

14. Kongreß der Internationalen Gesellschaft
für Photogrammetrie Hamburg 1980

Kommission Nr. VII

Urban Areas Working Group

Peter Stock

Kommunalverband Ruhrgebiet, Essen.

Die Klimakarte von Hagen erstellt auf der Basis von Thermal-
bildern.

Zusammenfassung:/Abstract:/Sommaire:

Das Stadtgebiet wurde am 29./30.8.1977 durch einen IR-Scanner
aufgenommen. Die Daten wurden zu "Wärmekarten" aufbereitet. Auf
der Basis dieser Daten, zusammen mit Luftbildern, Flächen-
nutzungsanalysen, Topogr. Karten und Feldmessungen wurde eine
"Synthetische Klimafunktionskarte" erstellt. Diese Karte gibt
den Planern Einblick in die lokalen Klimaverhältnisse, indem
eine Bewertung der auskartierten Einheiten erfolgte.

1. Einleitung

Von allen Faktoren des Ökosystemkomplexes Stadt ist das Stadtklima am besten untersucht (8,13,22). Dieses Klima wird verursacht von den statischen Elementen (13) und dem anthropogenen Energieverbrauch. Dies sind: Relief, Stadtmorphologie, Baustrukturen, Versiegelungsgrad, Biomassenverteilung, Verkehr, Hausbrand, Industrie etc. Je nach Anordnung dieser Elemente können günstige oder ungünstige Klimaverhältnisse entstehen. Besonders in Ballungsräumen muß darauf geachtet werden, daß ungünstige Klimaverhältnisse abgebaut werden. Ein Flächennutzungsmuster muß deshalb daraufhin untersucht werden, welche Klimafunktion es erfüllt. Solche "Funktionsanalysen" werden bei der Baumassenplanung, der Flächennutzungsplanung, der Freiflächen und Landschaftsplanung ebenso benötigt wie bei der Regional- und Landesplanung. Dafür sind Detailuntersuchungen im Mikro-, Lokal- und Stadtklimabereich erforderlich, natürlich unter Berücksichtigung der makroklimatischen Gegebenheiten (3,7,13). Aufbauend auf den bekannten und oft teilweise übertragbaren Ergebnissen der Stadt- und Geländeklimaforschung versuchen wir mit Hilfe der Fernerkundung erste Gliederungen städtischer Gebiete in Teilbereiche unterschiedlicher Stadtklimate (2,3) vorzunehmen. Solch eine Gliederung ist eine synthetische Klimafunktionskartierung (6). Sie soll erste Einblicke geben in die im Stadtgebiet zu erwartenden Klimate (1,3,8,19).

Neben verfügbaren Karten und Klimamesswerten soll vor allem die Wärmebildinterpretation und eine Luftbilddauswertung die nötigen Feininformationen geben, deren Aussage durch Messfahrten etc. Bestätigung finden sollten. Diese Methode erscheint deshalb sinnvoll, weil für die Städte im Ruhrgebiet noch keine großmaßstäbigen Klimakarten existieren, die auch nur im Ansatz den Planern u.a. Einblick geben in die Wechselbeziehungen von realer Flächennutzung und Klima. Diese Kenntnis muß aber vorliegen, bevor Luftaustauschbahnen, klimaverbessernde Maßnahmen oder die Standortbestimmung von klimaempfindlichen Objekten (1) oder solchen, die das Klima verschlechtern, geplant oder verwirklicht werden können (1,4,5,6).

