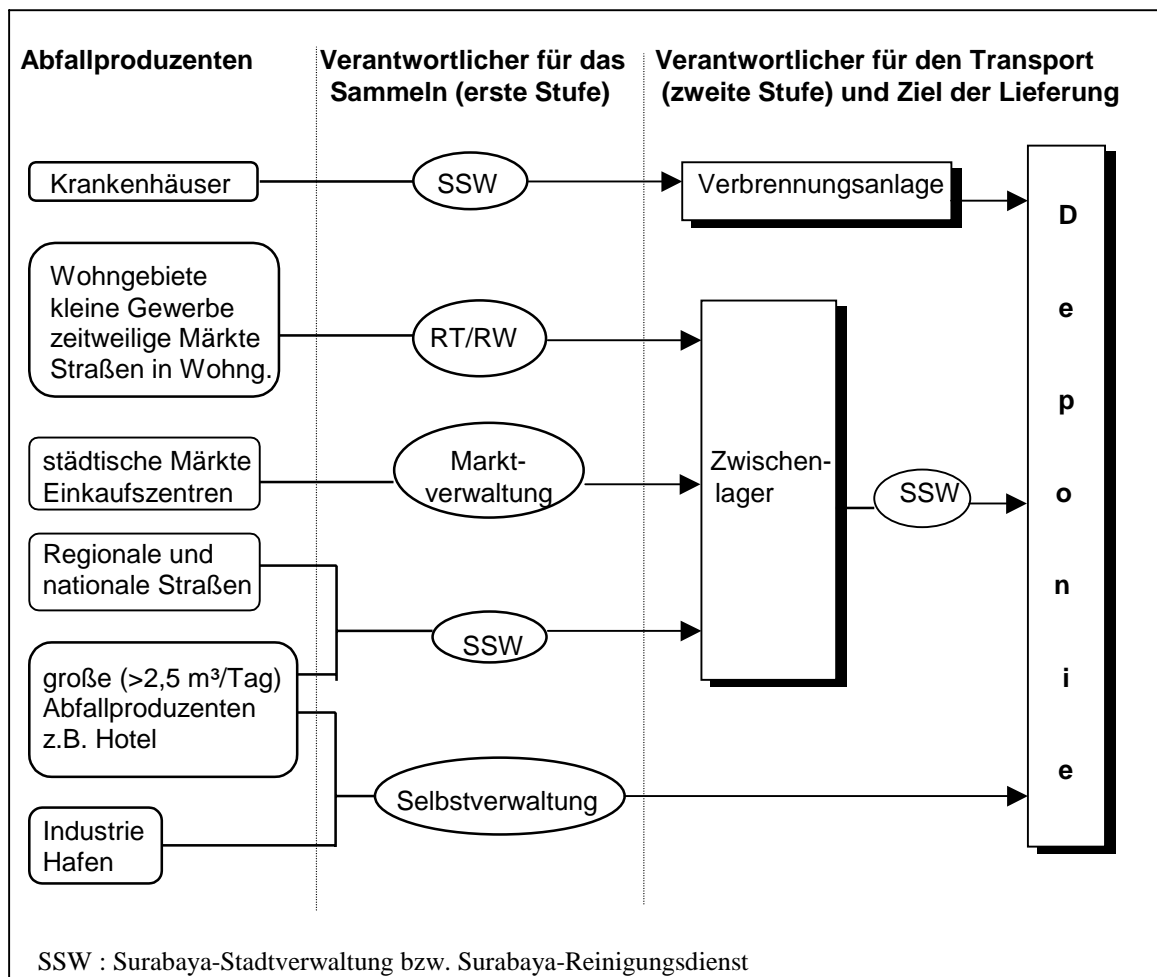


Abb. 2-4: Sammel- und Transportsystem für Siedlungsabfälle in Surabaya (nach Surabaya-Stadtverwaltung)

Dabei unterscheidet man zwischen direktem Transport vom Entstehungsort bis zur Deponie und indirektem Transport über ein Zwischenlager. Beim Sammeln und Transport des Abfalls aus den Wohngebieten wird der indirekte Transport benutzt. Diese Methode wird hier bevorzugt angewendet, da die Straßen in den meisten Wohngebieten sehr eng sind, so daß das Durchfahren der Sammelfahrzeuge nicht möglich ist. Zur Lösung dieses Problems werden kleine Karren und Fahrzeuge zum Sammeln und Transport bis zum nächsten Zwischenlager verwendet. Bis zum Jahr 1997 hat der Surabaya-Reinigungsdienst 205 Zwischenlager betrieben.

Je nach Größe lassen sich die Zwischenlager in *Abfalldepot* und *Containerbasis* gliedern. Ein *Abfalldepot* besitzt eine Fläche von etwa 200 bis 300 m² und ist mit einer Mauer umgeben. Dort können Abfälle bis zu 100 m³ pro Tag zwischengelagert werden. Diese Menge entspricht einer Abfallmenge aus einem Wohngebiet mit etwa 30.000 Einwohnern. Der Untergrund des Abfalldepots wird aus Beton oder Asphalt gebaut, damit die Kraftfahrzeuge die Behälter einfach auf- und abladen können. Die Größe eines Behälters variiert zwischen 6 bis 12 m³. Ein Zwischenlager auf *Containerbasis* besitzt eine Fläche mit einer Größe von 25 bis 75 m², auf dem ein Abfallbecken aus Beton mit einer Größe von 10 bis 15 m³ eingebaut wird und 1 bis 3 Behälter abgelegt werden können. Viele davon befinden sich in der Nähe der Märkte.

Für den Transport des Abfalls von den Zwischenlagern bis zur Deponie ist der Surabaya-Reinigungsdienst verantwortlich. Diese Stufe kann auch von privaten Unternehmen übernommen werden.

2.6 Behandlung der Abfälle

Bei der Beseitigung von Abfällen in Indonesien beteiligen sich *informelle Sektoren*. Dazu gehören *Pemulung* (Straßenkehrer) sowie kleine und große Gebrauchtgüterhändler. *Pemulung* sind die Leute, die nach dem verwertbaren Abfallbestand, wie z.B. Glas, Metalle und Kunststoffe im Wohngebiet, Zwischenlager oder Deponie suchen. Die Kleinhändler kaufen die gebrauchten Sachen von *Pemulung* und sortieren sie nach der Qualität und verkaufen sie weiter an die Großhändler. Die Großhändler verarbeiten die Materialien nach Bedarf und verkaufen sie an die Industrie. Nach SECULAR et. al. (1985, in WEISS, 1988) sind

1 % bis 2 % der Schwerarbeiter in indonesischen Großstädten, wie Jakarta und Surabaya, in diesem Gewerbe tätig.

Der Umfang der Leistung der Pemulung, Klein- und Großhändler spielt eine wesentliche Rolle bei der Reduzierung der Abfallmenge von 25 % im Jahr 1976 (CDMICE) und auf 12 % im Jahre 1993 (JICA). Tabelle 2-6 zeigt die Abfallkomponente, die von *Pemulung* in den Zwischenlagern und den Deponien gesammelt werden.

Tab.2-6: Die von Pemulung gesammelten verwertbaren Abfallkomponenten (nach JICA, 1993)

Abfallbestand \ Lage	Wohngebiet und Zwischenlager (%)	Deponie (%)
Kunststoffe	18	27
Papier und Pappe	30	0
Glas	38	27
Metalle	0	14
Gummi	0	23
Knochen	0	11
Gesamt	100	100

Die nichtrecyclbaren Abfälle werden nach 3 Verfahren behandelt: Kompostierung, thermische Behandlung und Deponierung.

2.6.1 Kompostierung

Der Surabaya Reinigungsdienst hat heutzutage keine Kompostanlage, jedoch im Jahr 1976 bis 1986 betrieb ein privates Unternehmen eine Kompostanlage zur Deckung des Kompostbedarfs einer Plantage. Die Kompostproduktion betrug 40 bis 50 Tonnen pro Tag.

2.6.2 Thermische Behandlung

Unter thermischer Behandlung versteht man eine Abfallbeseitigung durch die Verbrennung. Dadurch kann die zu deponierende Abfallmenge um 80 % reduziert und Energie gewonnen werden.

Aufgrund der Schwierigkeiten bei der Deponiestandortsuche stellte die Surabaya-Stadtverwaltung 1986 Überlegungen zur Nutzung einer Verbrennungsanlage zur Beseitigung des Siedlungsabfalls an. Im Jahr 1989 wurde eine Verbrennungsanlage neben der Keputih-Deponie gebaut. Diese Müllverbrennungsanlage ist ein Pilotprojekt bei der Abfallbehandlung in indonesischen Großstädten und wird seit 1991 betrieben.

Nach zweijährigem Betrieb erreichten die Betriebskosten des Verbrennungsverfahrens Rp.85.600/Tonne, während die Abfallbehandlung durch die Deponierung Rp.3.300/Tonne kostet (JICA, 1993). Die Betriebskosten der Müllverbrennungsanlage in Surabaya sind sehr hoch, da der Wassergehalt des Abfalls sehr hoch ist und somit mehr Energie benötigt wird. Trotz der Energieerzeugung liegen die Kosten der thermischen Behandlung um 23 Mal höher als die Kosten des Ablagerungsverfahrens (Weiss, 1988). Heutzutage wird diese Müllverbrennungsanlage nur zur Verbrennung von Krankenhausabfällen genutzt, so daß der größte Teil des Abfalls immer noch deponiert wird.

2.6.3 Deponierung

Die Deponierung wird im allgemeinen sowohl in Indonesien als auch in den Industrieländern angewendet, weil die Betriebskosten am niedrigsten sind und sie einfach durchzuführen ist. Diese Methode ist umweltfreundlich, aber sie erfordert eine große Fläche. Letzteres stellt ein Problem bei der Anlage im Stadtgebiet dar.

Seit 1949 sind 13 Deponien in Surabaya in Betrieb, elf davon wurden bis 1993 geschlossen. Tabelle 2-7 stellt Deponien in Surabaya von 1949 bis 2000 dar, und ihre Lage wird in Abbildung 2-5 gezeigt. Die Kapazitäten der betriebenen Deponien werden vermutlich bis zum Jahre 2000 für Lakarsantri-Deponie und bis 2003 für die Keputih-Deponie ausreichen. Die letzte genannte Deponie wird eventuelle saniert und weiter betrieben.

2.7 Vorhandene Siedlungsabfalldéponie

Im Zeitraum dieser Arbeit sind zwei Deponien (Lakarsantri und Keputih) in Betrieb, jedoch Lakarsantri-Deponie wird im Jahr 2000 geschlossen. Es wurde 1993 eine neue Deponie in Benowo geplant, deren Bau im Jahr 2000 begonnen werde.

Tab. 2-7: Siedlungsabfalldeponien in Surabaya von 1949 bis 2000

Nr.	Lage der Deponie	Größe (ha)	Betriebszeit von bis	Raumnutzung vor der Deponie	Raumnutzung nach der Deponie
1	Jojoran	5	1949 - 1956	Fischteich	Wohngebiet
2	Dupak	10	1950 - 1963	Fischteich	Wohngebiet
3	Kalianak	7	1954 - 1975	Salzteich	Wohngebiet
4	Wonosari	8	1954 - 1972	Reisfeld	Wohngebiet
5	Jagir	7	1957 - 1965	Reisfeld	Wohngebiet
6	Wonokromo	4	1954 - 1969	Reisfeld	Grundschule
7	Menur	14	1956 - 1978	Reisfeld	Garten
8	Gadung	2	1963 - 1972	Reisfeld	Markt
9	Asem Rowo I	8,5	1974 - 1979	Fischteich	Wohngebiet
10	Asem Rowo II	11,7	1975 - 1988	Fischteich	Garten
11	Kenjeran	30	1985 - 1992	Strand	Erholungsort
12	Keputih	24	1987 - 2003 (?)	Fischteich	?
13	Lakarsantri	7,1	1988 - 2000	Reisfeld	Erholungsort
14	Benowo	26	2001 - 2006 (?)	Salzteich	?

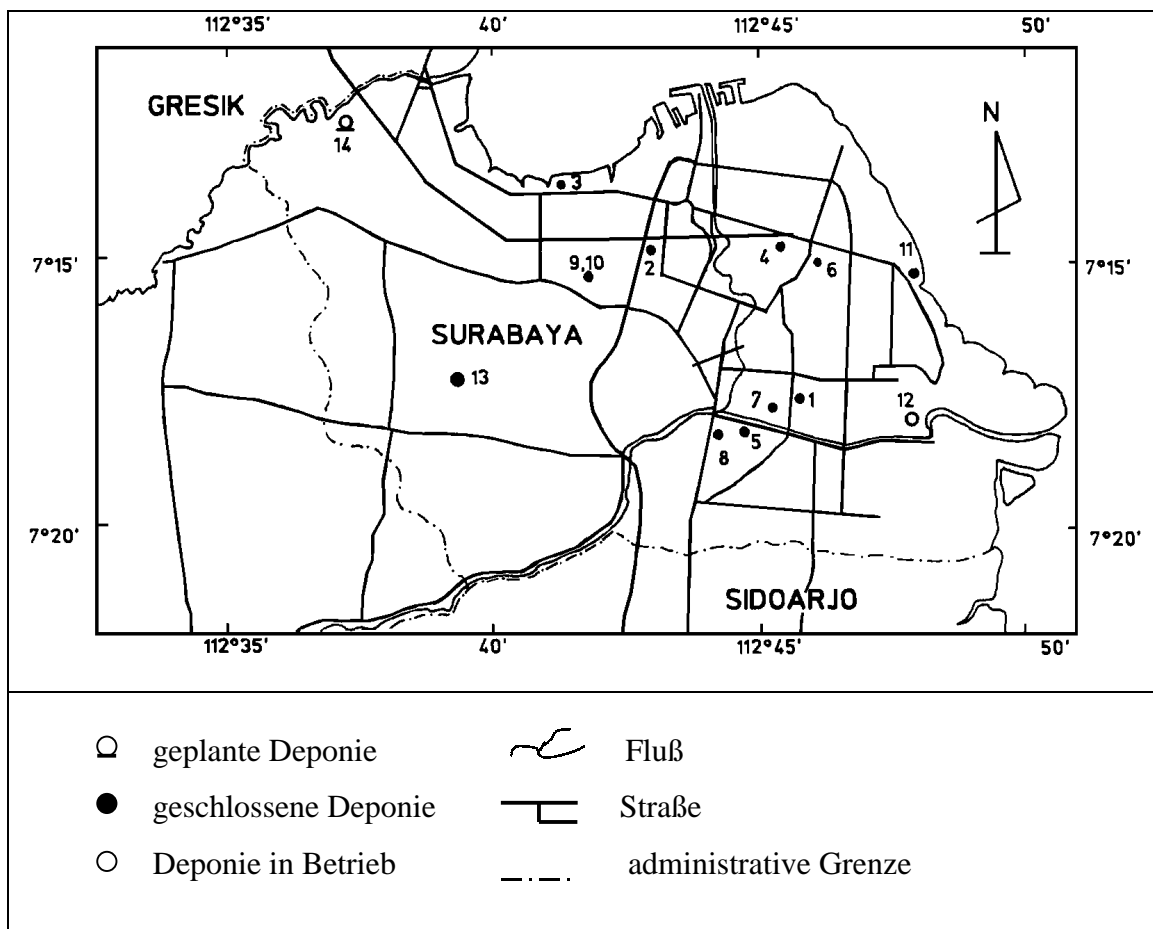


Abb. 2-5: Lage der Deponien in Surabaya von 1949 bis 2000

2.7.1 Keputih-Deponie

Die Keputih-Deponie liegt im östlichen Teil von Surabaya und wird seit 1987 betrieben. Sie befindet sich in einem Sumpfgebiet, ihre Deponiebasis besteht aus natürlich-gelagertem sehr weichen Ton. Die Deponie ist an der westlichen (100 m) und südlichen Seite (50 m) von einem Wohngebiet, an der östlichen und nördlichen Seite von Fischteichen umgeben. Die Größe der Fläche beträgt 30 ha, die Topographie liegt in einer Höhe von 0,5 m über dem Meeresspiegel. Die Deponie liegt 1 km westlich vom Surabaya-Strand und 200 m nördlich vom Wonokromo-Fluß entfernt. Wegen dieser Lage ist der Deponiestandort in der Regenzeit und bei Tidehochwasser oft überschwemmt.

Die Deponie wird in 3 Ablagerungszonen gegliedert, zwei davon sind in ihrer Kapazität erschöpft. Die Höhe des abgelagerten Mülls beträgt etwa 2,5 m aus der Deponiebasis. Diese Deponie wurde ohne Basisabdichtung und Schutzdamm gegen Hochwasser gebaut. Die Drainage mit Deponiesickerwasser entwässert direkt zum Fluß. Es gibt keine Kläranlage für das Deponiesickerwasser. Die Kapazität dieser Deponie liegt bei $1,5E+6$ t (JICA, 1993).



Abb. 2-6: Situation in der Keputih-Deponie

2.7.2 Lakarsantri-Deponie

Die Lakarsantri-Deponie liegt im westlichen Teil von Surabaya und wird seit 1988 betrieben. Die Umgebung der Deponie ist Ackerland; die Wohngebiete sind mehr als 500 m entfernt. Die Größe der Fläche beträgt 7 ha. Die Kapazität dieser Deponie beträgt $0,84E+6$ Tonnen.

Die Deponie befindet sich auf einem Hügelland mit einer Höhe von 10 bis 25 m über dem Meeresspiegel. Die Deponiebasis besteht aus marinen Tonsedimenten. Der Betrieb des

Deponiestandortes gliedert sich in 2 Ablagerungszonen, die durch eine Rinne getrennt werden, in der das Deponiesickerwasser direkt zum Fluß fließt.



Abb. 2-7: Situation in der Lakarsantri-Deponie

2.7.3 Benowo-Deponie

Die Benowo Deponie liegt im nordwestlichen Teil von Surabaya. Sie befindet sich im Flachland mit einer Höhe von ca. 2 m ü.d.M. in einem ehemaligen Salzteich. Die Deponie ist auf allen Seiten von Salzteichen begrenzt. Der Deponiestandort erstreckt sich entlang einer Rinne des Lamong-Flusses. Die Deponiebasis besteht aus sehr weichem Ton.

Für die Deponie steht eine Fläche von 150 ha zur Verfügung. Vorerst beträgt die geplante Fläche jedoch nur ca. 26 ha. Der technische Aufbau beginnt im Jahre 2000. Die Höhe der abgelagerten Abfälle wird 5 m aus der Deponiebasis geplant und die Kapazität wird ca. 1,5E+6 Tonnen abgeschätzt. Die Benowo-Deponie wird mit einer Drainage für das Deponiesickerwasser und einer anschließenden Kläranlage ausgestattet. Das gesammelte Sickerwasser wird durch das Aerotationsverfahren behandelt. Diese Deponie wird mit dem Basisabdichtungssystem und mit Schutzdamm gegen Tidehochwasser versehen.

2.7.4 Umweltverhältnisse in den betriebenen Deponien

Sowohl auf der Keputih-Deponie als auch auf der Lakarsantri-Deponie wurden die gefüllten Ablagerungszonen noch nicht mit einem Oberflächenabdichtungssystem versehen, so daß viele Abfälle herumfliegen und sich Gestank verbreitet. Der Gestank kann in einer Entfernung von ca. 1 bis 2 km festgestellt werden. Die Substanzen, wie z.B. Ammoniak (NH₃), Schwefelwasserstoff (H₂S) und Verbrennungsgase werden in der Umgebungsluft nachgewiesen (JICA, 1993).

In der Regenzeit kann das Niederschlagswasser in abgelagerte Abfälle einsickern, so daß die Menge des anfallenden Sickerwassers ansteigt. Das Deponiesickerwasser fließt direkt zum Fluß und belastet die Beschaffenheit des Gewässers. Aus den durchgeführten Untersuchungen von JICA (1993) ergibt sich, daß die Verschmutzung der Gewässer durch organische Schadstoffe sehr hoch ist und die Grenze des Wasserqualitätsstandards in Ostjava übersteigt. Die Beschaffenheit des Sickerwassers von der Keputih- und Lakarsantri-Deponie ist in Tabelle 2.8 dargestellt. Aus dieser Tabelle ist zu erkennen, daß der Schwermetallgehalt des Sickerwassers der betriebenen Deponien hoch ist.

Tab.2-8: Beschaffenheit des Sickerwassers der Deponien in Surabaya

Parameter	Einheit	Probe 1	Probe 2	Probe 3
Farbe		braun, schwarz	braun, schwarz	braun, schwarz
pH		7,8	8,12	8,14
Leitfähigkeit	µmhos	1470	1680	2160
suspendierter Festanteil	ppm	2372	2044	3570
gelöster Festanteil	ppm	11864	13104	18604
Natrium (Na)	ppm	1283,48	1339,29	1093,75
Kalium (K)	ppm	348,63	241,23	126,38
Kalzium (Ca)	ppm	206,25	181,25	562,50
Magnesium (Mg)	ppm	27,76	43,70	33,51
Eisen (Fe)	ppm	8,42	5,79	1470,00
Kupfer (Cu)	ppm	0,26	0,18	1,78
Blei (Pb)	ppm	0,33	0,22	0,56
Zink (Zn)	ppm	0,99	0,36	1,62
Ammoniak (NH ₃)	ppm	1,95	1,29	2,80
Chlorid (Cl)	ppm	4409,10	6662,60	5927,80
Nitrit (NO ₂)	ppm	0,10	0,07	0,13
Nitrat (NO ₃)	ppm	8,12	7,88	15,72
Phosphat (PO ₄)	ppm	36,85	15,75	39,48
CSB	ppm	5000	3000	10129
BSB	ppm	1500	710	3783

Probe 1 und 2 aus der Keputih-Deponie
Probe 3 aus der Lakarsantri-Deponie

BSB: biologischer Sauerstoffbedarf
CSB: chemischer Sauerstoffbedarf

2.8 Prognose des Flächenbedarfs für Siedlungsabfalldeponien

Bei Annahme des Bevölkerungswachstums von 2,6 % pro Jahr und die Erhöhung der Produktionsrate der Abfälle von 4,7 g pro Jahr sowie unter Berücksichtigung der Verminderung des Abfalls durch Recycling von ca. 10 % sagte Weiss (1988) voraus, daß die Summenmenge der Abfälle im Jahr 2000 etwa $10,05E+6$ Tonnen betragen wird. Zum Deponieren werden ca. 419 ha Flächen benötigt.

JICA (1993) berechnete eine Zunahme der Bevölkerungszahl von 1,58 % und der Produktionsrate von 5 % pro Jahr sowie eine Reduktion der Abfälle von 12 % durch Recycling und von 0,3 % durch Verbrennung, so daß im Jahr 2010 ca. $12,5E+6$ Tonnen Abfälle deponiert werden müssen. Der Flächenbedarf für Deponien wird auf 270 ha geschätzt. Zum Sparen der Transportkosten sollen 2 Deponien gebaut werden, die im westlichen und östlichen Teil von der Surabaya-Stadtregion liegen.

Die Berechnung des Flächenbedarfs für die Siedlungsabfalldeponie bis zum Jahr 2020 wurde im folgenden durchgeführt.

- 12 % der gesamten Abfallmenge sind verwertbar und recycelbar sowie 0,5 % werden in der Verbrennungsanlage thermisch behandelt, so daß die Summenmenge der Abfälle etwa $25,5E+6$ Tonnen beträgt (s. Abb. 2-3 und Abb. 2-8).
- Die Kapazität der betriebenen Deponien (Lakarsantri und Keputih) und der geplanten Deponie (Benowo) wird auf $3,9E+6$ Tonnen geschätzt, so daß der Flächenbedarf mit $21,6E+6$ Tonnen oder $36E+6$ m³ (0,6 Tonne = 1 m³) errechnet wurde. Wenn 1 m² Fläche für die Deponierung von 5 m³ Abfälle genutzt wird, werden etwa 72 ha Flächen benötigt.

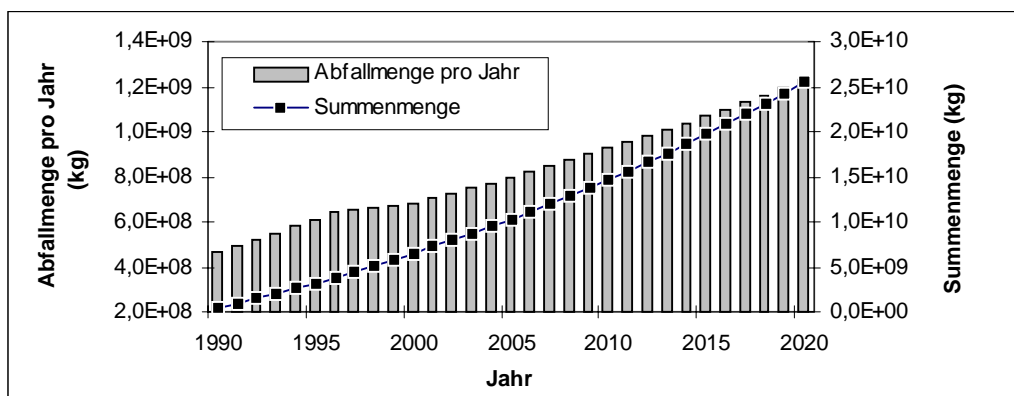


Abb. 2-8: Prognose der gesamten Abfallmenge bis zum Jahr 2020

3 Standortsuche und Bewertung der aufgelassenen Bergbaurestlöcher für die mögliche Anlage einer Siedlungsabfalldeponie

3.1 Grundlage der Deponiestandortsuche

Unter einer Deponie versteht man eine Fläche, auf dem unwiederverwertbare und nichtrecyclebare Abfälle abgelagert werden. Heutzutage läßt sich eine Deponie nicht nur als eine Fläche, sondern als ein Bauwerk, das nach dem Stand der Technik aufgebaut wird, definieren.

Früher wurden Deponien ohne eine Planung und ohne bestimmte Maßnahmen eingeleitet, da angenommen wurde, daß

- der Boden die biochemische oder chemische Substanz aus gelagerten Abfällen neutralisieren kann,
- das Deponiesickerwasser von eindringendem Regenwasser verflüssigt werden kann, so daß die Gefährdung der Schadstoffe sich vermindert,
- das Gestein ein guter Filter für alle Schadstoffe ist und das Schadstoffpotential reduzieren kann,
- der Grundwasservorrat theoretisch sehr groß ist, so daß er die Grundwasserverschmutzung auf ein Mindestmaß reduzieren kann.

Tatsächlich treffen diese Annahmen nicht zu. Aus vielen Untersuchungen ergab sich, daß die Natur (Gewässer, Boden und Luft) in der Umgebung einer Deponie kontaminiert ist und die Deponie eine Quelle der Verunreinigung geworden ist. Zur Lösung dieser Probleme führt man Untersuchungen, Planungen und technische Maßnahmen durch, bevor eine Fläche für eine Deponie verwendet wird.

Üblicherweise sind Deponien nach deren Lage im Untergrund und nach den Abfallarten zu unterteilen. Nach der Lage lassen sich Deponien in unterirdische und oberirdische klassifizieren. Bei den oberirdischen Deponien unterscheidet man verschiedene Deponien.

- a) Grubendeponien. Abfälle werden auf natürlichen oder künstlichen Senkungen abgelagert, so daß die Senkungen glätten oder höher werden.

- b) Hangdeponien. Abfälle werden an den natürlichen oder künstlichen Hängen abgelagert. Die Ablagerung der Abfälle kann die Neigung und Stabilität der Hänge verändern.
- c) Hochdeponien. Abfälle werden auf dem flachen Gelände abgelagert. Ablagerungen der Abfälle können eine hohe Morphologie, wie z.B. einen Berg, erzeugen.

Nach den Abfallarten sind verschiedene Deponien einzuteilen:

- a) Siedlungsabfalldeponien, auf denen Siedlungsabfälle, wie Hausmüll, Gewerbeabfälle und hausmüllähnliche Industrieabfälle, abgelagert werden.
- b) Sonderabfalldeponien, auf denen Industrieabfälle, deren Bestandteile viele Schwermetalle enthalten und von Bakterien nicht zersetzt werden können, deponiert werden.
- c) Bauschuttdeponien, auf denen Bauschutt und Baureste abgelagert werden
- d) Klärschlammdeponien, auf denen nur Schlämme zu deponieren sind.

3.1.1 Anforderungen an den Deponiestandort

Die Anlage einer Deponie ist grundsätzlich ein Eingriff in die Umwelt, da die Deponie zu einer Quelle der Verschmutzung sowohl während der Betriebszeit als auch nach dem Abschluß werden kann. Jede Deponie muß so geplant, gebaut, betrieben und abgeschlossen werden, daß die negativen Auswirkungen zu beherrschen sind. Bei den Auswirkungen geht es um

- die Gewässergefährdung und die Bodenverschmutzung durch Sickerwasser,
- die Gefährdung von Menschenleben durch Explosionen und Brände, die durch Deponiegas verursacht werden,
- die Beeinträchtigung der Lebensbedingungen insbesondere der in der Nachbarschaft lebender Menschen und
- die Zerstörung der Landschaft durch die Anhäufung.

Das Verfahren für die Deponiestandortsuche wird mit dem Ziel durchgeführt, den in der Gesamtabwägung bestgeeigneten Standort im Entsorgungsgebiet zu finden. Mit zunehmender Verfahrensdauer wird die Anzahl möglicher Standorte geringer, dafür steigt der Kenntnisstand über die noch vorhandenen Flächen. Die Zielmatrix der Standortsuche sollte mindestens folgende Themengruppen umfassen :

- Umweltaspekte (Morphologie, Geologie und Hydrogeologie)

- Raumordnung und Nutzungskonkurrenz
- Wirtschaftsaspekte und Entsorgungssicherheit.

Eine vergleichbare Zielsetzung sollte es auch für die Entscheidung über den weiteren Betrieb von vorhandenen Anlagen geben.

Bei der Standortsuche für Deponien sollen Ausschlußkriterien berücksichtigt werden. Ausschlußkriterien kennzeichnen Flächen, die für eine Deponie nicht zur Verfügung stehen. Dazu gehören Karstgebiete und Gebiete mit besonders klüftigem Gestein, fachbehördlich geplante Trinkwasserschutzgebiete, Heilquellenschutzgebiete, Wasservorranggebiete, Überschwemmungsgebiete. Neben den Ausschlußkriterien sollen einschränkende Kriterien berücksichtigt werden: geologische, hydrogeologische, bodenkundliche Verhältnisse, erdbebengefährdete Gebiete, tektonisch aktive Störungszonen, Rutschungsgefährdung, Bergsenkung, Tagesbrüche, Setzungsverhalten und bodenmechanische Tragfähigkeit des Untergrundes.

3.1.2 Stand der Technik von Siedlungsabfalldeponien

Zum Schutz des Menschen und der Natur muß eine Deponie mit vielen Sicherheiten versehen werden. Das Sicherheitskonzept für Deponiebau wird als „Multibarrierenkonzept“ bezeichnet. Als Barriere unterscheidet man die geologische Barriere, die technische Barriere, den Abfallkörper, die Nutzung verfüllter Deponieflächen und die Kontrolle des Deponieverhaltens. Beim Einbau einer Siedlungsabfalldeponie wurden mindestens die geologische Barriere und die technische Barriere benötigt. Abbildung 3-1 zeigt ein Schema der Siedlungsabfalldeponie.

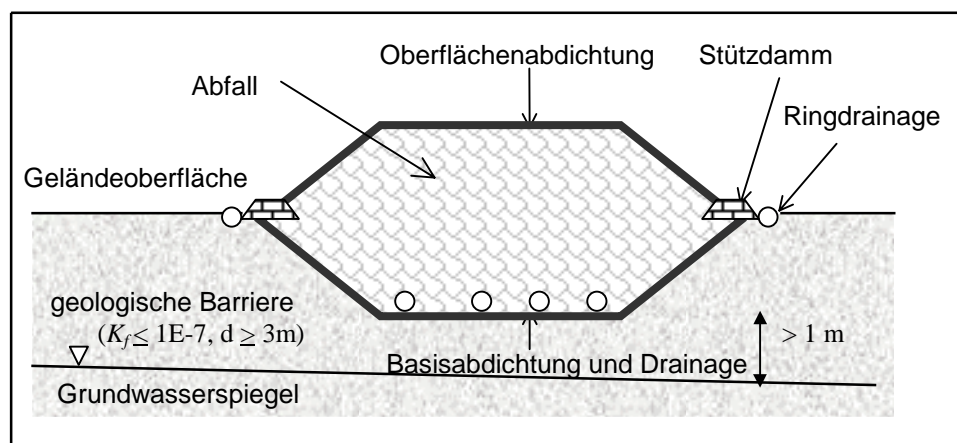


Abb. 3-1: Schema der Siedlungsabfalldeponie (nach Czurda, 1993)

Geologische Barriere

Unter einer geologischen Barriere versteht man natürliche Verhältnisse (Mineralogie, Textur und Struktur) der unter und neben einem Deponiestandort liegenden Gesteine, die die Ausbreitung des Deponiesickerwassers stoppen und verhindern können. Geologische Barrieren müssen eine geringe Durchlässigkeit ($K_f \leq 1E-7$), eine große Mächtigkeit ($d \geq 3$ m), eine weitgehende Homogenität, ein hohes Schadstoffrückhaltevermögen sowie eine hohes Langzeitverhalten gegenüber Schadstoffen besitzen. Dazu kommen als spezielle ingenieurgeologische Anforderungen eine ausreichende Tragfähigkeit und ein geeignetes Verformungsverhalten.

Technische Barriere

Die technische Barriere oder das Abdichtungssystem besteht aus einer Basisabdichtung und einer Oberflächenabdichtung. Der Zweck der Basisabdichtung ist es, das Eindringen des Sickerwassers aus dem Abfallkörper in der geologischen Barriere aufzuhalten und das Deponiesickerwasser zu dränen. Von unten nach oben besteht eine Basisabdichtung aus mineralischen Dichtungsschichten, einer Kunststoffdichtungsbahn und einer Entwässerungsschicht (Abb. 3-2a). Die technischen Voraussetzungen der Basisabdichtung sind abhängig von den Eigenschaften der geologischen Barriere und den Abfallarten.

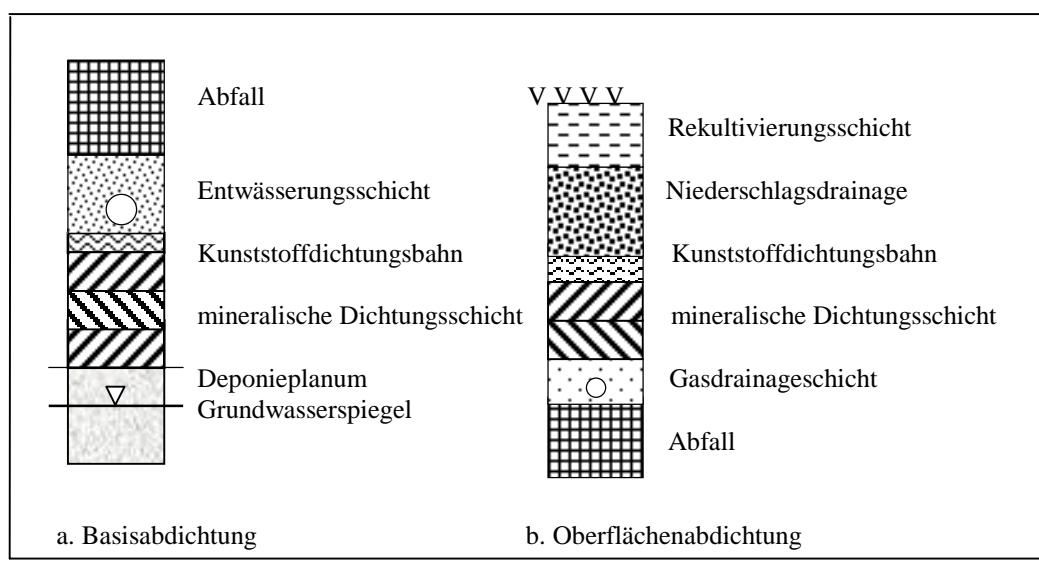


Abb. 3-2: Schema von Abdichtungssystemen für Siedlungsabfalldeponie

Die Oberflächenabdichtung wird benötigt, um das Eindringen von Niederschlagswasser in den Abfallkörper zu vermeiden und Gase zu drainieren. Eine Oberflächenabdichtung besteht von unten nach oben aus einer Gasdrainageschicht, einer mineralischen Dichtungsschicht, einer Kunststoffdichtungsbahn, einer Entwässerungsschicht und einer Rekultivierungsschicht (Abb. 3-2b). Die Einrichtung der Oberflächenabdichtung wird nach dem Abschluß der Deponie durchgeführt.

Bei bestimmten geologischen Situationen braucht eine Deponie vertikale Dichtwände, die die horizontale Ausbreitung des Deponiesickerwassers verhindern und standsicherheitsrelevante Eigenschaften verbessern können.

3.2 Morphologie, Geologie und Hydrogeologie des Untersuchungsgebietes

3.2.1 Morphologischer, geologischer und hydrogeologischer Kenntnisstand

Die geologische Erkundung des Surabaya-Gebietes und dessen Umgebung wurde erstmals von Brouwer (1917) im Rahmen der Erdölsuche durchgeführt. Im Jahr 1938 publizierte Duyfjes die Geologie des Surabaya-Gebietes. Danach faßte Bemmelen (1949) die vor der indonesischen Unabhängigkeit entstandene geologische Veröffentlichung zusammen. Kusumadinata (1969) sowie Sutarso und Sujitno (1979) beschrieben die Geologie des Nordostjava-Beckens, zu dem das Surabaya-Gebiet gehört. Die geologische Karte des Surabaya-Gebietes mit einem Maßstab 1 : 100.000 wurde im Jahr 1992 von Sukardi veröffentlicht.

Pannekoeck (1949) beschreibt die generelle Geomorphologie von Java und Madura. Die nach 1970 publizierten geologischen Berichte enthalten im allgemeinen kurze morphologische Erläuterungen. Die hydrogeologische Karte des Surabaya-Gebietes mit einem Maßstab von 1 : 250.000 wurde im Jahre 1995 von Puspowardoyo durch eine Zusammenarbeit mit einer deutschen hydrogeologischen Empfehlungsgruppe abgefaßt. Im Jahr 1986 wurde die geologische Stadtplanungskarte des Surabaya-Gebietes und dessen Umgebung von Wongsosentono vorgelegt.

3.2.2 Regionalgeologischer Überblick

Physiographisch läßt sich der östliche Teil von Insel Java in sieben Einheiten gliedern (Bemmelen, 1949). Von Norden nach Süden folgen aufeinander: Nordjava-Küstenebene, Rembang-Madura-Antiklinorium, Randublatung-Senkung, Kendeng-Antiklinorium, Mitteljava-Ebene, Quartäre Vulkane und Südgebirge (Abb. 3-3).

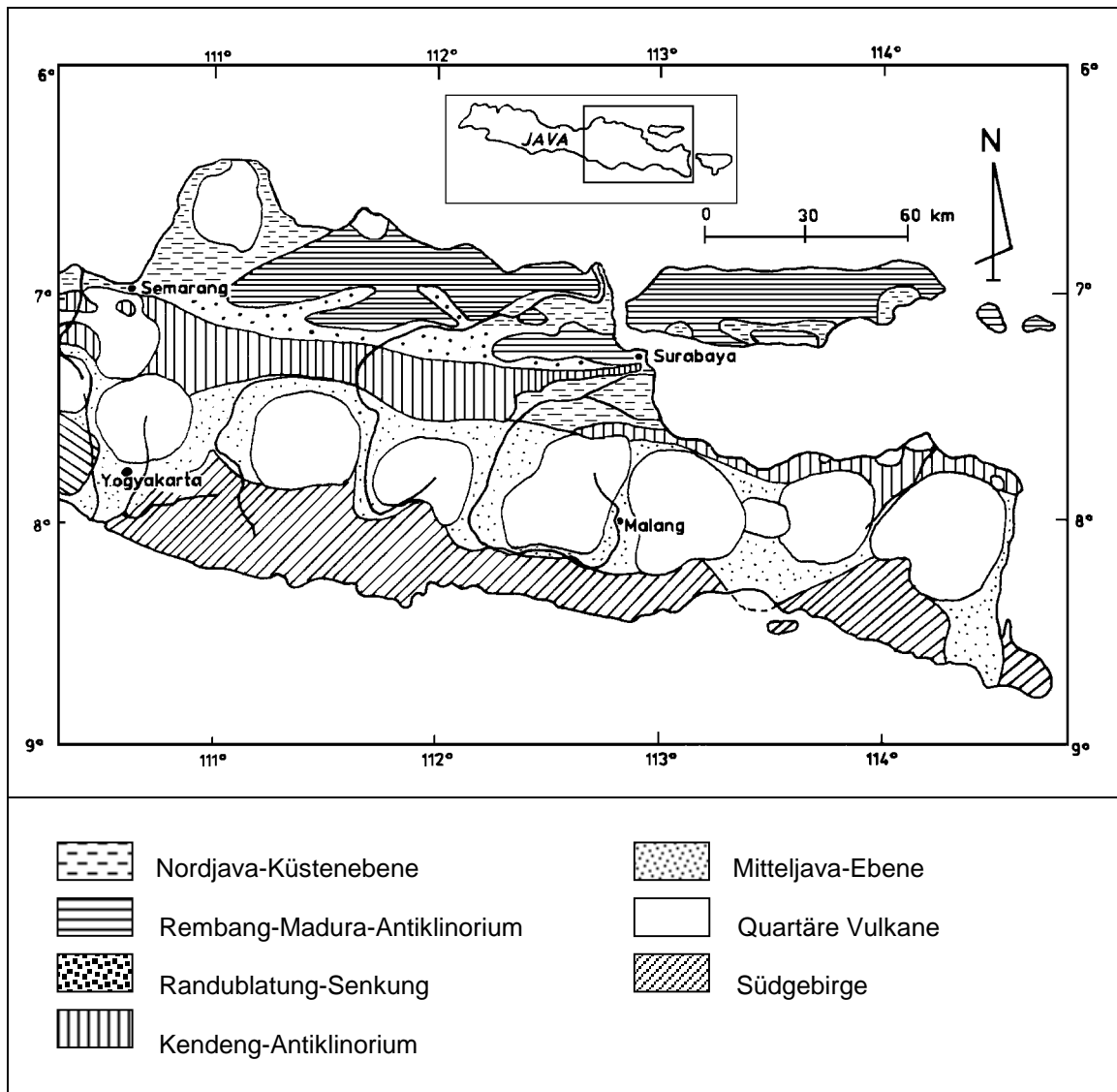


Abb. 3-3: Physiographische Gliederung von Ostjava (BEMMELEN, 1949)

Die Nordjava-Küstenebene besteht aus quartären Küsten- und Fluvialsedimenten. Das Rembang-Madura-Antiklinorium wird durch die Karstmorphologie und die Gebirgsfalte mit einer NW-SE-Achse gekennzeichnet. Diese Zone bildet sich aus den Kalksteinen und den flachmarinen Sedimenten ohne Tuffgehalt. Die Randublatung-Senkung erstreckt sich auf eine

Breite zwischen 10 und 30 km sowie eine Länge zwischen 120 und 150 km. Diese Muldenzone wird von den alluvialen Sedimenten abgedeckt.

Die Kendeng-Zone wird vom Antiklinoriumaufbau mit E-W-Achse charakterisiert. Im Gegensatz zu dem Rembang-Madura-Antiklinorium setzt sich das Kendeng-Antiklinorium aus Sedimenten mit Vulkanit- und Pyroklastitgehalt zusammen. Im südlichen Teil der Kendeng-Zone erstreckt sich die zwischen 50 und 100 km breite Mitteljava-Ebene, die von feinen bis groben alluvialen Ablagerungen abgedeckt wird.

Die quartäre Vulkanzone besteht aus einer Reihe von aktiven andesitischen bis basaltischen Vulkankomplexen. Im Süden folgt schließlich das Südgebirge von Ostjava, das von der steilen Topographie und der Karstmorphologie gekennzeichnet ist. Das Südgebirge bildet sich aus den verschiedenen Sedimenten, den dazitischen und andesitischen Intrusivgesteinen.

