

Nr.7

Falschfarbenfotografie -
Ein Mittel zur Erkennung
von Pflanzenschäden

Herausgeber

Landesanstalt für Immissionsschutz des Landes NW, Essen

1980

Untersuchungen zur Anwendbarkeit der Falschfarbenfotografie
für die Aufdeckung und Dokumentation von Immissionswirkun-
gen auf Pflanzen

Dr. G.H.M. Krause, Dr. B. Prinz und Dipl.Biol. K. Adamek

(1980)

UNTERSUCHUNGEN ZUR ANWENDBARKEIT DER FALSCHFARBENFOTOGRAFIE
FÜR DIE AUFDECKUNG UND DOKUMENTATION VON IMMISSIONSWIRKUNGEN
AUF PFLANZEN

Dr. G.H.M. Krause, Dr. B. Prinz und Dipl.Biol. K. Adamek

Z u s a m m e n f a s s u n g

Im Juni 1978 wurden im Auftrag der LIS die fünf Aluminiumhütten des Landes NW bzw. ihre Umgebungsbereiche überflogen, um Luftbildsenkrechtaufnahmen nach dem Prinzip der Infrarot-Falschfarbenfotografie zu gewinnen. Diese Aufnahmen wurden nach einem in der LIS entwickelten Schlüssel ausgewertet und die Ergebnisse mit den Ergebnissen eingehender terrestrischer Erhebungen verglichen. Dabei konnte nachgewiesen werden, daß es im Hinblick auf Vegetationsschäden mit Hilfe der Falschfarbenfotografie grundsätzlich möglich ist, den Einflußbereich singulärer Quellen zu erfassen und abzugrenzen. Voraussetzung hierzu ist allerdings eine zumindest stichprobenmäßige terrestrische Vergleichserhebung, da die auf dem Film sichtbaren Farbverschiebungen ggf. auch durch andere Schädigungsursachen bedingt sein können. Der große Vorteil der Luftbildaufnahmen liegt allerdings in der vollständigen Erfassung größerer Untersuchungsgebiete sowie in der relativ hohen räumlichen Auflösung.

S u m m a r y

On behalf of the LIS (State Institute for Air Pollution Control) five aluminium plants in the state of Northrhine-Westfalia and their surrounding vegetation have been surveyed in June 1978 by means of false color infrared aerial fotography. The photographs were interpreted according to a special key developed by the LIS and compared with extensive field surveys. From the investigation can be concluded that using false color aerial fotography it is principally possible to detect vegetation damage due to pollution and to localize and differentiate the affected area influenced by a single source. However basic requirements are comparative field studies at least in a sample range since colour deviations on the film may equally be caused by other reasons of plant damage. A great advantage of false color aerial fotography is based on the other hand on the possibility of surveing comprehensively extensive areas with a comparatively high spatial resolution.

1. Untersuchungsauftrag

Im Auftrage des Ministers für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes NW sind während der Vegetationsperiode 1978 von der Landesanstalt für Immissionsschutz des Landes NW eingehende Untersuchungen zur Anwendbarkeit der Falschfarbenfotografie bei der Aufdeckung und Dokumentation von Immissionswirkungen auf Pflanzen durchgeführt worden. Grundlage dieser Untersuchungen waren Luftbildsenkrechtaufnahmen mit Color-Infrarotfilm der Firmen Rheinische Braunkohlenwerke AG und Hansa-Luftbild GmbH im Einflußbereich der fünf Aluminiumhütten des Landes NW. Im einzelnen handelt es sich dabei um die Anlagen der Leichtmetallgesellschaft in Essen (A), des Kaiser-Aluminiumwerkes in Voerde (B), des VAW-Lippewerkes in Lünen (C), des VAW-Rheinwerkes in Norf (D) sowie des VAW-Erftwerkes in Grevenbroich (E) (s. Übersichtskarte). Als Untersuchungsgebiet wurde einheitlich ein in Nordsüd- bzw. Ostwest-Richtung sich erstreckendes Quadrat mit den Kantenlängen 4 km und der jeweiligen Aluminiumhütte im Mittelpunkt zugrundegelegt. Die Befliegung zur Gewinnung der Senkrechtluftaufnahmen erfolgte im Juni 1978. Eine ursprünglich vorgesehene zweite Befliegung zum Ende der Vegetationsperiode mußte wegen ungünstiger Witterung ausfallen. Die Befliegungspläne gehen aus den Karten 1A bis 1E hervor.