2. Methode

Die makroklimatischen Gegebenheiten für Hagen können aus dem Klimaatlas von NW abgelesen werden. Wenn die Klimatypen vom Relief und der Flächennutzung etc. abhängen, dann sind folgende Schritte durchzuführen:

1. Klimarelevante Analyse des Reliefs
2. Analyse der Feinstrukturen aus dem Luftbild
3. Temperaturverhalten der Flächen nach Wärmebildern
4. Klimamessungen
5. Abgrenzung und Bewertung der Teilklimabereiche

Die Lufthygiene und der thermische Wirkungsfaktor mit Abschätzung der Austauschverhältnisse sind dabei die wichtigsten planungsrelevanten Klimaparameter. Da von uns keine Analyse der Luftverunreinigungen gemacht werden können, stehen hier die thermischen Wirkungsfaktoren im Vordergrund. Lufttemperaturunterschiede ebenso natürlich wie Oberflächen-temperaturunterschiede ergeben sich am deutlichsten bei austauscharmen Strahlungswetterlagen: In diesen Wetterlagen bilden sich am klarsten auch die unterschiedlichen Mikroklimata in der Stadt aus. Wolkenbedeckung und hohe Windgeschwindigkeiten verwischen dagegen klimatische Unterschiede in der Stadt (7).

2.1 Relief

Das ausgeprägte Relief in Hagen ist sicher klimabestimmend. Schon allein die Höhenunterschiede bis zu 300 m ergeben Temperaturunterschiede von mehreren Graden. Eine Analyse der Hangneigungen und der Hangexpositionen ist nach Knoch oder dem Beispiel von Horbert folgend vorzunehmen. Aber auch die Talformen sind daraufhin zu untersuchen, inwieweit hier die Durchlüftung verringert wird. Wir haben uns darauf beschränkt, die Extreme zu kartieren, extreme Sonnen- oder Schattenhänge, Durchlüftungszahlen (12) nur quer zum Talverlauf. Diese Erhebungen können mit top. Karten durchgeführt werden. Feinstrukturen allerdings sind besser durch Stereo-Luftbildauswertung vorzunehmen

vor allem, wenn es um kleine Geländeformen geht. Z.B. Kaltluftsammlgebiete, Rauzigkeit etc., aber auch vor allem die reale Flächennutzung ist durch Luftbilder erhebbar.

2.2 Flächennutzung

Auf der Basis von Luftbildern und ihre Datenverarbeitung durch REGMAP wird die reale Flächennutzung im Maßstab 1 : 10.000 beim KVR bestimmt (11). Der Nutzungskatalog umfaßt 44 Nutzungen, die in übergeordneten Einheiten zusammengefaßt werden. (In Klammern die prozentualen Flächenanteile für Hagen):

1. Bauflächen (19,2 %), 2. Verkehrsflächen (6,5 %), 3. Ver- und Entsorgungsflächen (0,7 %), 4. Aufschüttungs- und Abtragungsflächen (1 %), 5. Grünflächen (5 %), 6. Wasserflächen (2,1 %), 7. Landwirtschaftliche Flächen (25,4 %), 8. Forstwirtschaftliche Flächen (40,1 %).

Im Vergleich dazu aus der Stadt Gelsenkirchen: 53,2 % bebaute Flächen, 22,9 % Landwirtschaftsflächen und 6,3 % Wald. In Hagen dominieren Waldklimate, in Gelsenkirchen Stadtklimate. In ihren politischen Grenzen hat jede Stadt individuelle Nutzungsstrukturen. Es kommt darauf an, ihre besondere Wirkung auf das Klima zu erforschen.

2.3 Luftbildinterpretation

Eine feingliedrige Beschreibung der statischen Parameter ist am besten mit Luftbildern durchzuführen. Sie geben Auskunft über die Biomassenverteilung, Baustrukturen, Mikrorelief, Geländerauhigkeit etc. Es wird angestrebt, einen Interpretationsschlüssel zu entwerfen, in dem gelände- und stadtklimatologisch relevante Fakten beschrieben werden. Hier soll vorab kurz auf das Problem der Geländerauhigkeit eingegangen werden (Abb. 1). Der Einfluß der Rauzigkeit auf das Windprofil ist bekannt (7, 8, 12, 22). Die Rauzigkeit vermindert die Windgeschwindigkeit und erhöht die bodennahe Turbulenz. Mit abnehmender Rauzigkeit wird das Windprofil steiler, die davon betroffene Luftsäule aber niedriger