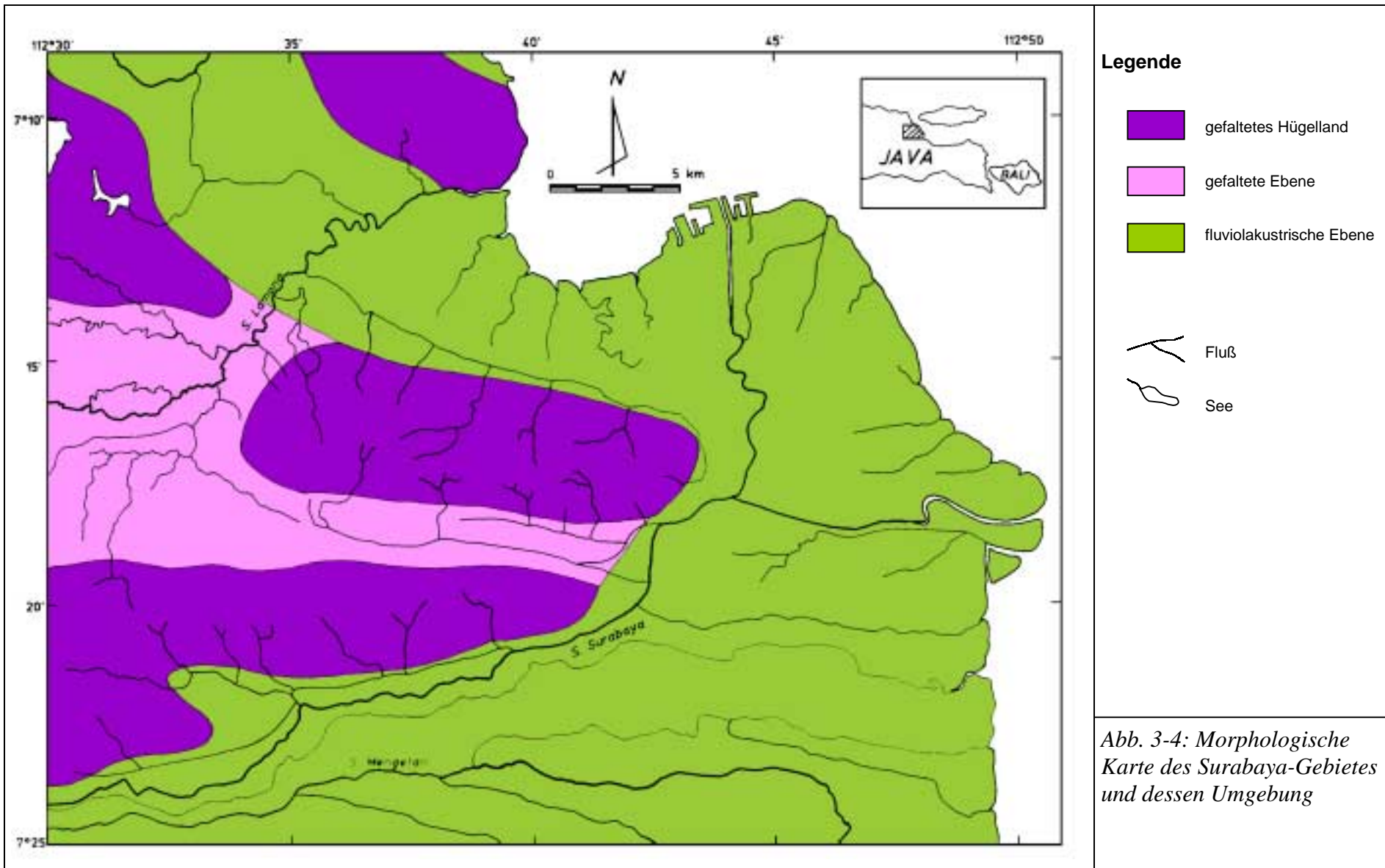
Physiographisch treffen sich im Untersuchungsgebiet 3 Zonen: die Nordjava-Küstenebene, das Rembang-Madura-Antiklinorium und das Kendeng-Antiklinorium.

3.2.3 Topographie und Morphologie

Das Arbeitsgebiet liegt in einer Höhe zwischen 0 bis 100 m ü.d.M. Ungefähr 70 % des Untersuchungsgebietes stellt eine Tiefebene dar. Hügelland ist im westlichen, südlichen und nördlichen Bereich vorhanden.

3.2.3.1 Morphologische Einheiten

Die Morphologie des Surabaya-Gebietes und dessen Umgebung spiegelt im wesentlichen eine Faltenstruktur wider, wobei das Hügelland sich E-W wie die Antiklinalachse erstreckt. Morphologisch läßt sich das Untersuchungsgebiet in drei Einheiten gliedern (Abb. 3-4). Es ergibt sich eine Gliederung, die neben der Topographie auch geologische Aspekte (Aufbau und Lithologie) berücksichtigt. Das Entwässerungsnetz des Untersuchungsgebietes kann in drei Gruppen unterteilt werden (Abb. 3-5).



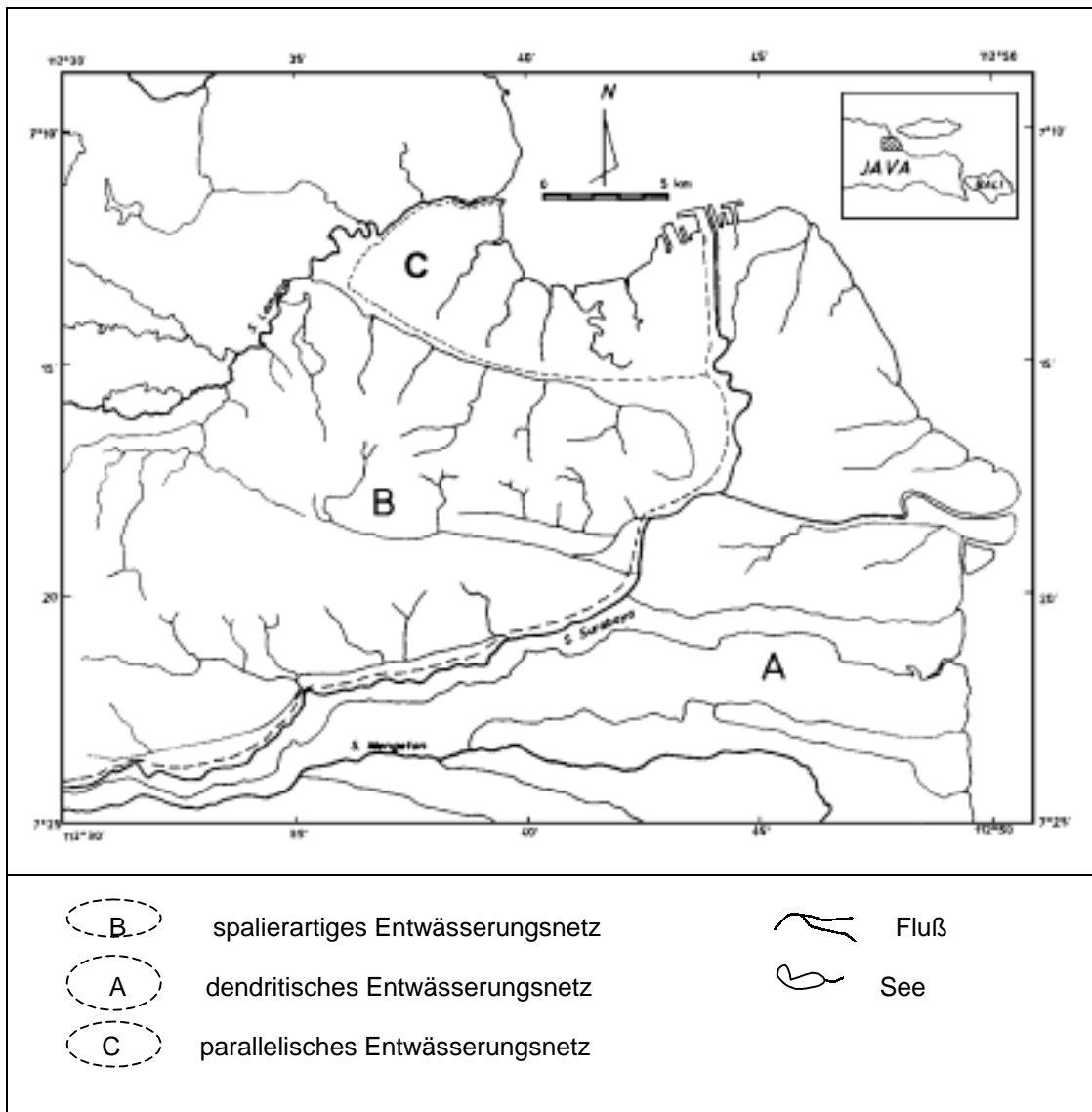


Abb. 3-5: Einteilung des Entwässerungsnetzes des Surabaya-Gebietes und dessen Umgebung

Das gefaltete Hügelland bildet sich aus den Sattelfaltungen und erstreckt sich E-W wie die Antiklinalachse. Die durchschnittliche Geländehöhe bewegt sich zwischen 25 und 100 m ü.d.M., und die Hangneigung liegt zwischen 2° bis 5°. Lithologisch handelt es sich um tertiäre Gesteine: Kalksteine, kalkhaltige Tonsteine, Tonsteine, tuffhaltige Sandsteine und Brekzien. Spalierartige (*trellis*) Abflüsse sind typisch für das gefaltete Hügelland, das im Jugendstadium erodiert ist.

Die gefaltete Ebene ist eigentlich eine Muldeneinsenkung. Infolge der hohen Ablagerungen im Zentralbereich entwickelte sich das Synklinaltal zu einer Ebene. Die Geländehöhe der

gefalteten Ebene liegt zwischen 5 und 25 m ü.d.M. Die Oberflächenentwässerung ist spalierartig ausgebildet. Bei hohen Niederschlägen ist dieses Gebiet überschwemmt.

Die fluviolakustrische Ebene mit Höhenlagen zwischen 0 und 5 m ü.d.M. umfaßt ca. 55 % des Untersuchungsgebietes. Der südöstliche Bereich dieser Ebene ist ein Teil des Sidoarjo-Deltas, das von dem Surabaya- und Porong-Fluß gebildet wird. Das Oberflächengewässernetz weist ein dendritisches Muster auf. Der nördliche Teil dieser Ebene ist ein Sumpfgebiet. Das Flußnetz ist im nördlichen Bereich parallel mit den breiten und flachen Tälern ausgebildet.

3.2.3.2. Überschwemmungsgebiet

Aufgrund der Geländehöhe und der morphologischen Einheiten gliedert sich das Untersuchungsgebiet in 5 Überschwemmungszonen (Anlage 1). Die Zone mit einer sehr hohen Überschwemmungswahrscheinlichkeit hat eine Höhenlage zwischen 0 bis 5 m ü.d.M. Sie erstreckt sich entlang der Ost- und Nordküste und umfaßt etwa 20 % des Arbeitsgebietes. Die hohe Wahrscheinlichkeitszone mit einer Größe von ca. 30 % liegt zwischen 5 bis 10 m ü.d.M.

Die mittlere Wahrscheinlichkeitszone mit der Geländehöhe zwischen 10 bis 25 m ü.d.M. hat eine Größe von ca. 15 %. Morphologisch entspricht diese Zone der gefalteten Ebene bzw. Synklinalmulde. Die geringe Wahrscheinlichkeitszone liegt zwischen 10 bis 25 m ü.d.M. und hat eine Größe von ca. 10 % des Untersuchungsgebietes. Sie gehört zu der fluviolakustrischen Ebene. Die sehr geringe Wahrscheinlichkeitszone mit einer Größe von ca. 25 % liegt zwischen 25 bis 100 m ü. NN. und morphologisch entspricht sie dem Bereich des gefalteten Hügellandes.

3.2.4 Geologie

3.2.4.1 Übersicht über Schichtenfolge und Tektonik

Die geologische Entwicklung des Surabaya-Gebietes steht in enger Beziehung zum Rembang- Madura-Becken im Norden und zum Kendeng-Becken im Süden.

Die Entwicklung des Untersuchungsgebietes beginnt mit der vom oberen Miozän bis unteren Pliozän im Rembang-Becken abgelagerten Madura-Formation. Gleichzeitig wurde die Sonde-Formation im Kendeng-Becken abgelagert. Die hohe Sedimentationsrate im Rembang-Becken und die Erhebung des Kendeng-Beckens bewirkten die Vereinigung der beiden Becken, so daß die Sedimentation der Lidah-Formation auch das Rembang-Becken bedecken konnte. Während der Ablagerung der Sonde- und Lidah-Formation folgten vulkanische Aktivitäten.

Im mittleren Pliozän wurde ein Teil vom Kendeng-Becken herausgehoben, so daß das Meer flacher geworden und Festland entstanden ist. Gleichzeitig wurde die Pucangan-Formation im sublitoralen Milieu abgelagert. Danach erfolgte die terrestrische Sedimentation der Kabuh-Formation im oberen Pleistozän. In der Folgezeit begann die Erosion des Gebietes, und hohe Aktivitäten der quartären Vulkane traten auf. Eine Übersicht über die Schichtenfolge des Surabaya-Gebietes und dessen Umgebung ist in der Tabelle 3-1 angegeben. Die geologische Karte des Surabaya-Gebietes und dessen Umgebung ist in Abbildung 3-6a und der geologische Querschnitt in Abbildung 3-6b dargestellt.

3.2.4.2 Beschreibung der lithologischen Einheiten

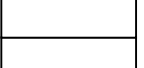
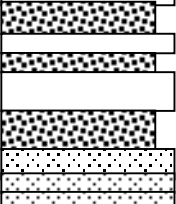
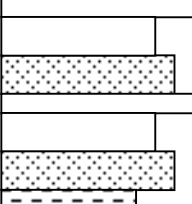
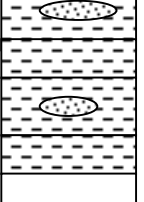
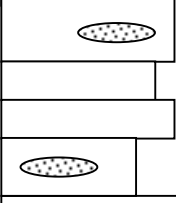
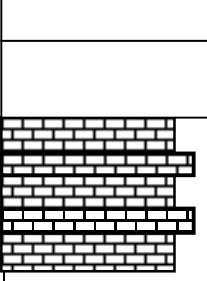
Das Untersuchungsgebiet besteht aus marinen Sedimenten mit miozänem bis pliozänem Alter und Festlandsedimenten mit pliozänem bis quartärem Alter. Das miozäne bis pliozäne Sediment, das zu der Rembang-Madura-Zone gehört, ist nur die Madura-Formation. Die anderen Formationen (Sonde-, Lidah-, Pucangan- und Kabuh-Formation) zählen zur Kendeng-Zone. Im folgenden wird jede Formation von der ältesten bis zur jüngsten beschrieben.

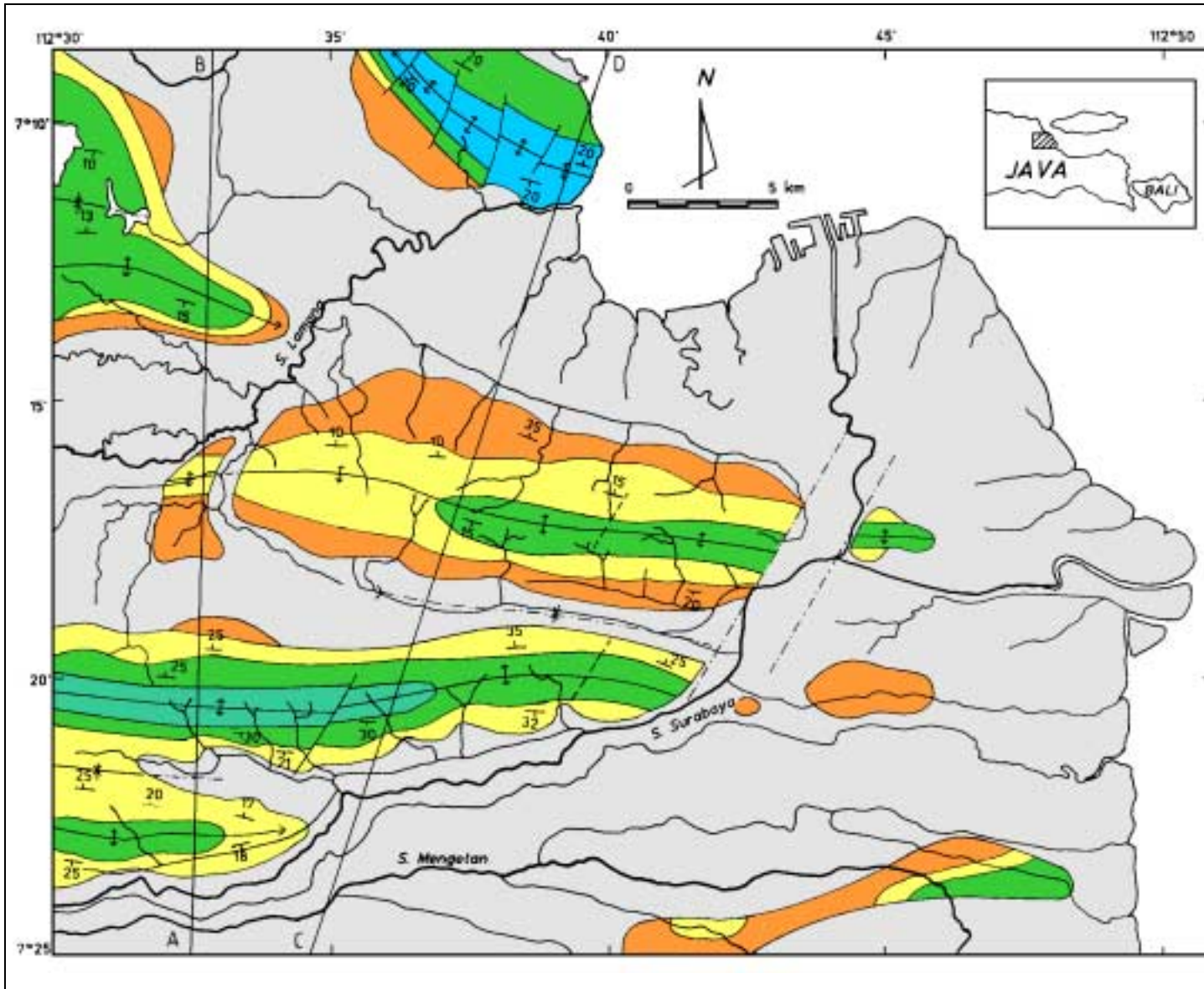
Lithologisch handelt es sich bei der **Madura-Formation** um bandförmige Kalksteine im unteren Teil und Korallenkalksteine im oberen Teil. Die im Untersuchungsgebiet älteste Formation wurde vom oberen Miozän bis unteren Pliozän im Flachmeer abgelagert. Die Mächtigkeit dieser Formation liegt zwischen 50 und 100 m.

Die **Sonde-Formation** besteht lithologisch aus leichten, gelben bis weißen Ton- und Schluffsteinen mit einem hohen Gehalt an Foraminiferen und Diatomeen. Kalkhaltige Sandlinsen mit einer Dicke von 10 bis 30 cm kommen örtlich vor. Diese Formation wurde im unteren Pliozän im äußeren Sublitoral abgelagert und die Folge ist ca. 300 m mächtig

(SUKARDI, 1992). Die Sonde-Formation ist die älteste der im Arbeitsgebiet vorhandenen Formationen der Kendeng-Zone, und sie verzahnt sich wahrscheinlich mit der Madura-Formation der Rembang-Zone.

Tab. 3-1: Übersicht über die Schichtenfolge des Surabaya-Gebietes und dessen Umgebung

Alter (Serie)	Formation	Lithologisches Profil	Mächtigkeit (m)	Lithologische Beschreibung
Holozän	alluviale Ablagerung		<20	Unverfestigte Ton- und Sandsedimente mit hohem organischem Gehalt
oberes Pleistozän	Kabuh		ca. 50	Wechselfolgen von bandförmigen Sandsteinen und Konglomeraten mit andesitischen Bruchstücken
unteres Pleistozän	Pucangan		ca. 250	oberer Teil : bandförmige tuffische Sandsteine unterer Teil: bandförmige tuffische Sandsteine, Tonsteine und Konglomerate
oberes Pliozän	Lidah		ca. 250	leichte grünblaue, braune, graue Tonsteine, örtlich vorhandene linsenförmige Sandsteine
unteres Pliozän	Sonde		ca. 300	leichte kalkhaltige Ton- und Schluffsteine, reich an Fossilien und Diatomeen
oberes Miozän	Madura		50-100	oberer Teil: weißer Korallenkalkstein mit kleinem Porenraum und Muschelschalen. unterer Teil: geschichteter Kalkstein mit großem Porenraum
		?		



Legende

- alluviale Ablagerung
- Kabuh-Formation
- Pucangan-Formation
- Lidah-Formation
- Sonde-Formation
- Madura-Formation

- Einfallen der Schichten (mit Einfallswinkel)
- 30°
- Antiklinale
- abtauchende Antiklinale
- Synklinale
- Verwerfung
- a. genau
- b. vermutete
- c. abgegrabene
- A B geologische Profilinie
- Fluß
- See

Quelle :
 - Sukardi, 1992
 - Wongsosentono, 1986
 - Felddaten

Abb. 3-6a: Geologische Karte des Surabaya-Gebietes und dessen Umgebung

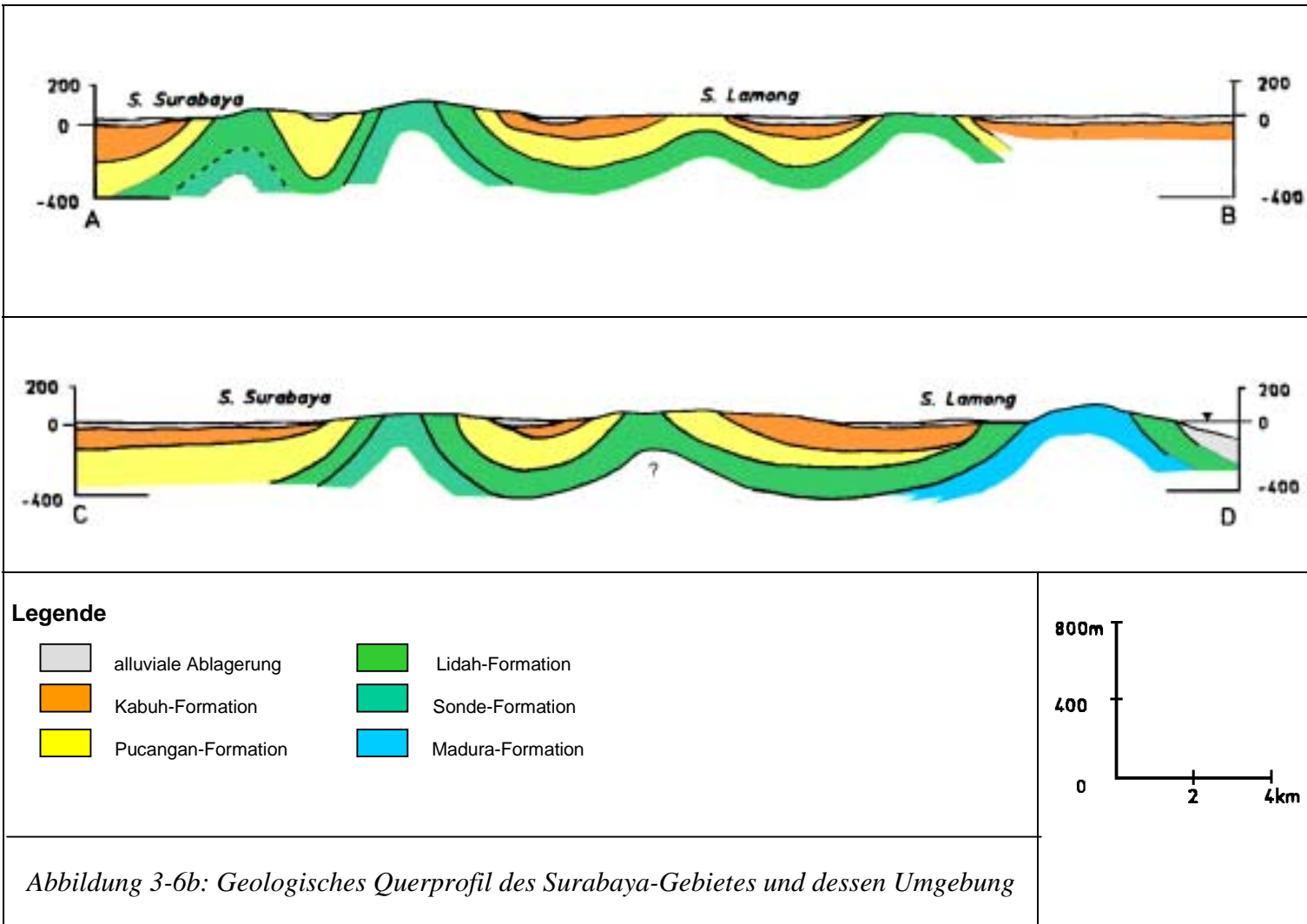


Abbildung 3-6b: Geologisches Querprofil des Surabaya-Gebietes und dessen Umgebung

Die **Lidah-Formation** liegt über der Sonde-Formation im westlichen und südlichen Bereich und über der Madura-Formation im nördlichen Bereich des Erkundungsgebietes. Sie besteht aus grünblauen, braunen und grauen Tonsteinen. Örtlich sind linsenförmige Sandsteine mit geringem Kalkgehalt vorhanden. Die Formation hat eine Mächtigkeit bis zu 250 m und wurde im flachmarinen Milieu im mittleren Pliozän abgelagert.

Die **Pucangan-Formation** folgt konkordant der Lidah-Formation. Sie besitzt ein spätpliozänes bis frühpleistozänes Alter und eine Mächtigkeit von ca. 250 m. In ihrem unteren Teil enthält sie eine Wechsellagerung von tuffischen Sandsteinen, Konglomeraten und Tonsteinen. Nach oben geht sie in geschichtete Sandsteine mit Tuffgehalt über. Diese Gesteine entstanden durch eine Ablagerung im Sublitoral.

Die **Kabuh-Formation** besteht lithologisch aus einer Wechselfolge von Sandsteinen und Konglomeraten mit andesitischen Bruchstücken. Nach Sukardi (1992) wurde diese Formation im Mittelpliozän bis Spätpleistozän im terrestrischen Milieu abgelagert. Die Kabuh-Formation mit einer Mächtigkeit von ca. 50 m liegt konkordant über der Pucangan-Formation.

Die **alluviale Ablagerung** im südwestlichen und westlichen Teil des Arbeitsgebietes wird von den fluvialen Schichtenfolgen dominiert, während im östlichen und nördlichen Bereich Sumpfsedimente vorherrschen. Die Flußablagerungen mit einer Mächtigkeit von unterhalb 20 m bestehen aus Fein- bis Grobsand und Tonen. Schwarze Ton- und Schluffsedimente mit Muschelschalen dominieren die Sumpfablagerungen.

3.2.4.3 Strukturgeologie

Die Falten in der Rembang-Zone sind stärker als in der Kendeng-Zone, und die Störungen in der Rembang-Zone sind dichter als in der Kendeng-Zone. Im Mittelbereich des Untersuchungsgebietes befindet sich ein NE-SW streichender Graben, der die Änderung der Fließrichtung des Surabaya-Flusses von Osten nach Norden verursachte.

Die Einfallswinkel der Gesteine in der Rembang-Zone variieren zwischen 20° bis 50°. Die Faltenachsen erstrecken sich NW-SE, während die Streichrichtungen der Störungen SW-NW verlaufen. In der Kendeng-Zone sind die Achsenrichtungen des Antiklinoriums W-E, während

die Streichrichtungen der normalen Verwerfungen N-S verlaufen. Der Einfallswinkel der Gesteinsschichten schwankt zwischen 10° und 30°.

3.2.5 Hydrogeologie

3.2.5.1 Hydraulische Eigenschaften der Formationen

Das unterschiedliche Gefüge und die unterschiedliche Zusammensetzung der geologischen Einheiten führen im einzelnen zu einer differenzierten hydrogeologischen Gliederung. Anhand der geologischen Verhältnisse der einzelnen Formationen lassen sich die hydraulischen Eigenschaften einzelner Formationen bestimmen (Tab. 3-2). Innerhalb des Arbeitsgebietes selbst ist nur ein Aquifer ausgebildet (Madura-Formation).

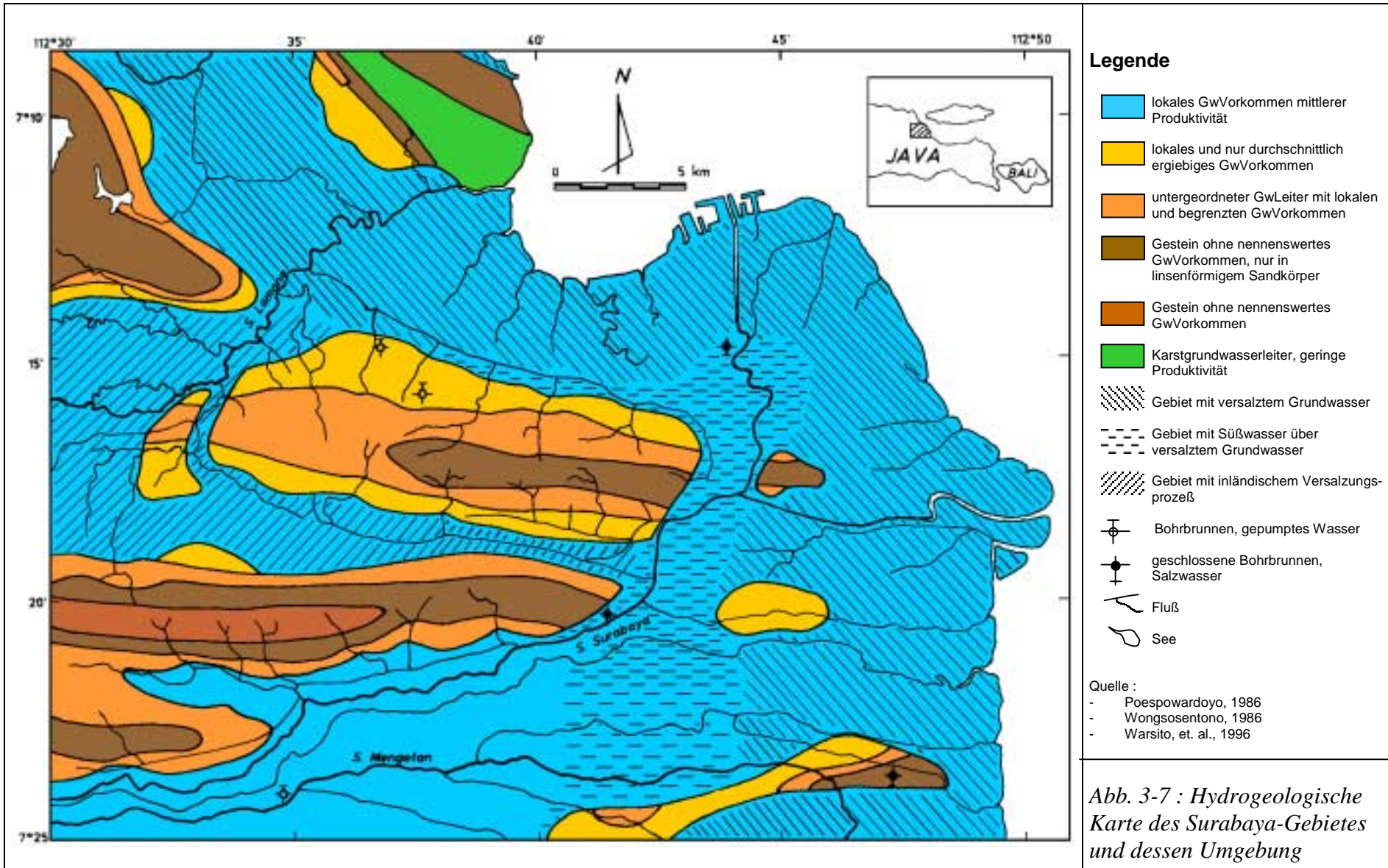
Tab. 3-2: *Hydraulische Eigenschaften der Formationen des Untersuchungsgebietes*

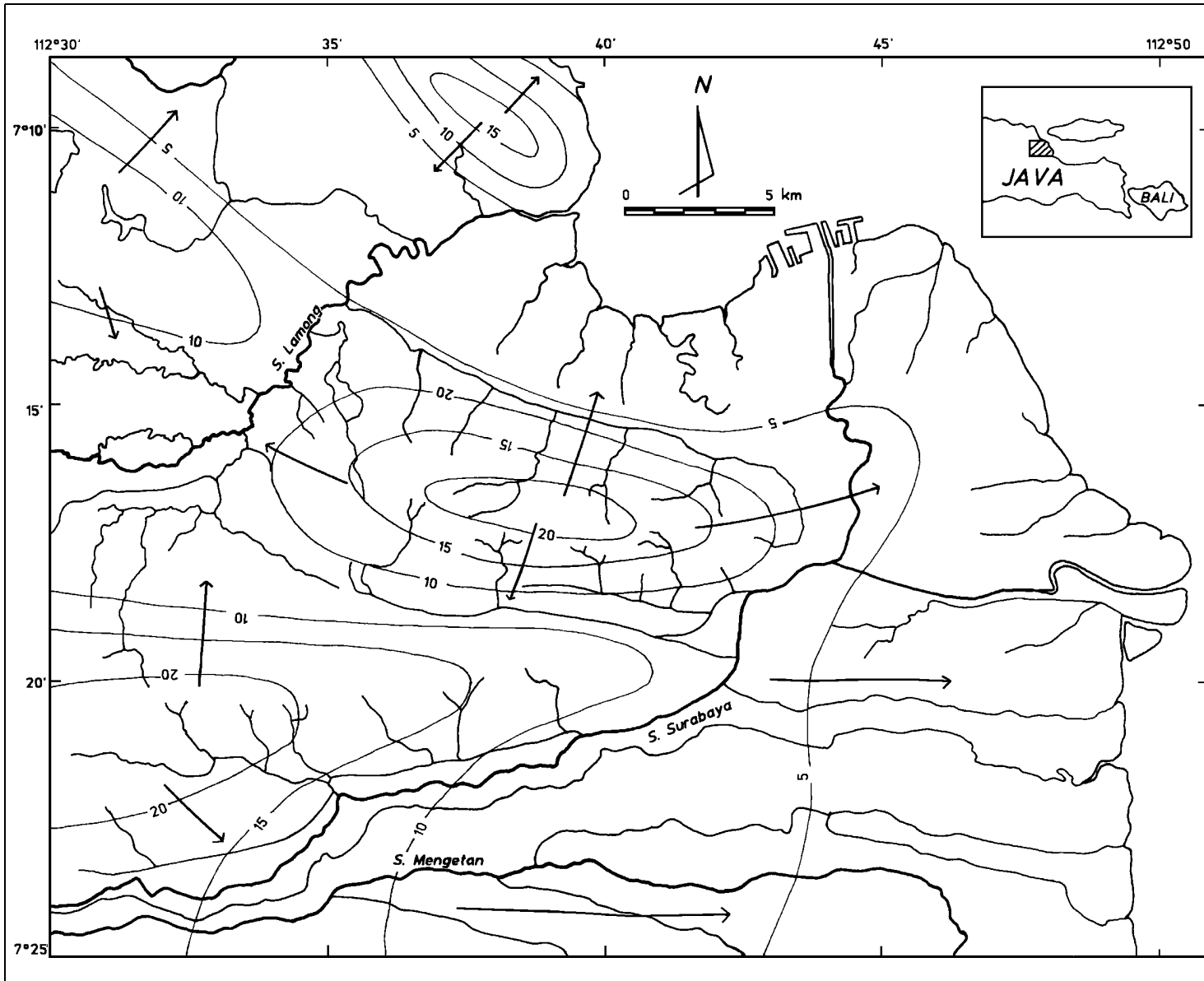
Formation	Aquiferbezeichnung	Mächtigkeit (m)	Bemerkung
alluviale Ablagerung	schlechter Aquifer	< 20	geringe bis große Permeabilität, geringe Produktionsrate
Kabuh	schlechter Aquifer	ca. 50	geringe bis mittlere Permeabilität, Produktionsrate = 1 l/s
Pucangan	schlechter Aquifer	ca. 250	geringe bis mittlere Permeabilität, Produktionsrate = 0,1 l/s
Lidah	GwNichtleiter	ca. 250	geringe Permeabilität
Sonde	GwNichtleiter	ca. 300	geringe Permeabilität
Madura	guter Aquifer	50 - 100	mittlere bis große Permeabilität, mittlere Produktionsrate

Das Erarbeiten der hydrogeologischen Karte des Untersuchungsgebietes (Abb. 3-7) basiert auf verschiedenen hydrogeologischen Erkundungen und Karten.





3.2.5.2 Grundwassergleichenplan

In der fluviolakustrischen Ebene liegt der Grundwasserspiegel zwischen 1 und 5 m unter der Geländeoberfläche, während er in der gefalteten Ebene zwischen 5 bis 10 m tief ist. Der Grundwasserspiegel im Hügelland liegt mehr als 10 m unterhalb der Geländeoberfläche. Abbildung 3.8. zeigt den Grundwassergleichenplan und die Grundwasserfließrichtung.





Legende

-  GwGleichenlinie (m ü. N N)
-  GwFließrichtung
-  Fluß
-  See

Quelle :

- Poespowardoyo, 1986
- Warsito, et. al., 1996
- Dinas Pertambangan Jawa Timur, 1995
- Dinas Pertambangan Jawa Timur, 1996

*Abb. 3-8: Grundwasser-
gleichenplan des Surabaya-
Gebietes und dessen
Umgebung*

3.2.5.3 Beschaffenheit des Grundwassers und Grundwasservorkommen

Im allgemeinen befindet sich im Untersuchungsgebiet nur ein bedeutsames Grundwasservorkommen. Die Madura-Formation ist ein wichtiger Aquifer. In dieser Formation kommt das Grundwasser in den Poren und Rissen vor und darin befinden sich Quellen mit einem Abfluß bis 18 m³/h.

Die terrestrischen Pleistozänsedimente, wie die Pucangan- und Kabuh-Formation, enthalten durchlässige Schichten, jedoch deren Mächtigkeit ist nicht bedeutsam. Sie bilden nur einen Aquifer von sekundärer Bedeutung (Puspowardoyo, 1985). Das Grundwasser in der Verwitterungszone der Lidah-Formation ist salzig, während in der Sonde-Formation kein bedeutendes Grundwasservorkommen vorhanden ist.

Die alluviale Ablagerung ist aufgrund der unregelmäßigen Durchlässigkeit und des hohen Salzgehaltes kein bedeutender Aquifer. Der Salzgehalt des Grundwassers variiert zwischen 300 und 1000 mg/l. Je tiefer das Grundwasser im östlichen und nördlichen Bereich ist, um so salziger ist es. Das relativ bedeutsame Süßgrundwasservorkommen in den alluvialen Sedimenten befindet sich im südwestlichen Teil des Untersuchungsgebietes. Das Süßgrundwasser kommt auch am Rand des Surabaya-Flusses in Bereichen höher als 10 m aus der Erdoberfläche vor (Wongsosentono, 1986).

Ein großer Teil aller Haushalte, Gewerbe und Industrien in der Surabaya-Stadtregion bezieht seinen Wasserbedarf aus der öffentlichen Wasserversorgung. Das Rohwasser der Surabaya-Wasserversorgung wird aus dem Surabaya-Fluß gewonnen. Ein kleiner Teil der Haushalte deckt seinen Wasserbedarf über Hausbrunnen. Das Rohwasser der Wasserversorgung für das Gresik-Stadtgebiet wird aus der Madura-Formation gefördert. Für das Sidoarjo-Stadtgebiet wird es aus dem Porong-Fluß und Bohrbrunnen im südwestlichen Bereich der alluvialen Ablagerungen gewonnen.

3.3 Raumnutzung und -planung

3.3.1 Raumnutzung

Eine Raumnutzungskarte zeigt die bisherige Nutzung von Landschaften in einem Gebiet. Der Begriff Landschaft bezeichnet einen bestimmten Teil der Erdoberfläche, der nach seinem äußeren Erscheinungsbild und durch das Zusammenwirken der hier herrschenden Geofaktoren (auch einschließlich der menschlichen Tätigkeit) eine charakteristische Prägung besitzt.

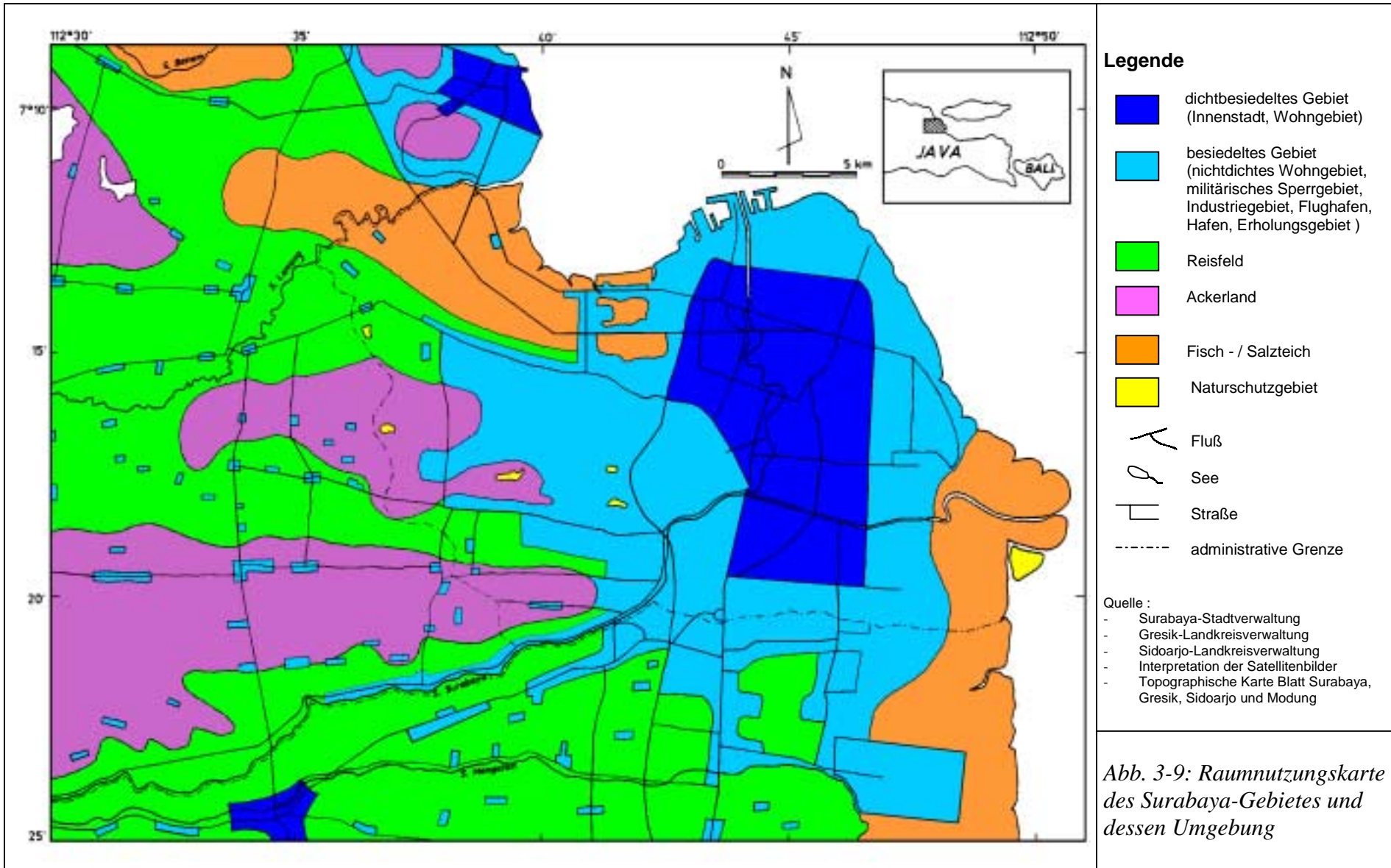
Die Raumnutzungskarte des Arbeitsgebietes wurde durch Zusammenstellung verschiedener Daten, u.a. Interpretation des Satellitenbildes von Landsat TM Band 1 bis 7 (Aufnahme am 30.08.1996), topographische Karten, Felddaten, vorhandene Raumnutzungskarten der Gresik- und Sidoarjo-Landkreise sowie Surabaya-Stadtregion hergestellt. Abbildung 3-9 stellt die Raumnutzung des Untersuchungsgebietes dar.

3.3.2 Raumplanung

Unter Raumplanung versteht man die zusammenfassende, übergeordnete, ordnende Planung, die über das Gebiet der kleinsten Verwaltungseinheit hinausgeht.

