

Vergleich verschiedener Methoden zur Bestimmung der Oberflächenbeschreibung besiedelter Gebiete für die Modellierung des Schmutzeintrags in das Abwasserkanalnetz

Konrad Ringle
Manfred Sties

Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung
Universität Karlsruhe
Deutschland

email: {ringle, sties}@ipf.bau-verm.uni-karlsruhe.de

Commission VII, Working Group 9

01. April 1996

KEY WORDS: Remote_Sensing, Human_Settlement, Land_Use, Rectification, Classification, Multispectral Scanner Imagery

ABSTRACT

In order to model and predict the amount of pollutants transported by rain from the ground surface into the waste water pipeline system of any community, we need actual and precise surface description data as input. It was the aim of the project reported here to apply different methods for the evaluation of surface descriptions and to compare the results. Different classes representing different types of ground sealing (closed surface) and only one class representing non sealed surfaces were to be distinguished. Two suburbs of approx. 6 km^2 size each of the city of Karlsruhe containing different housing structures were selected as test areas.

KURZFASSUNG

Die Modellierung des Schmutzstoffeintrags in das Kanalnetz einer Gemeinde braucht als Eingabedaten eine möglichst genaue Oberflächenbeschreibung. Ziel des hier dargestellten Projekts war es, verschiedene Methoden zur Bestimmung einer aktuellen Oberflächenbeschreibung anzuwenden und die Ergebnisse zu vergleichen. Die Oberflächenbeschreibung soll verschiedene Klassen versiegelter Flächen und die Klasse der unversiegelten Flächen ausweisen. Als Testgebiete wurden zwei Vorortsiedlungen unterschiedlicher Struktur mit einer Größe von je etwa 6 km^2 im Stadtgebiet von Karlsruhe gewählt.

1 EINLEITUNG

Die ständige Ausweitung von Siedlungs- und Industriegebieten hat eine entsprechend steigende Belastung der Gewässer zur Folge. Diese Belastung drückt sich sowohl in einer Zunahme der Wassermengen als auch in einer Verschlechterung der Gewässergüte aus. Zur quantitativen Bestimmung und ggf. auch Vorhersage der Belastungen, die aus besiedelten Gebieten stammen, wird vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft der Universität Karlsruhe in Zusammenarbeit mit verschiedenen Partnern ein umfangreiches Forschungsprojekt durchgeführt ([Hahn 1993]). Die dort vorgesehene Modellierung des Schmutzstoffeintrags in das Kanalnetz braucht als Eingabedaten eine möglichst genaue Oberflächenbeschreibung der betrachteten Gebiete. Ziel des hier dargestellten Projekts war es, verschiedene Methoden zur Bestimmung einer aktuellen Oberflächenbeschreibung anzuwenden und die Ergebnisse zu vergleichen. Die Oberflächenbeschreibung soll verschiedene Klassen versiegelter Flächen und die Klasse der unversiegelten Flächen ausweisen. Als Testgebiete wurden zwei Vorortsiedlungen unterschiedlicher Struktur mit einer Größe von je etwa 6 km^2 im Stadtgebiet von Karlsruhe gewählt.

2 VERFAHREN DER OBERFLÄCHENBESCHREIBUNG

Als Eingabedaten für die Modellierung des Schmutzstoffeintrags in das Kanalnetz werden digitale Datensätze benötigt. Als Verfahren zur Gewinnung solcher Daten wurden deshalb

- die (manuelle) Digitalisierung der Grundkarte DGK 5,
- die rechnergestützte Auswertung von Scannerbilddaten,

- die rechnergestützte Auswertung von Satellitenbilddaten

durchgeführt und verglichen.

2.1 Digitalisierung der topographischen Karte

Im Institut für Siedlungswasserwirtschaft der Universität Karlsruhe wurden die versiegelten Flächen der Testgebiete – getrennt für einige Klassen – durch manuelle, rechnergestützte Digitalisierung aus den entsprechenden Blättern der topographischen Grundkarte DGK 5 extrahiert. Die DGK 5 von beiden Testgebieten hatte einen Nachführungsstand von 1989. Eine ausführliche Beschreibung dieser Arbeit ist in [Trauth 1995] zu finden. Ergebnisse dieses Verfahrens werden in Abschnitt 3 gezeigt.