(22). Die stereoskopische Auswertung von Luftbildern zur Analyse der Rauzigkeit eines Gebietes ist schnell und ohne großen Aufwand möglich. Der Blickwinkel ist für diese Erhebung ideal, da sowohl die Art der Rauzigkeit als auch der Homogenitätsgrad gut abzuschätzen ist. Es kommt ja darauf an, die Höhe und die Dichte der Hindernisse festzustellen. Eine erste, grobe Gliederung der Geländerauigkeit wird in 16 Stufen vorgenommen. Dabei wurde in 4 Gruppen untergliedert vom Freiland (12) über Stadtrand - lockere Bebauung, Stadtkerngebiet - Blockbebauung zur Industrie (Abb. 1). Die Gruppen werden wieder untergliedert von lockerem rel. niedrigem Bestand, zu hohem und/oder dichtem Bestand. Die Beurteilung erfolgt über ein Raster, das je nach Gebiet 500 x 500 m oder kleiner gewählt werden kann. Es ergibt sich eine Rauigkeitsverteilung. Zusammen mit einer Windrose, einer Analyse der Windstärken etc. ergeben sich erste Hinweise auf die möglichen Veränderungen des Windfeldes durch die Bodenrauigkeit.

3. Wärmebilder

Für die Interpretation der IR-Daten ergeben sich folgende wichtige Gesichtspunkte:

- 1.) Der Befliegungszeitpunkt und die Witterungsverhältnisse müssen daraufhin gewichtet werden, inwieweit sie modellhaften Charakter haben.
- 2.) Es ist wichtig, daß die Flächentemperaturen den Nutzungsarten und Materialien zugeordnet werden, damit erklärlich wird, weshalb eine bestimmte Temperatur auftritt, und welche Bedeutung sich für die überlagernde Luft daraus ergibt (Geometrische Korrekturen).
- 3.) Die Bewertung der O-Temperaturen für das Klima. Die Auswertung der IR-Daten stützt sich auf das vorhandene Wissen über die Wechselbeziehungen von Oberflächentemperaturen und bodennahe Luftschicht (22).
- 4.) Die Methode der Fernmessung ist vorerst noch ein Hilfsmittel. Die Interpretationen sollten durch gezielte Feldmessungen Bestätigung finden (9, 14).

3.1 Aufnahmetechnik + Befliegung

Die physikalischen und technischen Voraussetzungen, um Strahlungstemperaturen vom Flugzeug aus aufnehmen zu können, sind in der Schriftenreihe des Siedlungsverbandes Ruhrkohlenbezirk, (15) und (16) dargelegt. Außerdem gibt es darüber Literatur, z.B. Weischet 1975, Goßmann 1978, Fezer 1975, und vor allem die grundlegenden Arbeiten von Lorenz 1973 etc.

Die Flugeinsätze erfolgten von Greven/Münster aus. In dem Flugzeug, Typ Aero Commander 680 FL war der Scanner DS-1250 von der Fa. Daedalus fest eingebaut. Am 29.8. und am 30.8.1977 wurde das Gebiet Hagen aufgenommen. Zunächst wurde bei einer Flughöhe von 4.500 m ü.G. das gesamte Gebiet Ennepe-Ruhr-Kreis Hagen durch 5 NW-SE-gerichtete Flugstreifen, die sich z.T. bis zu 25 % seitlich überlappen, erfaßt. Das Stadtgebiet von Hagen wird durch die Flugstreifen 1, 2, 3 gedeckt. Diese wurden aufgenommen um 16.11 Uhr, 16.21 Uhr sowie um 15.35 Uhr.

Die 2. Befliegung, eine Nachtaufnahme - nur im Kanal 11 aufgenommen - fand am 30.8.1977 von 2.15 bis 5.20 Uhr statt (Abb. 2 + 3). Am 29. herrschte in NW ungestörtes Hochdruckwetter, das die Durchführung des Projektes zuließ. Die Zeit drängte, denn das Hoch wanderte rasch nach Osten, bereits am Morgen des 30. labilierte sich die Troposphäre durch Abkühlung und Feuchtezunahme in den höheren Luftschichten von SW her. Dies führte zur Ausbildung hoher und mittelhoher, später auch stärkerer Quellbewölkung. In dem östlichen Teil des Großraums Hagen kam es dabei stellenweise zu etwas Regen. Eine genaue Aufnahme der Witterungsbedingungen zum Zeitraum der Befliegung wurde vom Deutschen Wetteramt Essen für den KVR erstellt.