Nach der Ostjava Regionalplanung liegt das Untersuchungsgebiet in der Gerbangkertasusila-Entwicklungszone. Diese Zone besteht aus 5 Landkreisen und 2 Städten: den Landkreisen Gresik, Bangkalan, Mojokerto, Sidoarjo und Lamongan sowie den Städten Surabaya und Mojokerto. Die Surabaya-Stadtregion ist für das Entwicklungszentrum geplant.

Um die Entwicklung der Surabaya-Stadtregion als Verwaltungs- und Wirtschaftszentrum der Ostjava-Provinz zu fördern, soll die Surabaya-Stadtregion und deren Umgebung als Surabaya-Metropole-Gebiet (SMG) vorbereitet werden. Das SMG besteht aus der Surabaya-Stadtregion, die als die Kernstadt bezeichnet wird, und den drei kleinen Städten Gresik, Krian und Sidoarjo, die als Nebenstädte (Suburbankern) bezeichnet werden. Es besteht also eine sehr enge wirtschaftliche und soziale Abhängigkeit der Nebenstädte zur Kernstadt. Das Zwischengebiet, das zwischen der Kernstadt und den Nebenstädten liegt, soll als Grünfläche geplant werden.



Es ist vorstellbar, daß Surabaya als Zentrum für Handel, Finanzen, Administration sowie Kultur und Ausbildung entwickelt wird. Gresik wird Standort für die Metall- und Chemieindustrie und es werden die am Strand liegenden Industrien entwickelt. Sidoarjo wird als Standort für Urban- und Inlandindustrie geplant. Krian ist als Wohngebiet geplant (JICA, 1982). Abbildung 3-10 zeigt die schematische Darstellung des Surabaya-Metropole-Gebietes.

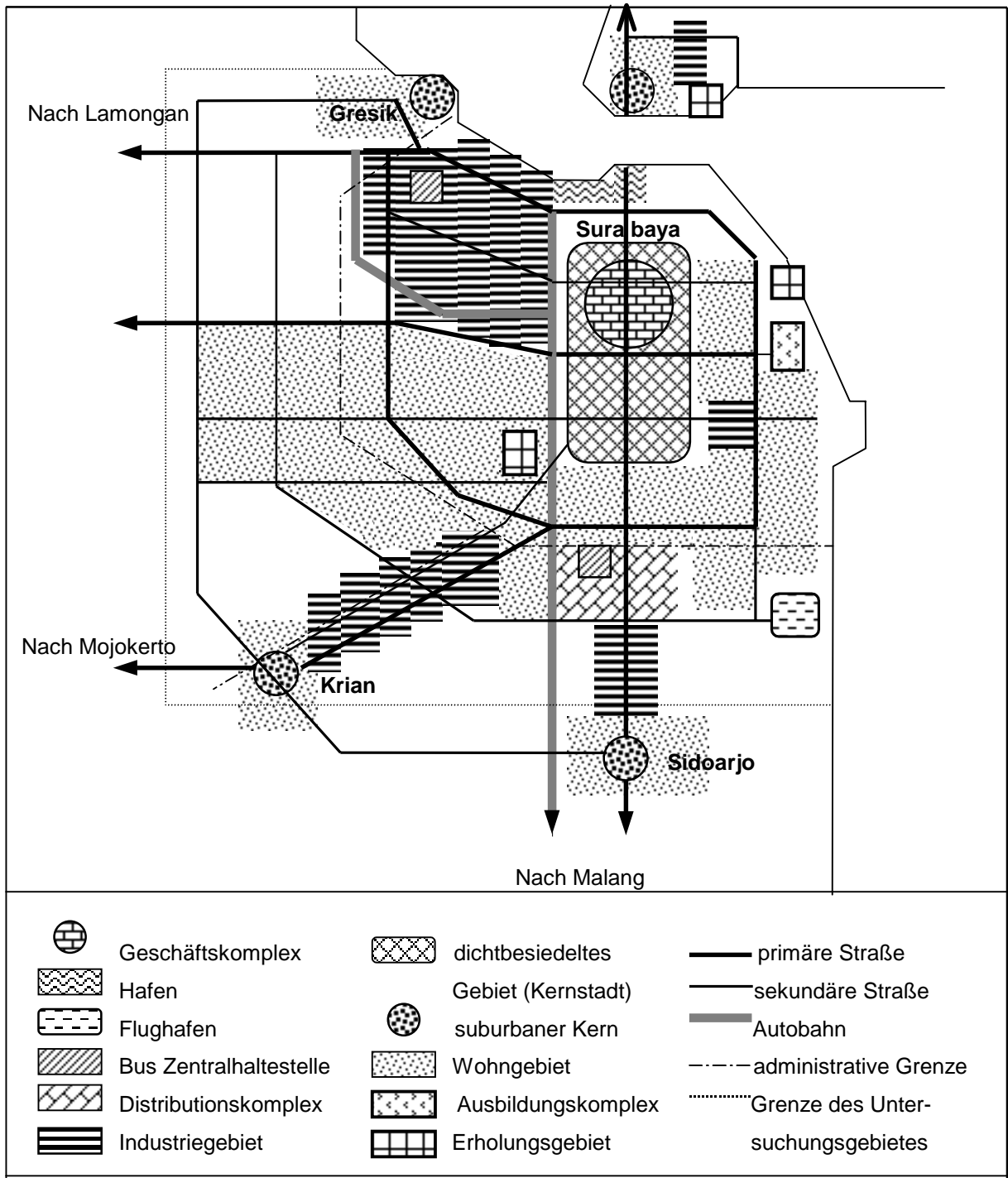
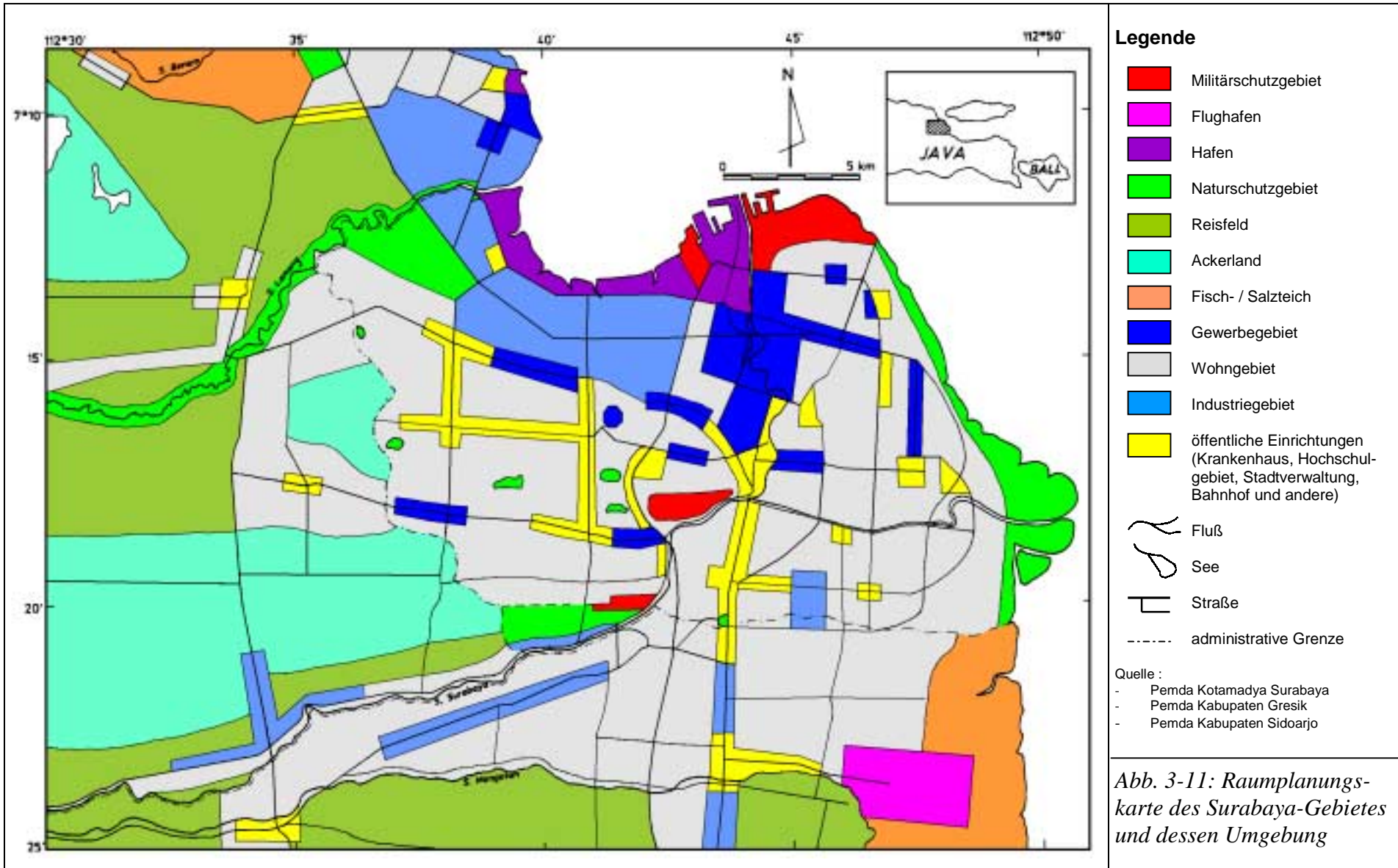


Abb. 3-10: Schematische Darstellung der Raumplanung des Surabaya-Metropole-Gebietes (nach JICA, 1982).



Die Raumplanungskarte des Untersuchungsgebietes (Abb. 3-11) basiert auf der Raumplanungskarte der Surabaya-Stadtregion, des Gresik- und Sidoarjo-Landkreises. Diese Raumplanungen wurden im Hinblick auf die soziale und wirtschaftliche Entwicklung in den Regionen bis zum Jahr 2025 erstellt.

3.4 Landeignungsanalyse für Deponiestandorte

Eine Landeignungskarte (*land suitability map*) eines Gebietes zeigt die Verbreitung der Flächen, die für eine Nutzung oder eine Einrichtung und deren Charakteristik geeignet sind. Ziel dieser Analyse ist es, die relative Eignung einer Region für bestimmte Nutzung aufzuzeigen. Diese Analyse basiert auf der Umweltverträglichkeit der geplanten oder der genannten Einrichtung (Lane und McDonald, 1983). Diese Auswertung wurde erstmals von McHarg in den 60er Jahren vorgestellt, und dann für verschiedene Projekte in den 70er Jahren angewendet. Lane und McDonald (1983) nutzten diese Methode bei der Deponiestandortsuche in Kentucky und Wisconsin.

Die Eignungsanalyse einer Region wird durch die Kombination verfügbarer Informationen auf den Karten eingetragen und die Identifizierung des Untersuchungsgebietes durchgeführt. Das Kombinationsverfahren gliedert sich in direkte, mathematische und logische Kombinationen. Die mathematische Kombination ist kein Berechnungsverfahren, sondern eine Quantifizierung der qualitativen Parameter. Die mathematische Kombinationsmethode ist in ordinale, lineare und nichtlineare Kombination zu klassifizieren, womit ein Rank gefunden werden kann (Hopkins, 1977).

3.4.1 Erstellung der Eignungskarte des Untersuchungsgebietes

Bei der Erstellung der Landeignungskarte des Untersuchungsgebietes für Siedlungsabfalldeponien werden Kriterien eines modernen Deponiestandortes als die Bestimmungsfaktoren verwendet. Im Rahmen dieser Arbeit wurde das lineare mathematische Kombinationsverfahren gewählt, da diese Methode den Wichtungsfaktor für die wichtigeren Kriterien, wie z. B. Ausschlusskriterien anbietet. Um die Anforderungen der mathematischen Kombinationsmethode zu erfüllen, sollten die morphologischen, geologischen und

hydrogeologischen Karten zu den klassifizierten bzw. quantifizierten thematischen Karten entwickelt werden. Abbildung 3-12 zeigt das Flußdiagramm der Eignungsanalyse des Arbeitsgebietes für Siedlungsabfalldeponien.

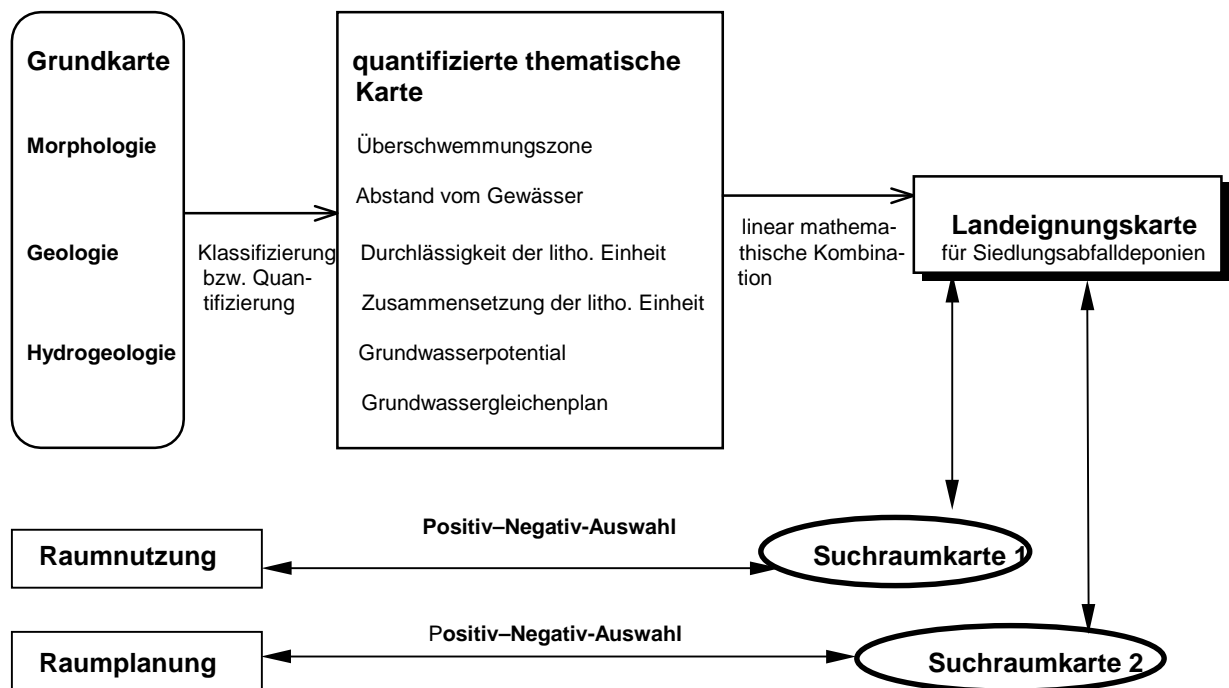


Abb. 3-12: Flußdiagramm der Landeignungsanalyse für Siedlungsabfalldeponien

Im folgenden werden die Stufen bei der Erstellung der Landeignungskarte für Siedlungsabfalldeponien gegeben.

- Auswahl und Bestimmung der Deponiekriterien, die aus der Grundkarte klassifiziert bzw. quantifiziert werden können. Hier sind sechs Kriterien zu bestimmen, und daher wurden sechs quantifizierte thematischen Karten hergestellt.
- Bestimmung des Wichtungsfaktors. Dieser Faktor basiert auf der Wichtigkeit der Deponiekriterien. Je wichtiger ein Kriterium ist, desto größer ist der Wichtungsfaktor. Das Überschwemmungsgebiet hat einen Faktor von 5, da es zu den Ausschlußkriterien zählt. In diesem Fall wurde ein Maßstab von 1, 3 und 5 genutzt.
- Relative Bewertung von ausgewählten Kriterien (Stufe a). In diesem Fall wurde ein Maßstab von 1 bis 5 verwendet. Der höchste Wert steht für das geeignete Verhältnis eines Kriteriums. Bei der Zusammensetzung der lithologischen Einheit (Formation) hat Ton einen Wert von 5.

- d) Bestimmung der gesamten Punkte einer Einheit durch Multiplikation zwischen dem Wichtungsfaktor (Stufe b) und dem relativen Wert (Stufe c).
- e) Übertragung der Rechnungsergebnisse auf die thematischen Karten nach der geographischen Verbreitung einer Einheit (Anlage 1 bis 6).
- f) *Rastering* der quantifizierten thematischen Karten.
- g) Überlagerung der thematischen Karten und Addieren der Punkte in jedem Raster.
- h) Klassifizierung der gesamten Punkte und Erläuterung der Charakteristik (Tab. 3.3.).

Tab. 3-3: Klassifikation in der Landeignungskarte des Arbeitsgebietes für Siedlungsabfalldeponien

Punkte	Klassifikation
38 - 50	nicht geeignetes Gebiet
51 - 63	geeignetes Gebiet mit hohem Risiko
64 - 77	geeignetes Gebiet mit mittlerem Risiko
78 - 90	geeignetes Gebiet mit geringem Risiko

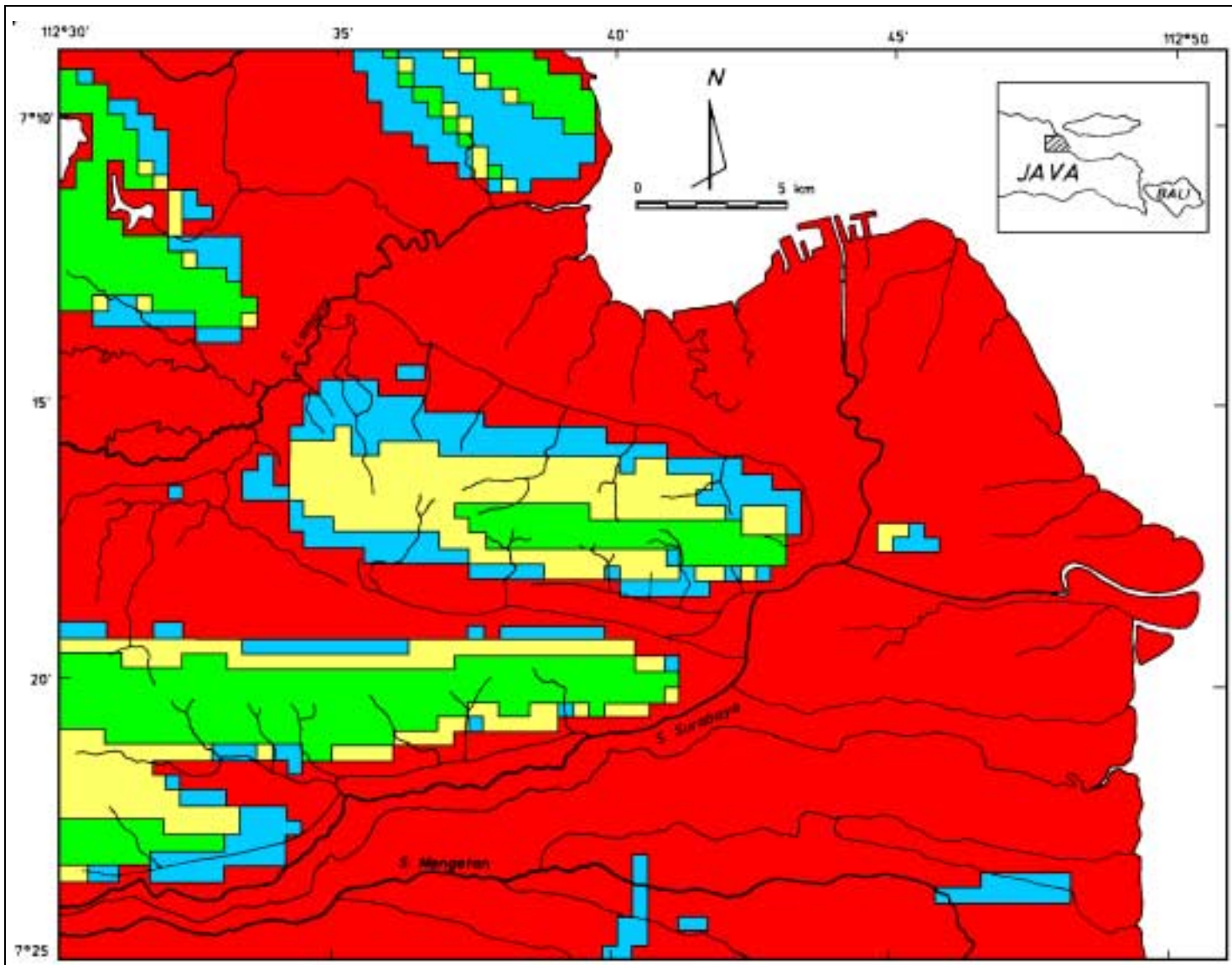
Tabelle 3-4 zeigt die Berechnungsmodelle für die Erstellung der verwendbaren Landkarte. Abbildung 3-13 stellt die verwendbare Landkarte für die Siedlungsabfalldeponie des Untersuchungsgebietes dar. Diese Karte ist relativ geblieben, da sie ohne Berücksichtigung der raumordnerischen Aspekte hergestellt wurde.

3.4.2 Diskussion

Bei der Erstellung der Landeignungskarte für Deponiestandorte sollen die raumordnerischen Aspekte beachtet werden (Kapitel 3.1.2). Aufgrund der Schwierigkeiten mit der Klassifizierung und der relativen Bewertung wurden die raumordnerischen Aspekte bei der Erstellung der oben genannten Landeignungskarte für Siedlungsabfalldeponie noch nicht berücksichtigt. Zum Anpassen der raumordnerischen Aspekte wurde der Positiv-Negativ-Auswahl verwendet (Abb. 3-12). Beim Positiv-Negativ-Auswahl zeigt die Landeignungskarte die positive Fläche, während die Raumnutzungskarte und Raumplanungskarte die negative Fläche darstellen.

Tab. 3-4: Berechnungsmodelle für die Erstellung der Landeignungskarte des Untersuchungsgebietes für Siedlungsabfalldeponien

Grundkarte	Thematische Karte	Ziel	Wichtungs- faktor	relative Bewertung				
				[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
Topographie / Morphologie	Überschwemmungszone → Verbreitung des Deponiesickerwassers	Gewässer- schutz	5	sehr große Wahrscheinlichkeit (5)	große Wahrscheinlichkeit (10)	mittlere Wahrscheinlichkeit (15)	geringe Wahrscheinlichkeit (20)	sehr geringe Wahrscheinlichkeit (25)
	Abstand vom Gewässer → Verbreitung des Deponiesickerwassers	Gewässer- schutz	1	< 200 m (1)		200 - 700 m vom Strand und Hauptvorfluter (3)		200 / 700 m (5)
Geologie	Durchlässigkeit der litho- logischen Einheit → Geschwindigkeit des Schadstofftransports	Grundwasser- schutz	3	sehr groß Brekzie / Konglomerat, Lockergesteine (3)	groß grober Sandstein - Brekzie / Konglomerat (6)	mittel mittlerer Sandstein (9)	gering feiner Sandstein – mittlerer Sandstein (12)	sehr gering Schluffstein - Tonstein (15)
	Zusammensetzung der lithologischen Einheit → Langzeitverhalten gegenüber Schadstoff	Grundwasser- schutz	1	Lockergesteine (1)	Karbonatgesteine (2)	kalkhaltige Gesteine (3)	tuffhaltige Gesteine (4)	nicht kalk- und tuffhaltige Gesteine (5)
Hydrogeologie	Grundwasserpotential → Grundwassergewinnung	Grundwasser- schutz	5	sehr gut (5)	gut (10)	befriedigend (15)	ausreichend (20)	ungenügend (25)
	Grundwassergleichenplan → Abstand des Schadstofftransportes	Grundwasser- schutz	3	0 - 5 m (3)	5 - 10 m (6)	10 - 15 m (9)	15 - 20 m (12)	> 20 m (15)



Legende

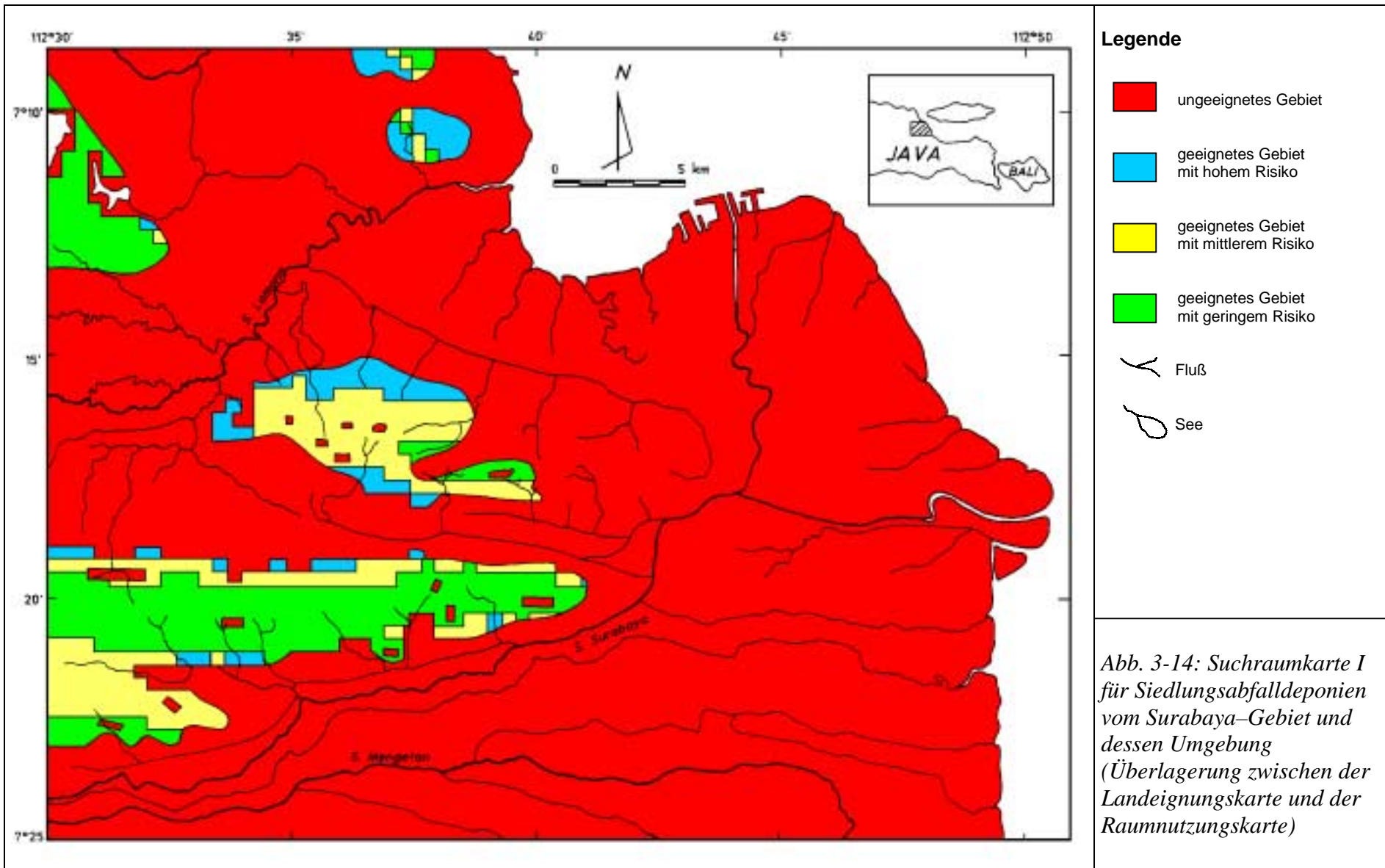
- ungeeignetes Gebiet
- geeignetes Gebiet mit hohem Risiko
- geeignetes Gebiet mit mittlerem Risiko
- geeignetes Gebiet mit geringem Risiko
- Fluß
- See

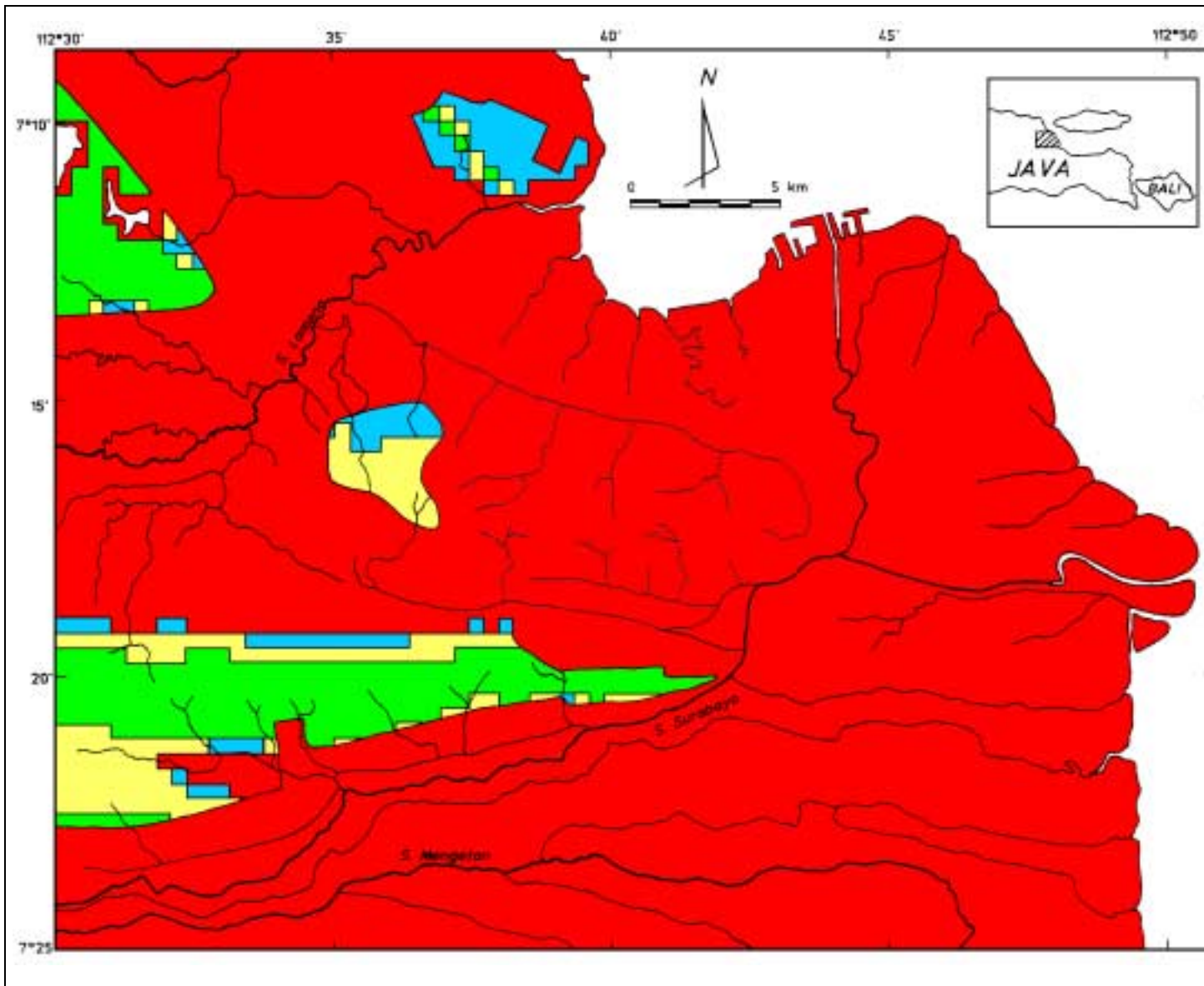
Abb. 3-13: Landeignungskarte für Siedlungsabfalldeponien vom Surabaya-Gebiet und dessen Umgebung

Die Bevölkerungszahl in der Surabaya-Stadtregion wie auch in den großen Städten der Entwicklungsländer hat eine hohe Zunahme infolge der Urbanisation. Dieses Bevölkerungswachstum führt zu der Erhöhung des Bedarfs an Fläche für die verschiedenen Einrichtungen, insbesondere für Wohngebiete. Dieser Bedarf wurde durch die Veränderung der Raumnutzung vom Ackerland zum Wohngebiet erfüllt. Der große Umfang des Wohngebietes im Untersuchungsgebiet stellt diese Neuordnung dar (Abb. 3-11). Aus diesem Grund wurden die Raumnutzung und die Raumplanung mit der Landeignungskarte in verschiedenen Stufen simuliert. Dies ist hilfreich, um eine Entscheidung treffen zu können. Die Ergebnisse der Simulation werden in den Abbildungen 3-14 und 3-15 gezeigt.

Die Suchraumkarte I (Abb. 3-14) ist das Resultat der Überlagerung zwischen der Landeignungskarte und der Raumnutzungskarte. Die verbleibenden Positivflächen in der Suchraumkarte I sind die Flächen, die als Ackerland und Reisfeld genutzt werden. Auf dieser Karte sind ca. 16 % des Untersuchungsgebietes als Deponiestandorte geeignet.

Die Suchraumkarte II (Abb. 3-15) ist die Folge der Überlagerung zwischen der Landeignungskarte und der Raumplanungskarte. Im Vergleich zur Suchraumkarte I ist der Umfang der verbleibenden Positivfläche in der Suchraumkarte II kleiner geworden, weil die für Ackerland und Reisfeld geordneten Gebiete kleiner geworden sind. Die beiden Suchraumkarten verändern sich mit der Veränderung der Raumnutzung und -planung.





Legende

- ungeeignetes Gebiet
- geeignetes Gebiet mit hohem Risiko
- geeignetes Gebiet mit mittlerem Risiko
- geeignetes Gebiet mit geringem Risiko
- Fluß
- See

Abb. 3-15: Suchraumkarte II für Siedlungsabfalldeponien vom Surabaya-Gebiet und dessen Umgebung (Überlagerung zwischen der Landeignungskarte und der Raumplanungskarte)

3.5 Bewertung der aufgelassenen Bergbaurestlöcher für die mögliche Anlage von Siedlungsabfalldéponien

Der überwiegende Anteil der Surabaya-Stadtregion ist ein Flachland mit einer Höhe von 0 bis 5 m ü.d.M. und von natürlich-gelagertem sehr weichen Ton bedeckt. Beim Aufbau der Infrastruktur wurden aufzuschüttende Materialien für die Verbesserung des Baugrundes benötigt. Diese Materialien wurden aus den in Surabaya und Umgebung vorhandenen sandhaltigen Formationen gewonnen. Ein Teil der aufgelassenen Sand- und Tongruben ist möglicherweise als Siedlungsabfalldéponie geeignet. Aufgrund der vorhandenen Infrastruktur und der Entwicklung der Stadt Surabaya wurden fünf aufgelassenen Bergbaurestlöcher und deren Eignung sowie dessen Gefährdungspotential bewertet. Die Lage der evaluierten Bergbaurestlöcher wird in Abbildung 3-16 angegeben.

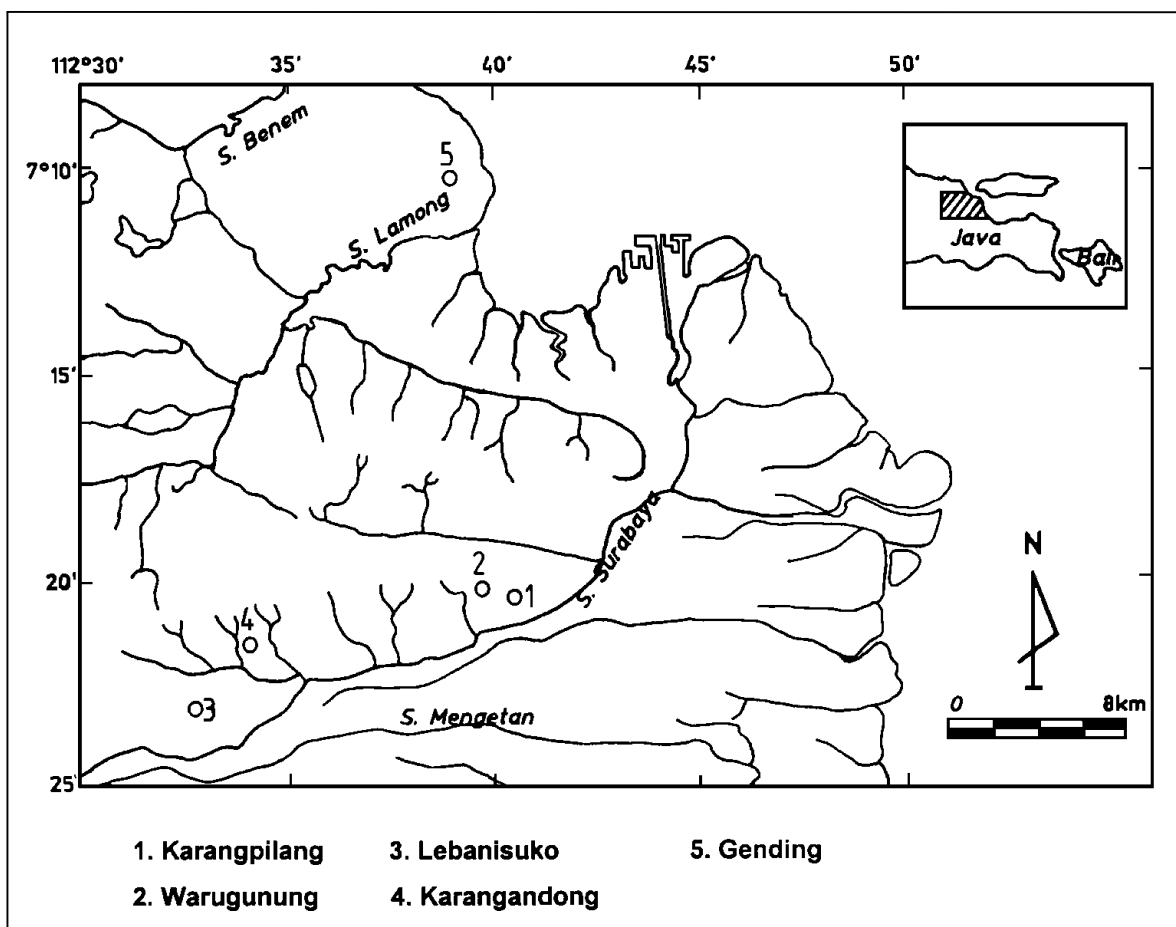


Abb. 3-16: Die Lage der aufgelassenen Bergbaurestlöcher, die für mögliche Anlage einer Déponie bewertet werden

Die Eignungsbewertung der aufgelassenen Bergbaurestlöcher für die Anlage einer Siedlungsabfalldeponie wurde mit Hilfe der LeGrand-Methode (1980) durchgeführt. Eigentlich wurde dieses Verfahren für eine schnelle Auswertung im Rahmen der Vorhersage über Gefährdungspotential eines Ablagerungsstandortes vor der Durchführung eingehender Untersuchungen entwickelt. Danach wurde dieses Verfahren für die Eignungsprüfung der geplanten Deponiestandorte und deren Ernsthaftigkeitsgrad (*degree of seriousness*) des Gefährdungspotentials sowie deren Wahrscheinlichkeit der Kontamination verwendet.

Diese Methode konzentriert sich auf die abschließende Charakteristik bzw. die geologischen und hydrogeologischen Parameter eines Standortes, die im allgemeinen für die Bewertung der Gefährdungspotentiale verwendet werden. Jede abschließende Charakteristik ist auf einem numerischen Wert zugeschrieben. Das Verfahren umfaßt die Quantifizierung der Parameter, die Abschätzung in einer logischen Reihenfolge und die Übertragung der Ergebnisse in einer normierten Form.

Diese numerische Schätzungsmethode besteht aus 4 Stufen oder 10 Etappen. Die erste Stufe (7 Etappen) deckt die normierte geologische und hydrogeologische Beschreibung eines Standortes und die gewonnenen Daten ab. Die zweite Stufe gibt einen Ernsthaftigkeitsgrad des Gefährdungspotentials aus einer Matrix durch Identifizierung der Aquifersensibilität und der Verunreinigungsintensität an. Die dritte Stufe beschreibt die relative Wahrscheinlichkeit der Kontamination durch den Vergleich zwischen dem numerischen Wert eines Standortes und dem willkürlichen normierten Wert. Die vierte Stufe erlaubt die standardisierte Einstellung für die Verbesserung des Baugrundes und für den technischen Entwurf.

3.5.1 Beschreibung der aufgelassenen Bergbaurestlöcher

3.5.1.1 Karangpilang

Die erste aufgelassene Tongrube liegt in Kelurahan-Karangpilang, Surabaya-Stadtregion. Ton aus diesem Tagebau wurde als Rohstoff für die Ziegelindustrie verwendet. Das massige Tonstein in Karangpilang ist braungrau und deutlich verwittert. Die geologische

Karte und Profile, die Lage sowie das anstehende Gestein werden in der Abbildung 3-17 dargestellt.

Der aufgelassene Karangpilang-Tagebau befindet sich auf einem Hügelland mit einer Hangneigung unter 2° und einer Größe von mehr als 20 ha. Die Umgebung der Tongrube bilden ein Wohngebiet an der südlichen Seite (ca. 100 m), eine Militärzone an der östlichen und nördlichen Seite (ca. 200 m) und Industrie (ca. 500 m) an der westlichen Seite. Der nächste Vorfluter (Surabaya-Fluß) liegt ca. 500 m südlich. Grundwasser ist nur in der Verwitterungszone vorhanden und fließt nach Süden. Das Grundwasserfließgefälle ist fast flach gerichtet.

3.5.1.2 Warugunung

Der zweite bewertete Standort ist eine Tongrube, die in Kelurahan-Warugunung, Surabaya-Stadtregion, liegt. Die sandhaltigen Tonsteine, die als Schuttmaterialien verwendet werden, sind rotbraun, geschichtet und deutlich bis stark verwittert. Der Einfallswinkel der Gesteinsschichtung liegt bei 25° mit einer Richtung nach Süden. Die geologischen Verhältnisse und die Lage der Tongrube sind in Abb. 3-18 dargestellt.

Die Warugunung-Tongrube befindet sich auf einem Hügelland mit einer Hangneigung von unter 2 % und einer Größe von mehr als 20 ha. Das nächste Wohngebiet liegt ca. 500 m vom Tagebau entfernt, und der nächste Fluß liegt in einer Entfernung von etwa 1 km. Das Salzgrundwasser kommt in der Verwitterungszone vor. Das Grundwasser mit einem Gefälle von unter 2 % und einer Tiefe von 10 m fließt nach Süden.

3.5.1.3 Lebanisuko

Der dritte aufgelassene Tagebau liegt in Kelurahan-Lebanisuko, Gresik-Landkreis. Der Baugrund der Grube besteht aus Wechselfolgen von tuffhaltigen Sandsteinen mit einer Mächtigkeit von 20 bis 40 cm, Tonsteinen mit einer Mächtigkeit von 10 bis 20 cm und Konglomeraten. Der Einfallswinkel der Schichten liegt zwischen 25° und 30° . Die Gesteine aus dieser Grube wurden als Schuttmaterial verwendet. Die Infrastruktur in der Richtung der Lebanisuko-Grube ist begrenzt. Die geologische Karte und Profile, die Lage und das anstehende Gestein werden in der Abbildung 3-19 dargestellt.