2.2 Auswertung von Scannerbilddaten

Die Abbildung der Testgebiete wurde mit einem digitalen, flugzeuggetragenen Zeilenabtaster (Scanner) vom Typ DA-EDALUS AADS 1268 durchgeführt. Der Zeitpunkt der Befliegung war am 06.09.1993 zwischen 13.00 und 14.00 Uhr, um möglichst kurze Schattenflächen in den Bilddaten zu erhalten. Bei einer Flughöhe von 600 m ergibt sich ein Abtastfleck von $1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$ Größe auf der Erde. Der Flugweg war so geplant, daß beide Testgebiete durch je 3 parallele Streifen mit einer gegenseitigen Überdeckung von 40 % abgebildet wurden. Die Testgebiete wurde zugleich mit einer Reihenmeßkamera aufgenommen; diese CIR-Luftbilder wurden nur als visuelle Stütze bei der Klassifizierung der digitalen Bilddaten verwendet.

Zur Korrektur der geometrischen Verzerrungen haben wir zunächst ein zweistufiges Verfahren mit parametrischem Verzerrungsansatz gewählt. Dabei wurde zunächst in einem er-

sten Schritt die Panoramaverzerrung jeder Bildzeile korrigiert, so daß - für jede Zeile - eine zentralperspektivische Abbildungsgeometrie entstand. Im zweiten Schritt wurde dann eine Modellierung der tatsächlichen Flugbahn und momentanen Orientierung des Sensors durch Polynome 3. Ordnung durchgeführt. Zur Berechnung der Polynomparameter wurden Paßpunkte sowohl im Bild als auch in den entsprechenden Blättern der DGK 5 gemessen. Durch Verwendung eines Digitalen Höhenmodells (DHM) wurde auch der Höhenwert für jeden Paßpunkt bestimmt und damit die Topographie der Testgebiete berücksichtigt.

In einem zweiten Ansatz haben wir die in [Albertz 1994] veröffentlichten Gleichungen implementiert und verwendet. Das Ergebnis der Korrektur ist auch dann nicht überall in den Streifen befriedigend: in den Paßpunkten beträgt der Fehler etwa 3 m rms. Fehlerquellen sind vermutlich:

- die Flugwegparameter sind nicht genau genug,
- die verfügbaren digitalen Höhenwerte sind weder in ihrer Rasterweite noch in ihren Höhenwerten genau genug,
- die Zahl der Paßpunkte (etwa 120 für jeden der großen Streifen und etwa 30 für den kleinen Streifen) ist zu niedrig, und die Paßpunkte sind nicht genau genug; insbesondere stimmt die aus der DGK 5 entnommene Höhe der Paßpunkte nicht mit der im DGM verzeichneten Höhe überein,
- für Autobahnbrücken, hohe Gebäude usw. gibt es überhaupt keine Höhenwerte.

Zur Korrektur der geländeneigungs- und blickwinkelabhängigen Remissionswerte haben wir ein einfaches, nicht objektbezogenes Strahlungsmodell verwendet, das nur approximativ wirkt.

Für die rechnergestützte Klassifizierung der Bilddaten wurde das Verfahren der größten Ähnlichkeit auf der Basis statistischer Meßwerte ("Maximum-Likelihood-Klassifizierung") gewählt. Dazu ist es erforderlich, daß wir für jede zu unterscheidende Klasse eine repräsentative Anzahl von Meßwerten (Grauwerte) durch visuelle Interpretation der Bilddaten am Bildschirm bestimmen (Trainingsgebiete für den Klassifikator). Für die Bestimmung der Trainingsgebiete sind eine genaue Ortskenntnis oder eine Ortsbegehung, aktuelle topographische und thematische Karten und Luftbilder oder andere Kontextinformation erforderlich.