Parallel zu den Befliegungen wurden in den Untersuchungsgebieten eingehende terrestrische Erhebungen über den Schädigungsgrad der dort vorhandenen Vegetation sowie über die Anreicherung von Fluor, Schwefel und Chlor in systematisch ausgewählten Pflanzenproben durchgeführt. Zur Bewertung der Untersuchungsergebnisse wurden noch Informationen über die Fluoremissionen der fünf Aluminiumhütten sowie über die Windrichtungsverteilung während der Untersuchungsperiode eingeholt.

Die Untersuchung ging davon aus, daß als grundsätzliche Zielsetzung für die Anwendung der Falschfarbenfotografie bei

Luftbildaufnahmen folgende Möglichkeiten infrage kommen:

- a) Vorläufige Überprüfung des Vegetationszustandes in einem immissionsbelasteten Gebiet als sogenannte screening-Methode.

Hierunter ist zu verstehen, daß durch Befliegung größere Gebiete auf grundsätzlich mögliche Vegetationsschäden untersucht werden. Dort, wo aus den Luftbildaufnahmen keine Hinweise auf Beeinträchtigungen der Vegetationen hervorgehen, kann mit gutem Grund angenommen werden, daß Schäden auch tatsächlich nicht vorliegen. In den übrigen Gebieten, in denen aufgrund der Luftbildaufnahmen zunächst ein Verdacht für Vegetationsschäden besteht, ist stichprobenmäßig durch terrestrische Untersuchungen zu verifizieren, ob es sich um Vegetationsschäden handelt und ob diese Schäden nach dem Symptombild und anderen Kriterien auf Immissionseinfluß zurückzuführen sind. Weitere Untersuchungen müssen den Nachweis erbringen, auf welche Komponenten im einzelnen diese Immissionsschäden zurückzuführen sind und wer der Verursacher dieser Schäden ist.

- b) Dokumentation einer bereits als Immissionsschäden erkannten Vegetationsbeeinträchtigung.

In diesem Fall wird davon ausgegangen, daß durch terrestrische Untersuchungen vorab feststeht, daß Immissionsschäden in der Umgebung eines oder mehrerer Emittenten vorliegen. Die Befliegung dient dann dem Ziel, den Schaden im Sinne der Beweissicherung eindeutig zu dokumentieren und das Schadensgebiet präziser abzugrenzen als es aufgrund der terrestrischen Untersuchungen möglich ist. Diese Dokumentation kann auch herangezogen werden, um den Einfluß neuer Quellen bzw. den Erfolg technischer Maßnahmen an bestehenden Quellen zu überprüfen, wenn die Befliegung vor und nach den emissionserhöhenden bzw. emissionsvermindernden Maßnahmen durchgeführt wird.

2. Untersuchungsmethodik

Das Anwendungsprinzip der Falschfarbenfotografie besteht darin, daß vor allem im Infrarotbereich die Remission des Sonnenlichtes sehr stark vom Zustand der Assimilationsorgane abhängt. Physikalisch gesehen wird bei einem intakten Blatt der Infrarotanteil des Sonnenlichtes im Schwammparenchym des Blattes mehrfach gebrochen und tritt nach Totalreflexion wieder an der Blattoberfläche aus. Jede Beeinträchtigung der Mesophyllstruktur, wobei neben Immissionseinfluß zahlreiche weitere Einflußfaktoren, wie zum Beispiel Wasserentzug und Alterung des Blattes infrage kommen, setzt die Remission der Infrarotstrahlen herab. Der bei der Befliegung eingesetzte Kodak Infrared-Aerofilm ist im Infrarotbereich, d.h. bei Lichtstrahlen der Wellenlänge $> 700 \text{ nm}$, besonders empfindlich. Aufgrund der spezifischen Zusammensetzung des Filmmaterials sowie des Entwicklungsprozesses werden auf dem Farbpositiv die Farben Infrarot als rot, rot als grün und grün als blau dargestellt, während die Farbe blau durch Verwendung eines Gelbfilters bereits bei der Aufnahme eliminiert wird. Geht der Infrarotanteil durch geschädigte Blattgewebe gegenüber der normalen Remission des Sonnenlichtes zurück, so wird aus Normalrot ein leicht aufgehelltes Rot, das bei starken Schäden schließlich in grau übergeht. Ein Beispiel für derartige Farbveränderungen geht aus Bild 1a hervor.