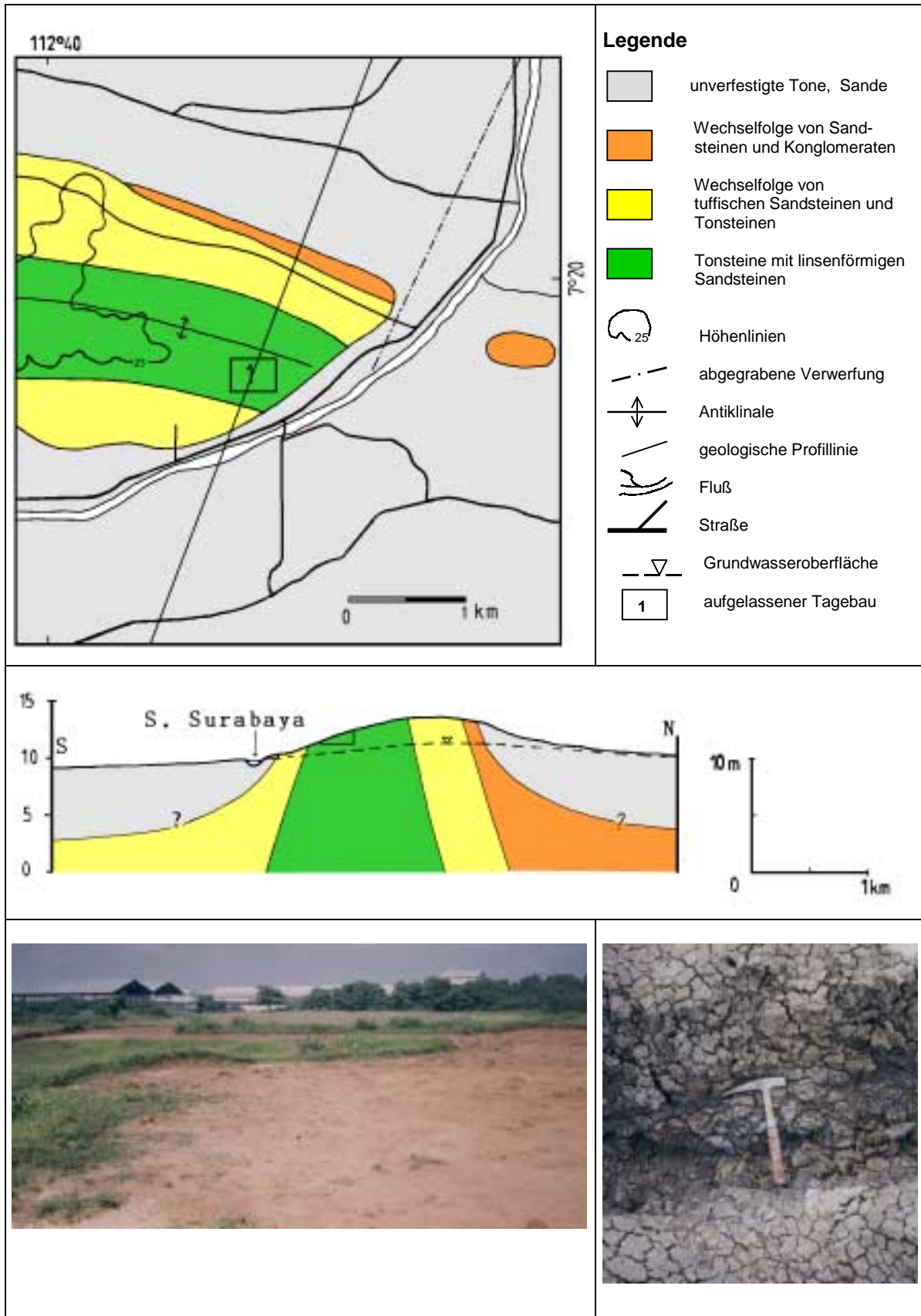


Abb. 3-17: Geologische Karte des Karangpilang-Gebietes, Surabaya und Situation sowie anstehendes Gestein in der aufgelassenen Tongrube

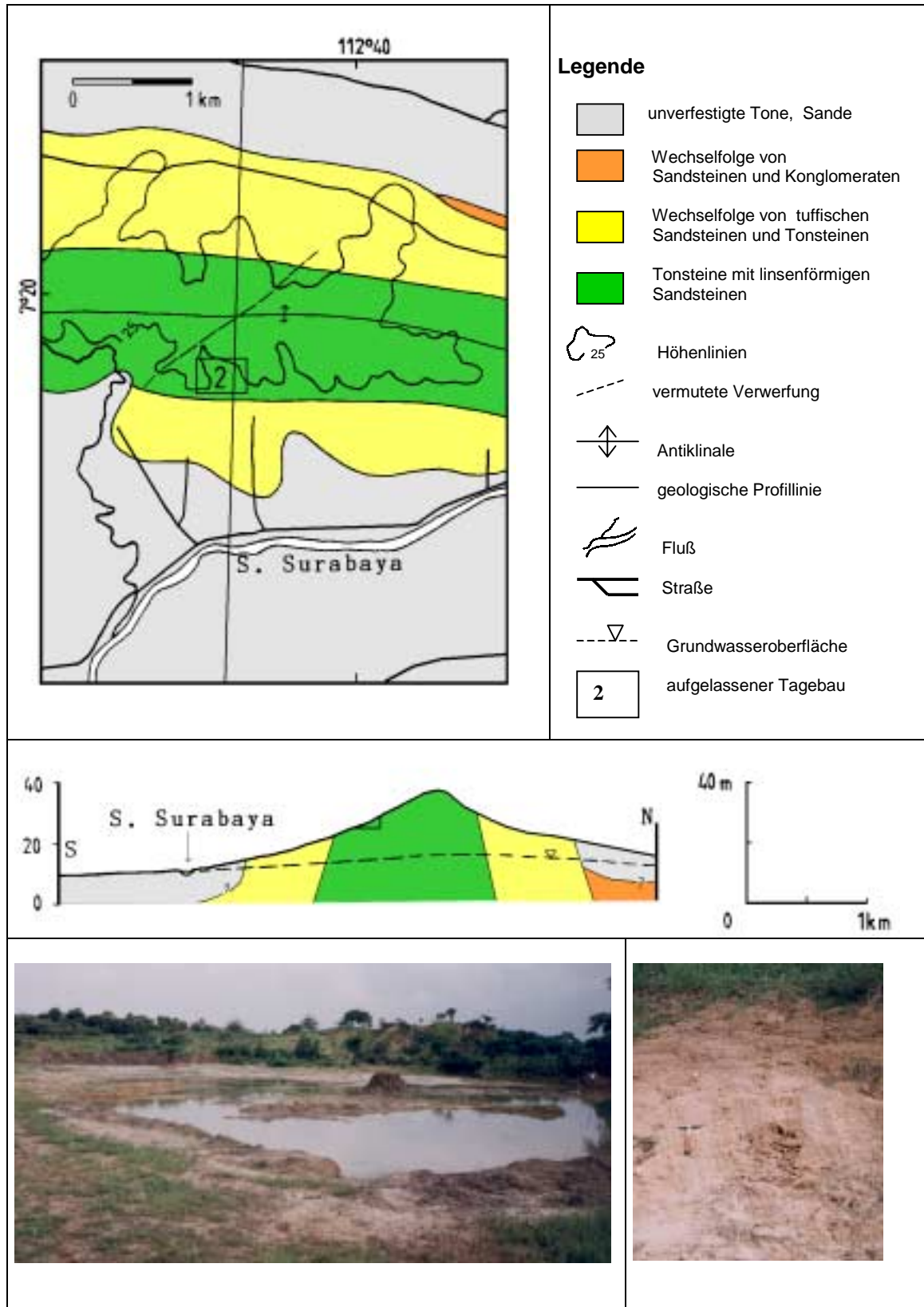


Abb. 3-18: Geologische Karte des Warugunung-Gebietes, Surabaya und Situation sowie anstehendes Gestein in der aufgelassenen Tongrube

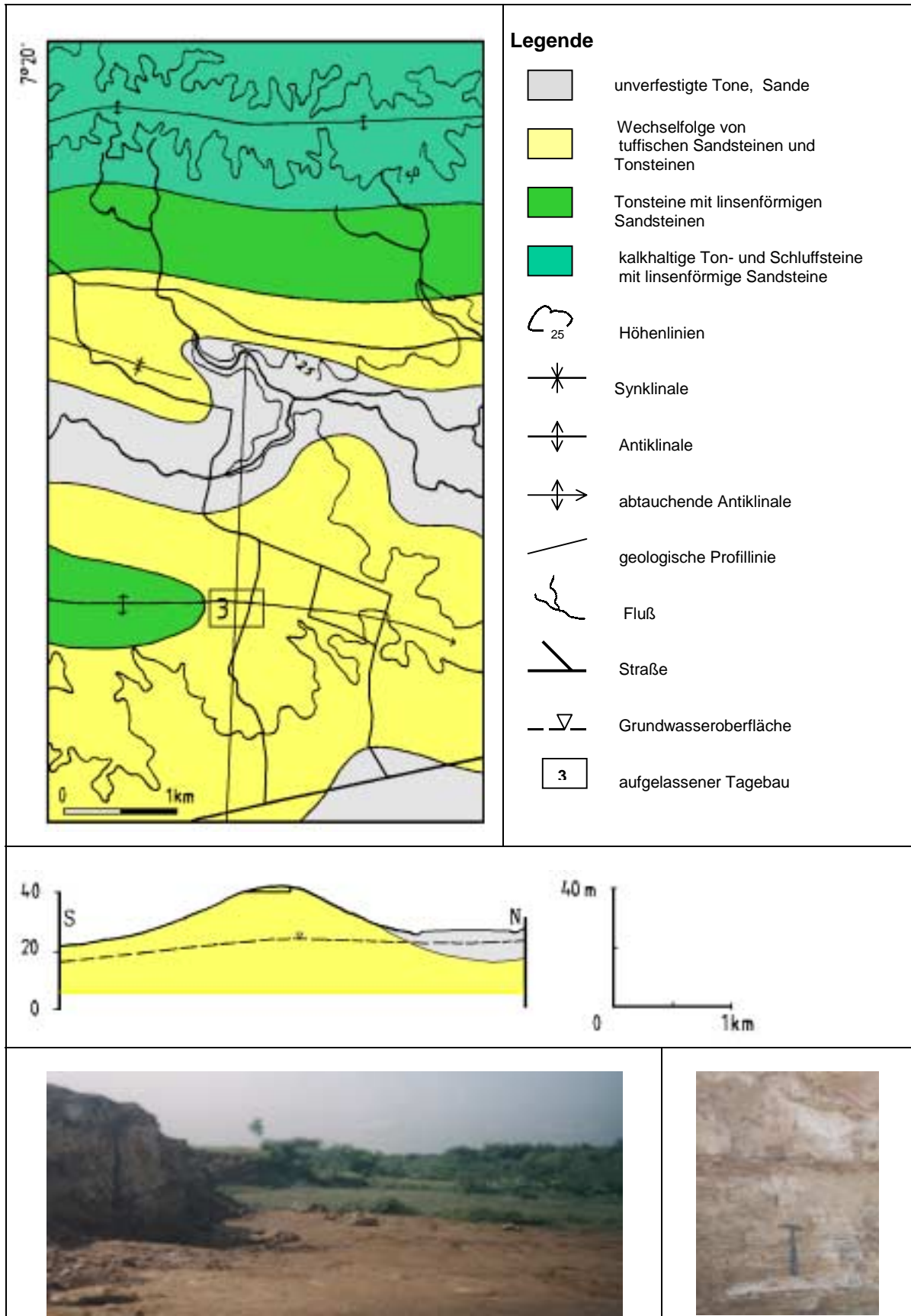


Abb. 3-19 Geologische Karte des Lebanisuko-Gebietes, Gresik und Situation sowie anstehendes Gestein in der aufgelassene Sandgrube

Der aufgelassene Tagebau befindet sich auf einem Hügelland mit einer Hangneigung von unter 2 % und einer Größe von mehr als 25 ha. Das nächste Wohngebiet liegt ca. 500 m südlich. Der nächste Vorfluter ist ein kleiner Fluß in etwa 1 km Entfernung. Der Flurabstand liegt bei 15 m unter dem Grubenbasis. Das Grundwasser mit einem Gefälle von unter 2 % fließt nach Süden.

3.5.1.4 Karangandong

Der vierte aufgelassene Tagebau mit einer Größe von mehr als 30 ha befindet sich in Kelurahan-Karangandong, Gresik-Landkreis. Die anstehenden Gesteine der Grube bilden sich aus einer Wechselfolge von tuffhaltigen Sandsteinen mit einer Mächtigkeit von 20 bis 40 cm, mittelbankigen Tonsteinen und Konglomeraten. Der Einfallswinkel der Schichtung liegt bei 25°. Die geologische Verhältnisse und die Lage der Grube sowie das anstehende Gestein werden in der Abbildung 3-20 dargestellt.

Das Karangandong-Tagebau befindet sich auf einem Hügelland mit einer Hangneigung von unter 2 %. Die nächste Wohngelände ist ca. 300 m und der nächste Vorfluter ca. 500 m von der Sandgrube entfernt. Eine Störungszone, die durch eine Reihe von Hausbrunnen angezeigt wird, tritt in der Nähe der Grube auf. Das Grundwasser mit einem Gefälle von unter 2 % liegt ca. 5 m tief. Die Fließrichtung des Grundwassers ist nach Süden gerichtet.

3.5.1.5 Gending

Der fünfte Standort ist ein aufgelassener Kalksteintagebau, der sich in Kelurahan-Gending, Gresik-Landkreis befindet. Der Baugrund der Grube setzt sich aus Wechselfolgen von gesichteten Kalkareniten und mittelbankigen Mergeln zusammen. Die Grube liegt in einem Industriegebiet, während das nächste Wohngebiet ca. 500 m südlich von der Grube liegt. Die geologische Karte, die Situation und das anstehende Gestein sind in der Abbildung 3-21 dargestellt.

Dieser aufgelassene Tagebau liegt auf einem Hügelland mit einer Hangneigung zwischen 2 % und 5 %. Eine Karstquelle befindet sich ca. 500 m westlich von der Grube entfernt. Die Grundwasseroberfläche liegt etwa 10 m unter der Geländeoberkante. Das Grundwasser mit einem Gefälle von unter 2 % fließt nach Süden.

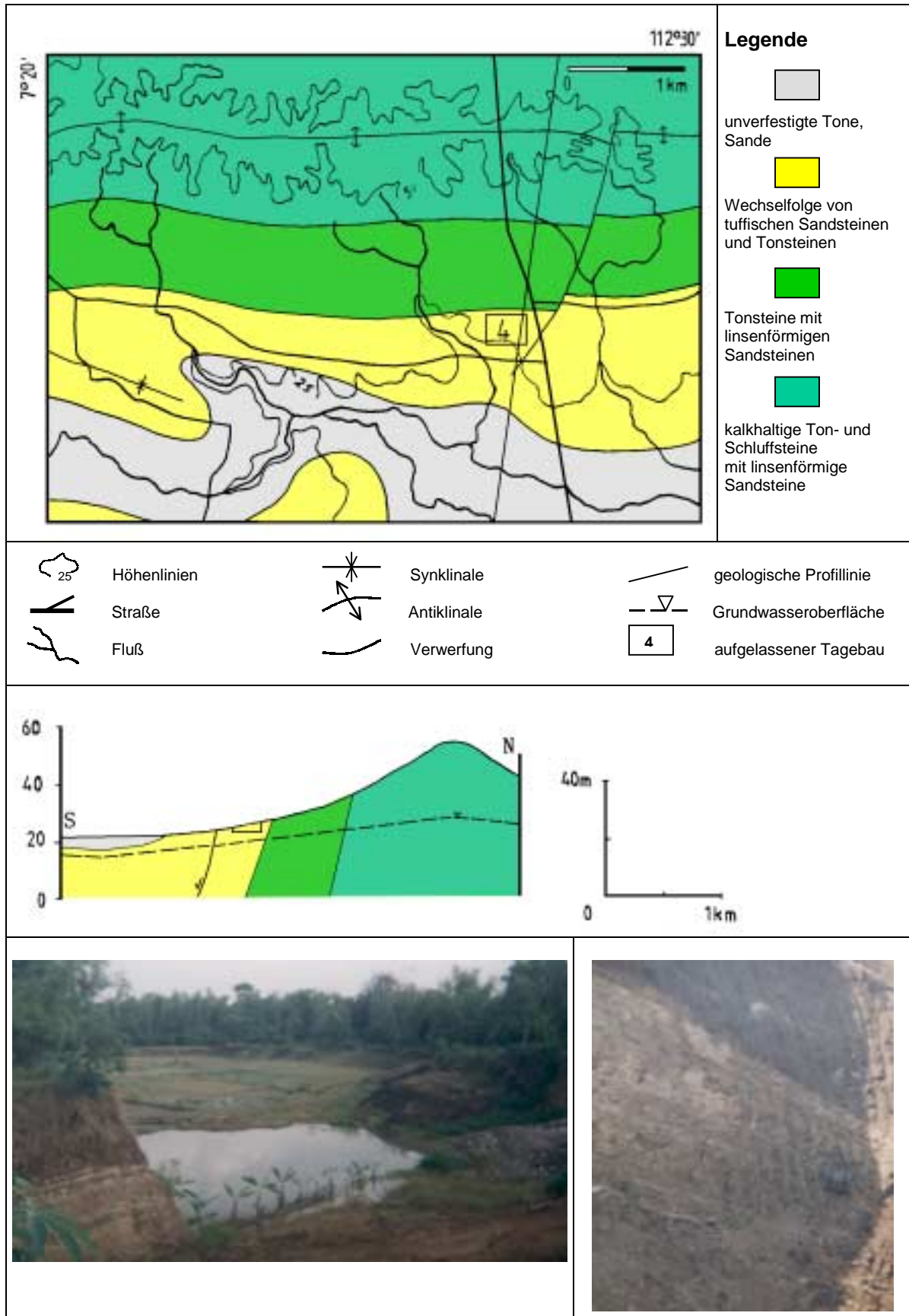


Abb. 3-20: Geologische Karte des Karangandong-Gebietes, Gresik und Situation sowie anstehendes Gestein in der aufgelassenen Sandgrube

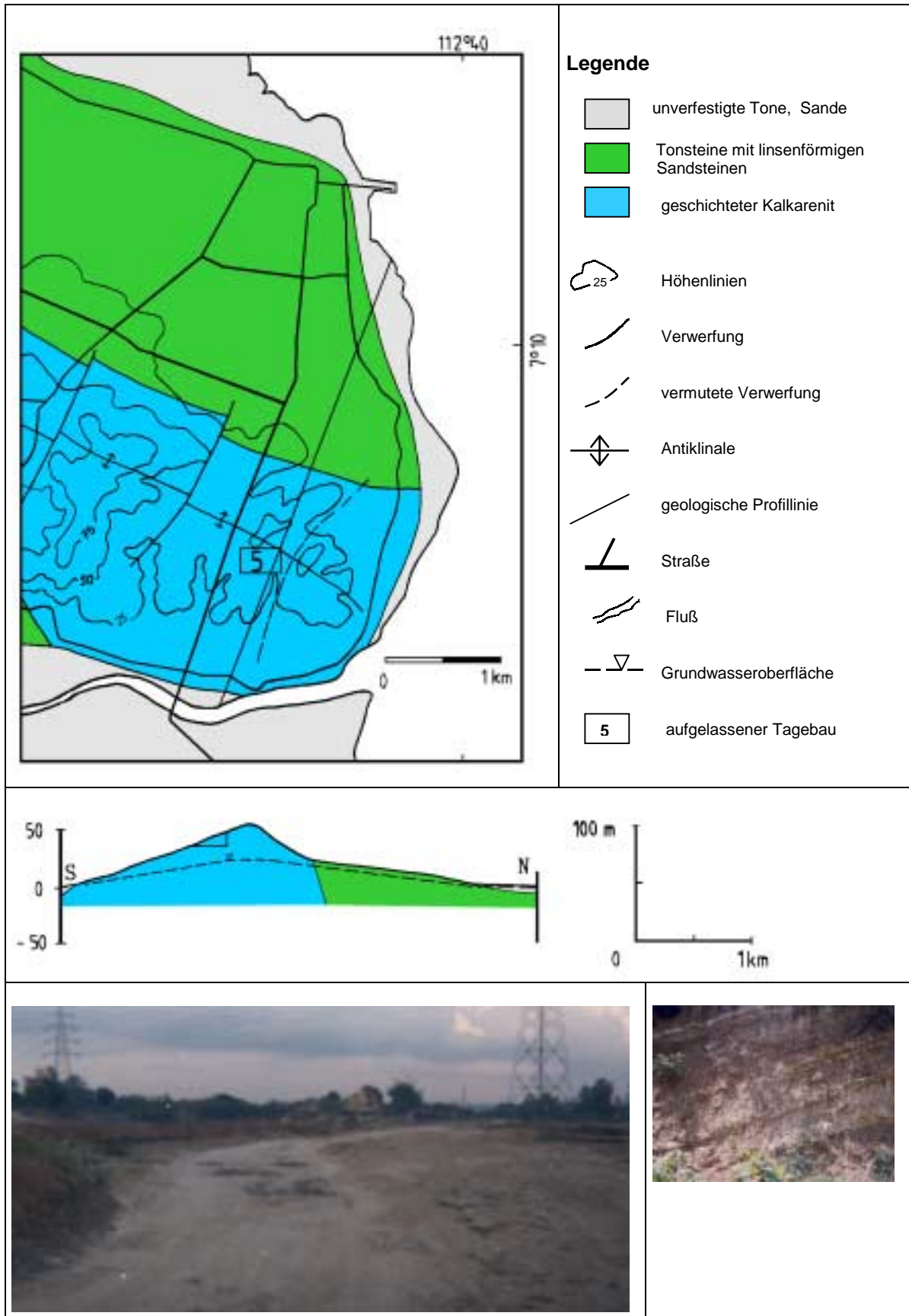


Abb. 3-21: Geologische Karte des Gending-Gebietes, Gresik und Situation sowie anstehendes Gestein in der aufgelassenen Kalkgrube

3.5.2 Bewertung und Diskussion

Die Ergebnisse der Eignungsbewertung aufgelassener Bergbaurestlöcher für die Anlage von Siedlungsabfalldeponien und deren Gefährdungspotential sowie deren Wahrscheinlichkeit der Kontamination nach der LeGrand-Methode (1980) werden in der Tabelle 3-5 zusammengestellt. Die Erläuterung und die Klassifikation für die Bewertungsergebnisse werden exemplarisch in der Abbildung 3-20 dargestellt, während die Bewertungen jeder Standorten in der Anlagen 7 bis 12 gegeben werden.

Tab. 3-5 : Bewertungsergebnis aufgelassener Bergbaurestlöcher für die Anlage einer Siedlungsabfalldeponie und deren Gefährdungspotential sowie deren Kontaminationswahrscheinlichkeit mit Hilfe der LeGrand- Methode (1980).

Die Lage der Gruben	Bewertung der natürlichen Situation	Eignungsgrad	Ernsthaftigkeits-grad des Gefährdungspotentials	Wahrscheinlichkeit der Kontamination
Karangpilang, Surabaya	Bes. 10 - 2512BBSM +C PAR 20 - 6 -10 -4 -14C	ausgezeichnet	gering	unwahrscheinlich
Warugunung, Surabaya	Bes. 9 - 1422BBSM +C PAR 20 - 6 -11 -4 -15C	ausgezeichnet	gering	unwahrscheinlich
Lebanisuko, Gresik	Bes. 12 - 2325ZABP +E PAR 18 - 5 -6 0 -6E	sehr gut	ziemlich hoch	?
Karangandong Gresik	Bes. 15 - 3525DABP +E PAR 18 - 5 -3 0 -3E	gut	ziemlich hoch	?
Gending, Gresik	Bes. 18 - 3429CBSK +G PAR 11 - 3 7 6 +13G	befriedigend	hoch	sehr wahrscheinlich

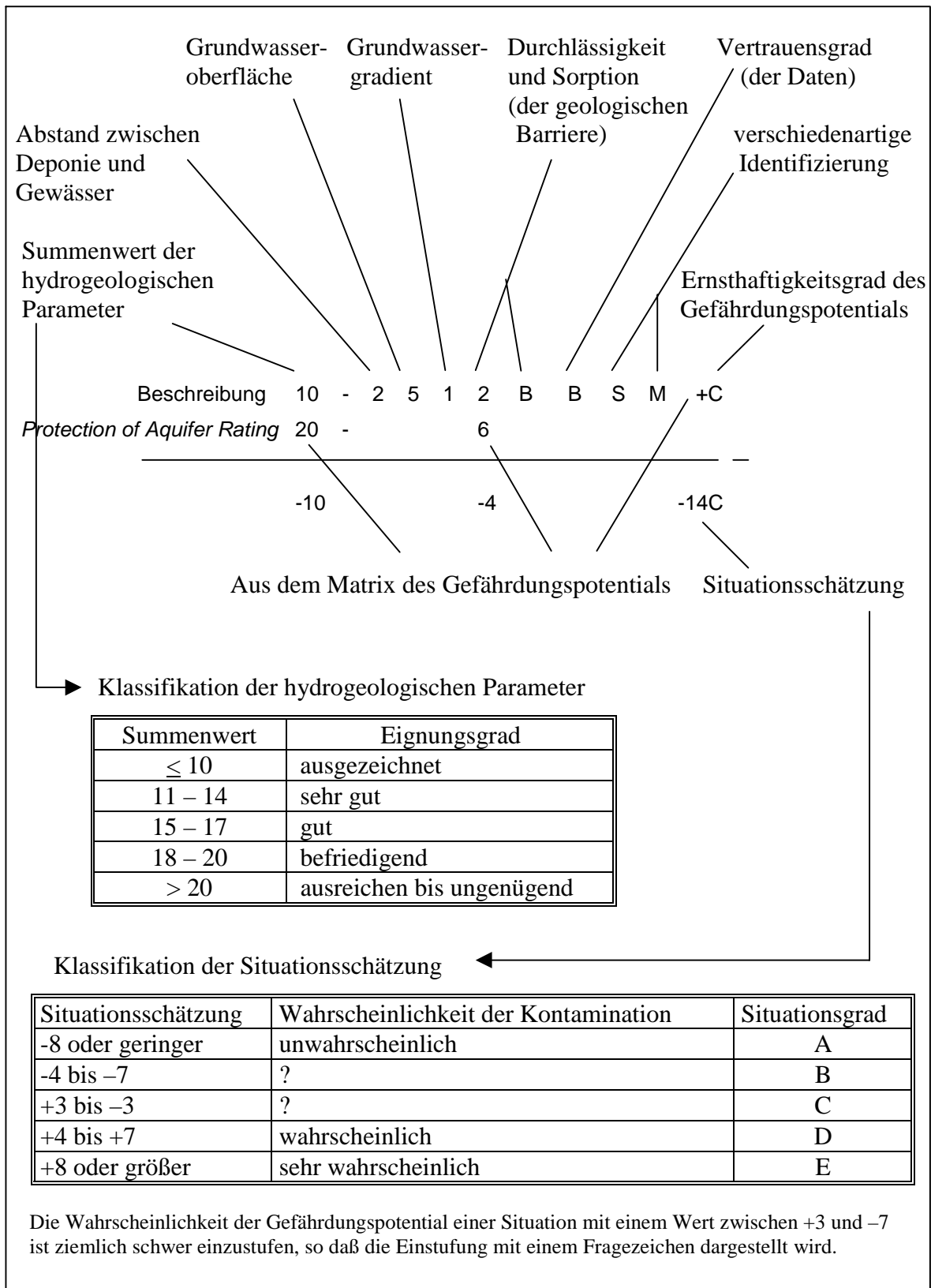


Abb. 3-22: Erläuterung und Klassifikation für die Bewertungsergebnisse der aufgelassenen Bergbaurestlöcher für Siedlungsabfalldeponien und deren Gefährdungspotential sowie Kontaminationswahrscheinlichkeit mit Hilfe der LeGrand-Methode (1980), verändert

3.5.2.1 Karangpilang

Nach der Landeignungskarte für Siedlungsabfalldeponien liegt der Karangpilang-Tagebau auf dem geeigneten Gebiet mit geringem Risiko. Aus der Bewertung hydrogeologischer Parameter mit dem LeGrand-Verfahren ist zu beweisen, daß diese Tongrube ein ausgezeichneter Standort für Siedlungsabfalldeponie ist. Der Ernsthaftigkeitsgrad des Gefährdungspotentials ist gering, und die Kontamination ist unwahrscheinlich. Zur Verbesserung dieser Grube als Siedlungsabfalldeponie werden eine Kunststoffdichtungsbahn sowie eine Drainageschicht für Deponiesickerwasser und dessen Kläranlage benötigt.

Aufgrund der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse ist die Karangpilang-Grube ein idealer Standort für Siedlungsabfalldeponie. Ferner hat in Hinblick auf die Administration und das Transportsystem dieser Tagebau eine sehr gute Lage, da er in der Surabaya-Stadtregion und 8 km entfernt von den dichtbesiedelten Gebieten liegt. Nach der Raumnutzung und -ordnung gehört diese Tongrube zum verbotenen Standort für eine Deponie, da eine Militärzone und ein Wohngebiet in der Nähe liegen.

3.5.2.2 Warugunung

Der Warugunung-Tagebau steht in der Landeignungskarte für Siedlungsabfalldeponien als geeignetes Gebiet mit geringem Risiko. Aus der Bewertung hydrogeologischer Parameter mit der LeGrand-Methode ergab sich, daß die Warugunung-Grube einen ausgezeichneten Standort als Siedlungsabfalldeponie darstellt. Der Ernsthaftigkeitsgrad des Gefährdungspotentials dieser Tongrube ist gering und die Grundwasserverunreinigung ist unwahrscheinlich (Tab. 3-5). Eine Kunststoffdichtungsbahn sowie eine Drainageschicht für Deponiesickerwasser und dessen Kläranlage werden benötigt.

Aufgrund der geologischen und hydrogeologischen Situationen hat die Warugunung-Grube eine ideale Lage als Siedlungsabfalldeponie. Im Hinblick auf die Administration und Transportsystem ist dieser aufgelassene Tagebau ein sehr guter Standort, da er in Surabaya-Stadtregion und 10 km entfernt vom dichtbesiedelten Gebiet liegt. Nach der Raumnutzung und -ordnung gehört die Warugunung-Tongrube zum erlaubten Gebiet, da das nächste Wohngebiet 500 m entfernt ist.

3.5.2.3 Lebanisuko

Nach der Landeignungskarte für Siedlungsabfalldeponie liegt die Lebanisuko-Sandgrube auf dem geeigneten Gebiet mit mittlerem Risiko. Aus der Evaluierung hydrogeologischer Parameter mit dem LeGrand-Verfahren ist nachzuweisen, daß dieser aufgelassene Tagebau ein sehr guter Standort für Siedlungsabfalldeponie ist. Der Ernsthaftigkeitsgrad des Gefährdungspotentials ist ziemlich hoch und die Wahrscheinlichkeit der Kontamination ist nicht definiert (s. Abb. 3-22). Zur Verbesserung der Deponiebasis werden mineralische Basisabdichtungsschichten, eine Kunststoffdichtungsbahn und eine Drainageschicht für Deponiesickerwasser und dessen Kläranlage benötigt.

Nach der Raumnutzung und -ordnung gehört diese Sandgrube zum Landwirtschaftsgebiet. Aufgrund des Transportsystems und der vorhandenen Infrastruktur ist dieser aufgelassene Tagebau nicht wirtschaftlich, da die Grube mehr als 20 km entfernt vom dichtbesiedelten Gebiet liegt.

3.5.2.4 Karangandong

In der Landeignungskarte für Siedlungsabfalldeponien liegt der aufgelassene Tagebau in Karangandong auf dem geeigneten Gebiet mit mittlerem Risiko. Mit einem Wert hydrogeologischer Parameter von 15 gehört diese Sandgrube zu einem guten Standort für die Anlage einer Siedlungsabfalldeponie. Der Ernsthaftigkeitsgrad des Gefährdungspotentials dieser Grube ist ziemlich hoch und die Wahrscheinlichkeit der Verunreinigung ist nicht definiert (s. Abb. 3-22). Zur Verbesserung der Grubenverhältnisse für eine Deponie wurden mineralische Basisabdichtungsschichten, eine Kunststoffdichtungsbahn, eine Drainageschicht für Deponiesickerwasser und dessen Kläranlage benötigt.

Aufgrund der vorhandenen Infrastruktur und des Verkehrssystems ist dieser Tagebau wirtschaftlich für Siedlungsabfalldeponien, da sie ca. 20 km entfernt von den dichtbesiedelten Gebieten in der Surabaya-Stadtregion liegt. Nach der Raumnutzung und -ordnung gehört diese Sandgrube zum Landwirtschaftsgebiet, und das nächste Wohngebiet liegt 300 m entfernt.

3.5.2.5 Gending

Nach der Landeignungskarte für Siedlungsabfalldeponien liegt die Gending-Kalkgrube auf dem geeigneten Gebiet mit hohem Risiko. Aufgrund der Bewertung der geologischen und hydrogeologischen Parameter mit dem LeGrand-Verfahren stellt dieser aufgelassene Tagebau einen befriedigenden Standort als Siedlungsabfalldeponie dar. Der Ernsthaftigkeitsgrad des Gefährdungspotentials ist hoch und die Kontamination ist sehr wahrscheinlich.

Wegen der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse ist das aufgelassene Bergbaurestloch in Gending kein geeigneter Standort als Siedlungsabfalldeponie, obwohl aufgrund des Transportsystems und der vorhandenen Infrastruktur diese Grube wirtschaftlich ist. Sie liegt noch 20 km entfernt vom dichtbesiedelten Gebiet. Ein hochgespanntes Stromnetz durchquert diese Grube. Nach der Raumordnung liegt diese Kalkgrube in einem Industriegebiet.

4 Evaluierung der Tonsedimente als geologische Barriere und als Rohstoff für mineralische Deponiebasisabdichtungen

4.1 Allgemeines

Innerhalb der Standortsuche für Deponien sind neben allgemeinen Standortansprüchen auch die Anforderungen an die geologische Barriere zu beachten. Wegen ihrer geringen Durchlässigkeit und ihres hohen Schadstoffrückhaltepotentials werden Tonsedimente als die geeignete geologische Barriere eingeschätzt. Außerdem können Tonsedimente auch als Rohstoffe für mineralische Deponieabdichtungen verwendet werden. Die Untersuchungen an Tonvorkommen im Untersuchungsgebiet sind wegen der Deponiestandortsuche erforderlich.

Die Eignungskriterien von Tonsedimenten als geologische Barriere oder mineralisches Dichtungsmaterial können aus den Ergebnissen von unterschiedlichen geotechnischen Versuchen in Bezug auf

- mineralogische und chemische Zusammensetzung
- bodenphysikalische Eigenschaften
- bodenmechanische Eigenschaften
- Verhalten gegenüber Transportmechanismen bzw. Schadstoffrückhaltevermögen abgeleitet werden.

4.2 Grundlage der Tonsedimente

Unter dem Begriff Ton bzw. Tonsediment wird ein unverfestigtes, sehr feinkörniges Sediment verstanden, das im wesentlichen aus Tonmineralen besteht. Als Nebenkomponten können u.a. Quarz, Karbonate, Oxyde und Hydroxide, Feldspat, organische Substanzen, vulkanisches Material und Zeolithe auftreten. Ein diagenetisch (d.h. durch Umbildung in geologischen Zeiträumen) verfestigtes Tonsediment wird als Tonstein oder Tongestein bezeichnet. In Bezug auf die Korngröße bezeichnet man $< 4 \mu\text{m}$ (nach DIN $< 2 \mu\text{m}$) als Ton und Partikel zwischen 4 und $62 \mu\text{m}$ (nach DIN zwischen 2 und $63 \mu\text{m}$) als Schluff. Diese Benennung ist unabhängig vom Material und der Kornform.

4.2.1 Zusammensetzung der Tonsedimente

4.2.1.1 Tonminerale

Unter Tonmineralen versteht man natürliche feine Minerale, die im allgemeinen plastisch bei Nässe und fest beim Trocknen oder Brennen sind. Die wichtigsten und mengenmäßigen Tonminerale sind Schichtsilikate oder Phyllosilikate. Bei den Untersuchungen werden nichtphyllosilikatische Minerale gefunden, aber sie haben Eigenschaften wie Tonminerale, dann sind sie in Tonminerale klassifizierbar (GUGGENHEIM & MARTIN, 1995).

Grundsätzlich besteht der Aufbau der Phyllosilikate aus $[\text{SiO}_4]$, das als Tetraederschicht (T-Schicht) bezeichnet wird; und $[\text{M}(\text{O},\text{OH})_6]$, das als Oktaederschicht (O-Schicht) bezeichnet wird. Nach dem Schichttyp sind Tonminerale in drei Gruppen zu unterscheiden (Abb. 4-1).

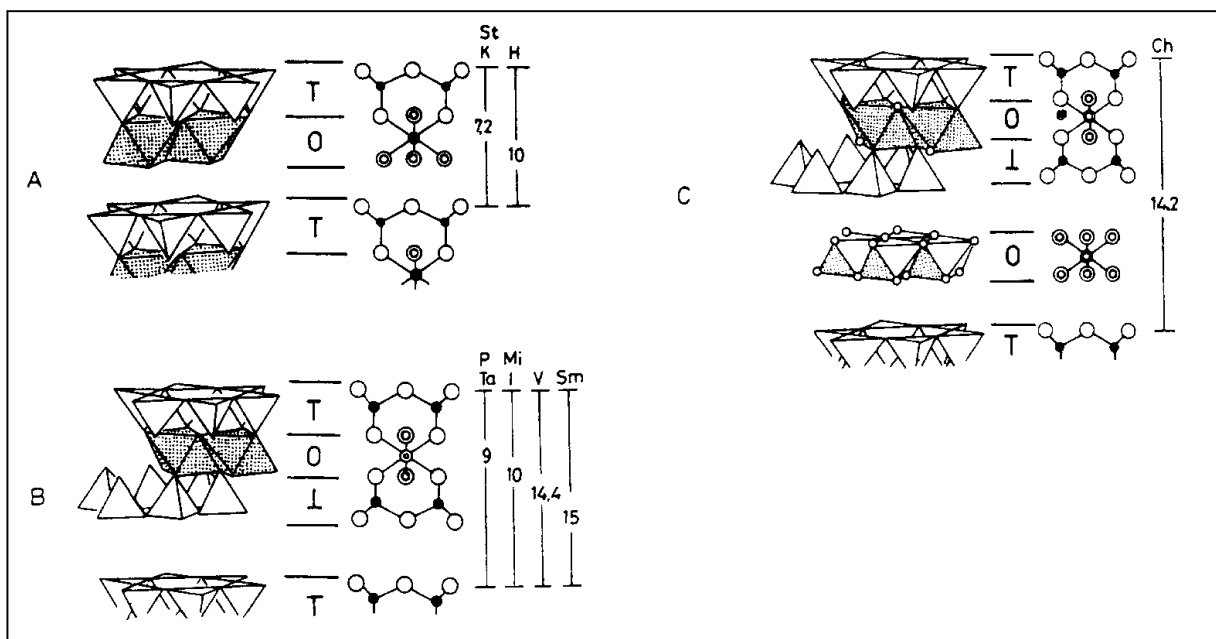


Abb. 4-1: Kristallaufbau der Phyllosilikate (A) Zweischichtminerale, (B) Dreischichtminerale und (C) Vierschichtminerale (nach Konta, 1995)

Zweischichtminerale (1:1-Schichtsilikate) bestehen aus einer Tetraederschicht und Oktaederschicht. Zu den 1:1-Schichtsilikaten gehören die Serpentin-Gruppe $\{\text{Mg}_3[\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4]\}$ und die Kaolin-Gruppe $\{\text{Al}_2[\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4]\}$.

Dreischichtminerale (2:1-Schichtsilikate) bestehen aus zwei Tetraederschichten und einer Oktaederschicht. Die zwei Tetraederschichten sind an den beiden Oberflächen der Oktaederschicht verbunden. Dieser Tonmineraltyp zeichnet sich durch eine besonders große Vielfalt

aus. Die negativen Ladungen entstehen dadurch, daß bei den dioktaedrischen Mineralen dreiwertige Metallionen der Oktaederschicht durch zweiwertige ersetzt werden, und bei den trioktaedrischen Mineralen zweiwertige Metallionen durch einwertige ersetzt werden.

Vierschichtminerale (2:1:1-Schichtsilikate) bilden sich aus zwei Oktaederschichten und zwei Tetraederschichten. Zwei Tetraederschichten und eine Oktaederschicht verbinden sich wie Dreischichtminerale, während die andere Oktaederschicht nicht verbunden ist.

4.2.1.2 Quarz

Sowohl in Tonsedimenten als auch in anderen Sedimenten tritt Quarz vorwiegend aus detritischem Ursprung auf. Aufgrund der hohen Härte und chemischen Resistenz ist Quarz vor allem im größten Kornanteil der Tonsedimente vorhanden.

4.2.1.3 Karbonate

In den Tonsedimenten sind Karbonate nicht nur als körnige Minerale, sondern auch als Zement vorhanden. Sie sind in Sedimenten sowohl infolge organischer als auch anorganischer Bildungsmechanismen vorhanden. Karbonatminerale, die im wesentlichen in Tonsedimenten vorkommen, sind Calcit (CaCO_3) und Dolomit [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$].

4.2.1.4 Oxide und Hydroxide

Aus dieser Mineralgruppe sind im Ton die Oxide des Eisens und Mangans vertreten. Die Oxide des Aluminiums und Titans kommen nur gering vor.

Die Eisenoxide und Hydroxide sind typische Beispiele für Verwitterungsneubildungen. Die eisenhaltigen Silikate, wie z. B. Biotit, Pyroxen und Hornblende, sind die Eisenlieferanten. Eisen, das bei Verwitterung dieser Minerale freigesetzt wurde, wird nur im geringen Ausmaß bei der Bildung von Tonmineral umgesetzt. Der größte Anteil fällt in Form von Eisenhydroxiden und -oxiden aus. Als Hydroxide befinden sich Goethit und Lepidokrokit in Tonsedimenten, und als Oxide kommen Hämatit und Maghaemit vor.

Manganoxide in Ton bilden sich analog zu den Eisenverbindungen. Biotite können auch wichtige Manganlieferanten sein. Die Manganoxide sind vorwiegend amorph oder schlecht kristallisiert und einfach als schwarze Überzüge, Krusten und Konkretionen zu identifizieren.

Im Gegensatz zu den Eisen- und Manganoxiden liegen wenige Aluminiumoxide und Aluminiumhydroxide in Tonsedimenten vor, da ein Großteil des Aluminiums die Tonminerale bildet. Aluminiumhaltige Minerale, wie z. B. Feldspat und Glimmer, wirken vorwiegend als Aluminiumlieferanten. Gibbsit $[\text{Al}(\text{OH})_6]$ ist ein Beispiel für die Aluminiumhydroxide, die in Tonsedimenten vorhanden sind.

Die Bestandteile der Titanoxide (TiO_2) oder Eisentitanoxide in Tonsedimenten betragen nur 1 %. Titan, das bei der Verwitterung der Minerale freigesetzt wird, entstammt einer Reihe von primären, leicht verwitterbaren Mineralen, z. B. Biotit, Amphibol und schwer verwitterbaren Mineralen, wie z. B. Ilmenit, Titanit.

4.2.1.5 Feldspat

Feldspate befinden sich in Tonsedimenten sehr selten, da sie eine geringe chemische Resistenz haben und einfach zu zerkleinern sind. Feldspate sind vorwiegend als Aluminium- und Siliziumlieferanten bei der Bildung der Tonminerale beteiligt.

4.2.1.6 Organische Substanz

Als organische Substanz werden alle in Sedimenten befindlichen abgestorbenen pflanzlichen und tierischen Stoffe und deren Umwandlungsprodukte bezeichnet. Organische Substanzen können die chemische Reaktivität der Tone beeinflussen. Sie wirken entsprechend den Spektren an funktionellen Gruppen als Säure, Base oder als Komplexbildner.

4.2.1.7 Vulkanisches Material

Vulkanische Materialien (vulkanische Gläser und Aschen) kommen nur in jüngeren (Tertiär und Quartär) Tonsedimenten vor, da sie mit der Zeit instabil und entglast sind. Sie werden zu Tonmineralen wie Smektit, Chlorit sowie Kaolinit und zu Zeolithen umgewandelt.

4.2.1.8 Zeolithe

Zeolithe sind kristalline hydrate Aluminosilikate, die sowohl in der Natur vorkommen als auch synthetisch hergestellt werden können. Die chemische Zusammensetzung ist: $\text{Me}_x^{n+} \text{Al}_{nx}^{3+} \text{Si}_y \text{O}_{2(nx+y)} \cdot n \text{H}_2\text{O}$, wo $y/x \geq 1$. Die chemische Formel der Zeolithe zeigt, daß mit Sauerstoff tetraedrisch koordiniertes vierwertiges Silizium durch dreiwertiges Aluminium

ersetzt wird, wobei eine negative Gitterladung entsteht, die durch ein Kation kompensiert wird. Wie Tonminerale haben Zeolithe wichtigste Eigenschaften, z. B. hohen Ionenaustausch, Adsorptionsvermögen, Stabilität und Azidität. Klipnotilolith und Mordenit sind die zwei bedeutendsten Naturzeolithe in Tonsedimenten.

4.2.2 Genese der Tonsedimente

Tonsedimente können praktisch in jedem Milieu zur Ablagerung gelangen. Wesentliche Ablagerungsmilieus sind die Überflutungsflächen von Flüssen und Seen, die Gebiete von großen Deltas, die äußeren Zonen der kontinentalen Schelfe und der Ozeanboden.

Bentonite sind Tone, die sich vorwiegend aus Smektitgruppen (Beidellit, Montmorillonit, Nontronit) zusammensetzen und im allgemeinen monomineralisch sind. Zeolithe Tone bestehen aus einem schwankenden Gemisch von Tonmineralen und Tuffen. Bentonite entstehen durch langsame Ablagerung und Verfestigung der vulkanischen Gläser im offenen Meer, so daß während des Devitrifikationsprozesses die Diffusion der Lösungen stattfindet. Die von Zeolithen dominierte Fazies stellt ein geschlossenes Gewässermilieu und schnelle Ablagerung dar, in dem der Entglasungsprozess der vulkanischen Gläser ohne Diffusionsprozess erfolgen wird (VELDE, 1992).