Die Klassifizierung besteht dann in der Zuordnung aller Bildpunkte zu den festgelegten (Unter-)Klassenrepräsentanten, wobei hier nicht nur die aufgrund der gewählten Metrik beste Zuordnung, sondern auch die jeweils zweit- und drittbeste Zuordnung gespeichert werden. Außerdem speichern wir die für diese Zuordnungen berechneten Wahrscheinlichkeiten (nach Skalierung) als Vertrauenswerte in die Klassifizierungsentscheidungen. Daran schließt sich eine Generalisierung durch ein Relaxationsverfahren an, das auf einer Untersuchung der Klassifizierungsergebnisse und ihrer Vertrauenswerte in einer 3 x 3 Bildpunkte großen Umgebung basiert. Dabei werden einzelne, isolierte Klassifizierungsentscheidungen mit niedrigen Vertrauenswerten in ihre Umgebung integriert und einzelne, zuvor nicht zugeordnete Bildpunkte der örtlich benachbarten Klasse mit dem höchsten Vertrauenswert zugewiesen. Die Ergebnisse sind in Abschnitt 3 gezeigt. Eine ausführliche Darstellung des Verfahrens ist in [Sties 1995] zu finden.

2.3 Auswertung von Satellitenbilddaten

Ergebnisse einer rechnergestützten Auswertung (multispektrale Klassifizierung) von Satellitenbilddaten dieser Gebiete stehen aus zwei anderen Projekten des IPF vergleichshalber zur Verfügung. In beiden Fällen handelt es sich um Bilddaten des LANDSAT TM: einerseits wurde die ganze Oberflächenebene auf der Basis von Bilddaten des Jahres 1991 ausgewertet;¹ andererseits liegt eine Auswertung der ganzen Fläche des Landes Baden-Württemberg auf der Basis von Bilddaten des Jahres 1993 vor.² Einzelheiten zu diesen Projekten sind in [Jacobs 1993] bzw. [Jacobs 1995] zu finden.

3 VERGLEICH DER ERGEBNISSE

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Ergebnisse nur in Grauton-Ausgabe und nur für ein Testgebiet; farbige Versionen der Ergebnis-Abbildungen werden im Vortrag gezeigt. Abb. 1 zeigt das Endergebnis der Auswertung der Scannerbilddaten von Grünwinkel nach 5 Durchläufen des Generalisierungsprogramms und nach Maskierung mit der Maske des Interessensgebiets im Maßstab 1 : 17.700. Tab. 1 zeigt die Flächenbilanz für dieses Endergebnis. Die Klasse 15 (Stra-

Nr	Klasse	Anteil in %	Größe in ha
0	reject	0.0	0.0
2	Industrie	8.1	14.7
3	Glasdach	0.1	0.1
7	Gebäude	13.1	23.6
8	Straßen	33.1	59.9
9	Wege	0.1	0.1
15	Straßenbahn	0.8	1.5
a	Zwischensumme	55.3	99.9
4	Tennisplatz	0.2	0.4
6	Ascheplatz	0.6	1.1
b	Zwischensumme	0.8	1.5
unversiegelt		43.9	79.3
Summe		100.0	180.7

Tabelle 1: Flächenbilanz des Endergebnisses GRÜNWINKEL

ßenbahn) ist zum Teil wohl auch der unversiegelten Fläche zuzuordnen, soweit sie Gebiete mit eigenem Bahnkörper umfaßt. Im ausmaskierten Interessensgebiet gibt es allerdings nur noch Straßenbahnlinien auf den Straßen, weshalb diese Klasse ganz den versiegelten Flächen zugerechnet wurde. Die Klassen 4 bzw. 6 (Tennis- bzw. Aschesportplatz), die flächenmäßig keine große Rolle spielen, sind wegen des Anschlusses an die Abwasserleitung der versiegelten Fläche zuzurechnen.

Abb. 2 zeigt den direkten Vergleich zwischen dem Ergebnis der Kartendigitalisierung und der Auswertung der Scannerbilddaten für alle versiegelten Flächen. Die Flächenbilanz für diesen Vergleich ist in Tab. 2 enthalten.