Die Auswertung der Luftbildaufnahmen erfolgt anhand der Original Infrarotfarbdiapositive, die ein Format von 23 cm x 23 cm aufweisen. Wie aus den Befliegungsplänen hervorgeht, hat das Flugzeug in 10 ca. 5 km langen Flugstraßen von West nach Ost und von Ost nach West das Untersuchungsgebiet überquert. Die Flugstraßen sowie der Zeitpunkt der Kameraauslösung sind so gewählt, daß eine 60 %ige Überlappung des aufgenommenen Geländes auf den Bildern erreicht wird. Hierdurch ist eine stereoskopische Betrachtung des jeweils übereinstimmenden Bildausschnittes von je 2 benachbarten Aufnahmen möglich.

Jeder Luftbildaufnahme wird mit einem Flächenausschnitt = Teilfläche von 500 m x 500 m ein Raster von 19 x 19 = 361 Quadraten unterlegt (s. Bild 1b). Auf das gesamte Untersuchungsgebiet, das 8 x 8 = 64 Teilflächen umfaßt, entfallen somit 64 x 361 = 23104 Rasterquadrate. Wie aus den Karten 2A bis 2E hervorgeht, wird der Zustand der Vegetation auf der Grundlage der 500 m x 500 m Teilflächen dargestellt. Die angegebenen Schädigungsklassen für die Luftbildinterpretation L beziehen sich auf den prozentualen Anteil der Rasterflächen innerhalb dieser 500 m x 500 m Teilflächen, in denen an Sträuchern oder Bäumen die Farbstufen "leicht aufgehellt" bzw. "grau" festgestellt wurden.^{*)} Bei der Ermittlung dieses Anteiles blieben naturgemäß die Rasterquadrate unberücksichtigt, die keine Vegetation aufwiesen. Durch die fehlende Baum- und Strauchvegetation in einzelnen Teilflächen der Untersuchungsgebiete konnte in der Umgebung des Kaiser-Aluminiumwerkes bei Voerde (B), des VAW-Rheinwerkes bei Norf (D) und des VAW-Erftwerkes bei Grevenbroich (E) nicht für alle Flächen von 500 m x 500 m der prozentuale Anteil der Flächen mit geschädigten Pflanzen ermittelt werden. Wegen der insgesamt 500 m zu weit nördlich erfolgten Überfliegung des VAW-Lippewerkes bei Lünen (C) ist das gesamte Untersuchungsgebiet mit Bezug auf den Emittenten um 500 m in nördlicher Richtung verschoben.

Wegen des hohen Arbeitsaufwandes konzentrierten sich die terrestrischen Erhebungen auf eine Stichprobe der 500 m x 500 m großen Teilflächen, wobei diese Teilflächen so ausgewählt wurden, daß sie vom Emittenten ausgehend bevorzugt in den acht Haupthimmelsrichtungen angeordnet waren. Die Lage der Teilflächen geht im einzelnen aus Bild 1c hervor. Von in der Regel zwei Bäumen oder Sträuchern wurden Blattproben genommen, deren Schädigungsgrad folgenden Stufen zugeordnet wurde:

- 0 = nicht geschädigt
- 1 = schwach nekrotisiert
- 2 = mittelstark nekrotisiert
- 3 = stark nekrotisiert.

*) s. hierzu Anhang S. 22.