4.3 Grundlage der Stofftransportprozesse in geologischen Barrieren und mineralischen Deponieabdichtungen

Der Transport von Schadstoffen in der geologischen Barriere oder mineralischen Deponiebasisabdichtung wird durch die qualitative und quantitative Zusammensetzung wassergelöster Stoffe, durch die Medienmatrix und durch die Reaktionen untereinander sowie durch die hydraulischen Eigenschaften des Systems bestimmt.

Infolge vieler Einflußfaktoren sowie unregelmäßiger und inhomogener Struktur ist die mathematische Berechnung der Stofftransporte in den geologischen Barrieren oder mineralischen Deponieabdichtungen nur unter idealen Randbedingungen möglich (SCHEIBER & RÖTZER, 1992). Um numerische Berechnungen der Stofftransportprozesse in geologischen

Barrieren oder mineralischen Deponieabdichtungen beschreiben zu können, läßt sich die Gleichung für den Stofftransport in porösen Medien anwenden (SCHNEIDER & GÖTTNER, 1991).

4.3.1 Konvektion

Konvektion (konvektiver Massenfluß) nennt man auch Advektion. Als Konvektion bezeichnet man die passive Bewegung der Stoffe mit dem sich bewegenden Wasser. Der konvektive Massenfluß ist funktional von der Filtergeschwindigkeit abhängig. Die Gleichung für den Konvektionsstrom lautet:

$$J_{\text{Kon}} = v \cdot c \quad (4.1)$$

mit v = Filtergeschwindigkeit (m/s)

c = Konzentration (kg/m³)

Die Bestimmung der Filtergeschwindigkeit läßt sich generell zwischen wasserungesättigtem und wassergesättigtem Porenraum des Mediums unterscheiden. Bei der Berechnung des Stofftransports durch Tonmaterialie wird angenommen, daß Porenräume wassergesättigt sind. Bei wassergesättigten Verhältnissen ergibt sich eine lineare Beziehung zwischen der Filtergeschwindigkeit und dem hydraulischen Gradienten. Diese Beziehung wurde von Darcy experimentell gefunden. Im eindimensionalen Fall gilt:

$$v = K_f i \quad (4.2)$$

mit K_f = Durchlässigkeitsbeiwert (m/s)

i = hydraulischer Gradient (-)

Die Gültigkeit des Darcy-Gesetzes ist bisher nur für mittlere hydraulische Gradienten nachgewiesen. Im Bereich hoher hydraulischer Gradienten verliert das Gesetz seine Gültigkeit im Übergang von laminarer zu turbulenter Strömung. Experimentelle Untersuchungen zur Gültigkeit des Darcy'schen Gesetzes bei niedrigem Gradienten erbrachten kontroverse Ergebnisse (SCHNEIDER & GÖTTNER, 1991).

Die Durchlässigkeitskoeffizienten der Tonprobe werden mit Hilfe mechanischer sowie physikalisch-chemischer Variablen eingeschätzt (MESRI & OLSEN, 1971). Die Größe, die Formen und die geometrische Anordnung der Partikel gehören zur mechanischen Variablen.

Die Abnahme des Durchlässigkeitsbeiwertes bei konstanter Porenzahl von Kaolinit, Illit und Smektit ist die Folge der Verminderung der Größe individueller Fließkanäle und der Erhöhung der Tortuosität vom Fließabstand (*tortuosity of the flow path*).

Physikalisch-chemische Variablen üben einen beträchtlichen Einfluß auf den Durchlässigkeitskoeffizienten infolge ihrer Wirkungen auf Dispersion oder Aggregation der Tonteilchen aus. Die Aggregation führt zur Existenz winziger Fließkanäle (dadurch finden wenige Strömungen statt) und relativ großen Kanälen, durch die die Hauptströmung verläuft. Die Dispersion bewirkt die Bildung gleichgroßer und ungleichgroßer Fließkanäle, so daß sich die Wasserströmungen verringern.

In Bezug auf die mechanischen Variablen findet man zwei Theorien, die als „Partikelorientierungs-Theorie“ und „Klumpen-Theorie“ (*the clod theory*) bezeichnet werden (BENSON & DANIEL, 1990). Abbildung 4-2 zeigt Illustrationen der beiden Theorien.

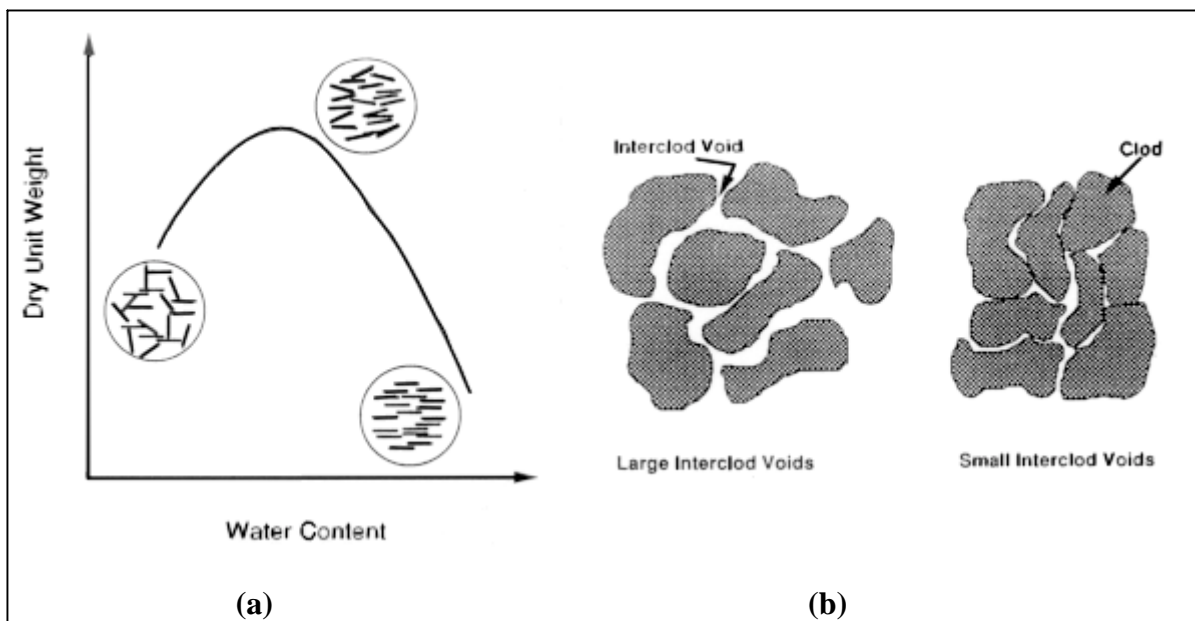


Abb. 4-2: Anordnung der Tonpartikel nach der Lambe-Theorie (a) und Wassertransport durch die relativ großen Poren zwischen den Klumpen nach der Olsen-Theorie (in BENSON & DANIEL, 1990).

Aus der von LAMBE (1958) vorgestellten Partikelorientierungs-Theorie ergab sich, daß die Lagerungsart der Tonpartikel – unregelmäßig oder parallel - die bedeutsamere Rolle spielt. Je stärker die Mikrostruktur der Tonminerale von einer parallelen Lagerung geprägt wird, desto

wasserundurchlässiger ist sie. Diese parallele Anordnung wird bei höheren Wassergehalten ausgebildet. So ist ein auf dem „feuchten Ast“ der Proctorkurve verdichteter Ton bei gleicher Trockendichte in der Regel geringer durchlässig als der gleiche Ton auf dem „trockenen Ast“.

Die von OLSEN (1962) vorgeschlagene Klumpen-Theorie erläutert, daß der Wassertransport in verdichteten Tonen vorwiegend durch relativ großen Porenräumen zwischen den Klumpen (natürliche Aggregate von Tonen) eher stattfindet als zwischen den Tonpartikeln innerhalb der Klumpen. Nach dieser Theorie ist Ton auf dem „feuchten Ast“ der Proctorkurve gut verdichtet, so daß die Größe der Poren zwischen den Klumpen kleiner geworden und der Durchlässigkeitsbeiwert gesunken ist.

4.3.2 Diffusion

Unter Diffusion versteht man einen physikalischen Ausgleichsprozeß, in dessen Verlauf Moleküle, Atome und Ione infolge ihrer Wärmebewegung von Orten höherer Konzentration zu Orten niedrigerer Konzentration gelangen. Der Diffusionsvorgang hängt nicht von der Wasserbewegung ab, so daß eine langsame Wasserbewegung eine große Rolle spielt. Der diffusive Massenfluß in freier Lösung läßt sich nach dem ersten Fick-Gesetz formulieren:

$$J_{\text{Dif}} = - D_o i_C \quad (4.3)$$

mit J_{Dif} = diffusiver Massenfluß der gelösten Stoffe in freier Lösung (kg/m²s)
 D_o = Diffusionskoeffizient in freier Lösung (m²/s)
 i_C = Konzentrationsgradient (kg/m³ m)

Das Minus-Zeichen in der Gleichung (4.3) resultiert daraus, daß der Massenfluß von hohen zu niedrigen Konzentrationen verläuft und der Konzentrationsgradient entgegengesetzt gerichtet ist.

Die Diffusion gelöster Stoffe in tonigen Lockergesteinen verläuft im allgemeinen langsamer als in freier Lösung. Das ist auf den längeren Diffusionsweg, auf die geringe Mobilität infolge der Sorptionsprozesse und in geringem Maße auf biologische und radioaktive Prozesse zurückzuführen. Wie bei der Durchlässigkeitsbeiwert-Ermittlung unterscheidet man Diffusionsversuche bei stationären und instationären sowie quasistationären Bedingungen.

4.3.2.1 Stationäre Diffusion

Im stationären Fall werden die Konzentrationen auf beiden Seiten des Diaphragmas (der Tonprobe) konstant gehalten. Eine eindimensionale Gleichung stationärer Diffusion wurde von SHACKELFORD (1991) formuliert :

$$J_{\text{Dif}} = -D_e n (\delta c / \delta x) \quad (4.4)$$

mit D_e = effektiver Diffusionskoeffizient (m²/s)
 n = Porenzahl der Tonprobe
 $\delta c / \delta x$ = Konzentrationsgradient (-)

Die Beziehung zwischen D_e und D_o ist mit $D_e = D_o \tau$ zu formulieren, wobei τ = Tortuositätsfaktor ist. Der Tortuositätsfaktor τ stellt einen geometrischen Parameter und einen Wert für den Transportweg im Boden dar, wobei er länger als in freier Lösung ist. Er ist normalerweise zu formulieren (OLSEN UND KEMPER, 1968; BEAR, 1972; in SHACKELFORD, 1991):

$$\tau = (L / L_e)^2 \quad (4.5)$$

wobei L der makroskopische Transportweg (Dicke der Tonprobe) und L_e der mikroskopische oder effektive Transportweg ist. Bei porösen Medien ist L_e immer größer als L , so daß der Tortuositätsfaktor τ kleiner als 1 ist.

4.3.2.2 Instationäre Diffusion

Unter instationären Bedingungen verändert sich die Konzentration sowohl zeitlich als auch räumlich. Durch den stetigen Diffusionsstrom nimmt die hochkonzentrierte Seite immer mehr ab und die niedrigkonzentrierte Seite immer mehr zu. Dabei nähern sich die Konzentrationen asymptotisch einem Mittelwert, so daß sich nach ausreichend langer Zeit ein Konzentrationsausgleich einstellt. Um die Geschwindigkeit der Konzentrationsänderung gegen den Diffusionsweg bzw. die Mächtigkeit zu ermitteln, kann das zweite Fick-Gesetz benutzt werden :

$$\delta c / \delta t = - (D_e / K_d) \delta^2 c / \delta x^2 \quad (4.6)$$

mit K_d = Verteilungskoeffizient (m³/kg)
 t = Zeit (s)
 x = Weg (m).

Für die Berechnung des Diffusionsstromes gibt CUSSLER (1984) folgende Formel an :

$$J_{\text{Div}} = \sqrt{(De/\pi t)} \cdot e^{-(x^2/4De \cdot t)} \cdot (c_u - c_o) \quad (4.7)$$

mit c_u = höhere Konzentration der Lösung
 c_o = niedrigere Konzentration der Lösung.

4.3.2.2 Quasistationäre Diffusion

Mit der Diaphragmazelle ist die Bestimmung des Diffusionskoeffizienten unter stationären Bedingungen schwer durchzuführen, da sich die Konzentration im Verlauf des Versuches immer verändert. Diese steht im Widerspruch zu den verlangten Randbedingungen des ersten Fick-Gesetzes und einem konstanten Konzentrationsprofil.

Sind die Vorratsbehälter wesentlich größer als das Volumen des Diaphragmas und enthalten sie wesentlich mehr Ionen, so ändern sich die Konzentrationen in den Lösungen nur langsam, während das Konzentrationsprofil im Diaphragma schneller reagieren kann. Nach CUSSLER (1984) ist diese Forderung erfüllt, wenn gilt :

$$1 \gg V_{\text{Ton}} (1/V_u + 1/V_o) \quad (4.8)$$

oder wenn der Wert des Ausdruckes

$$\frac{\text{Dicke}^2}{\text{Diffusionskoeffizient} \cdot \text{Zeit}} < 1$$

wobei V_{Ton} = Porenvolumen der Tonscheibe und V_u, V_o = die Volumina der Lösungen sind.

4.3.3 Dispersion

Als Dispersion bezeichnet man die Verteilung bzw. Vermischung von gelösten Inhaltsstoffen im bewegten Porenwasser, die durch unterschiedliche Fließgeschwindigkeiten einzelner Wasservolumina hervorgerufen wird. Zur Dispersion gehört die Ausbreitung wassergelöster Stoffe wegen Inhomogenität der porösen Medien. Wie die Konvektion ist auch die Dispersion vom Volumenfluß des Wassers abhängig.

Der dispersive Massenfluß ist mathematisch wie das erste Fick-Gesetz als Produkt aus Dispersionskoeffizient und Konzentrationsgradient darzustellen (SCHNEIDER & GÖTTNER, 1991). Die Gleichung für die Dispersion lautet :

$$J_{\text{Dis}} = - \Theta D_d i_c \quad (4.9)$$

mit D_d = Dispersionskoeffizient (m^2/s)

Θ = volumetrischer Gehalt des gesamten Wassers im Boden (m^3/m^3)

i_c = Konzentrationsgradient ($\text{kg}/\text{m}^3 \text{ m}$).

Der Dispersionskoeffizient hängt funktional von der mittleren Porenwassergeschwindigkeit ab. Nach BEAR (1972, in SCHNEIDER & GÖTTNER, 1991) lautet die Beziehung :

$$D_d = \alpha v^\varphi \quad (4.10)$$

mit α = Dispersivität (m)

v = mittlere Porenwassergeschwindigkeit (m/s)

φ = Exponent (-).

Gleichung (4.10) wird sowohl für Stofftransportvorgänge im wassergesättigten als auch im wasserungesättigten Porenraum eingesetzt. Der Exponent φ liegt nahe 1, so daß für praktische Anwendungen die Gleichung (4.10) in eine lineare Beziehung übergeht.

Die Dispersivität α ist eine Kenngröße, die von allen Fließgeschwindigkeitsaspekten im Porenraum bewirkt wird. Nach KLOTZ (1990) erhöht sich α mit abnehmender Porenzahl und Rundungsgrad sowie zunehmender Korngröße und Ungleichförmigkeitsgrad.

Obwohl zwischen Dispersion und Diffusion ein großer Unterschied besteht, können die beiden Mechanismen für die praktische Anwendung mathematisch in einem Modell formuliert werden. Es gilt die Beziehung :

$$D_{\text{hy}} = D_e + D_d \quad (4.11)$$

mit D_{hy} = hydrodynamischer Dispersionskoeffizient

D_e = effektiver Diffusionskoeffizient

D_d = Dispersionskoeffizient.

4.3.4 Sorption

Unter dem allgemeinen Begriff „Sorption“ werden alle Festlegungs- bzw. Speicherprozesse von Stoffen im Tonmaterial zusammengefaßt (WAGNER, 1992). Dieser Vorgang verringert die wassergelösten Stoffe. In Abbildung 4-3 sind verschiedene Sorptionsprozesse schematisch

dargestellt. Viele dieser Prozesse sind voneinander nur unvollkommen abgrenzbar und gehen ineinander über.

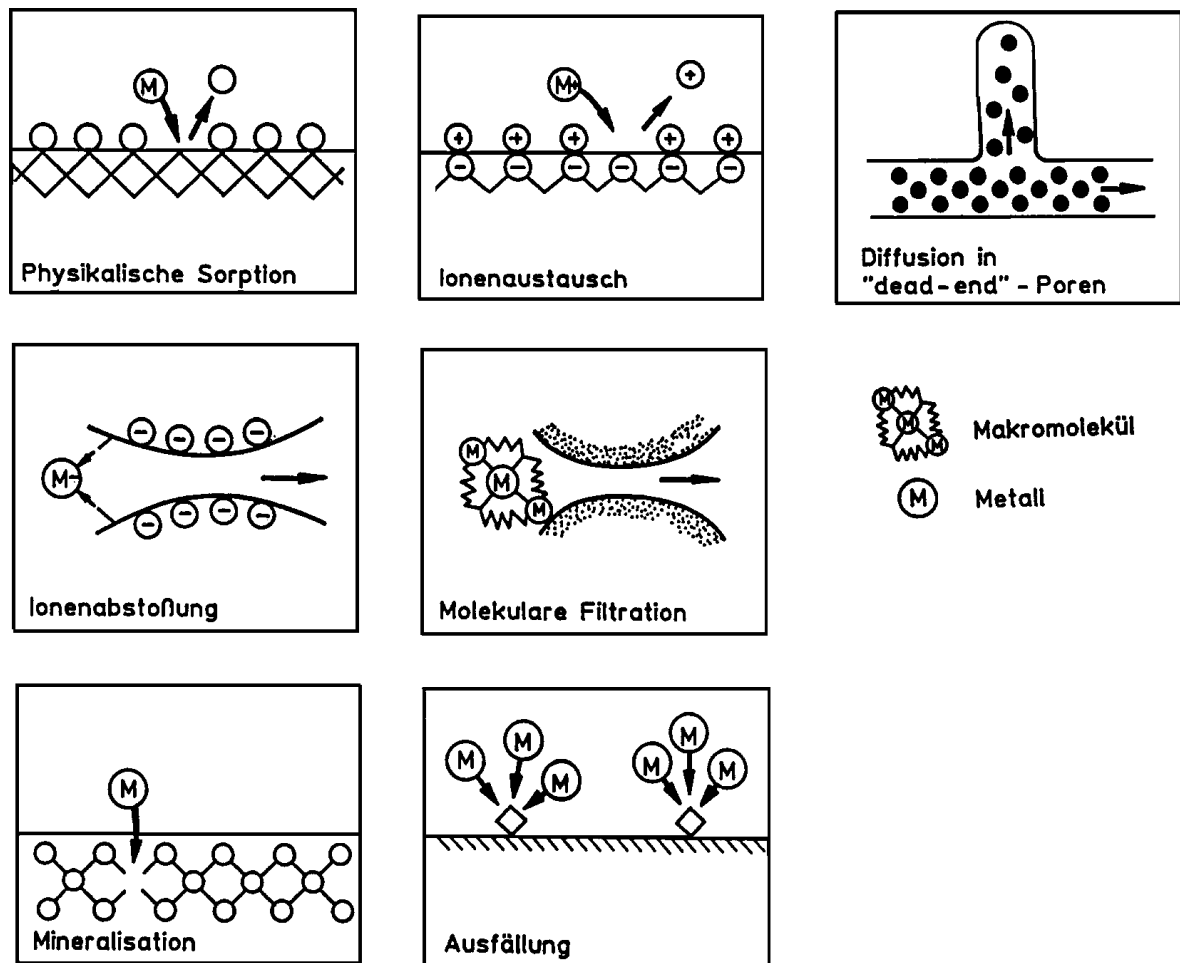


Abb.4-3: Schematische Darstellung der Sorptionsmechanismen (nach MCKINLEY & HEIDEMAN, IN WAGNER, 1992)

In dem komplexen Ton-Wasser-System läßt sich der Einfluß der einzelnen Prozesse auf die Veränderung der Stoffkonzentration im Porenwasser experimentell nicht erfassen, aber durch Messung von Konzentrationsänderungen ist lediglich die Wirkung aller Prozesse quantifizierbar. Es gilt die lineare Beziehung:

$$S_{\text{Sor}} = K_d \cdot c \tag{4.12}$$

mit S_{Sor} = sorbierte Stoffmasse pro Masseneinheit der Medien (-)

K_d = Verteilungskoeffizient (m^3/kg)

c = Gleichgewichtskonzentration (kg/m^3).

Vergleiche zwischen dem sorbierten Anteil und der Gleichgewichtskonzentration in einer flüssigen Phase können durch den Batch-Versuch gemessen werden, wobei bestimmte

Volumen der Stoffe an der bestimmten Konzentration mit bestimmtem Gewicht trockener Proben gemischt werden. Beim Batch-Versuch ist der Verteilungskoeffizient abhängig von der Untersuchungsdauer (Kontaktdauer zwischen der Lösung und dem Feststoff), pH-Wert, Temperatur, Eigenschaften und Menge der Lösungen sowie Art und Menge der Tonmaterialien.

Die Darstellung der sorbierten Stoffmasse pro Masseneinheit gegen die Gleichgewichtskonzentration wird als Isotherme oder Isoplethe bezeichnet. Der mit der Gleichung (4.12) beschriebene Fall ist eine lineare Isotherme (Henry-Isotherme) und wird oft als logische Beschreibung für wassergelöste Stoffe mit niedriger Konzentration angenommen. Bei wassergelösten Stoffen mit hoher Konzentration ist die Isotherme nicht mehr linear und die Beziehung zwischen der sorbierten Stoffmasse und der Gleichgewichtskonzentration ist schwieriger geworden. Zwei Modelle, die zur Darstellung dieser Beziehung benutzt werden, sind die Langmuir-Isotherme und die Freundlich-Isotherme.

Bei der **Langmuir-Isotherme** lautet die Beziehung:

$$S_{\text{Sor}} = \frac{Q \cdot b \cdot c}{1 + b \cdot c} \quad (4.13)$$

mit S_{Sor} = sorbierte Stoffe pro Masseneinheit (kg/m^3)

Q = maximale Langmuir-Adsorptionsparameter (kg/kg)

b = Langmuir-Affinitätsparameter (-)

c = Gleichgewichtskonzentration (kg/m^3).

Die Langmuir-Adsorptionskonstanten (Q und b) lassen sich mit dem Batch-Versuch ermitteln.

Die **Freundlich-Isotherme** ist ein alternatives Modell mit empirischer Grundlage, das quantitativ Sorptionsprozesse beschreibt. Es gilt die Gleichung :

$$S_{\text{Sor}} = k_{\text{F}} c^{\varepsilon} \quad (4.14)$$

Es wird angenommen, daß K_{f} und ε empirisch konstant sind. Die Beziehung zwischen S und c ist zu zeigen, womit $\varepsilon > 1$ und $\varepsilon < 1$ ist. Wie bei der Langmuir-Isotherme sind die Parameter der Freundlich-Isotherme durch den Batch-Versuch zu bestimmen. Abbildung 4-3 zeigt den schematischen Verlauf der verschiedenen Sorptionsisothermen.

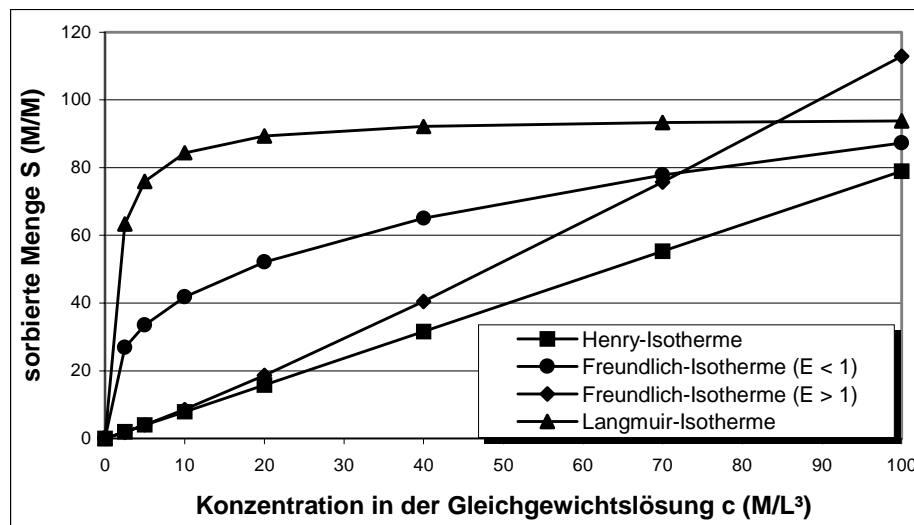


Abb. 4-4: Schematischer Verlauf der verschiedenen Sorptionsisothermen

4.3.5 Stoffabbau und -produktion

Neben den vier Prozessen finden Stoffabbau bzw. Stoffproduktion (SCHNEIDER & GÖTTNER, 1991) oder radioaktive Stoffzerfälle (ROWE, et al., 1995) während der Wasserströmung statt. Durch Stoffabbau bzw. Produktionsvorgänge werden gelöste und sorbierte Wasserinhaltsstoffe aus dem Ton entfernt. Diese Mechanismen sind sehr komplex und sind in mikrobielle und chemische Prozesse zu unterscheiden. Diese Vorgänge verursachen Änderungen des chemischen Abbaus der Stoffe und finden effektiv bei der langsamen mechanischen Ausbreitung statt.

Wenn man von Abbauprozessen 1. Ordnung und Produktionsprozessen 0. Ordnung ausgeht, lautet die Gleichung für den Senkenterm S_{Abb} (SCHNEIDER & GÖTTNER, 1991) :

$$S_{Abb} = \mu_w \Theta c + \mu_F \beta_d F - \gamma_w \Theta - \gamma_F \beta_d \quad (4.15)$$

wobei μ_w bzw. μ_F die Koeffizienten für Stoffabbauprozesse 1. Ordnung im Wasser ($\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$) bzw. am Feststoff ($1/\text{s}$) und γ_w bzw. γ_F die Koeffizienten für Stoffproduktionsprozesse 0. Ordnung im Wasser ($\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$) bzw. am Feststoff ($1/\text{s}$) bedeuten.

Die Abbaurrate ist funktional abhängig von Faktoren, wie z. B. Redoxbedingungen, pH-Wert, organischer Kohlenstoffgehalt, Mineralogie, Wassergehalt und Temperatur. Die funktionale Abhängigkeit ist jedoch bis heute unzureichend definiert, so daß Abbaureaktionen bestenfalls wie in Gleichung (4.15) in der einfachsten Form als Reaktionen erster Ordnung beschrieben werden können (SCHNEIDER & GÖTTNER, 1991).

Manche wassergelösten Elemente können radioaktiv zu leichteren Elementen zerfallen, und viele organische Verbindungen zerfallen biologisch zu den einfacheren Verbindungen. Zerfallszeiten, die von einzelnen Verbindungen zur Hälfte der Anfangskonzentration benötigt werden, basieren auf der Halbwertzeit der auszubildenden Elemente.

Für die nach der 1. Ordnung zerfallenden Substanzen hängt die Reduktionsrate der Konzentration funktional von der strömenden Konzentration ab. Es gilt die Gleichung :

$$\partial c / \partial t = - \lambda c \quad (4.16)$$

wobei λ die Zerfallskonstante 1. Ordnung (1/s) und c die Konzentration (kg/m³) bedeuten.

Die Zerfallskonstante hat drei Komponenten, u.a. radioaktiver Zerfall, biologischer Zerfall und Fluidrücklauf. Es lautet die Beziehung :

$$\lambda = \Gamma_R + \Gamma_B + \Gamma_S \quad (4.17)$$

mit $\Gamma_R = \ln 2 /$ radioaktive Halbwertzeit

$\Gamma_B = \ln 2 /$ biologische Halbwertzeit

$\Gamma_S =$ strömendes Fluidvolumen pro Volumeneinheit des Feststoffs pro Zeiteinheit.

Die Gleichung (4.16)

$$c(t) = c_0 \cdot e \quad (4.18)$$

ist zu vereinfachen, wobei c_0 die Anfangskonzentration ist.

Der radioaktive Zerfall wird von der Atomstruktur des Elements kontrolliert und ist unabhängig von den Medien. Dagegen ist der biologische Zerfall von vielen Faktoren abhängig, wie der Art der Bakterien und des Substrats und der Temperatur, so daß deren Zerfallsrate von den Medien bestimmt wird.

4.4 Ergebnisse der Evaluierung und Diskussion

4.4.1 Art der Tonsedimente

Als Kriterium für die Wahl der untersuchten Tonsedimente wurde die mineralogische und chemische Zusammensetzung berücksichtigt, da die Eigenschaften natürlicher Tone von deren Zusammensetzung bestimmt werden. Daher wurden insgesamt 3 verschiedene Tone ausgewählt, deren Hauptbestandteile aus unterschiedlichen Mineralen bestehen:

- der karbonatische Ton mit Diatomeengehalt
- der kaolinitische Ton
- der smektitische Ton.

Da das anstehende Tonsediment eine mögliche geologische Barriere für den Deponiebau bildet und die Kosten für die Aufbereitung zu hoch ist, sollte hier kein künstlich gemischtes Material bzw. aufbereitetes Material untersucht werden.

Der karbonatische Ton mit Diatomeengehalt wurde aus einem Aufschluß der Sonde-Formation in Kelurahan-Kedamean entnommen und als Kedamean-Ton (Kd-Ton) bezeichnet. Der Kedamean-Ton ist gelbweiß, sehr leicht und sehr fest beim Trocknen. An der Entnahmestelle konnten die ursprüngliche Schichtung und die Sandlinsen noch deutlich erkannt werden. Die Sonde-Formation entsteht durch eine Ablagerung im äußeren Sublitoral im unteren Miozän.

Die Probe des kaolinitischen Tones wurde aus der Tongrube in Kelurahan-Karangpilang entnommen und als Karangpilang-Ton (Kr-Ton) benannt. Der Karangpilang-Ton hat eine graue Farbe und keine Schichtung. Der smektitische Ton mit einem geringen Sandgehalt wurde aus dem aufgelassenen Tagebau in Kelurahan-Warugunung entnommen und als Warugunung-Ton (Wg-Ton) bezeichnet. Er ist rotbraun und leicht. Der Karangpilang- und Warugunung-Ton gehört zu der Lidah-Formation, die im flachmarinen Milieu im Miozän abgelagert wurde.

4.4.2 Zusammensetzung der Tonsedimente

Die Güte eines Tonsedimentes hinsichtlich seiner Barrierewirkung im natürlichen Untergrund oder als Rohstoff für mineralische Dichtungen wird in erster Linie durch Art und Menge der Tonminerale bestimmt. Die genaue Bestimmung des Mineralbestandes ist somit wichtig für die Beurteilung des Schadstoffrückhaltevermögens der Barriere. Im Vergleich dazu werden hydraulische Eigenschaften der Barriere nicht so sehr durch die Art der Tonminerale bestimmt als vielmehr durch deren Massenanteil.

4.4.2.1 Mineralogische Zusammensetzung

Um die mineralogische Zusammensetzung abzuschätzen, wurde eine Röntgenbeugungsanalyse (RBA) am Forschungszentrum für Mineraltechnologie in Bandung, Indonesien durchgeführt. Der Mineralbestand der untersuchten Tone wurde nur qualitativ bestimmt. Für den Kedamean-Ton wurde auch eine Analyse mit dem Rasterelektronenmikroskop (REM) zum Abschätzen der Diatomeen durchgeführt. Die Untersuchungsergebnisse der mineralogischen Zusammensetzung sind der Tabelle 4-1 zu entnehmen.

Tab. 4-1 : Mineralogische Zusammensetzung der untersuchten Tonsedimente

Bestandteile	Kedamean	Karangpilang	Warugunung
Quarz	+	+	+
Montmorillonit	+	+	+
Kaolinit	+	+	+
Calcit	+	-	-
Dolomit	-	+	-
Feldspat (Albit)	+	-	-
Diatomeen	+	-	-

+ = vorhanden

- = nicht vorhanden

Die mineralogische Zusammensetzung einer Deponiebarriere ist nicht nur von Bedeutung hinsichtlich des Schadstoffrückhaltevermögens, sondern auch sehr wichtig für die Langzeitstabilität der Deponieabdichtung. Viele quellfähige Tonminerale (Smektite) sind sehr gute Schadstoffsorbenten, aber ihre chemische Stabilität und ihre langfristige Durchlässigkeit sind nicht gewährleistet. Illitische oder kaolinitische Tone sind diesbezüglich besser geeignet (WAGNER, 1991). In der TA-Siedlungsabfall wird gefordert, daß der Anteil an Tonmineralen mindestens 10 Gew.-% beträgt.

4.4.2.2 Chemische Zusammensetzung

Zur Bestimmung der Hauptelemente von Tonsedimenten wurde eine chemische Analyse am Forschungszentrum für Vulkane in Yogyakarta, Indonesien durchgeführt. Die Untersuchungsergebnisse der Hauptelemente sind in der Tabelle 4.2 dargestellt.

Tab. 4-2 : Chemische Zusammensetzung der ausgewählten Tonsedimente

	Kedamean	Karangpilang	Warugunung
SiO ₂	49,86	65,17	65,91
Al ₂ O ₃	14,93	14,11	13,80
Fe ₂ O ₃	5,54	6,02	6,54
CaO	6,95	1,47	0,25
MgO	2,28	1,01	0,69
Na ₂ O	0,85	0,33	0,88
K ₂ O	0,91	0,78	0,81
MnO	0,10	0,10	0,02
TiO ₂	0,84	0,70	0,66
P ₂ O ₅	0,12	0,19	0,05
H ₂ O	0,40	0,20	0,71
Glühverlust	16,81	9,84	9,44
Summe	99,59	99,92	99,76

Der hohe Glühverlust des Kd-Tones von 16,81 % ist vorwiegend durch den Mineralbestand neben dem Verlust durch organische Bestandteile, z.B. durch freiwerdendes Kohlendioxid der Calcite, bedingt. Der Glühverlust des Kr-Tones von 9,84 % und des Wg-Tones von 9,44 % ist auf die Verbrennung der organischen Anteile zurückzuführen. Nach der deutschen TA-Siedlungsabfall darf der Glühverlust der mineralischen Deponiebasisabdichtung 15 % nicht übersteigen.

Der Gehalt an Kalk wurde nach DIN 18129 bestimmt. Der Kalkgehalt des Kedamean-Tones beträgt 19,35 %, des Kr-Tones 4,18 % und des Wg-Tones 0,35 %. Der hohe Kalkgehalt des Kd-Tones wird sowohl von Calcit als auch von Foraminiferen hervorgerufen. Die Karbonate des Kr-Tones kommen aus dem Dolomit. Die TA-Siedlungsabfall empfiehlt dazu, daß der Kalkgehalt mineralischer Dichtungsstoffe geringer als 15 % sein soll. Im Vergleich dazu erlaubt eine andere Richtlinie, z.B. in Niedersachsen, einen Kalkgehalt bis 20 %.

Weil alle untersuchten Tonsedimente im marinen Milieu entstanden, wurde auch der Gehalt der gesamten Chloride (Cl) durch die Argentometrieanalyse bestimmt. Dieses gesamte Chlorid stellt ein gebundenes Salz, im besonderen Kochsalz (NaCl) in Tonen dar. Die 5 g getrocknete (60° C im Trockenraum bei 24 Stunden) Feinprobe wird in eine Flasche mit Schraubverschluß eingebracht. Aus einem Meßzylinder wird 50 ml destilliertes Wasser zugegeben und auf einem Schüttler 24 Stunden lang geschüttelt. Die Bodensuspension wird abgeschleudert und die Lösung für die chemische Analyse genommen. Das gebundene Salz im Kd-Ton beträgt 110 mg/kg, im Kr-Ton 330 mg/kg und im Wg-Ton 1120 mg/kg.

4.4.3 Bodenphysikalische Eigenschaften

Untersuchungen der bodenphysikalischen Eigenschaften wurden gemäß ASTM und DIN durchgeführt.

4.4.3.1 pH-Wert

Der pH-Wert des Tones besitzt eine große Bedeutung bei den Fällungs- und Lösungsprozessen der Schadstoffe bzw. Schwermetalle. Die pH-Wert-Bestimmung wurde gewöhnlich wie bei der Bodenkunde durchgeführt. Man wiegt $10 \pm 0,1$ g lufttrockenen Feinboden in eine Flasche mit Schraubverschluß ein. Aus einem Meßzylinder werden 25 ml Wasser (oder Lösung) zugegeben und auf einem Schütteltisch 15 Minuten lang geschüttelt. Man rührt die Suspension um, führt die Elektroden ein, schwenkt die Suspension um die Elektroden und notiert nach 30 s den pH-Wert. Die Ergebnisse der pH-Wert-Bestimmung sind in der Tabelle 4-3 dargestellt.

Tab. 4-3 : pH-Wert der untersuchten Tonsedimente

	Kedamean	Karangpilang	Warugunung
H ₂ O (destilliert)	8,2	7,8	8,4
0,01 M CaCl ₂	7,7	7,5	7,9
Δ pH	- 0,5	- 0,3	- 0,5

Delta Δ bedeutet hier „Veränderung“. Die negative pH-Veränderung stellt eine negative Nettoladung des Bodens dar. Dabei ist die Veränderung des pH-Wertes umso größer, je größer die negative Ladungsmenge ist.

Der hohe pH-Wert des Kd-Tones und des Kr-Tones wird durch das gesamte Karbonat bzw. den Calcit oder Dolomit verursacht. Der hohe pH-Wert des Wg-Tones ist auf den hohen Gehalt an Na^+ zurückzuführen (SCHEFFER, et al., 1992; ROWELL, 1994). Der Na^+ -Gehalt des Wg-Tones ist durch den Cl-Gehalt dargestellt (s. Kapitel 4.4.2.2).

4.4.3.2 Korndichte

Die Bestimmung der Korndichte erfolgt nach ASTM D854. Der Kedamean-Ton besitzt die niedrigste Korndichte mit $2,57 \text{ g/cm}^3$ und der Warugunung-Ton mit $2,65 \text{ g/cm}^3$ die höchste. Der Karangpilang-Ton hat die Korndichte von $2,59 \text{ g/cm}^3$.

4.4.3.3 Korngrößenverteilung

Die Interpretation der Kornverteilung der Tone setzt eine kritische Betrachtung voraus, da es kaum zu einer vollständigen Dispergierung der Tonminerale kommt und deren Mikrostruktur vielmehr von Clustern oder Domänen dominiert wird. Hier sollte vielmehr von einer Aggregatgröße gesprochen werden. Die Korngrößenermittlungen erfolgen nach ASTM D421 und ASTM D422, und deren Ergebnisse werden in der Abbildung 4-5 gegeben.

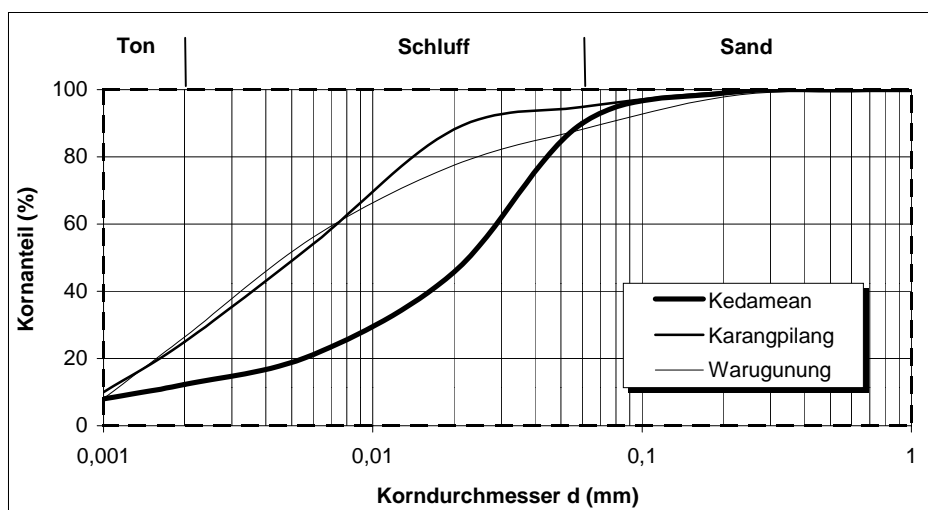


Abb. 4-5 : Korngrößenverteilung der untersuchten Tone

Die untersuchten Proben des Kd-Tones enthalten durchschnittlich etwa 11–14 % Tonfraktion, etwa 74–85 % Schluff und bis zu 12 % Feinsand. Karbonate treten in Tonsedimenten sowohl als Körner als auch als Zement auf. Dieser Zement bewirkt eine Zusammenballung einzelner

Tonpartikel zu größeren Aggregaten, die sich bei der Schlämmanalyse trotz Zugabe von Dispersionsmitteln nicht trennen lassen. Ferner können die ermittelte Tonpartikel in Kedamean-Ton geringer sein.

Der Karangpilang-Ton enthält durchschnittlich 24 % Tonfraktion, die gleiche Menge wie der Warugunung-Ton. Der Schluffanteil des Kr-Tones liegt zwischen 65 und 70 % und des Wg-Ton zwischen 60 und 65 %. Der Feinsandanteil des Kr-Tones beträgt 5 %, während der Wg-Ton ca.15 % erreicht.

Die TA-Siedlungsabfall fordert, daß der Anteil an Feinstkorn ($< 0,002$ mm) für mineralische Deponiebasisabdichtungen mindestens 20 Gew.-% betragen soll. Außerdem empfiehlt der in Niedersachsen gültige Runderlaß des MU, daß das mineralische Dichtungsmaterial einen Steinanteil von max. 10 Gew.-% besitzen soll.

4.4.3.4 Wasseraufnahmevermögen

Das Wasseraufnahmevermögen ist die Eigenschaft des trockenen Bodens, das Kapillarwasser anzuzugeln und zu halten. Es wird im wesentlichen über die Art der Tonminerale gesteuert. Weiterhin liefert das Wasseraufnahmevermögen indirekt Kennwerte für Plastizität, Adsorptionsvermögen und Scherfestigkeit. Die untersuchten Tone wurden auf ihr Wasseraufnahmevermögen gemäß DIN 18132 geprüft, und Abbildung 4-6 stellt die Ergebnisse dar.

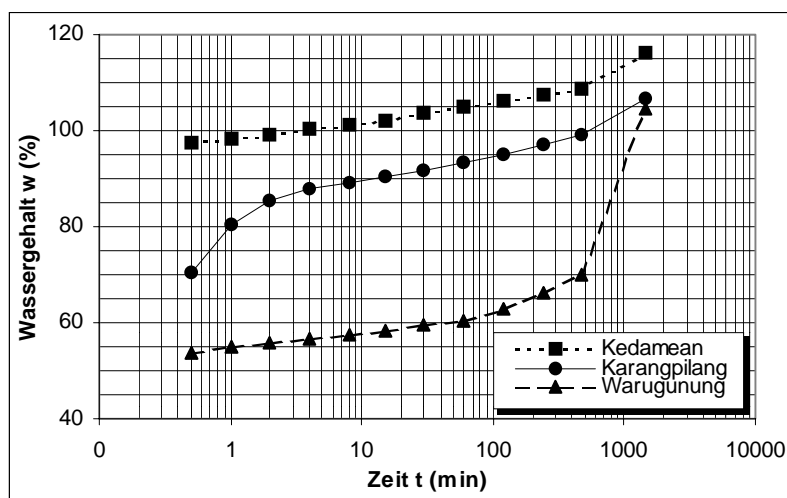


Abb. 4-6 : Wasseraufnahmevermögen der untersuchten Tone

Diatomeen können das Wasseraufnahmevermögen des Kd-Tones von 30 % erhöhen, da sie einen porösen Aufbau haben. Das von Schluffpartikeln dominierte Material besitzt normalerweise eine Wasseraufnahmefähigkeit von 80 % in 24 Stunden (DGEG, 1993). Das hohe Wasseraufnahmevermögen des diatomeenhaltigen Tones wurde auch von GALAN et. al. (1992) untersucht.

Das Wasseraufnahmevermögen des Kr-Tones ist mit 105 % für einen kaolinitischen Ton außergewöhnlich. Im Kr-Ton befinden sich auch Smektit und organische Anteile, die die Wasseraufnahme erhöhen.