3.2 Tagsituation

Das Temperaturfeld von Hagen wird in dem Bild 2 deutlich erkennbar. Aus dem Analogbild können die feinsten Temperaturunterschiede am besten beschrieben werden, wobei hier nicht die absoluten Temperaturen im Vorder-

grund stehen, sondern die Temperaturübergänge und das Temperaturfeld in seinem charakteristischem Flächenmuster. Heiße Flächen in der Stadt sind zu diesem Zeitpunkt die Dachflächen, die Bahnanlagen und größere asphaltierte, freiliegende Parkplätze. Weniger warm, aber doch im Vergleich zum Umland wärmer, sind die Straßen, Autobahnen. Während im Stadtkern, bedingt durch die massive Blockbebauung, heiße Flächen dominieren, spielt bei der aufgelockerten Bebauung der Vegetationsanteil durch seine tieferen Temperaturen zunehmend eine wichtige Rolle. Das Mischungsverhältnis von kühlen Grünflächen und hohen Temperaturen der Bau- und Straßenflächen kann im Wärmebild sehr deutlich abgelesen werden. Kühle Zonen während des Tages sind die bewaldeten Flächen. Die Verdunstungswärme der Blätter und die gegenseitige Abschattung verhindert ein stärkeres Aufheizen der Baumkrone. Die Luft im Stammraum ist noch niedriger als die vom Scanner erfaßten Kronenoberfläche. Durch verschiedene Grautöne unterscheiden sich die Hanglagen des Waldes. Der Süd- bis Westhang ist geringfügig heller als die anderen Hanglagen. Auch Waldlichtungen sind wärmer (9, 20).

3.3 Nachtsituation

Die Nachtaufnahme, Bild 3, aus der Zeit zwischen 3 und 5 Uhr stellt das Temperaturfeld der maximalen Abkühlung dar; das Stadtgebiet Hagen läßt sich danach thermisch grob in drei Einheiten gliedern:

- a) das Temperaturfeld in der dicht bebauten Tallage,
- b) das südlich angrenzende Waldgebiet mit sehr hellen Waldkuppenlagen,
- c) das nördlich zu a) angrenzende Gebiet mit relativ dunkleren, also kalten Zonen.

Nach dem Sondenaufstieg Abb.4 und örtl. Messungen existierte z.Z. der Aufnahme eine Inversion mit der Obergrenze bei etwa 400 m ü.N.N. Die Temperaturzunahme mit der Höhe spiegelt sich auch in den Oberflächentemperaturen des Waldes.

Zu a) Hier werden die Siedlungsstrukturen vor allem durch die Temperaturen der Straße dokumentiert. Die Straßenzüge innerhalb der Blockbebauung wirken noch heller, also wärmer als in den locker bebauten Randgebieten: In den engen Straßenschluchten tritt die Wärmeabgabe der Häuser hinzu, so daß eine beschleunigte Abkühlung dieser Straßen verhindert wird. Die bewaldeten Berge erreichen Höhen von etwa 400 m, also eine Höhenlage, bis zu der auch die Bodeninversion reichte. Die im unteren Stammraum der Wälder liegende Kaltluft fließt an den Hängen talwärts. Deutlich heben sich die Täler durch dunklere Grautönung - also kältere Zonen - im Bild ab. Auch die Waldlichtungen innerhalb der hellen Kuppenzonen sind zu dieser Tageszeit kalt. Verfolgt man die Grautonveränderungen von den Waldkuppen zum Tal, ist sehr deutlich die Kaltluftgrenze erkennbar und auch kartierbar. Sie steigt von einer Höhenlage von etwa 260 m talaufwärts leicht an. Die Kaltluftobergrenze, wie sie sich an den bewaldeten Hängen darstellt, ist nichtüberall gleich scharf ausgebildet. Die Talprofile spielen eine wesentliche Rolle. Flache, lange Hänge zeigen einen difuseren Grenzverlauf als steile Hänge in V-Tälern. Da die Oberflächentemperaturen der Wiesen und Felder wesentlich tiefer liegen, kann über solchen Flächen die Kaltluftobergrenze nicht kartiert werden.