Diesem Vergleich kann man einige wichtige Erkenntnisse entnehmen:

- wegen der stellenweise ungenauen geometrischen Entzerrung der Scannerbilddaten ist der Anteil überein-

¹Die Arbeit wurde durch das Projekt „Angewandte Ökologie“ der Landesanstalt für Umweltschutz aus Mitteln des Umweltministeriums Baden-Württemberg gefördert

²Die Arbeit wurde durch Mittel des Umweltministeriums Baden-Württemberg gefördert

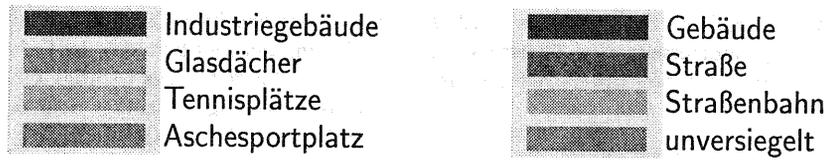
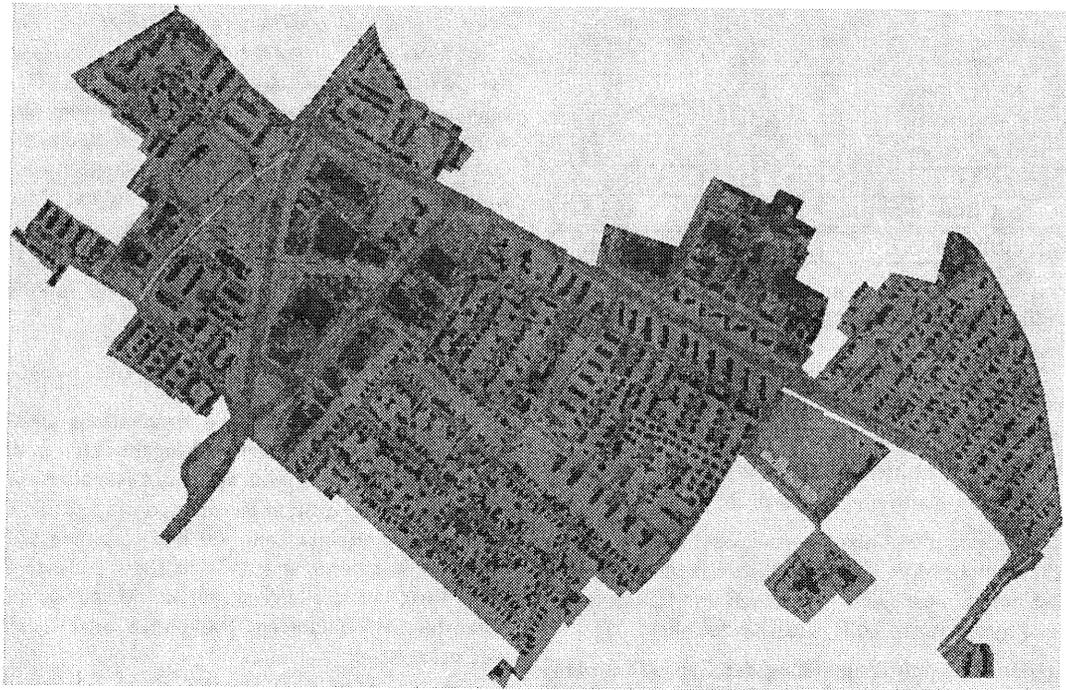


Abbildung 1: Endergebnis der Scannerbilddaten-Auswertung für GRÜNWINKEL M 1 : 17.700