4.4.3.5 Zustandsgrenzen

Eine sinnvolle Bestimmung der Zustandsgrenzen ist nur bei bindigen Böden möglich. Die Plastizität eines Bodens ist entscheidend für die Beurteilung der bodenmechanischen Kenngrößen, u.a. Setzung und Scherfestigkeit. Neben dem Tonanteil kann ein hoher Anteil an organischen Beimengungen ebenfalls zu einer hohen Plastizität führen. Die Versuche zur Bestimmung der Zustandsgrenzen der untersuchten Tone wurde nach ASTM D4318 und D4943 durchgeführt. Die ermittelten Fließgrenzen und Plastizitätszahlen lassen sich in das Plastizitätsdiagramm einordnen (Abb. 4-7).

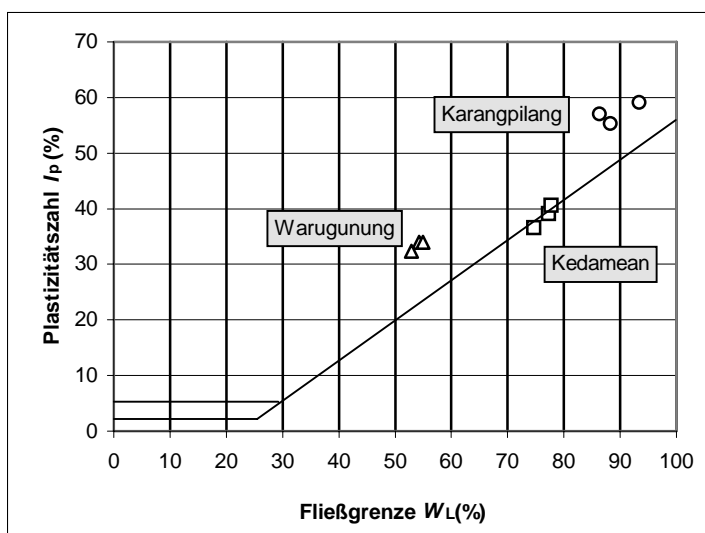


Abb.4-7: Darstellung der untersuchten Tone im Plastizitätsdiagramm

Aus der Abbildung 4-7 können Kr-Ton und Wg-Ton als ausgeprägt plastische Tone (TA) klassifiziert werden, während Kd-Ton zwischen der ausgeprägt plastische Tone und ausgeprägt zusammendrückbare Schluffe (UA) liegt. Die Tatsache, daß der Kedamean-Ton unterhalb der A-Linie liegt, ist darin begründet, daß dieser diatomeenhaltige Ton ein hohes Wasseraufnahmevermögen aufweist. Auch die Schrumpfgrenze liegt mit ca. 20% sehr hoch und ist ein weiteres Indiz für dieses Verhalten (Tab. 4-4).

Tab. 4-4: Atterberg-Grenzen und Klassifikation der untersuchten Tone

	W _L (%)	W _P (%)	I _P (%)	W _S (%)	Bodenklassifikation	
					Nach DIN 18196	Nach USCS
Kedamean	76,4	37,6	39,8	20,1	zwischen TA (aus. plas. Tone) und UA (aus. zus. Schluffe)	zwischen CH (hochplastische Boden) und MH (diatomeen- und schluffhaltige Tone)
Karangpilang	87,3	31,0	56,3	8,7	TA (aus. plas. Tone)	CH (hochplastische Tone)
Warugunung	53,8	20,3	33,5	11,4	TA (aus. plas. Tone)	CH (hochplastische Tone)

USCS = Unified Soil Classification System

4.4.3.6 Verdichtbarkeit

Die Tonsedimente wurden auf ihr Verdichtungsverhalten nach ASTM D698-78 untersucht. Die ermittelten Proctor-Kurven für das luftgetrocknete, gebrochene und auf Aggregatgröße < 5 mm gesiebte Material sind in der Abbildung 4-8 dargestellt.

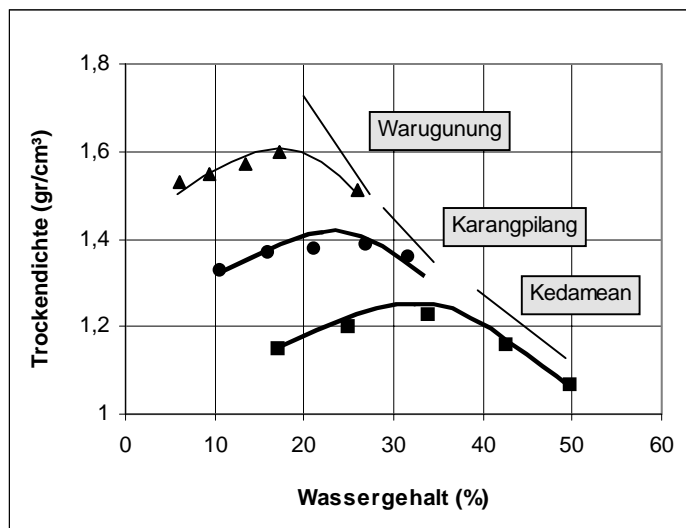


Abb. 4-8: Proctorkurven der untersuchten Tonsedimente

Der Schadstofftransport in der geologischen Barriere oder in der mineralischen Deponieabdichtung wird zum Teil über die Durchlässigkeit (Advektion) gesteuert. Mit

abnehmender Durchlässigkeit gewinnt der diffusionsgesteuerte Stofftransport an Bedeutung (WAGNER 1992; AZZAM, 1993). Allerdings kann man den diffusiven Schadstofftransport durch Verringerung der Porosität reduzieren. Eine Verringerung des Porenraumes ist in der Praxis durch die Erhöhung der Proctordichte zu erreichen. Um diesen Zustand zu erfassen, soll die mineralische Deponieabdichtung mit einem Wassergehalt von mehr als 95 % des Proctoroptimums verdichtet werden.

4.4.4 Bodenmechanisches Verhalten

Das mechanische Verhalten bindiger Böden wird durch die Eigenschaften der Tonminerale bestimmt. Änderungen der tonmineralogischen Eigenschaften infolge der Koagulations- und Dispersionsmittel führen zu Veränderungen im bodenmechanischen Verhalten der Tone. Das mechanische Verhalten bindiger Lockergesteine läßt sich also durch die Höhe des Kräftepotentials zwischen den Tonteilchen beeinflussen (AZZAM, 1993).

Zur Beurteilung der bodenmechanischen Stabilität eines Deponieuntergrundes ist die Ermittlung der Scher- und Druckfestigkeit von großer Bedeutung. Die Bestimmung der Deformationsart sowie die Größe der Bruch- und Restscherfestigkeit sind wichtige Grundlagen zur Beurteilung der bodenmechanischen Eignung des Bodens als Deponiestandort. Diese Parameter können durch Einaxial-, Rahmenscher-, Triaxial- und /oder KD-Versuche ermittelt werden (DGEG, 1993).

Im Rahmen dieser Arbeit wurden nur zwei Versuche durchgeführt. Für den Scherversuch wurde ein direktes Rahmenschergerät verwendet, wobei die Untersuchung nach ASTM D 3080-90 erfolgt. Der einaxiale Druckversuch wurde nach ASTM D 2166-85 durchgeführt. Die Ergebnisse der bodenmechanischen Untersuchungen sind in der Tabelle 4-5 zusammengefaßt.

Tab. 4-5: Bodenmechanische Parameter der untersuchten Tonsedimente

	direkter Rahmenscherversuch		Uniaxialversuch	
	innerer Reibungswinkel θ (°)	Kohäsion c (kPa)	uniaxiale Druckfestigkeit q_u (kPa)	undrainierte Scherfestigkeit s_u (kPa)
Kedamean	18,2	4,1	3,2	1,6
Karangpilang	15,3	2,0	2,9	1,5
Warugunung	18,7	5,1	5,6	2,8

4.4.5 Schadstoffrückhaltevermögen

Als wesentlicher Qualitätsanspruch an die geologische Barriere oder die mineralische Deponieabdichtung ist die Behinderung der Schadstoffausbreitung anzusehen. Das Schadstoffrückhaltepotential ist dabei nicht als einzelner Parameter einzuschätzen, sondern steht als Summe für die Eigenschaften wie Stoffbestand bzw. Gehalt an absorptionsfähigen Mineralen, Wasserdurchlässigkeit und Mächtigkeit.

4.4.5.1 Konvektionsversuch

Das Ziel des Konvektionsversuches besteht darin, den Durchlässigkeitsbeiwert zu ermitteln. Die entsprechende K-Wert-Ermittlung ist die genormte Eignungsprüfung für die Untersuchung des Schadstofftransportes in der geologischen Barriere oder in der mineralischen Deponieabdichtung. Zur Abschätzung der Durchlässigkeit der geologischen Barriere ist allerdings die Korngrößenbestimmung nur bei den Lockergesteinen sinnvoll, während bei den Festgesteinen die Korngröße nicht entscheidend ist. Der K-Wert der mineralischen Deponieabdichtung wird normalerweise im Labor ermittelt.

a. Einfluß der Aggregatgröße

Um die Wirkung der Aggregatgröße auf die Wasserdurchlässigkeit zu ermitteln, wurde die Untersuchung im Versuchszylinder mit einer veränderlichen Druckhöhe durchgeführt. Die luftgetrockneten Proben mit einer Aggregatgröße von < 5 mm und < 2 mm und dem optimalen Proctorwassergehalt wurden im Proctortopf verdichtet. Der Einbau des Versuchskörpers im Versuchszylinder erfolgt nach der Entnahme aus dem Proctortopf. Die K-Wert-Ermittlungen wurden unter gleichen Versuchsbedingungen ($\varnothing = 6,4$ cm, h ca. 3,5 cm, Durchströmung von unten nach oben und Leitungswasser als Permeant) durchgeführt. Um die Randeffekte, d.h. die Durchströmung zwischen der Probe und des Glases zu vermeiden, wurde der Rand der Probe mit Vaseline eingeschmiert. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 4-6 zusammengefaßt.

Die Ergebnisse zeigen, daß die mit einer kleineren Aggregatgröße verdichteten Tone eine geringere Durchlässigkeit als die mit größeren Aggregatgrößen ausgeprägten Tone

besitzen. Der Wg-Ton, der die höchste Proctordichte hat, besitzt die geringste Durchlässigkeit, während der Kd-Ton die größte Durchlässigkeit hat.

Tab. 4-6: Durchlässigkeitsbeiwert in Abhängigkeit der Aggregatgröße

	Durchlässigkeitsbeiwert K_f in $T = 20^\circ\text{C}$ (m/s)	
	Aggregatgröße < 5 mm	Aggregatgröße < 2 mm
Kedamean	1,16 E-9	1,44 E-10
Karangpilang	5,45 E-10	1,91 E-11
Warugunung	1,87 E-10	1,71 E-11

b. Einfluß des Wassergehaltes

Im Hinblick auf den Einfluß des Verdichtungsgrades bzw. des Wassergehaltes bei der Verdichtung auf die Durchlässigkeit wurde die Ermittlung mit der Triaxialmethode durchgeführt. Die luftgetrockneten Proben mit einer Aggregatgröße von geringer als 5 mm und verschiedenen Wassergehalten wurden im Proctortopf verdichtet. Der Einbau der Versuchskörper in die Triaxialzelle erfolgt nach der Entnahme aus dem Proctortopf. Alle K-Wert-Untersuchungen verlaufen unter gleichen Versuchsbedingungen (Tab 4-7).

Tab 4-7: Versuchsbedingungen der Durchlässigkeitsermittlung in der Triaxialzelle

Parameter	Versuchsbedingungen	GDA-Empfehlungen (1993)
Probengröße	$\varnothing = 10$ cm h ca. 2,5 cm	$\varnothing = 10$ cm, h ca. 9 cm bei größtkörnigem Boden ≤ 20 mm, bei feinkörnigem Boden weniger
Durchströmung	von unten nach oben	von unten nach oben
Permeant	Leitungswasser	Leitungswasser
Gradient	$i = 30$	$i = 30$
Zelldruck	0,3 bar größer als Gradient	0,3 bar größer als Gradient
Versuchsdauer	30 Tage nach der Sättigung	bis Verlauf konstant ist
Temperatur	Raumtemperatur, Umrechnung auf $T=20^\circ\text{C}$	konstant, Umrechnung auf $T=10^\circ\text{C}$

Bei dem Kr-Ton und Wg-Ton ergeben sich aufgrund geringer Durchflußmenge keine stabilen Werte. Die K-Werte wurden daher als Mittelwerte der Durchlässigkeit aus 30 Tagen der Versuchsreihe angegeben. Beim Kd-Ton konnten die stabilen Werte nach 2 Wochen abgelesen werden. Die Ergebnisse sind in Abb. 4-9 dargestellt. Tabelle 4-8 zeigt Parameter des Proctroptimums im Vergleich zu den Parametern der geringsten Durchlässigkeit.

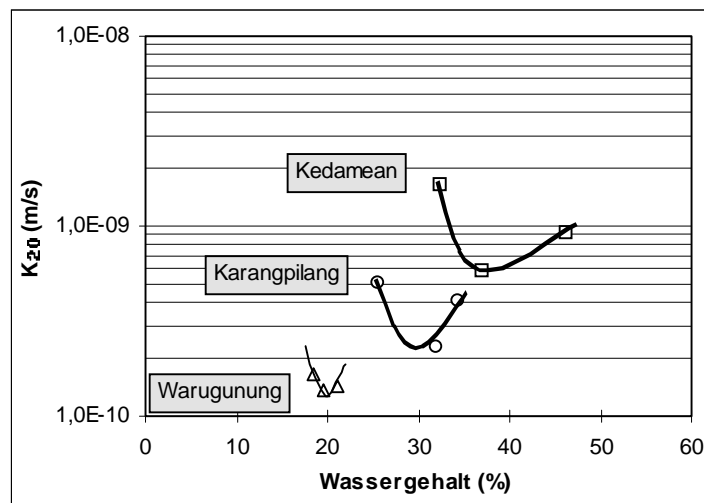


Abb. 4-9: Durchlässigkeitsbeiwert in Abhängigkeit vom Wassergehalt bei der Verdichtung für die untersuchten Tone

Tab. 4-8: Parameter der untersuchten Tone des Proctoroptimums im Vergleich zu den geringsten Durchlässigkeiten (K_f sind in $T = 20^\circ\text{C}$ umgerechnet)

	W_{pr} (%)	ρ_{pr} (g/cm ³)	K_{pr} (m/s)	W_{min} (%)	ρ_{min} (g/cm ³)	K_{min} (m/s)
Kedamean	33	1,25	$1,1\text{E-}9$	38	1,20	$4,1\text{E-}10$
Karangpilang	25	1,38	$5,45\text{E-}10$	31	1,36	$2,5\text{E-}10$
Warugunung	17	1,59	$1,87\text{E-}10$	21	1,57	$1,2\text{E-}10$

Die TA-Siedlungsabfall fordert, daß der K-Wert der verdichteten mineralischen Deponiebasisabdichtung kleiner als $6,5 \text{ E-}10$ ($T = 20^\circ\text{C}$) sein soll. Um diese Anforderungen zu erfüllen, muß der Kd-Ton mit einem Wassergehalt von ca. 38 % für Aggregatgrößen von $< 5 \text{ mm}$ oder mit einer Aggregatgröße von $< 2 \text{ mm}$ verdichtet werden.

c. Einfluß der chemischen Lösung

Die Ermittlung der Veränderung bzw. Stabilität der Durchlässigkeit verdichteter Tonproben gegenüber chemischen Lösungen wurde in der Triaxialzelle durchgeführt. Die Durchführung der Untersuchung verläuft wie die K-Wert-Bestimmung, aber hier wurden chemische Lösungen als Permeant verwendet. Diesen Versuch bezeichnet man auch als Perkolations- oder Säulenversuch.

In dieser Arbeit wurden die Lösungen $0,005 \text{ M Pb(NO}_3)_2$ mit einem pH-Wert von 4,8 und $0,005 \text{ M Zn(NO}_3)_2$ mit einem pH-Wert von 5,7 als Permeant verwendet. Die Untersuchungen fanden ca. 6 Monate lang statt. Abbildung 4-10 stellt die Ergebnisse dar.

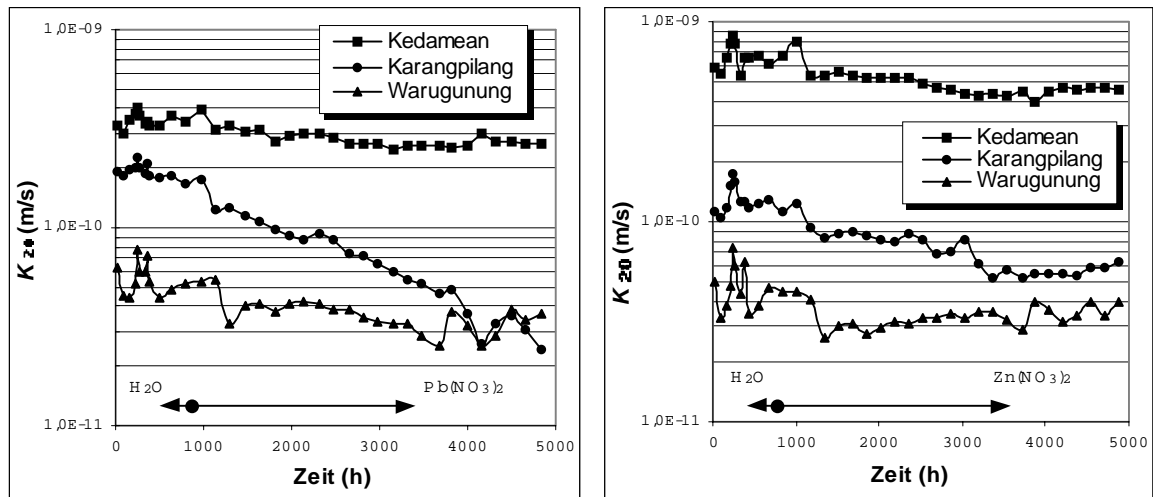


Abb. 4-10: Veränderung der Durchlässigkeit im Verlauf des Versuches, mit Wasser und chemischen Lösungen als Permeant (K_f wurden in $T = 20^\circ\text{C}$ umgerechnet)

Aus der Abbildung 4-10 ergab sich, daß die Durchlässigkeit des Kd- sowie Kr-Tones nach 2 Wochen und des Wg-Tones nach 3 Wochen infolge des Umtausches des Permeantes vom Wasser zu chemischen Lösungen abnimmt. Diese Abnahme ist auf die Verstopfung der Porenkanäle infolge der Fällung von Schwermetallen zurückzuführen. Verschiedene Minerale können den pH-Wert des Porenwassers erhöhen, sofern Schwermetalle durch die Bildung von Schwermetallhydroxiden ausfallen. In kalkhaltigen Tönen gewinnt auch die Fällung von Schwermetallkarbonaten, im besonderen Bleikarbonat, an Bedeutung (WAGNER, 1993).

Die Permeabilität des Kr-Tones, dessen Bestandteile von Kaolinit dominiert werden, zeigt eine stärkere Verringerung als die anderen Tone. Diese stärkere Abnahme erklärten MICHAEL & LIN (1954, in MESRI & OLSON, 1971) damit, daß der Ionisationsprozess des Permeantes die Dispersion und das *electroosmotic counterflow* von Kaolinit erhöhen kann, so daß sich dann die Durchlässigkeit verringert.

Obwohl saure Lösungen als Permeant für den Perkolationsversuch verwendet werden, stellt die Durchlässigkeit des karbonatischen Tones (Kd-Ton) keine Verminderung im Verlauf des Versuches (6 Monate) dar, aber sie zeigt eine Abnahmetendenz. Im Gegensatz dazu zeigt die Permeabilität des smektitischen Tones (Wg-Ton) eine Zunahmetendenz.

4.4.5.2 Diffusionsversuch

Zur Ermittlung der diffusiven Massenströme bzw. Diffusionskoeffizienten in verdichteten Tonproben für verschiedene Ionen wurde die von AZZAM (1993) entwickelte Diffusionszelle verwendet (Abb.4-11). Diese Diffusionszelle erlaubt es, feine bis mittelkörnige bindige Lockergesteine im Probenkörper bis zu 5 cm Dicke mit einem Durchmesser von 10 cm und unter instationären und quasistationären Versuchsbedingungen zu untersuchen.

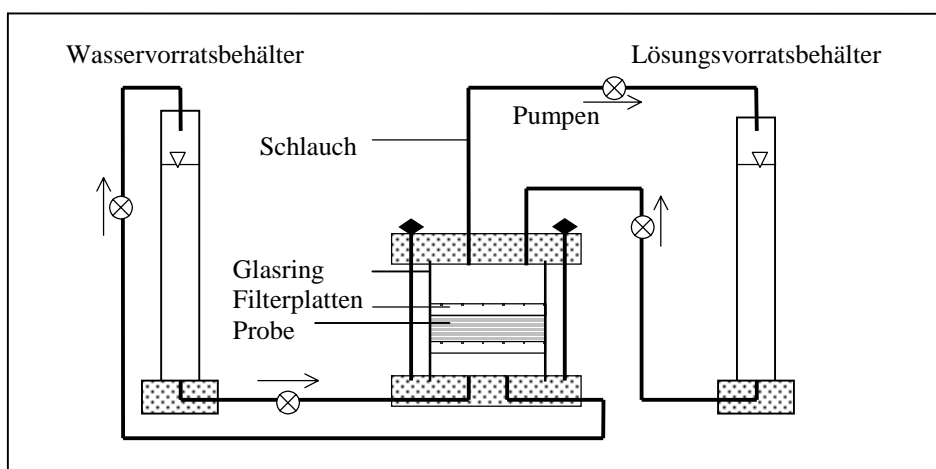


Abb. 4-11: Schematische Darstellung der von AZZAM entwickelten Diffusionszelle

Zum besseren Vergleich mit den Konvektions- und bodenphysikalischen Versuchen wurden die scheibenförmigen Probenkörper mit einem Durchmesser von 10 cm im Proctortopf verdichtet. Dabei wurde das Probenmaterial vor der Verdichtung auf einen optimalen Proctorwassergehalt eingestellt. Um die Versuchsdauer zu verkürzen, wurden die Probenkörper mit einer Dicke von 1 cm eingesetzt. Die so hergestellte Probe wurde dann mit Hilfe eines Stahlkolbens aus einem Stahlring in den Glasring der Zelle eingesetzt. Zur Vermeidung von Auswaschungen wurde ein Filterpapier jeweils zwischen Ton und Filterplatte gelegt. Zunächst wurde die Tonprobe durch eine Wasserströmung von unten nach oben in mehreren Tagen gesättigt.

Nach der Wassersättigung der Proben und nach Entleerung der Behälter wurde der untere Kreislauf mit deionisiertem Wasser C_0 gefüllt. Der obere Kreislauf wurde mit einer Lösung eines bestimmten Inhaltsstoffes in bekannter Konzentration C_u beaufschlagt.

Die Standrohrspiegelhöhen wurden so eingestellt, daß der hydraulische Gradient gleich Null ist, um eine konvektive Durchströmung auszuschalten.

Bei den instationären Versuchsbedingungen wurden die Flüssigkeiten in beiden Vorratsbehältern bis zum Ende der Versuchsphase beibehalten. Bei der quasistationären Versuchsordnung wurden die Salzlösungen in Behältern täglich ausgetauscht. Die Probenentnahme der Flüssigkeiten für die chemische Analyse erfolgte nach Versuchsordnung.

a. Instationäre Diffusion

Aufgrund der Leichtigkeit der Konzentrationsbestimmung und der gebundenen Kationen in Tonen wurde in dieser Arbeit 1 M KCl als Versuchslösung verwendet. Die Konzentration der KCl-Lösungen ist durch die Abmessung der Leitfähigkeit zu bestimmen. Die Leitfähigkeit der KCl-Lösungen hat eine lineare Beziehung mit der Konzentration. Dabei wurde auch 0,007 M $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ verwendet.

Bei dieser Versuchsordnung wird die zeitliche Konzentrationsänderung auf beiden Seiten der Tonprobe berücksichtigt, so daß eine Veränderung der gesamten Inhaltsstoffe nachgewiesen wird (Abb. 4.12). Daher ist es einfach, eine Bilanzierung durchzuführen. Dabei werden die Konzentrationen der Salzseite C_u und die Konzentrationen der Wasserseite C_o summiert und die Gesamtstoffmenge vor und nach dem Versuch berechnet. Diese Differenz stellt die im Tone akkumulierte (Adsorption, Porenlösung) Stoffmenge dar (AZZAM, 1993).

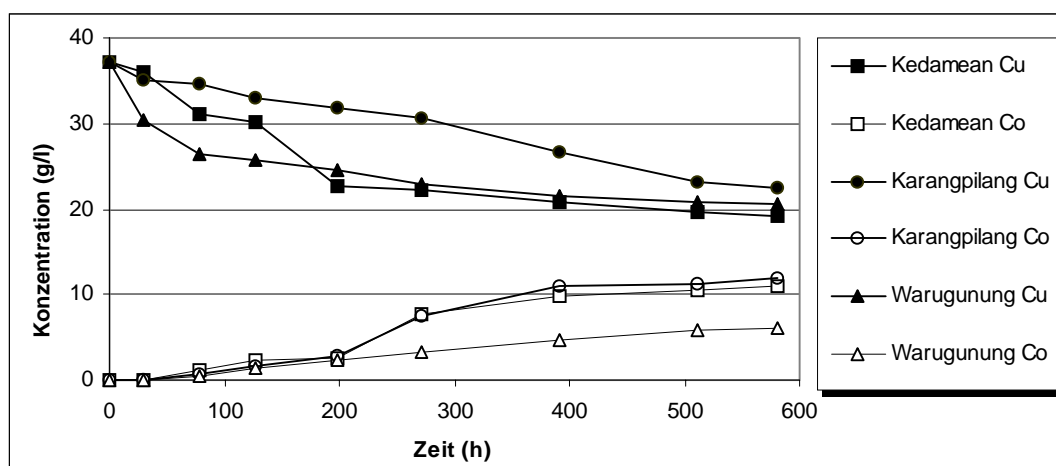


Abb. 4-12: Konzentrationsänderung beim Diffusionsversuch mit KCl-Lösung

Die Kurven zeigen eine Konzentrationsabnahme in der Salzseite C_u und eine Konzentrationszunahme in der Wasserseite C_o . Die Konzentrationsänderung der Salzseite verläuft in 2 Schritten. Im ersten Schritt zeigt die C_u -Kurve eine große Konzentrationsabnahme. Im zweiten Schritt flacht sie ab, und dann geht sie in die Nähe von einer linearen Kurve. Die Bewegungszeit vom ersten zum zweiten Schritt für jeden Ton ist sehr verschieden. Die Konzentrationsänderung der Wasserseite C_o verläuft in 3 Schritten. Im ersten Schritt zeigt die C_o -Kurve eine kleine Konzentrationszunahme, und dann nimmt sie stark im zweiten Schritt zu. Im dritten Schritt geht sie in eine mehr oder weniger lineare Kurve über. Eine asymptotische Annäherung der beiden Kurven an einen bestimmten Grenzwert konnte nach 4 Wochen nicht festgestellt werden. Hierzu bedürfte es einer wesentlich längeren Versuchsdauer.

Bei den Diffusionsversuchen mit Bleinitrat als Prüfliquidität wurden die Konzentrationen der entnommenen Proben mit einem Flammenphotometer (AAS-Flammen) am Institut für Technische Chemie untersucht. Die zeitlichen Konzentrationsänderungen sind in der Abbildung 4-13 dargestellt.

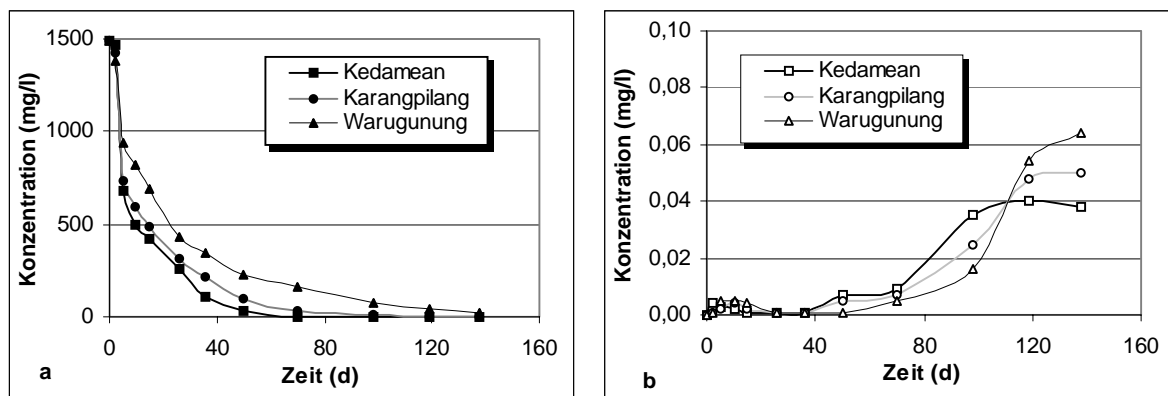


Abb. 4-13: Konzentrationsänderung von Blei in der Salzseite (a) und der Wasserseite (b)

Die Kurven der Konzentrationsänderungen sowohl der Salzseite C_u als auch der Wasserseite C_o haben das gleiche Aussehen wie die Versuche mit KCl als Prüfliquidität. Die C_u -Kurve ist in 2 Schritte eingeteilt, während die C_o -Kurve in 3 Schritten verläuft. Hier ist die Konzentrationszunahme der Wasserseite sehr schwach, während die Konzentrationsabnahme der Salzseite sehr stark ist. Diese Veränderung ist sowohl auf die Akkumulation (Adsorption, Kationenaustausch, Porenwasser) der Schwermetalle in Ton als auch die Fällung der Schwermetalle im oberen Behälter der Diffusionszelle

zurückzuführen. Während der Versuche erhöht sich der pH-Wert der Salzlösung des Kd-Tones von 4,8 bis zu 8,1; des Kr-Tones bis zu 7,4 und des Wg-Tones bis zu 8,2. Die Fällungsprodukte sind auf den Filterplatten genau zu erkennen.

Die zeitliche Konzentrationsänderung wird zur Ermittlung der Diffusionskoeffizienten herangezogen. Die Ergebnisse der Ermittlung der Diffusionskoeffizienten sind in der Tabelle 4-9 gegeben.

Tab. 4-9: Diffusionskoeffizient von K und Pb unter instationären Versuchsbedingungen

	Diffusionskoeffizient-K (E-10 m ² /s)				Diffusionskoeffizient-Pb (E-10 m ² /s)			
	Min.	Max.	Mittelw.	S.abweichung	Min.	Max.	Mittelw.	S. abweichung
Kedamean	2,02	7,00	4,33	2,31	0,004	14	2,8	4,2
Karangpilang	1,07	5,93	3,30	2,00	0,67	12	2,3	3,4
Warugunung	0,67	5,44	2,24	1,51	0,31	7,28	1,6	2,1

b. Quasistationäre Diffusion

Der Verlauf der Diffusion unter quasistationären Bedingungen wird durch den Massenstrom [Masse / Fläche * Zeit] beschrieben, da die Konzentration auf beiden Seiten der Proben während der Versuchsdauer konstant gehalten wird. Zur Beschreibung dieses Verlaufes betrachtet man die Konzentrationsänderung auf beiden Seiten vor dem Umtauschen der Flüssigkeit (Abb. 4-14).

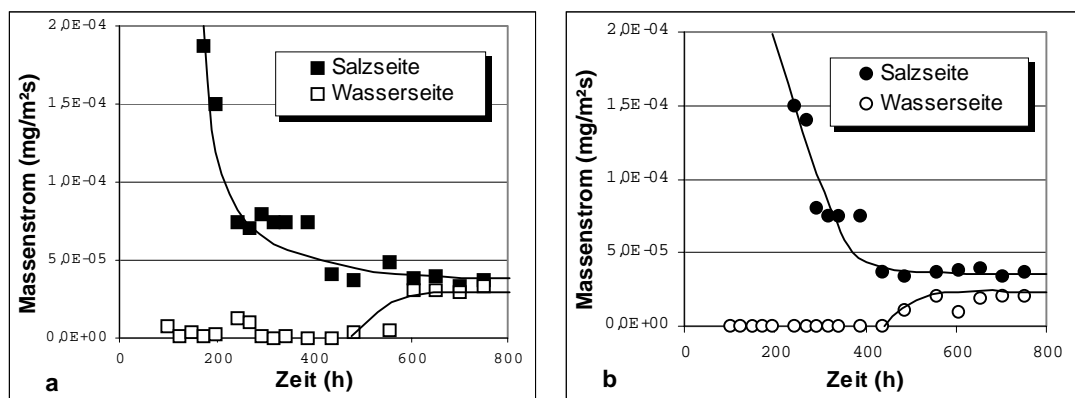


Abb. 4-14: Massenströme durch die Grenzflächen des Kedamean-Tones (a) und des Karangpilang-Tones (b) bei einer Ausgangskonzentration von 1 M KCl

Die durch Tortuosität und Adsorption verzögerte Diffusion bewirkt anfangs einen geringeren Massenstrom durch die Grenzfläche Ton/Wasser auf der Wasserseite bei gleichzeitig zu beobachtendem größerem Massenstrom auf der Salzseite. Nach der Belegung aller für Adsorptionsvorgänge freien Plätze in der Tonprobe nehmen der Eintragsmassenstrom und der Austragsmassenstrom den gleichen Wert ein. In dieser Phase stellen sich stationäre Diffusionsbedingungen ein. Die Differenz zwischen den beiden Massenströmen in der Anfangsphase beschreibt die adsorbierten und in der Porenlösung der Tone befindlichen Stoffe. Daher kann diese Menge durch die Summation aller Differenzen bzw. durch die Berechnung der Fläche zwischen den Kurven beider Massenströme ermittelt werden (AZZAM, 1993).

Die Berechnung der Diffusionskoeffizienten unter quasistationären Bedingungen erfolgt nach dem ersten Fick-Gesetz (Gleichung 4.4). Zur Berechnung der Konzentrationsdifferenz müssen die im Probenahmeintervall durchschnittlich anliegenden Konzentrationen auf der Salz- bzw. Wasserseite herangezogen werden. In der Praxis bedeutet diese Vorgabe die Festlegung eines Durchschnittswertes aus den Ausgangskonzentrationen der Lösungen auf der Salz- bzw. Wasserseite und Endkonzentrationen zur Zeit der Probenahme auf der entsprechenden Seite. Die Berechnungsergebnisse der Diffusionskoeffizienten werden in der Tabelle 4-10 gegeben.

Tab. 4-10: Diffusionskoeffizient für K^+ unter quasistationäre Versuchsbedingungen

	Diffusionskoeffizient D_e (E-9 m ² /s)			
	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Kedamean	0,04	9,28	2,88	3,31
Karangpilang	0,02	5,68	1,54	2,30
Warugunung	0,13	16,8	6,98	6,77

Aus dem Diffusionsversuch mit gleicher Probengröße und Flüssigkeit sowie gleicher Konzentration zeigen die genommenen Diffusionskoeffizienten einen Unterschied zwischen den instationären und quasistationären Versuchsbedingungen. CRANK (1975) beschreibt, daß der Diffusionskoeffizient von vielen Faktoren, u.a.: Versuchsbedingungen und -dauer, Konzentrationsgradient sowie Adsorptions- und Desorptionsprozess, zu beeinflussen ist. Eine größere Standardabweichung als die Mittelwerte zeigt eine große Schwankung der berechneten Diffusionskoeffizienten.

4.4.5.3 Perkulationsversuch

Der Perkulationsversuch (oder Säulenversuch) dient der Ermittlung des konvektiven und diffusiven Stofftransportes einschließlich der Sorption in einer Tonprobe unter Aufbringung eines hydraulischen Druckgradienten (WAGNER, 1993). SCHWEIGHOFER et. al. (1995) führten diese Versuche durch, um die Durchlässigkeits- und Mineraländerung der mineralischen Deponieabdichtung gegenüber chemischen Lösungen zu untersuchen. Mit diesen Versuchen läßt sich die eindimensionale hydrodynamische Dispersion bzw. Dispersionskoeffizient der Tonproben ermitteln (ROBBINS, 1989).

Neben der Ermittlung der Durchlässigkeitsänderung (s. 4.4.5.1) wurden in der vorliegenden Arbeit die Perkulationsversuche ebenfalls zur Bestimmung der Dispersionskoeffizienten durchgeführt. Bleinitrat- und Zinknitrat-Lösungen mit einer Konzentration von 0,005 M wurden als Permeant verwendet. Aufgrund der geringen Durchflußmenge wurden die Proben für die chemische Analyse einmal pro Woche genommen. Die Konzentration der entnommenen Proben wurde spektralanalytisch mit einem Graphitrohrphotometer (AAS-Graphitrohr) am Institut für Hydrogeologie untersucht. Die zeitliche Konzentrationsänderung während des Perkulationsversuches ist in der Abbildung 4-15 dargestellt.

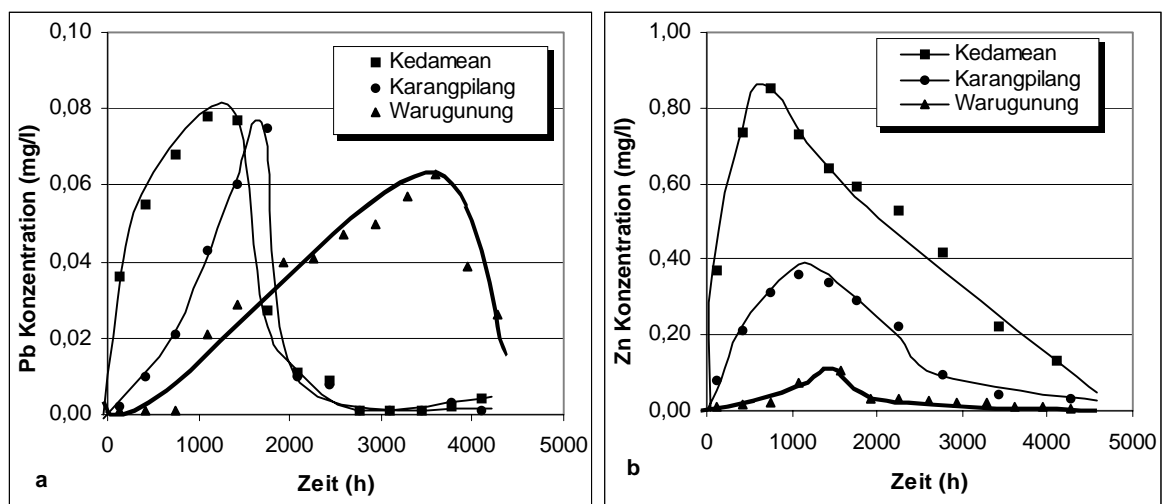


Abb. 4-15: Zeitliche Konzentrationsveränderung bei dem Perkulationsversuch

Die Konzentrationskurven der Perkulationsversuche zeigen eine Glockenform. Bei den Versuchen mit den $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ - und $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ -Lösungen als Permeant trat die Spitze der Kurve des Wg-Tones, dessen Durchlässigkeitsbeiwert am niedrigsten ist, am spätesten auf, und seine Spitze ist am niedrigsten.

Die glockenförmige Kurve der Konzentration in Abhängigkeit von der Zeit stellt statistisch eine normale Distribution oder Gauss-Verteilung dar. Bei der Beziehung zwischen der Gauss-Verteilung und deren longitudinalen hydrodynamischen Dispersionskoeffizient D_L lautet es:

$$D_L = (v^2 \sigma_t^2) / 2 t \tag{4.19}$$

wobei t die Zeit und σ die Standardabweichung ist.

Die Standardabweichung σ ist graphisch aus der Durchbruchkurve herangezogen. Die Durchbruchkurve lässt sich durch eine Darstellung der relativen Konzentration (C/C_{max}) als Funktion der Zeit t konstruieren, wobei C_{max} die höchste Konzentration der perkolierten Lösungen (Perkolat) ist (Abb. 4-16). Bei dem Säulenversuch mit einer Schwermetalllösung als Permeant ist die Konzentration des Perkolats ständig geringer als die Eingangskonzentration C_0 , da ein Teil der Stoffe von Tonen adsorbiert wurde und in den Poren der Tone vorkommt (ROBBINS, 1983 in DOMINICO, 1997). Es lautet:

$$2\sigma_t = (t_{84} - t_{16}) \tag{4.20}$$

wobei t_{84} und t_{16} die Durchbruchzeiten der relativen Konzentrationen von 0,84 und von 0,16 sind. Die errechneten longitudinalen Dispersionskoeffizienten sind in der Tabelle 4-11 gegeben.

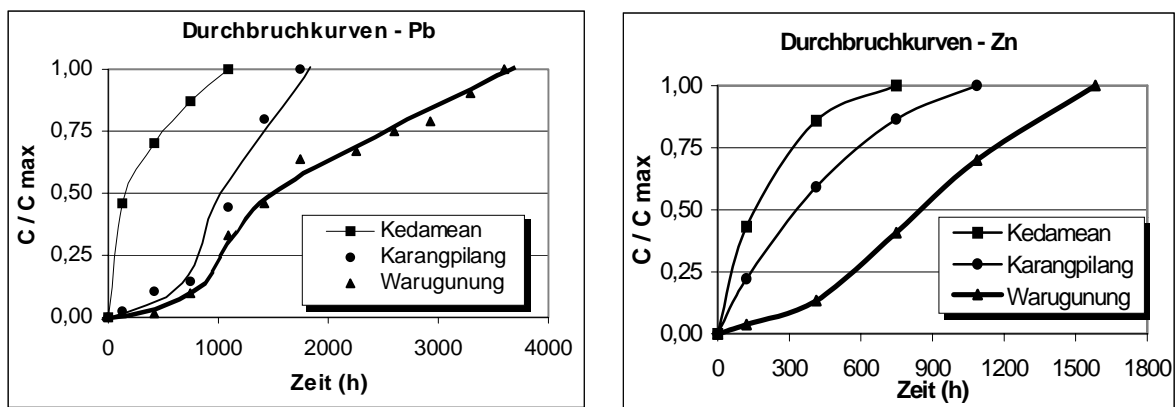


Abb. 4-16: Durchbruchskurven der untersuchten Tone beim Perkolationsversuch

Tab. 4-11: Longitudinale hydrodynamische Dispersionskoeffizienten

	Pb (E-13 m/s)	Zn (E-13 m/s)
Kedamean	1140	176
Karangpilang	11,6	5,95
Warugunung	7,9	4,25

4.4.5.4 Schüttelversuch (Batch-Versuch)

Zur Ableitung einer mathematischen Beziehung zwischen der Konzentration der gelösten und der sorbierten Phase bzw. Adsorptionsisothermen lassen sich die sogenannten Batch-Versuche durchführen. Im Rahmen dieser Arbeit wurden Adsorptionsisotherme für drei Tonproben und zwei Schwermetalllösungen sowie KCl-Lösungen erstellt. Bei dem Schüttelversuch spielen folgende Einflußgrößen eine wichtige Rolle: Stoffbestand der Probe, Ausgangskonzentration der Lösung, Proportion zwischen Lösungsvolumen und Probemenge, pH-Wert, Schütteldauer, Temperatur, usw.

Bei den Schüttelversuchen wird eine bestimmte getrocknete Probe mit einer Lösung bestimmter Konzentration in Suspension gebracht und in einer abgeschlossenen Fläche geschüttelt. Nach einer Laufzeit werden die Proben vom Schütteltisch genommen. Der Überstand über dem absinkenden Ton kann nach zwei Nächten dekantiert und der aktuelle Lösungsinhalt analysiert werden. Die Differenz zwischen der Ausgangskonzentration und dem Lösungsinhalt nach dem Versuch ergibt die adsorbierte Stoffmenge.

Zur Ermittlung des Gleichgewichtszustandes und der idealen Proportion zwischen Ton und Lösung wurden 5 Vorversuche für jede Tonprobe mit gleicher Lösungskonzentration und verschiedenen Schüttelzeiten (von 5 bis 25 Tagen) durchgeführt. Bei diesen Vorversuchen beträgt die Konzentration von $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ca. 0,01 M und von $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ ca. 0,007 M, die Probemenge ca. 5 g und das Lösungsvolumen ca. 50 ml. Abbildung 4-17 stellt die Untersuchungsergebnisse dar. Mit diesem Vorversuch konnten die Einflüsse der unterschiedlichen Faktoren auf den Batch-Versuch relativ genau gekennzeichnet werden.