So gut es ging, wurde auch die übrige Vegetation in der untersuchten Teilfläche mit in die Bewertung einbezogen, so daß für jede dieser Teilflächen für die Symptomausprägung S ein mittlerer Index in den Grenzen 0 ... 3 angegeben werden konnte. Die Blattproben wurden ebenfalls auf ihren Gehalt an Fluor sowie Schwefel und Chlor analysiert. Für den Vergleich mit den übrigen Erhebungskriterien wurden lediglich die Fluorwerte F herangezogen.

Die terrestrischen Erhebungen konnten aus arbeitstechnischen Gründen erst im September 1978, d.h. zum Zeitpunkt der ursprünglich vorgesehenen zweiten Befliegung durchgeführt werden. Dies schränkt natürlich die Möglichkeit eines Vergleiches zwischen der Luftbildinterpretation und den terrestrischen Erhebungen beträchtlich ein, da in den dazwischen liegenden drei Monaten durchaus Veränderungen in der Auswirkung der einzelnen Quellen auf die benachbarte Vegetation eingetreten sein können, die von der Luftbildaufnahme noch nicht erfaßt wurden.

Zur Überprüfung, inwieweit die Interpretation der Luftbildaufnahmen mit den Ergebnissen der terrestrischen Erhebungen übereinstimmt, wurde eine Rangkorrelationsanalyse durchgeführt. Hierbei wurden je Aluminiumhütte die 500 m x 500 m Teilflächen, für die Ergebnisse der terrestrischen Erhebungen vorlagen, entsprechend dem Ergebnis der Luftbildinterpretation L in eine aufsteigende Reihenfolge gebracht. Parallel hierzu wurde die Rangfolge entsprechend dem festgestellten Schädigungsgrad S der Baum- und Strauchvegetation bestimmt. In derselben Weise wurden auch die Ränge bezüglich der Fluoranreicherung in den untersuchten Blattproben ermittelt.

Berechnet wurde der sogenannte Kendall'sche Korrelationskoeffizient τ , der definitionsgemäß zwischen - 1 und + 1 liegen kann. Hierbei bedeuten:

- $\tau = + 1$, daß die Rangfolge von je 2 Kriterien
 völlig übereinstimmt;
 $\tau = 0$, daß überhaupt kein Zusammenhang zwischen
 diesen beiden Kriterien besteht;
 $\tau = - 1$, daß eine entgegengesetzte Rangfolge
 vorliegt.

Zur Prüfung, ob eine Übereinstimmung zwischen den Interpretationen der Luftbildaufnahmen L sowohl zu der Symptomausprägung S entsprechend der terrestrischen Erhebung als auch zum Fluorgehalt der Pflanzenproben F besteht, findet der multiple Kendall'sche Korrelationskoeffizient Anwendung.

Die Rangkorrelationsanalyse wurde auch durchgeführt, um zu prüfen, inwieweit die mittleren Erhebungsergebnisse je Untersuchungsgebiet, d.h. je Aluminiumhütte, für die drei Kriterien Luftbildinterpretation \bar{L} , Symptomausprägung \bar{S} sowie Fluoranreicherung \bar{F} übereinstimmen. In diesem Vergleich wurden auch noch die Ränge der Fluoremission der fünf untersuchten Aluminiumhütten mit einbezogen.

Da es sich bei L und F um quantitative Größen handelt, ist für diese Werte die Mittelwertbildung über das gesamte Untersuchungsgebiet problemlos, wenn man bei F davon absieht, daß die Stichprobe mit zwei Blattproben je Teilfläche außerordentlich klein ist, aus Gründen der Arbeitskapazität aber nicht erhöht werden konnte. Bei der qualitativen Größe S wurde unterstellt, daß die Wertigkeiten 0,1,2 und 3 einer Kardinalskala entsprechen und somit wie eine quantitative Größe arithmetisch umgeformt werden können. Die Emissionsdaten sind auf der Grundlage der in der LIS zur Verfügung stehenden Informationen (Angaben der Betreiber, die zum Teil auf Emissionsmessung durch neutrale Meßinstitute beruhen) zusammengestellt worden. Mit Berücksichtigung der unterschiedlichen Emissionsniveaus lassen sich die fünf Aluminiumhütten hinsichtlich ihrer für die Belastung der für die Nachbarschaft relevanten Emissionsmassenströme in die aufsteigende Reihenfolge D, E, C,

A, B bringen.