3.4 Rasterkarten

Um vertiefende Aussagen über das thermische Verhalten der Flächen zu erhalten, ist der Vergleich mehrerer Befliegungen anzustreben (21). Es ergibt sich, daß die multitemporale Datenverarbeitung auch bei Wärmebildern anzustreben ist, das heißt, die Verknüpfung von Daten aus zwei Befliegungen, in unserem Falle der Mittag- und Morgenbefliegung (18). Voraussetzung dafür aber ist, daß alle Bildpunkte dieselbe Lage im Koordinatensystem haben, damit der

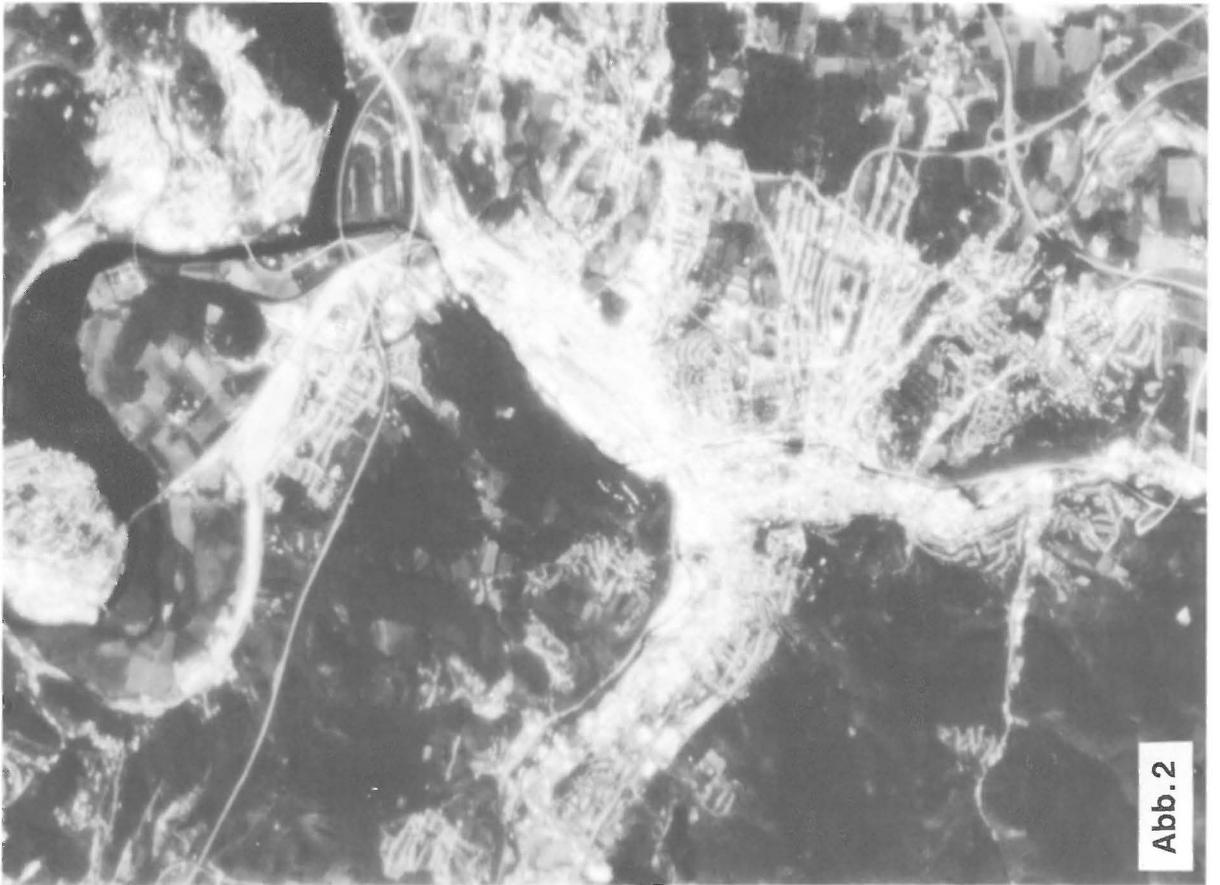
Computer Daten derselben Flächen vergleichen kann. Bei der komplizierten Geometrie von Scanneraufnahmen aus dem Flugzeug erscheint diese Forderung heute noch unerfüllbar. Deshalb haben wir uns entschlossen, die Datenmenge zu vereinfachen, indem wir über das weitgehend entzerrte Bild ein Raster legten, dessen Kantenlänge 250 m beträgt. Für jedes Rasterquadrat wird die Durchschnittstemperatur ermittelt. Die Temperatur wird dem vorhandenen Äquidensitfarbkeil zugeordnet und dann als farbkodiertes Dia ausgegeben. In Bild 5 werden für jedes Raster die Temperaturen angegeben, die sich aus der Differenz von Tag- und Nachtwert ergeben. Die Werte reichen von wenigen Graden bei den Waldflächen bis 15⁰ C Temperaturdifferenz etwa in der Innenstadt. Diese Ergebnisse decken sich mit den Erkenntnissen, die wir aus den Tagesgangkurven der Lufttemperaturen z.B. in Waldgebieten und in Stadtgebieten her kennen. Die Amplitude der Tagesgangkurve im Wald ist viel geringer als die in dicht bebauten Gebieten. Die aus der Reliefanalyse, der Luftbildinterpretation und der Wärmebilddauswertung gewonnenen Daten werden aggregiert und in einer synthetischen Klimafunktionskarte, 1 : 10.000, zusammengefaßt. Die Karte zeigt die Verteilung verschiedener Stadtklimate im Raum Hagen.