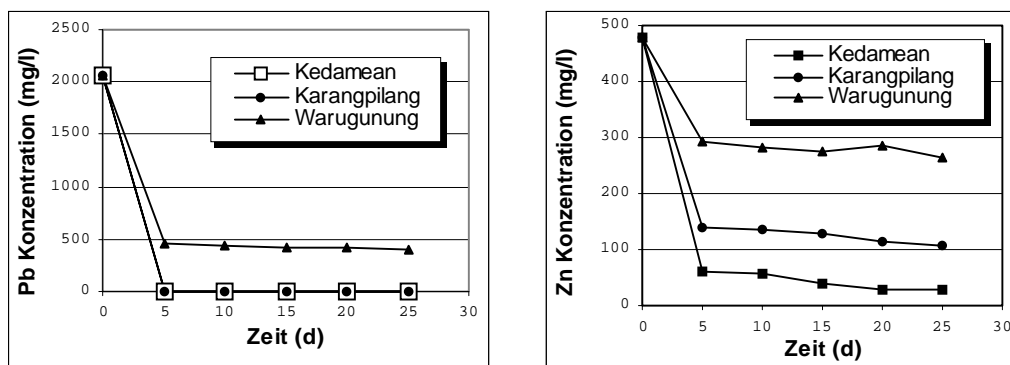


Abb. 4-17: Erreichter Gleichgewichtszustand der Suspension während der Vorversuche

Die untersuchten Tone zeigen grundsätzlich ein ähnliches Verhalten untereinander im Hinblick auf die Adsorption. Bei allen Proben nimmt die adsorbierte Stoffmenge im Laufe des Vorversuchs zu und beginnt sich nach 5 Tagen einem konstanten Endwert zu nähern. Bei diesem Zustand stellt sich ein endgültiges Gleichgewicht zwischen freien und sorbierten Ionen ein. Eine weitere Information, die in der Abbildung 4-17 zum Ausdruck kommt, ist die Wirkung des Karbonatanteils am Schütteltest. Je höher der Karbonatanteil ist, desto größer ist die Sorptionskapazität für Schwermetalle.

Zur Erstellung der Adsorptionsisothermen wurden 5 Hauptversuche für jede Tonprobe mit verschiedenen Lösungskonzentrationen von 0,001 M bis 0,01 M durchgeführt. Aufgrund der Vorversuchsergebnisse wurden 3 g Tonprobe zur Ermittlung der Sorption an Blei und 5 g Tonprobe an Zink mit einer Lösung von 50 ml bei einer Schüttelzeit von 1 Woche ausgesetzt. Die Abbildung 4-18 zeigt exemplarisch die Kurven der Freundlich- und Langmuir-Adsorptionsisothermen aus einigen Versuchen. Die Parameter der Freundlich- und Langmuir-Adsorptionsisothermen sind in der Tabelle 4-14 zusammengefasst.

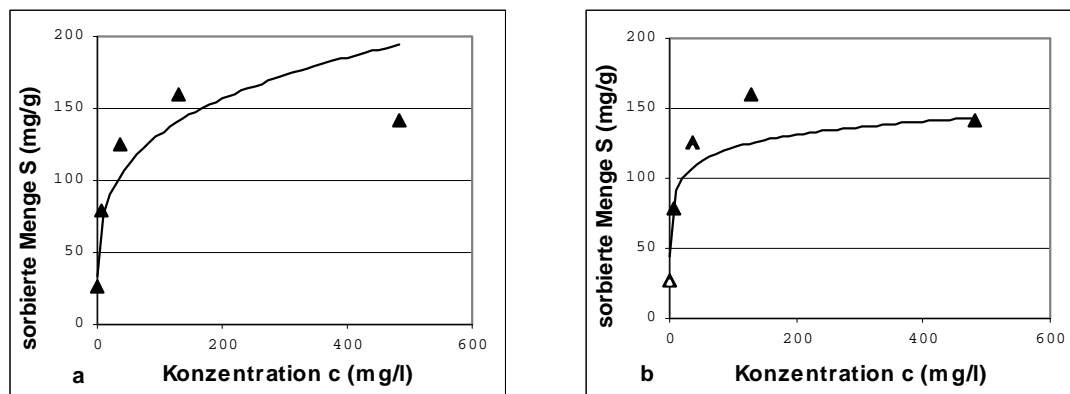


Abb. 4-18: Adsorptionisothermen des Warugunung-Tones an Zink aus den Batch-Versuchen, Freundlich-Isotherme (a) und Langmuir-Isotherme (b)

Tab. 4-12: Adsorptionsparameter für Pb und Zn nach den Freundlich and Langmuir-Isothermen

	Freundlich-Isotherme				Langmuir-Isotherme			
	Pb		Zn		Pb		Zn	
	k_F	ϵ	k_F	ϵ	Q	b	Q	b
Kedamean	246.14	0.49	26.19	0.42	769.23	0.72	108.70	0.42
Karangpilang	119.99	0.25	20.14	0.32	333.33	1.67	68.03	0.92
Warugunung	66.72	0.34	42.93	0.24	294.11	0.27	126.58	0.76

Bei allen Tönen und Schwermetallen zeigte sich eine deutliche Abhängigkeit der Sorption von der Lösungskonzentration, d.h. ein Anstieg des festgelegten Schwermetallanteils mit zunehmender Schwermetallkonzentration in der Gleichgewichtslösung.

Aus den Versuchen mit der $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ -Lösung ergab sich eine Reihenfolge der maximalen Blei-Adsorptionsparameter (k_F bei dem Freundlich-Isotherme oder Q bei dem Langmuir-Isotherme): Kedamean-Ton > Karangpilang-Ton > Warugunung-Ton. Diese Reihenfolge ist ähnlich mit der Reihenfolge des Kalkgehaltes (s. 4.4.2.2). Es ist festzuhalten, daß sich die Sorption der Tonsedimente an Blei mit zunehmendem Kalkgehalt der Tone erhöht. In diesem Fall spielt auch die Fällung durch die Bildung von Bleikarbonat eine wesentliche Rolle. Dieses Verhältnis wurde bei den Perkolationsversuchen nicht beobachtet.

Bei den Versuchen mit der $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ -Lösung wurde deutlich eine Zunahme der Zink-Adsorptionsparameter in der Reihenfolge Wg-Ton > Kd-Ton > Kr-Ton erkannt. Diese Reihenfolge hat eine Ähnlichkeit mit der Reihenfolge des pH-Wertes der Tone. Es ergab sich, daß die Sorption von Zink im allgemeinen mit steigendem pH-Wert der Tone zunimmt. Diese Beobachtung wurde auch bei den Perkolationsversuchen gemacht.

Aus den Batch-Versuchen ist zusammenzufassen, daß die Sorption von Schwermetallen im allgemeinen nicht nur von Tonmineralen gesteuert wird, sondern auch von Karbonaten und vom pH-Wert der Tone bestimmt wird.

Zur Erstellung der Adsorptionsisothermen von Kalium wurden 10 Versuche für jede Tonprobe durchgeführt. Als Prüfflüssigkeit wurden KCl-Lösungen mit Konzentrationen von 0,01 bis 1 M und einem pH-Wert von 5,8 bis 8,2 verwendet.

Aus den Schüttelversuchen des Kd- und Kr-Tones mit geringen Konzentrationen (< 0,09 M) ergab sich, daß die Konzentrationen in der Gleichgewichtslösung zugenommen haben (Desorptionsprozess). Da mehr Kationen auf der Tonmineraloberfläche als in der Lösung sind, bewegen sie sich zur Lösung zum Erreichen des Gleichgewichtszustandes. Die die Mineraloberfläche belegenden Alkali-Kationen, z. B. Na^+ , K^+ , lassen sich durch den Gehalt an Cl^- darstellen (s. 4.4.2.2). Bei dem Versuch mit hohen Konzentrationen (> 0,1 M) nimmt die Konzentration der Lösung ab (Adsorptionsprozess) (Abb. 4-19). Die Freundlich- und Langmuir-Konstanten sind nur bei den Versuchen mit hohen

Konzentrationen zu ermitteln (Tab. 4-13). Es ist deutlich zu erkennen, daß beim Kr-Ton die Adsorptionsisotherme im hohen Konzentrationsbereich durch eine Gerade angenähert werden kann. Beim Kedamean-Ton wird die Adsorption als nichtlinear betrachtet.

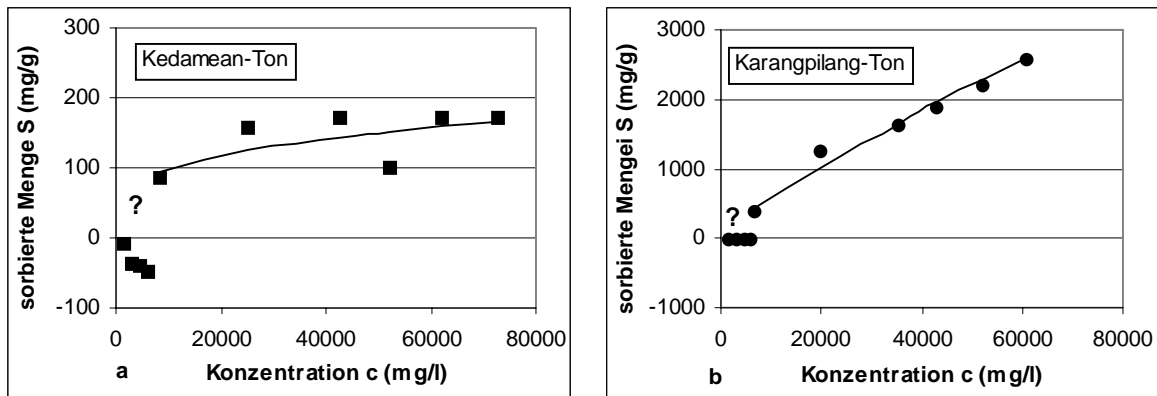


Abb. 4-19: Freundlich-Adsorptionisotherme des Kedamean-Tones (a) und des Karangpilang-Tones an Kalium (K)

Tab. 4-13: Adsorptionsparameter für Kalium (K) nach den Freundlich- und Langmuir-Isothermen

	Freundlich-Isotherme		Langmuir-Isotherme		Erläuterung
	k_F	ϵ	Q	b	
Kedamean	8,74	0,26	175,44	0,00012	Mit Anfangskonzentration von 0,1 bis 1,0 M
Karangpilang	0,2776	0,83	10000	6E-9	Mit Anfangskonzentration von 0,1 bis 1,0 M
Warugunung	?	?	?	?	Desorptionsprozess findet statt

Bei den Batch-Versuchen des Wg-Tones ließen acht Proben eine Zunahme der Konzentrationen bzw. Desorption erkennen, während zwei Proben eine Abnahme der Konzentration, d.h. Adsorption, zeigten. Da sämtliche Austauschplätze von Alkali-Ionen belegt sind, können die Adsorptionsprozesse nicht stattfinden. Die Sorptionskapazität des Tones ist für die betreffende Ionenspezies ausgeschöpft. In diesem Fall sind keine Adsorptionsisothermen darzustellen und keine Adsorptionsparameter zu ermitteln.

Im Vergleich zu den Schüttelversuchen mit den Schwermetalllösungen zeigten die Batch-Versuche mit den Alkali-Lösungen einen großen Unterschied. Bei den Versuchen mit

Alkalisalz spielten die belegte Mineraloberfläche bzw. Austauschplätze eine wesentlichere Rolle als der pH-Wert oder der Kalkgehalt.

4.4.6 Bewertung der Ergebnisse

Die Eignung der Tonsedimente für geologische Barriere oder mineralisches Dichtungsmaterial kann durch verschiedene Untersuchungen nachgewiesen werden. Viele Autoren oder Arbeitsgruppen beschrieben die Art und den Umfang der durchzuführenden Untersuchungen bei der Eignungsprüfung. Das zu verwendende Material ist mineralogisch zu untersuchen, bodenphysikalisch und -mechanisch zu klassifizieren sowie das Verhalten gegenüber dem Schadstofftransport zu ermitteln.

Um die Verwendbarkeit aller Tonsedimente zu bewerten, wurden die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen in einer Tabelle zusammengefaßt (Tab. 4-14a,b,c) und mit vorhandenen Normen von verschiedenen Autoren und Richtlinien verglichen. Aus dieser Tabelle ergibt sich, daß alle untersuchten Tone als mineralische Dichtungsstoffe geeignet sind. Im Vergleich zu den Anderen stellt der Karangpilang-Ton eine bessere Qualität dar, da er eine geringe Durchlässigkeit, eine höhere Stabilität gegen Schadstoffe und ein höheres Adsorptionsvermögen besitzt. Der Warugunung-Ton hat eine geringsten Durchlässigkeit, jedoch sein Langzeitverhalten und Adsorptionsvermögen sind nicht gewährleistet. Die Permeabilität des Kedamean-Tones kann geringer als der genormte Wert sein und wegen seinem hohen Kalkgehalt besitzt er ein hohes Adsorptionsvermögen an Schwermetalle.

Tab. 4-14a: Bewertung des Kedamean-Tones als Rohstoff für mineralische Deponiebasisabdichtung im Vergleich zu verschiedenen Literaturquellen

Parameter	Norm	Literatur	Untersuchungsergebnisse	Relative Bewertung	Erläuterung
Zusammensetzung					
- Tonmineral	≥ 10 Gw. %	TA-Sied.Abfall	12%	gut	
- Kalkgehalt	≤ 15 Gw. %	TA-Sied.Abfall	19,35%	befriedigend	
- organische Substanz	≤ 5 Gw. %	TA-Sied.Abfall	16,81%	befriedigend	
- gebundenes Chloridsalz	kein		110 mg/kg		
Bodenphysikalische Eig.					
- pH-Wert	kein		8,2		
- Feinstkornanteil (≤ 2µm)	≥ 20 Gw. %	TA-Sied.Abfall	12%	gut	
- Steinanteil (≥ 64 mm)	≤ 10 Gw. %	RdErl. d. MU	0%	gut	
- Korndichte	kein		2,57 g/cm ³		
- Schrumpfgrenze (W _s)	kein		20,1%		
- Plastizitätsgrenze (W _p)	kein		37,6%		
- Fließgrenze (W _L)	35–90 Gw. %	Oeltschner,1992,	76,4%	sehr gut	technische Gründe
- Plastizitätszahl (I _p)	15–65 Gw. %	Seymour, 1994	39,8%	sehr gut	
- Wasseraufnahmeverm.	kein		117%		
- Proctordichte (ρ _{pr})	kein		1,25 g/cm ³		
- Optimumwassergehalt	kein		33%		
Bodenmechanische Eig.					
- Reibungswinkel (θ)	kein		18,20°		Scherversuch
- Kohäsion (c)	kein		4,07 kPa		Einaxialver.
- einaxiale Druckfest. (q _u)	kein		3,2 kPa		
- undrainierte Scherfest.(s _u)	kein		1,6 kPa		
Transportmechanismen					
- Konvektionsversuch					
K _f –Proctor	6,5E-10 m/s	TA-Sied.Abfall	1,1E-9 m/s	befriedigend	Bei T = 20°C und i = 30
K _f –Minimum	kein		4,1E-10 m/s		
Stabilität gegenüber :	gewährleistet	DGEG, 1993			
Pb(NO ₃) ₂	kein		stabil	gut	Durchlässigkeitsänderung
Zn(NO ₃) ₂	kein		stabil	gut	
- Diffusionsversuch					
D _e -K ⁺ (instationär)	kein		4,3E-10 m ² /s		
D _e -K ⁺ (quasistationär)	kein		2,9E-9 m ² /s		
D _e -Pb ²⁺ (instationär)	kein		2,8E-10 m ² /s		
- Perkolationsstest					
D _L -Pb ²⁺	kein		1,1 E-10 m/s		
D _L -Zn ²⁺	kein		1,8 E-11 m/s		
- Schüttelversuch					
Q-Pb	kein		769,23 mg/g		Adsorptionskapazität von Langmuir-Is.
Q-Zn	kein		108,7 mg/g		
Q-K	kein		20,8 mg/g		

- TA-Sied.Abfall : TA-Siedlungsabfall

- RdErl. d. MU : in Niedersachsen gültiger Runderlaß des MU (vom 24.06.88)

Tab. 4-14b: Bewertung des Karangpilang-Tones als Rohstoff für mineralische Deponiebasisabdichtung im Vergleich zu verschiedenen Literaturquellen

Parameter	Norm	Literatur	Untersuchungsergebnisse	Relative Bewertung	Erläuterung
Zusammensetzung					
- Tonmineral	≥ 10 Gw. %	TA-Sied.Abfall	25%	sehr gut	
- Kalkgehalt	≤ 15 Gw. %	TA-Sied.Abfall	4,18%	sehr gut	
- organische Substanz	≤ 5 Gw. %	TA-Sied.Abfall	9,84%	befriedigend	
- gebundenes Chloridsalz	kein		330 mg/kg		
Bodenphysikalische Eig.					
- pH-Wert	kein		7,8		
- Feinstkornanteil ($\leq 2\mu\text{m}$)	≥ 20 Gw. %	TA-Sied.Abfall	25%	sehr gut	
- Steinanteil (≥ 64 mm)	≤ 10 Gw. %	RdErl. d. MU	0%	sehr gut	
- Korndichte	kein		2,59 g/cm ³		
- Schrumpfgrenze (W_s)	kein		8,7%		
- Plastizitätsgrenze (W_p)	kein		31,0%		
- Fließgrenze (W_L)	35–90 Gw. %	Oeltschner, 1992,	87,3%	sehr gut	technische Gründe
- Plastizitätszahl (I_p)	15–65 Gw. %	Seymour, 1994	31,0%	sehr gut	
- Wasseraufnahmeverm.	kein		107%		
- Proctordichte (ρ_{pr})	kein		1,38 g/cm ³		
- Optimumwassergehalt	kein		25%		
Bodenmechanische Eig.					
- Reibungswinkel (θ)	kein		15,32°		Scherversuch
- Kohäsion (c)	kein		2,03 kPa		Einaxialver.
- einaxiale Druckfest. (q_u)	kein		2,9 kPa		
- undrainierte Scherfest. (s_u)	kein		1,5 kPa		
Transportmechanismen					
- Konvektionsversuch					
K_f –Proktor	6,5E-10 m/s	TA-Sied.Abfall	5,5E-10 m/s	gut	bei T = 20°C und i = 30
K_f –Minimum	kein		2,5E-10 m/s		
Stabilität gegenüber :	gewährleistet	DGEG, 1993			
Pb(NO ₃) ₂	kein		abnahme	sehr gut	Durchlässigkeitsänderung
Zn(NO ₃) ₂	kein		abnahme	sehr gut	
- Diffusionsversuch					
D_e -K ⁺ (instationär)	kein		3,3E-10 m ² /s		
D_e -K ⁺ (quasistationär)	kein		1,5E-9 m ² /s		
D_e -Pb ²⁺ (instationär)	kein		2,3E-10 m ² /s		
- Perkolationsstest					
D_L -Pb ²⁺	kein		1,2 E-12 m/s		
D_L -Zn ²⁺	kein		6,0 E-13 m/s		
- Schüttelversuch					
Q-Pb	kein		333,3 mg/g		Adsorptionskapazität von Langmuir-Is.
Q-Zn	kein		68,0 mg/g		
Q-K	kein		18,7 mg/g		

- TA-Sied.Abfall : TA-Siedlungsabfall

- RdErl. d. MU : in Niedersachsen gültiger Runderlaß des MU (vom 24.06.88)

Tab. 4-14c: Bewertung des Warugunung-Tones als Rohstoff für mineralische Deponiebasisabdichtung im Vergleich zu verschiedenen Literaturquellen

Parameter	Norm	Literatur	Untersuchungsergebnisse	Relative Bewertung	Erläuterung
Zusammensetzung					
- Tonmineral	≥ 10 Gw.%	TA-Sied.Abfall	25%	sehr gut	
- Kalkgehalt	≤ 15 Gw.%	TA-Sied.Abfall	0,35%	sehr gut	
- organische Substanz	≤ 5 Gw.%	TA-Sied.Abfall	9,44%	befriedigend	
- gebundenes Chloridsalz	kein		1120 mg/kg		
Bodenphysikalische Eig.					
- pH-Wert	kein		8,4		
- Feinstkornanteil ($\leq 2\mu\text{m}$)	≥ 20 Gw. %	TA-Sied.Abfall	25%	gut	
- Steinanteil ($\geq 64\text{ mm}$)	≤ 10 Gw. %	RdErl. d. MU	0%	gut	
- Korndichte	kein		2,65 g/cm ³		
- Schrumpfgrenze (W_s)	kein		11,4%		
- Plastizitätsgrenze (W_p)	kein		20,3%		
- Fließgrenze (W_L)	35–90 Gw.%	Oeltschner,1992,	53,3%	sehr gut	technische Gründe
- Plastizitätszahl (I_p)	15–65 Gw.%	Seymour, 1994	33,5%	sehr gut	
- Wasseraufnahmeverm.	kein		104%		
- Proctordichte (ρ_{pr})	kein		1,59 g/cm ³		
- Optimumwassergehalt	kein		17%		
Bodenmechanische Eig.					
- Reibungswinkel (θ)	kein		18,7°		Scherversuch
- Kohäsion (c)	kein		5,1 kPa		Einaxialver.
- einaxiale Druckfest. (q_u)	kein		5,6 kPa		
- undrainierte Scherfest. (s_u)	kein		2,8 kPa		
Transportmechanismen					
- Konvektionsversuch					
K_f –Proktor	6,5E-10 m/s	TA-Sied.Abfall	1,6E-10 m/s	sehr gut	bei T = 20°C und i = 30
K_f –Minimum	kein		1,2E-10 m/s		
Stabilität gegenüber :	gewährleistet	DGEG, 1993			
Pb(NO ₃) ₂	kein		zunahme	befriedigend	Durchlässigkeitsänderung
Zn(NO ₃) ₂	kein		zunahme	befriedigend	
- Diffusionsversuch					
D_e -K ⁺ (instationär)	kein		2,2E-10 m ² /s		
D_e -K ⁺ (quasistationär)	kein		7,0E-9 m ² /s		
D_e -Pb ²⁺ (instationär)	kein		1,6E-10 m ² /s		
- Perkolationsstest					
D_L -Pb ²⁺	kein		7,9E-10 m/s		
D_L -Zn ²⁺	kein		4,3E-11 m/s		
- Schüttelversuch					
Q-Pb	kein		294,1 mg/g		Adsorptionskapazität von Langmuir-Is.
Q-Zn	kein		126,6 mg/g		
Q-K	kein		?		

- TA-Sied.Abfall : TA-Siedlungsabfall

- RdErl. d. MU : in Niedersachsen gültiger Runderlaß des MU (vom 24.06.88)

5 Zusammenfassung

Surabaya, die zweitgrößte Stadt in Indonesien mit einer Einwohnerzahl von etwa 2,85 Millionen, erfährt zur Zeit große Schwierigkeiten bei der Beseitigung bzw. Deponierung von Siedlungsabfällen. In dieser Stadtregion fallen ca. 2200 Tonnen Abfälle pro Tag an. Wegen der morphologischen Gegebenheiten des Stadtgebietes und der Nutzungskonkurrenz wird sich dieses Problem in der Zukunft immer mehr verschärfen. Daher stellt die Standortsuche für geeignete Deponien ein bedeutendes Lösungselement zu diese Krise dar. Zu diesem Zweck wurde eine Landeignungsanalyse durchgeführt, die auf der Grundlage von Kriterien für den modernen Deponiebau basiert. Im Rahmen dieser Arbeit wurde auch eine Bewertung der aufgelassenen Bergbaurestlöcher auf deren Eignung als Deponiestandort mit Hilfe der LeGrand-Methode durchgeführt. Bei beiden Analysen wurden insbesondere die Raumnutzung und -planung berücksichtigt.

Bei der Standortsuche und der Errichtung von Deponien spielen Tonsedimente eine entscheidende Rolle, da diese eine geeignete geologische Barriere darstellen und als Rohstoffe für mineralische Deponieabdichtungen verwendet werden können. Tonsedimente besitzen eine geringe Durchlässigkeit und eine hohe Rückhaltefähigkeit für Schadstoffe. Daher ist es wichtig, die Standorte hinsichtlich der Untergrundverhältnisse zu untersuchen und die geeigneten Tonvorkommen für die Gestaltung der Deponieabdichtung zu finden. Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Eignung von drei verschiedenen Tonen (Kedamean, Karangpilang- und Warugunung) geprüft.

Die Ergebnisse der Untersuchungen können wie folgt zusammengefaßt werden:

- Administrativ umfaßt das Untersuchungsgebiet die Surabaya-Stadtregion und den westlichen Bereich des Gresik-Landkreises sowie den nördlichen Teil des Sidoarjo-Landkreises. Das Arbeitsgebiet liegt in der immerfeuchten inneren Tropenregion mit einer monatlichen Niederschlagshöhe von ca. 140 mm und einer gering schwankenden Tagestemperatur.
- Die Prognose des Flächenbedarfs für Siedlungsabfalldeponien wurde für einen Zeitraum vom 1990 bis zum 2020 durchgeführt. Im Jahr 1990 liegt die Bevölkerungszahl bei 2,47 Millionen mit einer durchschnittlichen Zunahme von 1,1 % pro Jahr. Das Abfallaufkommen beträgt 0,59 kg/Tag/Person mit einer

durchschnittlichen Erhöhung von ca. 2,1 % pro Jahr. Die Reduzierung der Abfälle durch Wiederverwertung liegt bei 12% und durch Verbrennung bei 0,5 %. Die Summenmenge der Siedlungsabfälle im Jahr 2020 wird ca. 25,5E+6 Tonnen erreichen. Die Kapazität der vorhandenen Deponien - Lakarsantri, Keputih (ohne Sanierung und Wiederverwendung) und Benowo - wurde etwa 3,9E+6 Tonnen geschätzt, so daß der Flächenbedarf mit 21,6E+6 Tonnen oder 36E+6 m³ (0,6 t = 1 m³) errechnet wurde. Wenn 1 m² Fläche für die Deponierung von 5 m³ Abfall genutzt wird, dann werden ca. 72 ha Flächen benötigt.

- Physiographisch treffen sich im Untersuchungsgebiet drei Zonen. Dazu gehören das Rembang-Madura-Antiklinorium, das Kendeng-Antiklinorium und die Nordjava-Küstenebene.
- Die Morphologie des Surabaya-Gebietes und dessen Umgebung spiegelt eine Faltenstruktur mit W-E Achse wider. Nach der Genese und dem Relief läßt sich das Untersuchungsgebiet morphologisch in drei Einheiten unterteilen. Dazu gehören das gefaltete Hügelland, die gefaltete Ebene und die fluviolakustrische Ebene.
- Lithologisch bildet sich das Untersuchungsgebiet aus tertiären und quartären Gesteinen, die in sechs Formationen klassifiziert werden können. Von der ältesten zur jüngsten gehören dazu die Madura-, Sonde-, Lidah-, Pucangan- und Kabuh-Formation sowie die alluviale Ablagerung.
- Im Untersuchungsgebiet befindet sich nur ein bedeutsames Grundwasservorkommen, die Madura-Formation. Das Grundwasser kommt nur durchschnittlich ergiebig in der Kabuh- und Pucangan-Formation sowie im südwestlichen Bereich der alluvialen Ablagerung vor.
- Aus den drei Grundkarten bzw. den morphologischen / topographischen, geologischen und hydrogeologischen Karten lassen sich sechs quantifizierte thematische Karten erstellen. Zu den thematischen Karten gehören: das Überschwemmungsgebiet, der Abstand vom Gewässer, die Durchlässigkeit und die Zusammensetzung der lithologischen Einheit, das Grundwasserpotential und -gleichplan. Durch die lineare mathematische Kombination der thematischen Karten wurde eine Landeignungskarte

für SiedlungsabfalldPONen des Untersuchungsgebietes hergestellt. Mit dieser Methode läßt sich das Arbeitsgebiet in vier Zone klassifizieren: das ungeeignete Gebiet, die geeigneten Gebiete mit hohem, mittlerem und geringem Risiko.

- Für die praktische Anwendung soll die oben genannte Landeignungskarte mit der Raumnutzung und -planung simuliert werden. Hier ist das Positiv-Negativ-Verfahren geeignet. Die Landeignungskarte stellt eine positive Fläche dar, während die Raumnutzungs- und Raumplanungskarte die negative Fläche zeigen. Die verbleibenden Positivflächen in den Simulationskarten (Suchraumkarte I und II) sind die Flächen, die als Ackerland oder Reisfeld verwendet werden.
- Die Eignung der aufgelassenen Bergbaurestlöcher (Karangpilang, Warugunung, Lebanisuko, Karangandong und Gending) für die Anlage einer SiedlungsabfalldPONie und deren Grad des Gefährdungspotentials sowie deren Wahrscheinlichkeit der Kontamination wurde mit Hilfe der LeGrand-Methode bewertet. Dieses Verfahren beschreibt die abschließende Charakteristik bzw. geologische und hydrogeologische Parameter in einem numerischen Wert und überträgt die Ergebnisse in einer normierten Form. In dieser Arbeit wurden sowohl die Wirtschaftsaspekte bzw. vorhandene Infrastruktur als auch die raumordnerischen Aspekte berücksichtigt. Aus dieser Bewertung ergibt sich, daß zwei aufgelassene Tagebaue (Warugunung und Karangandong) für die Anlage von Deponien geeignet sind.
- Für die Eignungsprüfung der drei verschiedenen Tone als geologische Barriere und Rohstoff für mineralische Deponiebasisabdichtungen wurden die Untersuchungen in Bezug auf Stoffbestand, bodenphysikalische und bodenmechanische Eigenschaften sowie Schadstoffrückhaltevermögen durchgeführt. Aus dem Vergleich zwischen den Untersuchungsergebnissen und den Werten aus verschiedenen Literaturquellen ergab sich, daß die untersuchten Tonsedimente (Kedamean, Karangpilang und Warugunung) die Anforderungen an die mineralischen Dichtungsstoffe erfüllen. Im Vergleich zu den anderen stellt der Karangpilang-Ton eine bessere Qualität dar, da er die geringe Durchlässigkeit, die höhere Stabilität gegen Schadstoffe und das höhere Adsorptionsvermögen besitzt. Als geologische Barriere sind die tertiären Tone geeignet, da sie eine geringe Gebirgsdurchlässigkeit ($K_f < 1E-7$) und eine große Mächtigkeit haben.

6 Literaturverzeichnis

ALTENER, S. P. & GRIM, R. E. (1990): Mineralogy, Chemistry and Diagenesis of Tuffs in Sucker Lake Formation (Miocene) Eastern Oregon. *Clays and Clay Minerals Vol. 38*, p. 561 - 572

ASTM (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIAL) D 2216-90, D 4318, D 4943, D 421, D 422, D 854, D 2487-85, D 698-78, D 2166-85, D 3080-90, D 2166-85, D 3080-90

ASCH, K. (1997): Siedlungsabfalldeponien : Standortsuche mit Hilfe von geografischen Informationssystemen. *Zeitschrift Angewandte Geologie Heft 43*, S. 44 – 49

AZZAM, R. (1989): Einige Aspekte des Verdichtungsverhaltens und der Durchlässigkeitseigenschaften mineralischer Abdichtung. *Mitt. zur Ingenieur- und Hydrogeologie Heft 32*, Aachen

AZZAM, R. (1993): Stofftransportprozesse in natürlichen Dichtungsstoffen unter Berücksichtigung der Verdichtbarkeit sowie des Einflusses strukturverändernder Chemikalien auf die Materialeigenschaften. *Mitt. zur Ingenieur- und Hydrogeologie Heft 49*, Aachen

AZZAM, R. (1994): Stofftransportprozesse und deren Einflußfaktoren in mineralischen Dichtungsstoffen und geologischen Barrieren. *Proceeding World Mining Congress*, Sofia

BARNER, J. (1975): Einführung in die Raumforschung und Landesplanung. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart

BENSON, C. H. & DANIEL, D. E. (1990): Influence of Clods on Hydraulic Conductivity of Compacted Clay. *Journal of Geotechnical Engineering Vol. 116*, p. 1231-1248

BEMMELEN, R. W. (1949): Geology of Indonesia Vol. IA. Martinus Nijhoff, The Hague, Netherlands

BENNY, A. et al (1989): Laporan Penyelidikan Geologi Teknik Bahan galian Golongan C dan Tempat Pembuangan Sampah di Kotamadya Surabaya dan Kabupaten Gresik Jatim. Direktorat Geologi Tata Lingkungan, Departemen Pertambangan dan Energi, Bandung. tidak dipublikasikan

Berg, C. G. et. al., (Hrsg.) (1993): TA SIEDLUNGSABFALL – Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen mit Erläuterungen. In *Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis*, Schmidt Verlag, Berlin

BILITEWSKI, B. et al (1994): Abfallwirtschaft 2. Auflage. Springer-Verlag, Berlin

BOWLES, J. E. (1992): Engineering Properties of Soils and Their Measurement. McGraw Hill Inc., New York

BROWN, H. S. & LEGRAND, H. E. (1981): Perspective on Management and Disposal of Hazardous Wastes. *Bulletin of Association of Engineering Geologists Vol. 18*, p. 231-235

- CHRISTENSEN, T. H. et. al. (1994): Landfilling of Waste: Barriers. E & FN Spon, London
- CORNEL, R. M. & AKSOYUGLU, E. S. (1991): Simultaneous determination of the cation exchange and the exchangeable cation on marl. *Clay Minerals Vol. 26*, p. 567 - 571
- CRANK, J. (1975): The Mathematics of Diffusion 2nd Edition. Oxford University Press
- CUSSLER, E. (1984): Diffusion, mass transfer in fluid systems. Cambridge Univ. Press
- CZURDA, K. A. (1993): The Triple Multimineral Barrier for Hazardous Waste Encapsulation. *Bulletin of Engineering Geology No. 34*, p. 203 - 209
- DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR ERD- UND GRUNDBAU (1993): GDA-Empfehlungen des Arbeitskreises Geotechnik für Deponie und Altlasten 2. Auflage. Ernst & Sohn, Berlin
- DIN (DEUTSCHE INDUSTRIE NORM) 18132, 18129, 18136, 18137
- DOMENICO, P. A. & SCHWARTZ, F. W. (1997): Physical and Chemical Hydrogeology 2nd edition. John Wiley and Sons, New York
- DÖRHÖFER, G. (1993): Die Umsetzung der Anforderung an die geologische Barriere bei Einrichtung von Deponien. *Umweltgeologie Heute Heft 1*, S. 21 - 31, Ernst & Sohn, Berlin.
- DRESCHER, J. (1987): Standortanforderungen für Deponie aus geowissenschaftlicher Sicht, in *Deponie, Ablagerung von Abfällen*. EF Verlag, Berlin
- ELSBURY, B. R. et. al. (1990): Lessons Learned from Compacted Clay Liner. *Journal of Geotechnical Engineering Vol. 116*, p. 1641 – 1660
- EXLER, H. J. et al (1980): Untersuchung und Bewertung der Grundwasserbeschaffenheit in der Umgebung von Ablagerungsplätzen. *Müll und Abfall Heft 12*, S. 33 - 39
- FARRAH, H., HATTON, D. & PICKERING, W. F. (1980): The Affinity of Metal Ions for Clay Surfaces. *Journal of Chemical Geology Vol. 28*, p. 55 - 68
- GALAN, E. et. al. (1993): Properties and application of diatomic materials from SW Spain. *Journal of Applied Clay Science Vol. 8*, p. 1 – 18
- GUGENHEIM, S. & MARTIN, R. T. (1995): Definition of Clay and Clay Mineral, Joint Report of the AIPEA Nomenclature and CMS Nomenclature Committees. *Clay and Clay Minerals Vol. 43*, p. 255 - 256
- HASENPATT, R. , DEGEN, W. & KAHR, G. (1989): Flow and Diffusion in Clays. *Applied Clay Science Vol. 4*, p. 179 - 192
- HILTMANN, W. & STRIBNY, B. (1998): Tonmineralogie und Bodenphysik, *Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten Band 5*. Springer Verlag
- HOPKINS, L. D. (1977): Methods for Generating Land Suitability Maps; A Comparative Evaluation. *Journal of American Institute of Planners Vol. 43*, p.386 – 400.

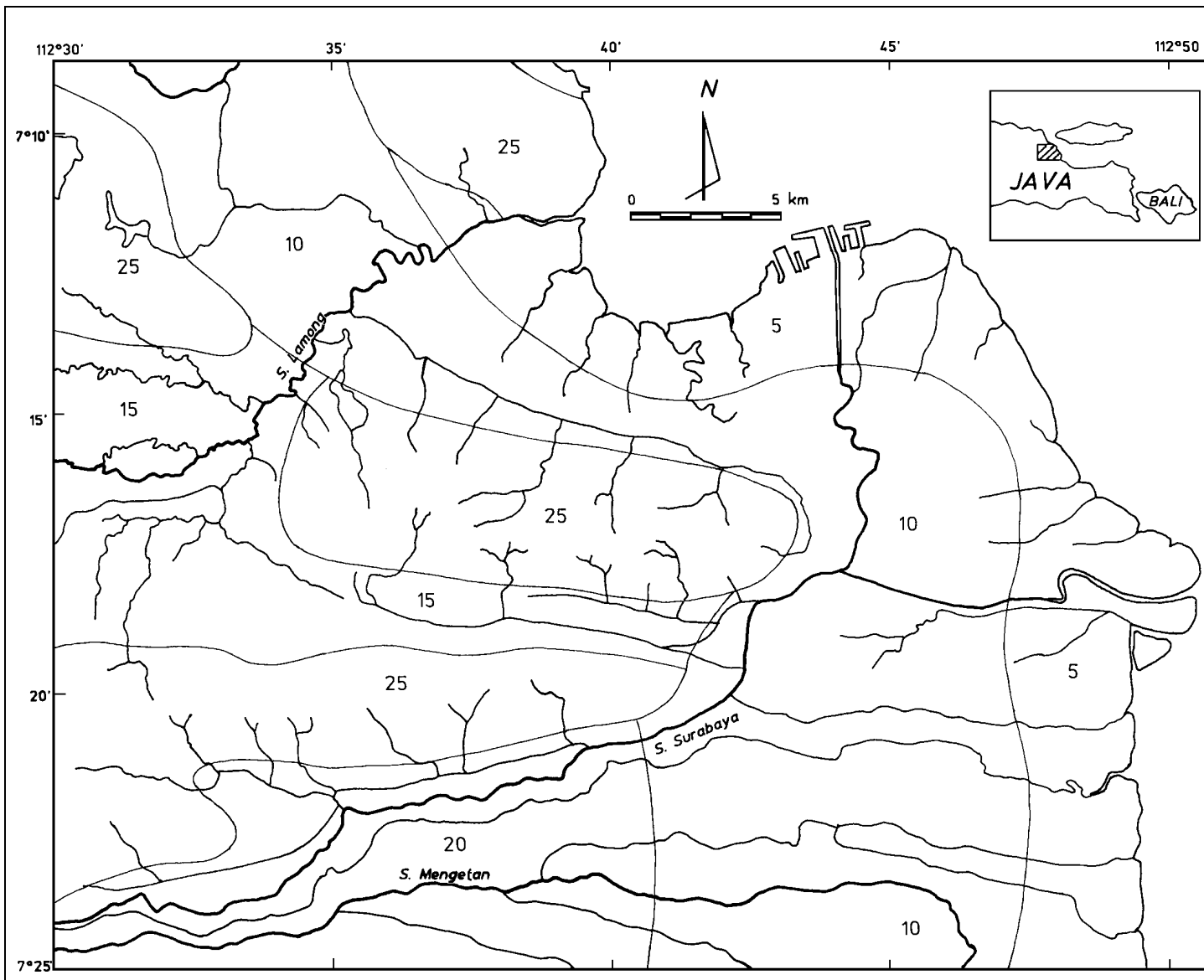
- HORST, M. (1997): Wasserdurchlässigkeitsbestimmungen zur Qualitätssicherung mineralischer Abdichtungen. Dissertation der TU Braunschweig
- INDOCONSULT (1992): Laporan Akhir Studi Pengembangan Kawasan Industri & Tata Ruang beserta Dampaknya pada Daerah Tingkat II Kabupaten Gresik. PT. Petrokimia & PT. Semen Gresik, tidak dipublikasikan
- JASMUND, K. & LAGALY, G. (1992): Tonminerale und Tone; Struktur, Eigenschaften, Anwendung und Einsatz. Steinkopf Verlag, Darmstadt
- JICA, JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (1982): Urban Development Planning on Gerbangkertasusila Region (Surabaya Metropolitan Area), Final Report. Directorate General of Cipta Karya, Ministry of Public Work Republic of Indonesia, unpublished
- JICA (1993): The Study on the Solid Waste Management Improvement for Surabaya City in The Republic of Indonesia, Final Report. Direktorat General of Cipta Karya, Ministry of Public Works Republic of Indonesia, unpublished
- JESSBERGER, H. L. (1990): Some Geotechnical Aspects of Waste Disposal. *Proceeding of 6th IAEG Congress*, Balkema, Rotterdam
- KANTOR STATISTIK SURABAYA (1987 - 1996): Surabaya dalam Angka. Kantor Statistik Surabaya
- KATILI, J. A. (1971): A Review of The Geotectonic Theories and Tectonic Maps of Indonesia, in *Advancement of Geoscience in The Indonesia Region*. Indonesia Association of Geologists, Bandung
- KIDD, C. H. & HANCOCK, J. S. (1984): Applicability of LeGrand's System for Evaluating Waste Disposal Sites in Australia and New Zealand. *Papers of the International Conference on Groundwater and Man Vol. 2*, Australian Water Resources Council
- KLOTZ, D. (1990): Labormethoden zur Bestimmung der Schadstoffmigration. *Mitt. d. Inst. f. Wasserwesen der Univ. Bundeswehr, München, Bd. A., S. 263 - 275*
- KONTA, J. (1995): Clay and Man; Clay raw material in the service of man. *Applied Clay Science Vol. 10*, p. 275 - 335
- LANE, W. N. & McDONALD, R. R. (1983): Landsuitability Analysis; Landfill Siting. *Journal of Urban Planning and Development Vol. 23*, p. 50 - 61
- LEGRAND, H. E. (1980): A Standardized System for Evaluating Waste Disposal Sites. National Water Well Association
- MESRI, G. & OLSON, R. E. (1971): Mechanisms Controlling the Permeability of Clays. *Clay and Clay Minerals Vol. 19*, p. 151 - 158
- MURRAY, H. H. (1991): Overview - Clay Mineral application. *Applied Clay Science Vol. 5*, p. 379 - 400

- OELTSCHNER, H. (1992): Anforderungen an die Geologie, Hydrogeologie und Geotechnik beim Bau von Deponien. In *Abdichtung von Deponien und Altlasten*, EF Verlag, Berlin
- OLSCHOWY, G. (1987): Abfalldeponie Standortwahl, Gestaltung und Einordnung in die Landschaft. In *Deponie, Ablagerung von Abfällen*, EF Verlag, Berlin
- PACZYNA, M. (1995): Abfallentsorgung und Raumplanung als sozialgeographisches Konfliktfeld. Dissertation der Universität zu Köln
- PUSPOWARDYO, S. (1985): Peta Hidrogeologi Daerah Surabaya. Direktorat Geologi Tata Lingkungan Departemen Pertambangan dan Energi, Bandung
- RdErl. D. MU (1988): Durchführung des Abfallgesetzes, Abdichtung von Deponien für Siedlungsabfälle in Niedersachsen, 24. 06. 1988
- REUTER, E. (1988): Durchlässigkeitsverhalten von Tonen gegenüber anorganischen und organischen Säuren. *Mitt. des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik TU Braunschweig Heft 26*
- ROBBINS, G. A. (1989): Methods for Determining Transverse Dispersion Coefficient of Porous Media in Laboratory Column Experiment. *Water Resources Research Vol. 25*, p. 1249 - 1258
- ROEHL, K. E. & CZURDA, K. (1998): Diffusion and solid speciation of Cd and Pb in clay liners. *Applied Clay Science Vol. 12*, p. 387-402
- ROWE, R. K., QUIGLEY, R. M. AND BOOKER, J. R. (1995): Clayey Barrier System for Waste Disposal Facilities. E & FN Spon, London
- ROWELL, D. L. (1997): Bodenkunde, Untersuchungsmethoden und ihre Anwendung Springer-Verlag
- SCHEIBER, R. & RÖTZER, H. (1992): Untersuchung über die Ausbreitung von Schadstoffen in Luft, Wasser und Boden. In *Deponietechnik und Entsorgungsbergbau*. Balkema, Rotterdam
- SCHEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. (1992): Lehrbuch der Bodenkunde. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart
- SHELLHORN, M. (1992): Experimentelle Untersuchung der mineralischen Veränderungen von Tonmineralen nach Kontakt mit Deponiesickerwässern im Hinblick auf das Langzeitverhalten von Deponiebasisabdichtungen. Dissertation der TU Clausthal
- SCHNEIDER, W. & GÖTTNER, J. J. (1991): Schadstofftransport in mineralischen Deponieabdichtungen und natürlichen Tonschichten. *Geologisches Jahrbuch C Heft 51*, Stuttgart
- SCHWAIGHOFER, B. et. al. (1995): Observations on Austrian clay rocks and their function for waste disposals – influence of time factor. *Applied Clay Science Vol. 10*, p. 199 – 208
- SCHWEICH, D. & SARDIN, M. (1981): Adsorption, Partition, Ion Exchange and Chemical reaction in Batch Reaktor or in Column A Review. *Journal of Hydrology Vol. 50*, p. 1 – 33

- SEYMOUR, K. J. & PEACOCK, A. J. (1994): Quality control of clay liners. In Christensen, T. H. et. al. (ed.), *Landfilling of Waste Barriers*, E. & FN Spon, London, p. 69 - 79
- SHACKELFORD, C. D. (1991): Laboratory Diffusion Testing for Waste Disposal - A Review. *Journal of Contaminant Hydrology Vol. 7*, p. 177 - 217
- STIEF, K. (1986): Das Multibarrierkonzept als Grundlage von Planung, Bau, Betrieb und Nachsorge einer Deponie. *Müll und Abfall Nr. 18 (1)*, S. 15-20
- STOLPE, H. & VOIGT, M. (1996): Standortsuche und Standortüberprüfung von Deponien. Erich Schmidt Verlag, Berlin
- STRUCKMEIER, W. F. & MARGAT, J. (1995): Hydrogeological Maps A Guide and a Standard Legend. *International Contribution to Hydrogeology, Vol. 17*
- SUDARSONO, U (1988) : Evaluation of Municipal Solid Waste Disposal Sites at Semarang, Central Java, Indonesia. *Proc. Reg. Conf. Geol. Min. Hyd. Res. SE Asia*, p. 393 – 405
- SUKARDI (1992): Peta Geologi Lembar Surabaya dan Sapulu. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Departemen Pertambangan dan Energi, Bandung
- TUCKER, M. E. (1981): Sedimentary Petrology Blackwell Scientific Publication, London
- VELDE, B. (1992): Introduction to Clay Minerals, Chemistry, Origin, Uses and Environment Significance. Chapman & Hall
- WAGNER, J. F. (1992): Verlagerung und Festlegung von Schwermetallen in tonigen Deponieabdichtungen, Ein Vergleich von Labor und Geländestudien. *Schr. Angew. Geol. Karlsruhe Heft 22*
- WEISS, Y. T. (1988): Solid Waste Management in Surabaya East Java Indonesia. Thesis for Master of Applied Science, University of New South Wales, unpublished
- WILKEN, H. & KNÖDEL, K. (1999): Handlungsempfehlungen für die Erkundung der geologischen Barriere bei Deponien und Altlasten, *Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten Band 7*. Springer Verlag
- WILSON, D. G. (1977): Handbook of Solid Waste Management. Van Nostrand Reinhold Company, New York
- WONGSOENTONO, S. (1986): Peta Geologi Tata Kota Daerah Surabaya - Sidoarjo – Krian. Direktorat Geologi Tata Lingkungan Departemen Pertambangan dan Energi, Bandung
- ZACHARA, J. M., KITTRICK, J. A. & HARSH, J. B. (1988): The mechanism of Zn²⁺ adsorption on calcite. *Geochimica et Cosmochimica Acta Vol. 52*, p. 2281-2291.