3. Untersuchungsergebnisse

Unabhängig von methodischen Fragestellungen, die in einem nachfolgenden Abschnitt behandelt werden, lassen sich aufgrund der Luftbildinterpretation sowie der terrestrischen Erhebungen folgende Ergebnisse festhalten.

A. Leichtmetallgesellschaft Essen

Wie aus der Karte 2A hervorgeht, weist die Vegetation nach den Ergebnissen der Luftbildinterpretation in einem weiten Umkreis der Quelle Flächen mit einem hohen Anteil geschädigter Pflanzen auf. Der mittlere Flächenanteil mit geschädigten Pflanzen beträgt 47,7 %, die Häufigkeitsverteilung der in Karte 2A dargestellten Klassen geht aus Bild 2 hervor. Die Schädigung nimmt in plausibler Weise mit der Entfernung von der Quelle ab. Ebenfalls plausibel sind die vorherrschend in Südwest- bzw. Nordoststreckung auftretenden Bereiche hoher Schädigungsanteile, die mit der in Karte 2A ebenfalls eingezeichneten prozentualen Windverteilung während der Zeit vom 1.3.1978 bis 17.6.1978 recht gut übereinstimmen.

Entsprechend der phänomenologischen Erhebungen vom 1.9.1978 traten sowohl im Nordosten als auch im Osten starke, sich in Form von Rand- und Spitzennekrosen ausprägende Pflanzenschäden auf. Im gesamten Untersuchungsgebiet waren daneben interkostale Aufhellungen an Blättern von Ahorn, Pappel, Holunder, Birke, Kirsche und Linde festzustellen.

Während die Schwefel- und Chloridgehalte bis auf einige Ausnahmen im Normalbereich liegen, sind die Fluorgehalte in allen Pflanzenproben erhöht gewesen. Ebenfalls in Übereinstimmung zur Luftbildinterpretation sowie zur phänomenologischen Erhebung lassen sich die höchsten Fluorgehalte in Pflanzenproben östlich bzw. nordöstlich der Quelle nachweisen. Der mittlere Fluorgehalt des gesamten Untersuchungsgebietes liegt bei

519,3 µg/g TS.

B. Kaiser-Aluminiumwerk Voerde

In der Luftbildaufnahme waren quellenbezogene Vegetations-schäden nur innerhalb einer Ausdehnung von etwa 1 km in östlicher Richtung zu erkennen (s. Karte 2B). Dies deckt sich in etwa mit den symptomatologischen Erhebungen, bei denen mittelstarke Nekrosen ebenfalls bis zu einer Entfernung von etwa 1 km vom Emittenten festgestellt wurden. Eine Ausnahme bildet eine Teilfläche in etwa 2 km Entfernung in nordöstlicher Richtung, auf der stark nekrotisierte Pflanzen angetroffen wurden, die in der Luftbildaufnahme nicht erkennbar waren. Zu berücksichtigen ist allerdings, daß die terrestrischen Erhebungen am 5.9.1978 erfolgten, während das Farbinfrarotluftbild vom 18.6.1978 datiert. Daher ist es durchaus denkbar, daß diese Schäden zum Zeitpunkt der Befliegung noch nicht aufgetreten waren.

Entsprechend der relativ geringen Schädigung der Vegetation in der Nachbarschaft des Kaiser-Aluminiumwerkes in Voerde, die als mittlerer Flächenanteil mit geschädigten Pflanzen 8,5 % beträgt, ist auch die Fluoranreicherung mit einem über das gesamte Untersuchungsgebiet gemittelten Wert von 158,9 µg/g TS relativ niedrig. Die Schwefel- und Chloridgehalte der Pflanzenproben übersteigen häufiger den Normalwert, lassen aber keinen eindeutigen Flächenbezug in irgend einer Richtung erkennen. Auffallend ist jedoch der vergleichsweise hohe Chlorgehalt in der Blattprobe der Teilfläche 22, kombiniert mit einem hohen Fluorgehalt. Diese Teilfläche weist auch starke Nekrotisierungen an der dort angetroffenen Vegetation auf.