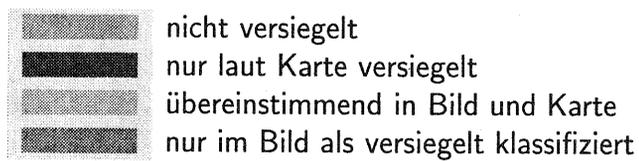
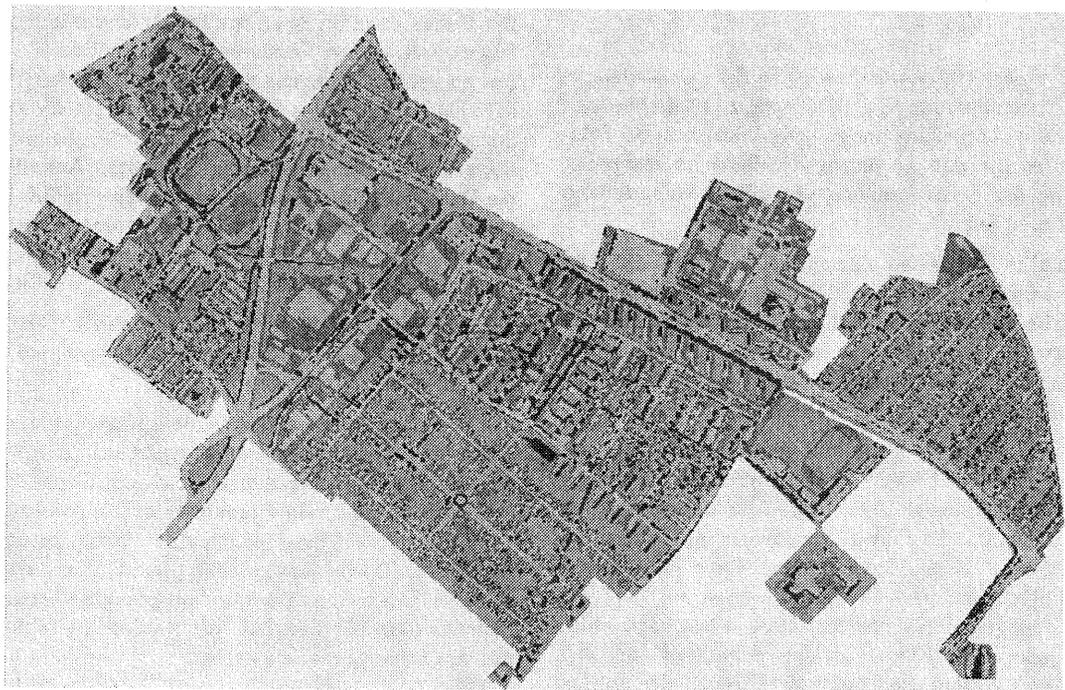


Abbildung 2: Ergebnisvergleich für versiegelte Flächen in GRÜNWINKEL M 1 : 17.700

Zeile		%-Anteil	Fläche (ha)
a	nicht versiegelt	31.7	57.3
b	nur in der Karte	12.2	22.0
c	übereinstimmend	31.1	56.2
b+c	laut Karte versiegelt	43.3	78.2
d	nur im Bild	25.1	45.3
d+c	laut Bild versiegelt	56.2	101.5
	Gesamtfläche	100.0	180.7

Tabelle 2: Flächenbilanz des Vergleichs für GRÜNWINKEL

stimmend als versiegelt gefundener Flächen tatsächlich größer als in Abb. 2 gezeigt;

- der Vergleich wird belastet durch die unterschiedliche Aktualität von Karte und Bilddaten;
- die Darstellung des Gebäudegrundrisses in der Karte erlaubt es nicht, dort die tatsächlich überbaute Fläche zu bestimmen; versiegelte Hofflächen und Hauszufahrten sind in der Karte i.d.R. nicht verzeichnet;
- die stellenweise Schrägabbildung der Gebäude in den Bilddaten führt zu einer geringen Überschätzung des durch Gebäude versiegelten Flächenanteils mittels Bilddatenauswertung; andererseits sind überstehende Bäume wieder ein Grund für eine Unterschätzung der versiegelten Flächen;
- Industriegebäude und die umliegenden Parkplätze oder Hofflächen sind meist unvollständig in der Karte verzeichnet; andererseits werden begrünte Dachflächen durch die Klassifizierung in falsche Klassen eingeordnet.

Es bleibt ein großer Unterschied zwischen der laut Karte und der laut Bilddatenauswertung als versiegelt zu bezeichnenden Fläche bestehen. Angesichts der größeren Aktualität der Bilddaten vermuten wir, daß die versiegelte Fläche im Testgebiet Grünwinkel in der Größenordnung von 100 ha entsprechend etwa 55 % Anteil liegt.

Die zu Zeile a) in Tab. 2 komplementäre Fläche von 135.4 ha entsprechend 68.3 % Anteil darf nicht als die insgesamt versiegelte Fläche bezeichnet werden, weil dort einige Objekte doppelt auftreten, die wegen der lokal ungenauen geometrischen Entzerrung der Bilddaten nicht deckungsgleich mit den entsprechenden Objekten in der Karte sind.