7. Anlagenverzeichnis und Anlagen

- Anlage 1: Quantifizierte Überschwemmungszone des Surabaya-Gebietes und dessen Umgebung
- Anlage 2: Quantifizierter Abstand vom Gewässer des Surabaya-Gebietes und dessen Umgebung
- Anlage 3: Quantifizierte Durchlässigkeit der lithologischen Einheit des Surabaya-Gebietes und dessen Umgebung
- Anlage 4: Quantifizierte Zusammensetzung der lithologischen Einheit des Surabaya-Gebietes und dessen Umgebung
- Anlage 5: Quantifiziertes Grundwasserpotential des Surabaya-Gebietes und dessen Umgebung
- Anlage 6: Quantifizierter Grundwassergleichenplan des Surabaya-Gebietes und dessen Umgebung
- Anlage 7: *Evaluation list of landfill area* (after LEGRAND, 1980) für die Karangpilang-Tongrube
- Anlage 8: *Evaluation list of landfill area* (after LEGRAND, 1980) für die Warugunung-Tongrube
- Anlage 9: *Evaluation list of landfill area* (after LEGRAND, 1980) für die Lebanisuko-Sandgrube
- Anlage 10: *Evaluation list of landfill area* (after LEGRAND, 1980) für die Karangandong-Sandgrube
- Anlage 11: *Evaluation list of landfill area* (after LEGRAND, 1980) für die Gending-Kalkgrube



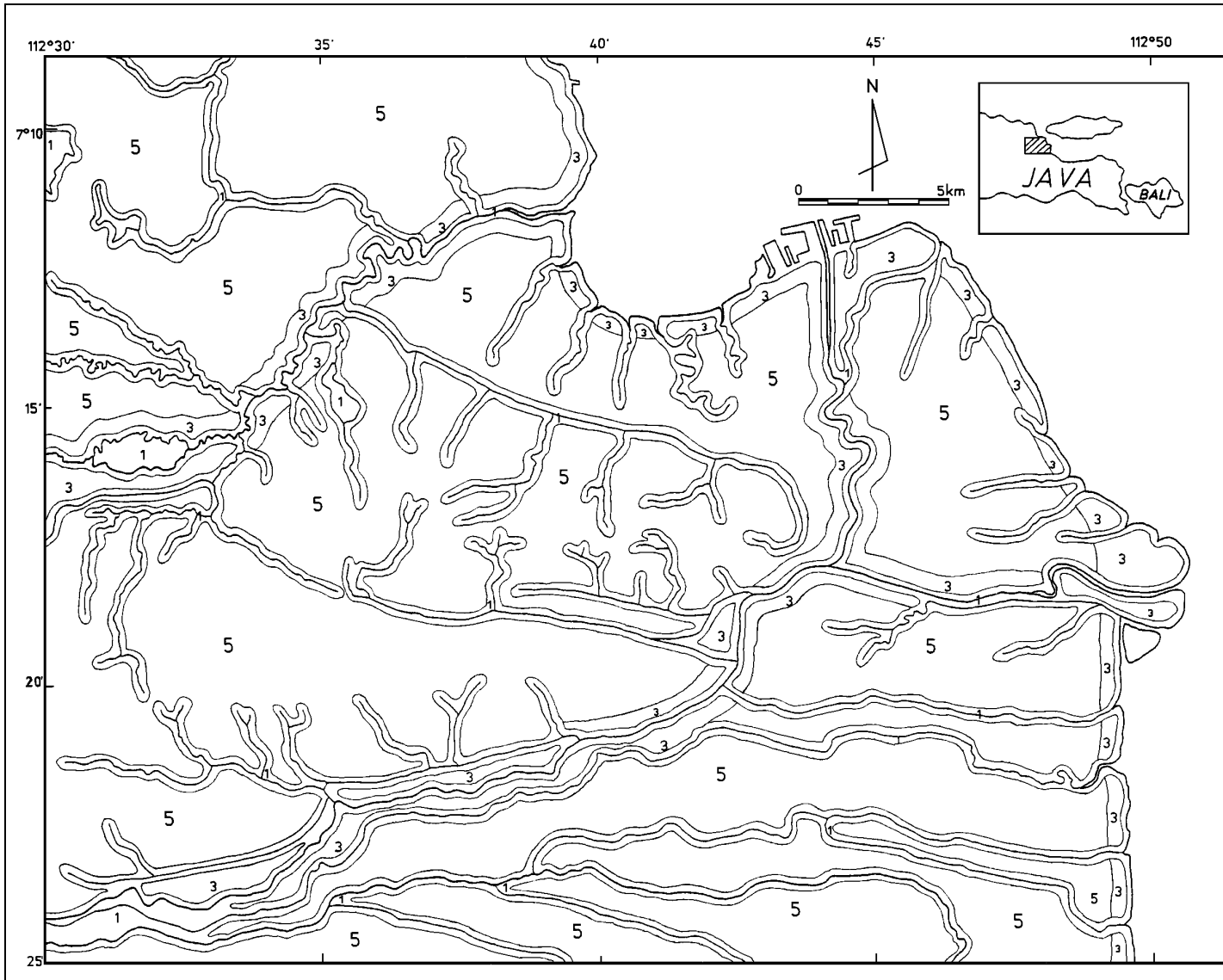
**Quantifizierte
Überschwemmungszone
des Surabaya-Gebietes und
dessen Umgebung**

Legende

- 5 sehr große
Wahrscheinlichkeit
- 10 große Wahrscheinlichkeit
- 15 mittlere Wahrscheinlichkeit
- 20 geringe Wahrscheinlichkeit
- 25 sehr geringe
Wahrscheinlichkeit

- Fluß
- See



Anlage 1



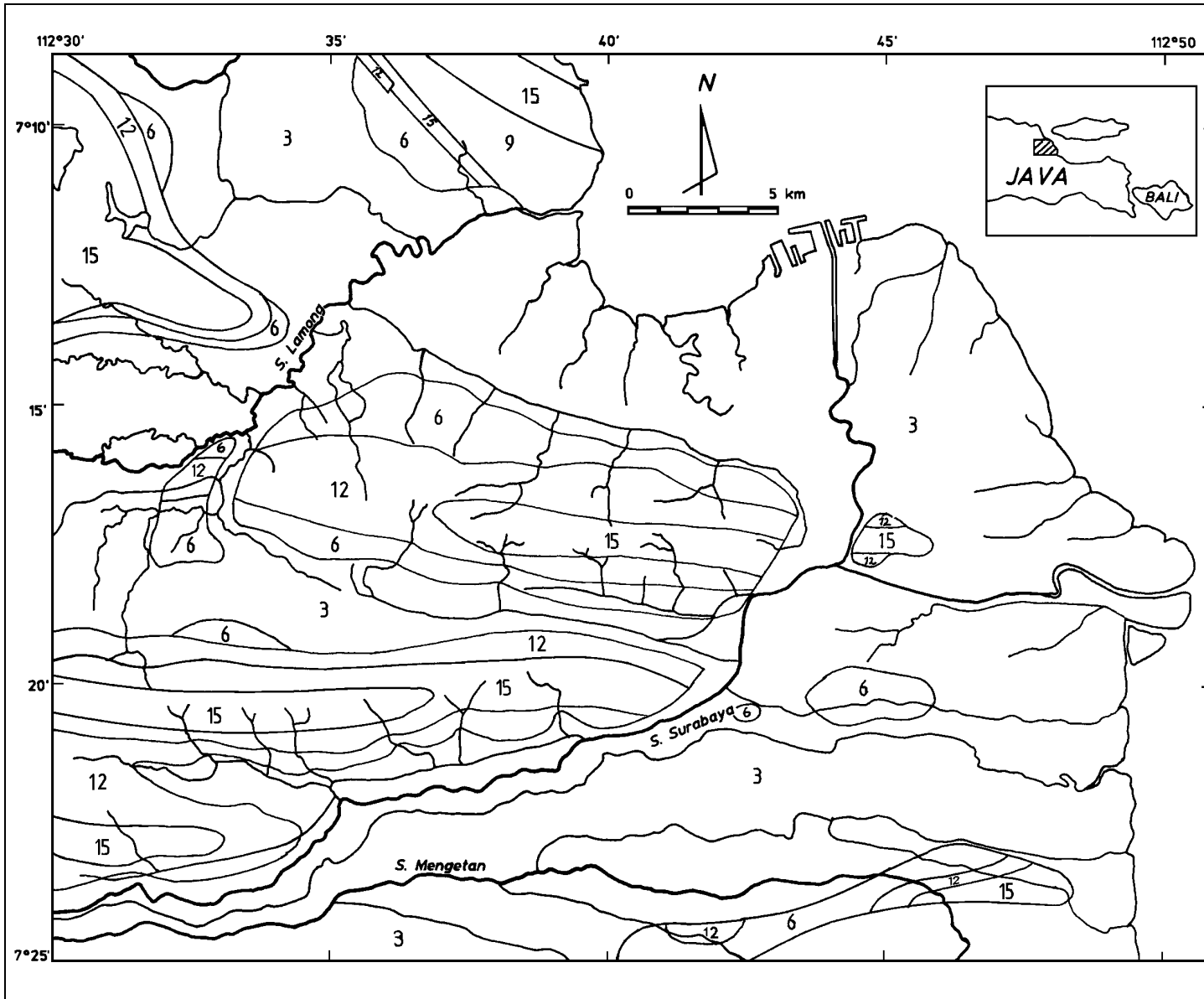
**Quantifizierter
Abstand vom Gewässer
des Surabaya-Gebietes
und dessen Umgebung**

Legende

- 1 0 – 200 m
- 3 200 – 700 m
- 5 > 200 / 700 m

-  Fluß
-  See

Anlage 2

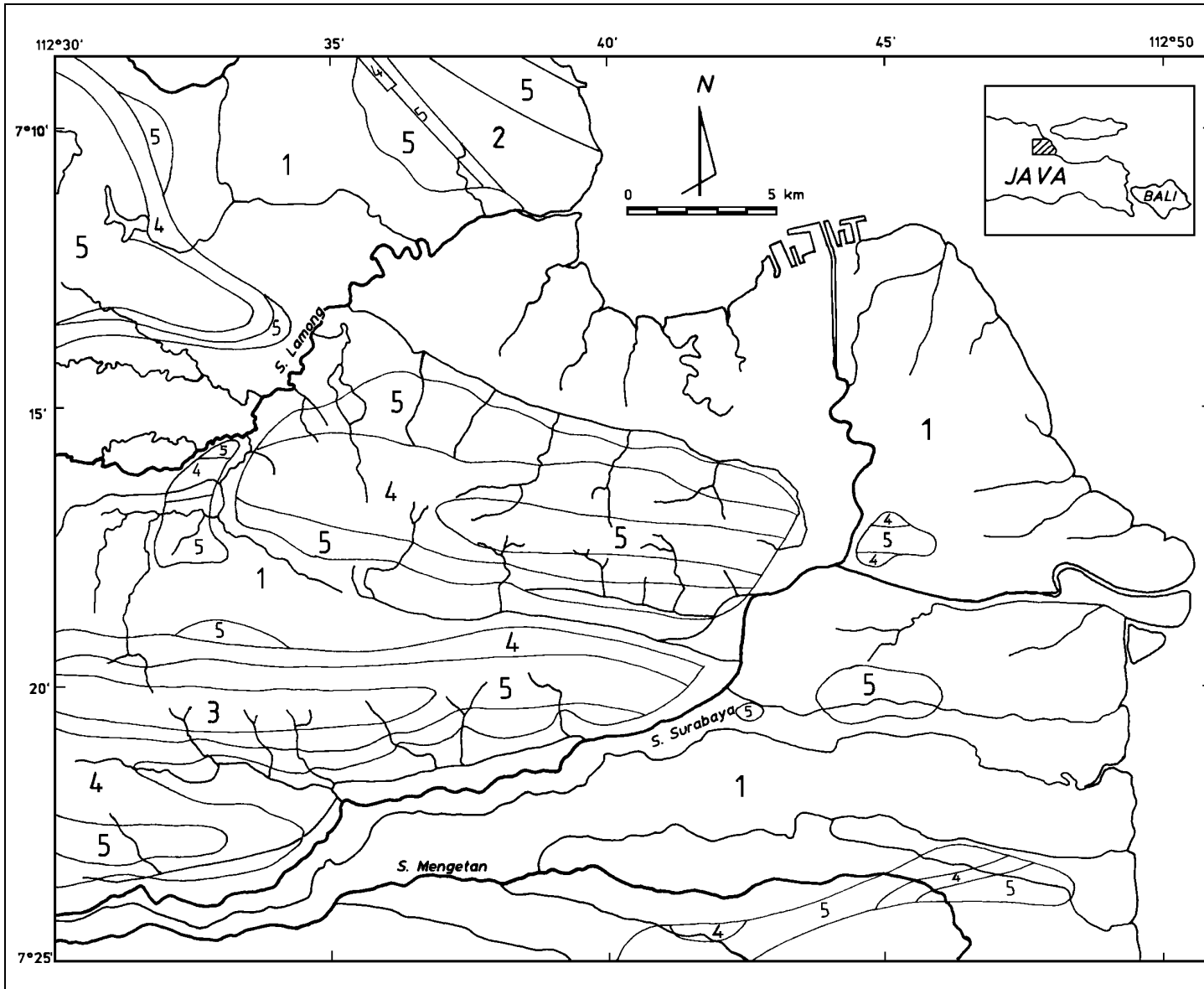


**Quantifizierte Durchlässigkeit
der lithologischen Einheit
des Surabaya-Gebietes
und dessen Umgebung**

Legende

- 3 sehr groß
- 6 groß
- 9 mittel
- 12 gering
- 15 sehr gering
- Fluß
- See

Anlage 3



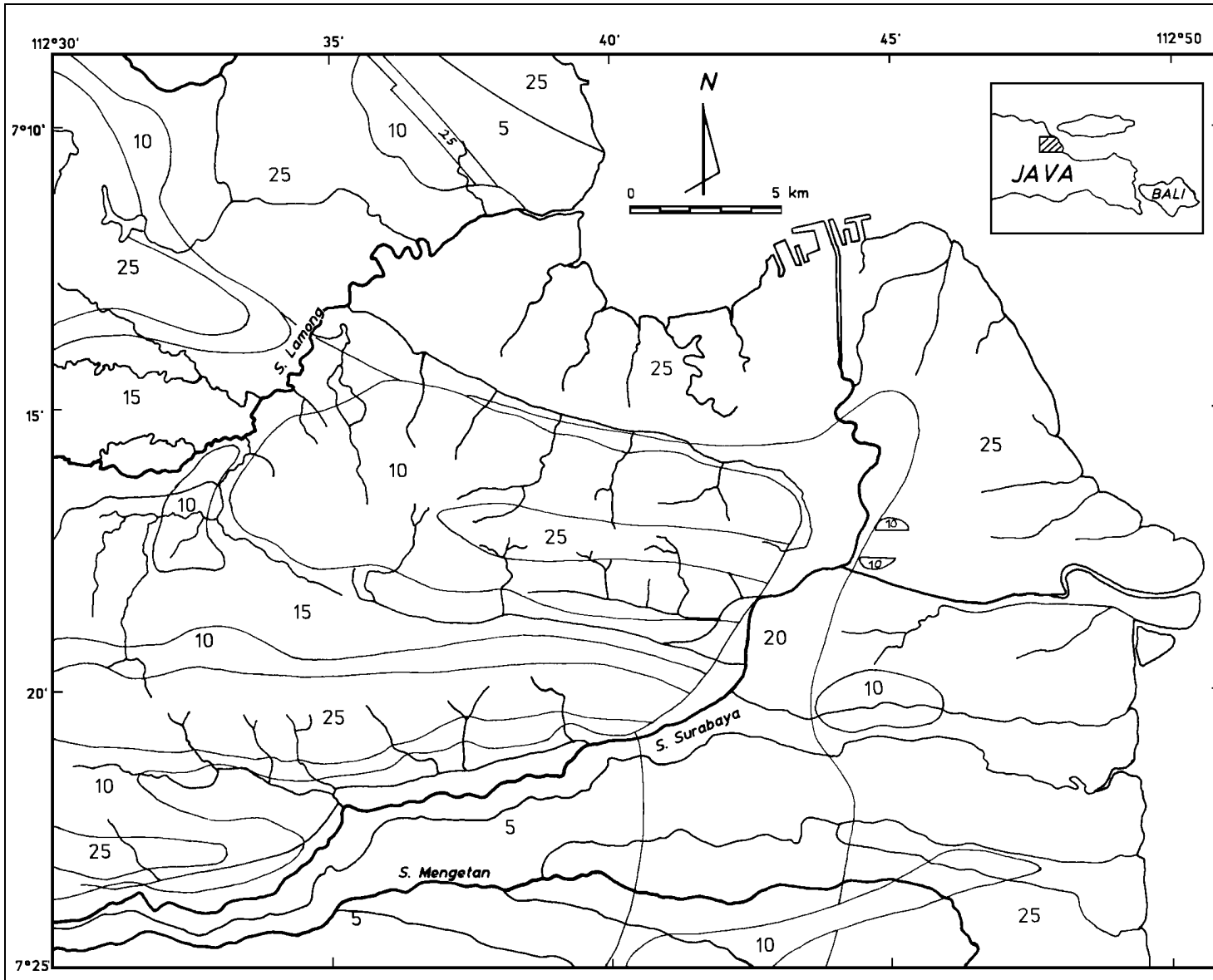
**Quantifizierte
Zusammensetzung
der lithologischen Einheit
des Surabaya-Gebietes und
dessen Umgebung**

Legende

- 1 Lockergesteine
- 2 Karbonatgesteine
- 3 kalkhaltige Gesteine
- 4 tuffhaltige Gesteine
- 5 nicht kalk- und tuffhaltige Gesteine

- Fluß
- See

Anlage 4



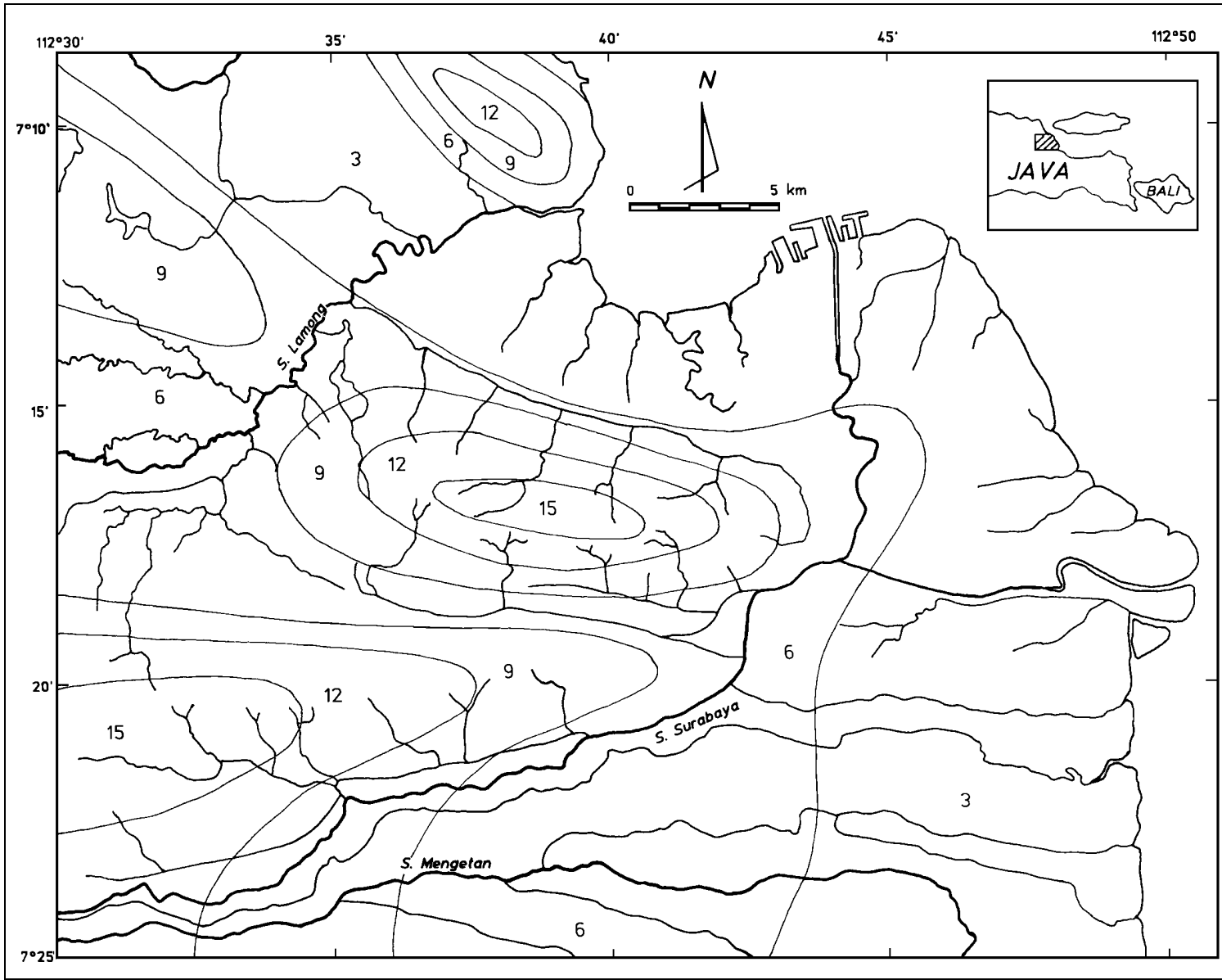
**Quantifiziertes
Grundwasserpotential
des Surabaya-Gebietes
und dessen Umgebung**

Legende

- 5 sehr gut
- 10 gut
- 15 befriedigend
- 20 ausreichend
- 25 ungenügend

- Fluß
- See

Anlage 5



**Quantifizierter
Grundwassergleichenplan
des Surabaya-Gebietes
und dessen Umgebung**

Legende

- 3 < 5 m
- 6 5 – 10 m
- 9 10 – 15 m
- 12 15 – 20 m
- 15 > 20 m

- Fluß
- See

Anlage 6

Evaluation of landfill area (after LeGrand, 1980)

Anlage 7

Landfill planning location : Karangpilang
 Year of evaluation : 1999

Step 1

Determine the distance on ground between contaminant source and water supply

Point value	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Distance in meters	>2000	2000 - 1000	300 - 999	150 - 299	75 - 149	50 - 74	35 - 49	20 - 34	15 - 19	10 - 14

Step 2

Estimate the depth to the water table below base of contaminant more than 5% the year

Point value	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Depth in meters	>60	30 - 60	20 - 29	12 - 19	8 - 11	5 - 7	3 - 4	1.5 - 2.5	0.5 - 1.0	0

Step 3

Estimate water table gradient and flow direction from contaminant site

Point value	0	1	2	3	4	5
Water table gradient and flow direction	gradient away from all water supplies that are closer than 1000 meters	gradient almost flat	gradient less than 2% toward waters supply but not anticipated direction of flow	gradient less than 2% toward water supply and is the anticipated direction of flow	gradient more than 2% toward water supply but not anticipated direction of flow	gradient more than 2% toward water supply and is the anticipated direction of flow

Step 4

Estimate permeability - sorption for the site of the contaminant source

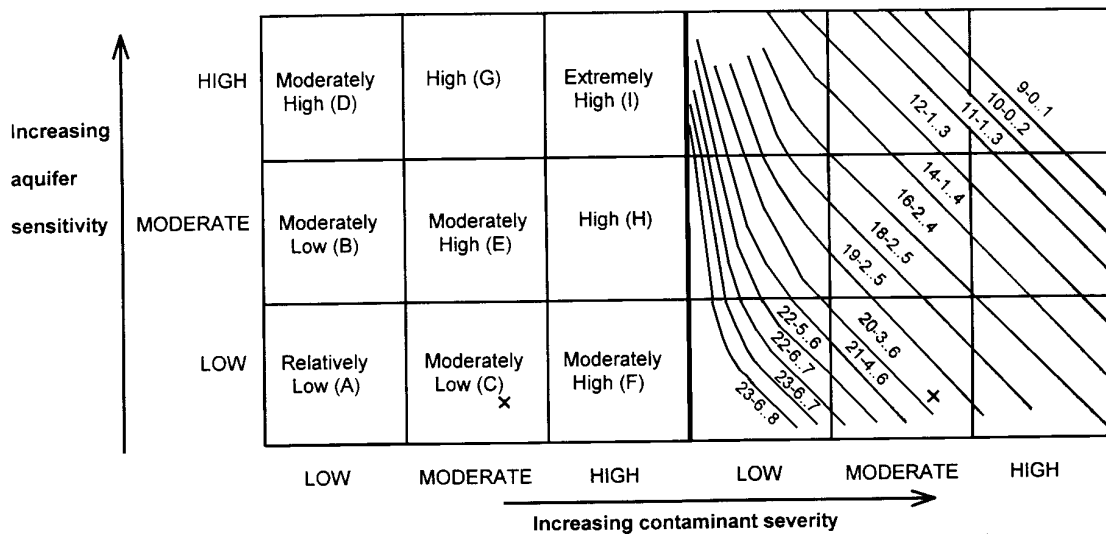
Thickness of unconsolidated material	clay		clay with < 50% sand		sand with 15 - 30% Clay		sand with < 15% clay		clean fine sand		clean coarse sand or gravel	
> 30	OA		2A		4A		6A		8A		9A	
	I**	II**	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
25 - 29	OB	1C	1D	2F	3E	4G	5F	6E	7F	8E	9G	9M
20 - 24	OC	2C	1E	3D	4D	5E	5G	6F	7G	8F	9H	9N
15 - 19	OD	3B	1F	4C	4E	6C	5H	7D	7H	8G	9I	9O
10 - 14	OE	4B	2D	5B	4F	6D	5I	7E	7I	9D	9J	9P
3 - 9	1B	6B	2E	7B	5C	7C	5J	8D	7J	9E	9K	9Q
< 3	2B	8B	2C	8C	5D	9B	5K	9C	7K	9F	9L	9R

Bedrock at land surface I = 5Z, II = 9Z

I**= overlies poorly permeable consolidated rock, II** = overlies permeable consolidated rock, thickness in meters

Hazard Potential Matrix

Degree of seriousness Probability of contamination and Degree of Acceptance



Evaluation of landfill area (after LeGrand, 1980)

Anlage 8

Landfill planning location : Warugunung
 Year of evaluation : 1999

Step 1

Determine the distance on ground between contaminant source and water supply

Point value	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Distance in meters	>2000	2000 - 1000	300 - 999	150 - 299	75 - 149	50 - 74	35 - 49	20 - 34	15 - 19	10 - 14

Step 2

Estimate the depth to the water table below base of contaminant more than 5% the year

Point value	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Depth in meters	>60	30 - 60	20 - 29	12 - 19	8 - 11	5 - 7	3 - 4	1.5 - 2.5	0.5 - 1.0	0

Step 3

Estimate water table gradient and flow direction from contaminant site

Point value	0	1	2	3	4	5
Water table gradient and flow direction	gradient away from all water supplies that are closer than 1000 meters	gradient almost flat	gradient less than 2% toward water supply but not anticipated direction of flow	gradient less than 2% toward water supply and is the anticipated direction of flow	gradient more than 2% toward water supply but not anticipated direction of flow	gradient more than 2% toward water supply and is the anticipated direction of flow

Step 4

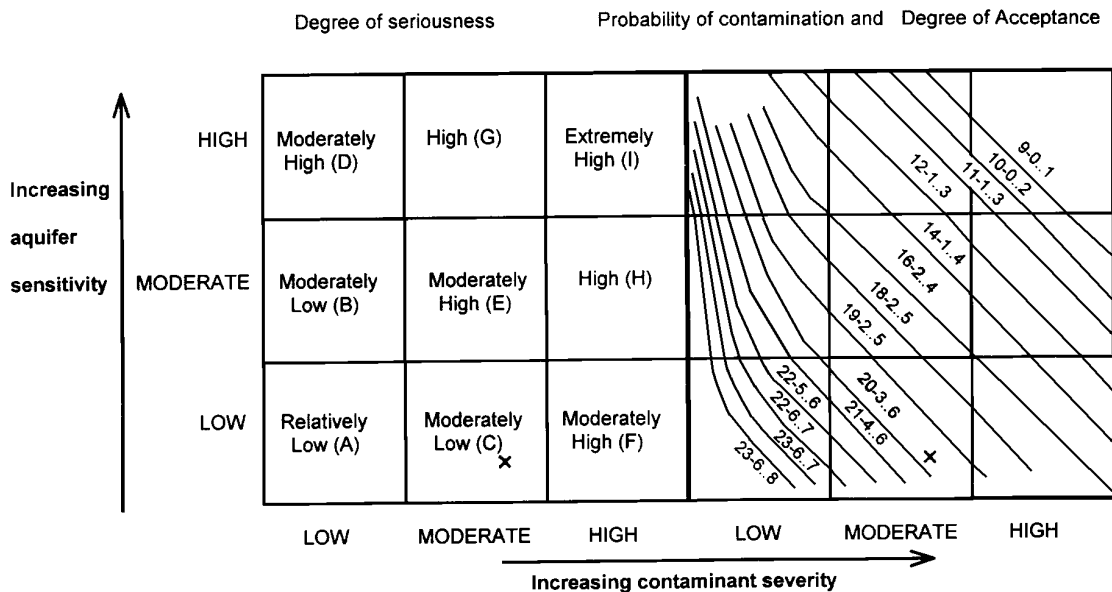
Estimate permeability - sorption for the site of the contaminant source

Thickness of unconsolidated material	clay		clay with < 50% sand		sand with 15 - 30% Clay		sand with < 15% clay		clean fine sand		clean coarse sand or gravel	
> 30	OA		2A		4A		6A		8A		9A	
	I**	II**	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
25 - 29	OB	1C	1D	2F	3E	4G	5F	6E	7F	8E	9G	9M
20 - 24	OC	2C	1E	3D	4D	5E	5G	6F	7G	8F	9H	9N
15 - 19	OD	3B	1F	4C	4E	6C	5H	7D	7H	8G	9I	9O
10 - 14	OE	4B	2D	5B	4F	6D	5I	7E	7I	9D	9J	9P
3 - 9	1B	6B	2E	7B	5C	7C	5J	8D	7J	9E	9K	9Q
< 3	2B	8B	2C	8C	5D	9B	5K	9C	7K	9F	9L	9R

Bedrock at land surface I = 5Z, II = 9Z

I**= overlies poorly permeable consolidated rock, II** = overlies permeable consolidated rock, thickness in meters

Hazard Potential Matrix



Evaluation of landfill area (after LeGrand, 1980)

Anlage 9

Landfill planning location : Lebanisuko, Gresik
 Year of evaluation : 1999

Step 1

Determine the distance on ground between contaminant source and water supply

Point value	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Distance in meters	>2000	2000 - 1000	300 - 999	150 - 299	75 - 149	50 - 74	35 - 49	20 - 34	15 - 19	10 - 14

Step 2

Estimate the depth to the water table below base of contaminant more than 5% the year

Point value	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Depth in meters	>60	30 - 60	20 - 29	12 - 19	8 - 11	5 - 7	3 - 4	1.5 - 2.5	0.5 - 1.0	0

Step 3

Estimate water table gradient and flow direction from contaminant site

Point value	0	1	2	3	4	5
Water table gradient and flow direction	gradient away from all water supplies that are closer than 1000 meters	gradient almost flat	gradient less than 2% toward waters supply but not anticipated direction of flow	gradient less than 2% toward water supply and is the anticipated direction of flow	gradient more than 2% toward water supply but not anticipated direction of flow	gradient more than 2% toward water supply and is the anticipated direction of flow

Step 4

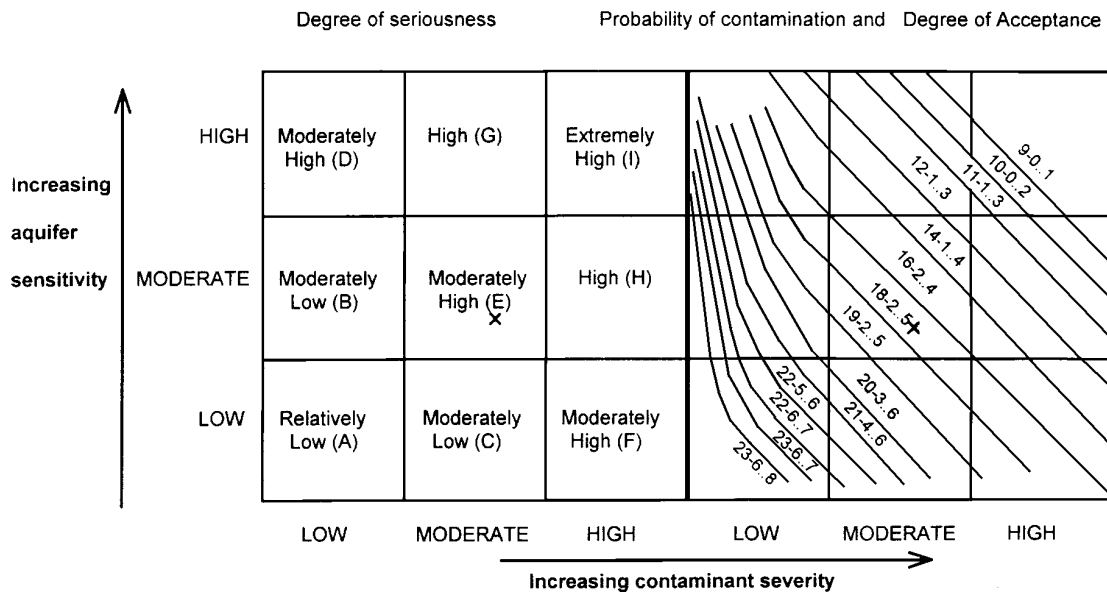
Estimate permeability - sorption for the site of the contaminant source

Thickness of unconsolidated material	clay		clay with < 50% sand		sand with 15- 30% Clay		sand with < 15% clay		clean fine sand		clean coarse sand or gravel	
> 30	OA		2A		4A		6A		8A		9A	
	I**	II**	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
25 - 29	OB	1C	1D	2F	3E	4G	5F	6E	7F	8E	9G	9M
20 - 24	OC	2C	1E	3D	4D	5E	5G	6F	7G	8F	9H	9N
15 - 19	OD	3B	1F	4C	4E	6C	5H	7D	7H	8G	9I	9O
10 - 14	OE	4B	2D	5B	4F	6D	5I	7E	7I	9D	9J	9P
3 - 9	1B	6B	2E	7B	5C	7C	5J	8D	7J	9E	9K	9Q
< 3	2B	8B	2C	8C	5D	9B	5K	9C	7K	9F	9L	9R

Bedrock at land surface I = 5Z, II = 9Z

I**= overlies poorly permeable consolidated rock, II** = overlies permeable consolidated rock, thickness in meters

Hazard Potential Matrix



Evaluation of landfill area (after LeGrand, 1980)

Anlage 10

Landfill planning location : Karangandong, Gresik
 Year of evaluation : 1999

Step 1

Determine the distance on ground between contaminant source and water supply

Point value	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Distance in meters	>2000	2000 - 1000	300 - 999	150 - 299	75 - 149	50 - 74	35 - 49	20 - 34	15 - 19	10 - 14

Step 2

Estimate the depth to the water table below base of contaminant more than 5% the year

Point value	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Depth in meters	>60	30 - 60	20 - 29	12 - 19	8 - 11	5 - 7	3 - 4	1.5 - 2.5	0.5 - 1.0	0

Step 3

Estimate water table gradient and flow direction from contaminant site

Point value	0	1	2	3	4	5
Water table gradient and flow direction	gradient away from all water supplies that are closer than 1000 meters	gradient almost flat	gradient less than 2% toward waters supply but not anticipated direction of flow	gradient less than 2% toward water supply and is the anticipated direction of flow	gradient more than 2% toward water supply but not anticipated direction of flow	gradient more than 2% toward water supply and is the anticipated direction of flow

Step 4

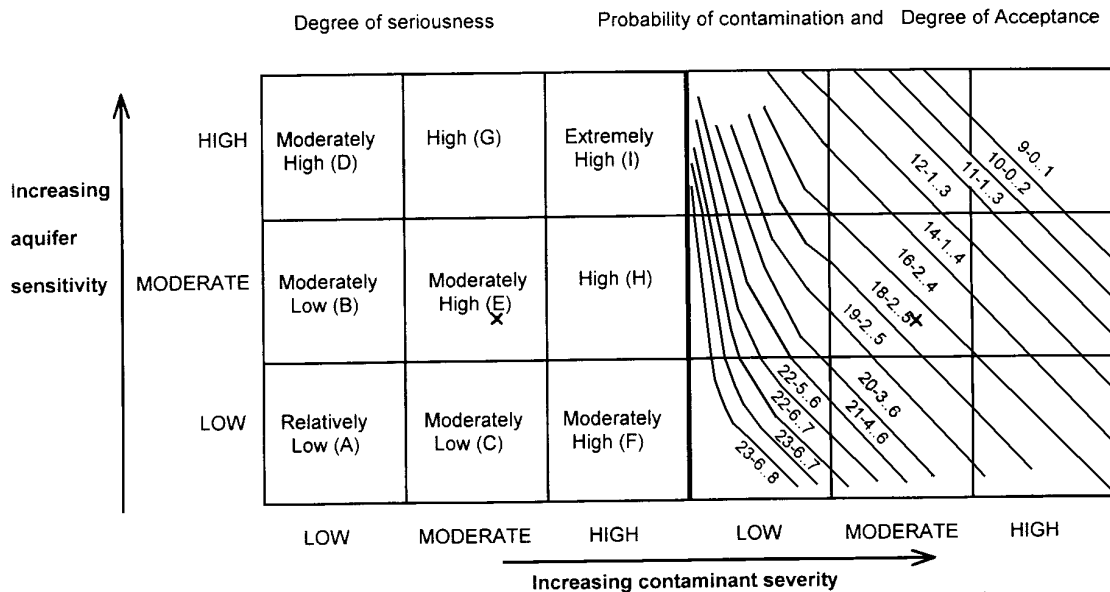
Estimate permeability - sorption for the site of the contaminant source

Thickness of unconsolidated material	clay		clay with < 50% sand		sand with 15- 30% Clay		sand with < 15% clay		clean fine sand		clean coarse sand or gravel	
> 30	OA		2A		4A		6A		8A		9A	
	I**	II**	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
25 - 29	OB	1C	1D	2F	3E	4G	5F	6E	7F	8E	9G	9M
20 - 24	OC	2C	1E	3D	4D	5E	5G	6F	7G	8F	9H	9N
15 - 19	OD	3B	1F	4C	4E	6C	5H	7D	7H	8G	9I	9O
10 - 14	OE	4B	2D	5B	4F	6D	5I	7E	7I	9D	9J	9P
3 - 9	1B	6B	2E	7B	5C	7C	5J	8D	7J	9E	9K	9Q
< 3	2B	8B	2C	8C	5D	9B	5K	9C	7K	9F	9L	9R

Bedrock at land surface I = 5Z, II = 9Z

I**= overlies poorly permeable consolidated rock, II** = overlies permeable consolidated rock, thickness in meters

Hazard Potential Matrix



Evaluation of landfill area (after LeGrand, 1980)

Anlage 11

Landfill planning location : Gending, Gresik
 Year of evaluation : 1999

Step 1

Determine the distance on ground between contaminant source and water supply

Point value	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Distance in meters	>2000	2000 - 1000	300 - 999	150 - 299	75 - 149	50 - 74	35 - 49	20 - 34	15 - 19	10 - 14

Step 2

Estimate the depth to the water table below base of contaminant more than 5% the year

Point value	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Depth in meters	>60	30 - 60	20 - 29	12 - 19	8 - 11	5 - 7	3 - 4	1.5 - 2.5	0.5 - 1.0	0

Step 3

Estimate water table gradient and flow direction from contaminant site

Point value	0	1	2	3	4	5
Water table gradient and flow direction	gradient away from all water supplies that are closer than 1000 meters	gradient almost flat	gradient less than 2% toward waters supply but not anticipated direction of flow	gradient less than 2% toward water supply and is the anticipated direction of flow	gradient more than 2% toward water supply but not anticipated direction of flow	gradient more than 2% toward water supply and is the anticipated direction of flow

Step 4

Estimate permeability - sorption for the site of the contaminant source

Thickness of unconsolidated material	clay		clay with < 50% sand		sand with 15 - 30% Clay		sand with < 15% clay		clean fine sand		clean coarse sand or gravel	
> 30	OA		2A		4A		6A		8A		9A	
	I**	II**	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
25 - 29	OB	1C	1D	2F	3E	4G	5F	6E	7F	8E	9G	9M
20 - 24	OC	2C	1E	3D	4D	5E	5G	6F	7G	8F	9H	9N
15 - 19	OD	3B	1F	4C	4E	6C	5H	7D	7H	8G	9I	9O
10 - 14	OE	4B	2D	5B	4F	6D	5I	7E	7I	9D	9J	9P
3 - 9	1B	6B	2E	7B	5C	7C	5J	8D	7J	9E	9K	9Q
< 3	2B	8B	2C	8C	5D	9B	5K	9C	7K	9F	9L	9R

Bedrock at land surface I = 5Z, II = 9Z

I**= overlies poorly permeable consolidated rock, II** = overlies permeable consolidated rock, thickness in meters

Hazard Potential Matrix