Literatur

- (1) Baumüller, J.: Ein Beitrag der Meteorologie zur Raumplanung. FBW-Blätter, Folge 1 - 1975.
- (2) Emonds, H. : Das Bonner Stadtklima. Arb.z.Rhein. Ldk. 7, 1954.
- (3) Eriksen, W. : Beiträge zum Stadtklima von Kiel, Schr. Geogr. Inst. Univ. Kiel, 22, 1, 1964.
- (4) Eriksen, W. : Probleme der Stadt- und Geländeklimatologie. WB. Darmstadt 1975
- (5) Fezer, F.,
Seitz, R. : Klimatologische Untersuchungen im Rhein-Neckar-Raum. Heidelberger Geogr. Arbeiten,

- (6) Gehrke, A.: Das Klima von Duisburg. Eine Analyse der MSS-Daten vom 15.6.1978. Unveröff. Gutachten, Kommunalverband Ruhrgebiet, Essen 1978.
- (7) Geiger, R.: Das Klima der bodennahen Luftschicht. Die Wissenschaft 78, 4. Aufl. Braunschweig 1961.
- (8) Georgii, H.W.: Grundzüge des Klimas und seine nutzungsbedingte Änderung. In: Handbuch für Planung, Gestaltung und Schutz der Umwelt, Band 2, BLV-Verlagsgesellschaft, München 1978.
- (9) Goßmann, H., Ahrens, D.: Wechselwirkungen zwischen Luft- und Oberflächentemperaturen im Tagesgang in Abhängigkeit von der Oberflächenart und -lage im Relief. Forschungsbericht BMFT-FW, W 78-4, 1978.
- (10) Horbert, J. et al: Landschaftsplanerisches Gutachten Aachen, Stadt Aachen 1978.
- (11) Kellersmann, H., Luftbildinterpretation - Flächennutzungskartierung. Grundlage eines städtebaulichen Informationssystems. VR 39,7-1977.
- (12) Knoch, K. : Die Landesklimateaufnahme. Wesen und Methodik. Ber. Dt. Wett., 85, 1963.
- (13) Kratzer, P., A.: Das Stadtklima. Die Wissenschaft, Bd. 90, 2. Aufl. Braunschweig.
- (14) Lorenz, D.: Die radiometrische Messung der Boden- und Wasseroberflächentemperatur und ihre Anwendung auf dem Gebiet der Meteorologie. Zeitschr. für Geophysik, 39, 5, 1973.
- (15) Luftaufnahmen: Schriftenreihe Siedlungsverband Ruhrkohlenbezirk, 44, 1972.
- (16) Luftaufnahmen II: Schriftenreihe Siedlungsverband Ruhrkohlenbezirk, 58, 1975.
- (17) Mahler, G., P. Stock: Oberflächentemperaturverhalten städtischer Flächen, Bauwelt 36, 1977.