Abb. 3 und Abb. 4 zeigen die auf das gleiche Testgebiet maskierten Ergebnisse der LANDSAT TM Bilddatenauswertung aus den Jahren 1991 bzw. 1993; beide Abbildungen sind im Maßstab 1 : 30.000. Es fällt auf, daß hier die Flächenanteile der Klassen 'lockere' bzw. 'dichte Besiedlung' dominieren. Die Flächenbilanzen in Tab. 3 weisen aus, daß der Anteil der versiegelten Flächen hier stark überschätzt wird; wenn man jedoch die Klasse 'lockere Besiedlung' nur mit der Hälfte ihres Anteils einrechnet, was wegen der enthaltenen Grünflächenanteile unbekannter Größe als Schätzwert vertretbar sein könnte, so ergeben sich auch aus dieser Satellitenbilddatenauswertung Näherungswerte (in der Tabelle als solche bezeichnet) für den Anteil der versiegelten Fläche, die noch akzeptabel sein könnten. Der Vorteil dieser Fernerkundungssensoren liegt in der im Vergleich mit dem flugzeuggetragenen Scanner weitaus geringeren Datenmenge und der dadurch wesentlich schnelleren Auswertung.

Die Unterschiede zwischen den Auswertungen für die beiden Jahre 1991 und 1993 sind sicher nicht durch die Veränderung der Oberflächennutzung begründet, sondern durch die unterschiedliche Aufgabenstellung und die unterschiedliche Auswertetechnik: aus dem Jahr 1991 standen zwei LANDSAT TM Bilddatensätze vom Juni und August zur Verfügung, während die Auswertung für 1993 mit drei Bilddatensätzen vom April, Juli und August rechnen und eine Reihe von Zusatzdaten wie z.B. die Standorteignungskartierung für die Landwirtschaft und die gerasterte topographische Karte TK 50 einbeziehen konnte.

4 AUSBLICK

Es hat sich gezeigt, daß die Beschaffung aktueller Oberflächenbeschreibungsdaten als Eingabedaten in die Modellierung des Schmutzstoffeintrags in das Kanalnetz durch die Digitalisierung topographischer Karten wie z.B. die DGK 5 nicht genau genug erfolgen kann; die hier verwendeten Karten hatten einen Nachführungsstand von 1989; außerdem sind in solchen Karten nicht alle versiegelten Flächen wie z.B. Garagenzufahrten, Hofeinfahrten, Parkplätze oder Dachüberstände verzeichnet.

Die Verwendung aktueller Fernerkundungsbilddaten kann auch keine absolut vollständigen und zuverlässigen Ergebnisse liefern, weil die Abbildung der Erdoberfläche vom Flugzeug oder vom Satelliten aus wichtige Objekte durch Verdeckung und Abschattung unsichtbar oder unsicher auswertbar werden läßt, und die Auswertetechnik systematische Fehlerquellen enthält. Dennoch ist das auf dieser Basis gewonnene Ergebnis sicherlich näher an der Wirklichkeit als das Ergebnis einer Kartendigitalisierung.

Die Verwendung digitaler, multispektraler Bilddaten, die von flugzeuggetragenen Sensoren mit einem Raster von 1 m bis 3 m an der Erdoberfläche aufgenommen werden, ist erforderlich; Bilddaten aus heute operationellen satellitengetragenen Sensoren erfüllen bei 20 m bis 30 m Raster die durch die Modellierung des Schmutzeintrags gestellten Anforderungen an die Detailgenauigkeit nicht. Von großem Einfluß auf das Ergebnis ist der Zeitpunkt der Bildaufnahme, einerseits wegen der Schatten, die zu Objektverdeckungen führen, und andererseits wegen des Wachstumszustandes aller Pflanzen.

Die verschiedenen Prozesse zur rechnergestützten Auswertung insbesondere der Scannerbilddaten werden weiter optimiert.

Der Versuch einer vergleichenden Kostenschätzung ist in [Trauth 1995] enthalten. Daraus ergibt sich, daß die Kartendigitalisierung wesentlich billiger ist als der Einsatz von Fernerkundungsbilddaten; die Ergebnisse der Auswertung von Fernerkundungsbilddaten sind jedoch i.d.R. aktueller und zugleich für weitere Verwendungszwecke wie z.B. die Kartierung einzelner Bäume oder ganzer Parkanlagen, die Überwachung von Grundwasserschutzgebieten, die Analyse des Krankheitsgrades von Bäumen u.a. einsetzbar.