- (18) Stock, P.: Verarbeitung von Thermaldaten zur Stadtplanung. Trierer Geogr. Studien, i.D. 1980.
- (19) Stock, P.: Das Stadtklima von Hagen. Eine Analyse der IR-Daten vom 29. und 30.8.1977, unveröff. Ber. KVR, 1980.
- (20) Stock, P., Plücker, K.: Wärmeaufnahmen des Ruhrgebietes für die regionale und städtische Umweltplanung, Int. Jahrb. f. Kartographie, XVIII, Bonn-Bad Godesberg 1978.
- (21) Weischet, W.: Stadtklimatologische Konsequenzen von Line-Scanner, Aufnahmen der Oberflächentemperaturen im Tagesgang. Symp. Erderkundung, DFVLR, 1975
- (22) WMO: Urban Climates. Techn. Note 108, Genf 1970.



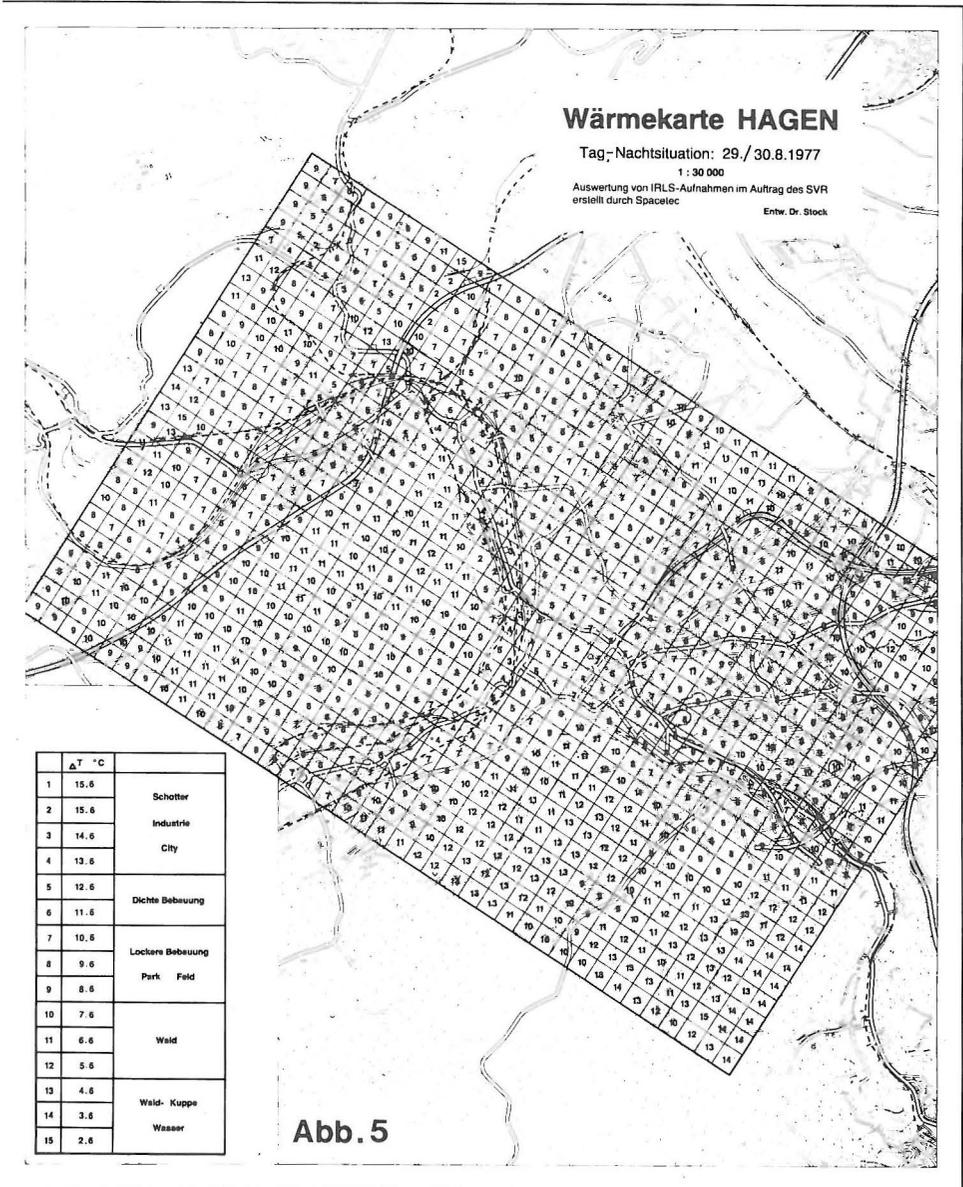


Abb. 5

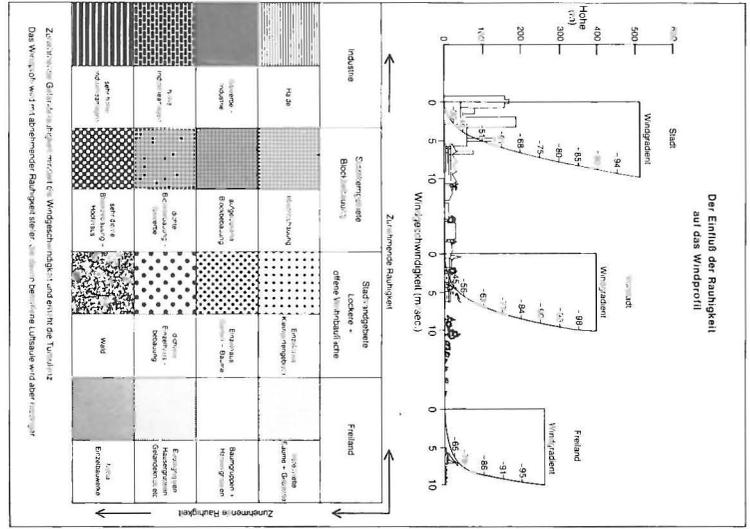


Abb. 1

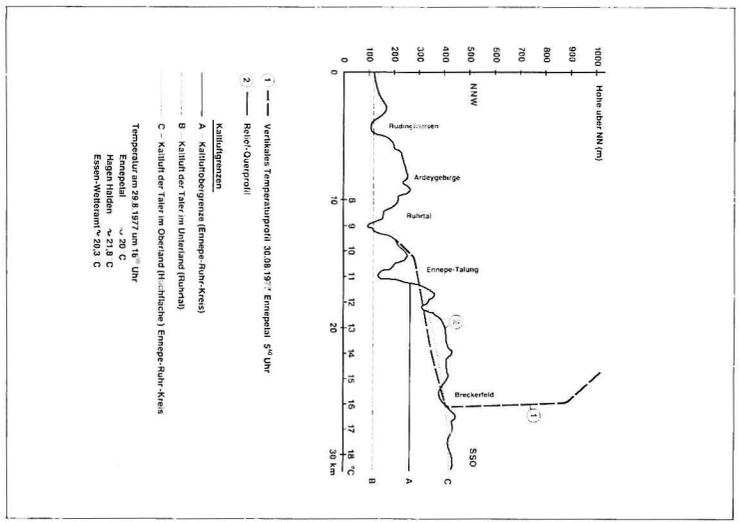


Abb. 4