Literatur

- [Albertz 1994] Wanpeng Zhang, J. Albertz: Rectification of Airborne Line-Scanner Imagery Utilizing Flight Parameters, Proc. of the 1. Int. Airborne Remote Sensing Conference, Strasbourg, Sept. 1994
- [Hahn 1993] H.H. Hahn, C. Xanthopoulos: Verbundprojekt NIEDERSchlagsbedingte SCHmutzbeLASTung der Gewäs-

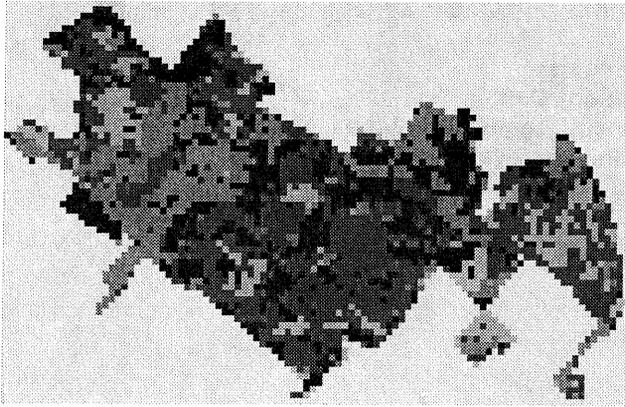


Abbildung 3: Ergebnis GRÜNWINKEL 1991

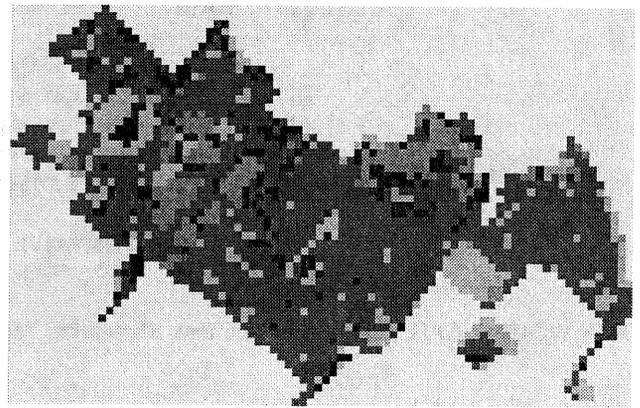


Abbildung 4: Ergebnis GRÜNWINKEL 1993



Klasse	GRÜNWINKEL 1991		GRÜNWINKEL 1993	
	%-Anteil	Fläche (ha)	%-Anteil	Fläche (ha)
dichte Besiedlung	30.2	54.7	11.2	20.2
lockere Besiedlung	37.6	68.1	64.8	117.1
Industrie	20.7	37.5	9.7	17.5
Zwischensumme	88.6	160.4	85.6	154.8
versiegelt (Näherungswert)	69.8	126.3	53.2	96.2
unversiegelt	11.4	20.7	14.4	26.0
unversiegelt (Näherungswert)	30.2	54.7	46.8	84.6
Gesamtfläche	100	181.1	100	180.8

Tabelle 3: Flächenbilanz der LANDSAT TM Bilddatenauswertung

ser Phase II (FKZ 02WA 93214), Zwischenbericht 1993, Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Karlsruhe

[Jacobs 1993] H. Jacobs, M. Sties: Mehrfache Landnutzungs-klassifizierung und Analyse der Nutzungsänderung im Oberrheingraben; Abschlußbericht zum Projekt P-209107.01, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, 1993

[Jacobs 1995] H. Jacobs, M. Sties: Erstellung einer Landnutzungskarte für das Land Baden-Württemberg; Abschlußbericht zum Projekt U 22-92.05, Umweltministerium Baden-Württemberg, Stuttgart, 1995

[Sties 1995] M. Sties, K. Christke, H. Zielinski: Verbundprojekt NIEDERSCHLAG Teilprojekt II 2 Abtrag: Erhebung aktueller Daten zur Entwässerungsfläche mittels Fernerkundung, Abschlußbericht, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Universität Karlsruhe, Okt. 1995

[Trauth 1995] M. Sties, R. Trauth: Erfassung und Charakterisierung der Oberfläche, 3. Präsentation des BMBF-Verbundprojektes NIEDERSCHLAG (Phase II), Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Karlsruhe, Okt. 1995