C. VAW-Lippewerk Lünen

Wie aus der Karte 2C hervorgeht, erbrachte die Auswertung der Luftbildaufnahmen ein ausgedehntes Schadensgebiet, bei dem lediglich in nordöstlicher Richtung etwas geringere Schädi-

gungsgrade festgestellt wurden. Der mittlere Flächenanteil mit geschädigten Pflanzen beträgt 62,8 %. Auffallend ist, daß während der Vegetationszeit bis zur Luftbildaufnahme die Windrichtungsverteilung eine ausgesprochene Bevorzugung in Ostwest- bzw. Westostrichtung zeigt.

Die anlässlich der terrestrischen Erhebung am 6.9.1979 festgestellten Pflanzenschäden treten ebenfalls bevorzugt in östlicher bzw. westlicher Richtung vom Emittenten auf. Der mittlere Fluorgehalt liegt mit 328,3 µg/g TS oberhalb der in der Umgebung des Kaiser-Aluminiumwerkes in Voerde ermittelten Fluorbelastung, jedoch unterhalb der Fluorgehalte im Untersuchungsgebiet der Leichtmetallgesellschaft Essen. Die Schwefel- und Chloridgehalte in Blattproben liegen in mehreren Teilflächen oberhalb der Normalwerte, lassen jedoch keinen Flächenbezug erkennen.

D. VAW-Rheinwerk Norf

In der Umgebung des VAW-Rheinwerkes Norf ist insgesamt die aus den Luftbildaufnahmen geschätzte Schädigung der Vegetation geringer als im Einflußbereich des VAW-Lippewerkes Lünen und der LMG Essen. Der mittlere Flächenanteil mit geschädigten Pflanzen beträgt 38,3 %. Teilflächen mit hohem Anteil geschädigter Baum- und Strauchvegetation liegen vor allem in östlicher Richtung bis zu einer Entfernung von 1 km vom Werk (s. Karte 2D). Auffallend ist, daß auch im weiteren Umkreis noch zum Teil beträchtliche Flächenanteile mit geschädigten Pflanzen festgestellt werden, ohne daß ein Bezug zur Aluminiumhütte erkennbar ist. Bei der am 4.9.1978 vorgenommenen phänomenologischen Untersuchung der Vegetation waren mittlere bis starke Pflanzenschäden bis in einer Entfernung von ca. 1 km um das Rheinwerk herum, ebenfalls vorherrschend in östlicher Richtung sowie im südwestlichen Sektor bis an den Rand des Untersuchungsgebietes festzustellen. Der Fluorgehalt in den Pflanzenproben liegt über das gesamte Untersuchungsgebiet ge-

mittelt bei 322,8 µg/g TS und ist damit ähnlich hoch wie bei dem VAW-Lippewerk in Lünen, ohne jedoch die hier vorgefundene, relativ hohe Schadensausprägung aufzuweisen. Hierbei ist allerdings wiederum zu berücksichtigen, daß die Befliegung bereits am 18.6.1978, d.h. etwa 3 Monate vor den terrestrischen Erhebungen erfolgte.

Die Schwefel- und Chloridgehalte sind zwar in einigen Blattproben von Pflanzen an Straßenrändern und in Wohngebieten erhöht, lassen jedoch keine eindeutige Zuordnung zu einer bestimmten Quelle erkennen.

E. VAW-Erftwerk Grevenbroich

Aus den Luftbildern geht entsprechend Karte 2E hervor, daß die Vegetationsschäden ähnlich wie bei dem VAW-Rheinwerk in Norf mit einem mittleren Flächenanteil mit geschädigten Pflanzen von 37,5 % insgesamt als relativ schwach zu bewerten sind. Hohe Flächenanteile mit geschädigten Pflanzen liegen wiederum in der nächsten Umgebung der Quelle, wenn man von der Teilfläche 9, die im Nordwesten der Quelle in einem Wohngebiet liegt, absieht.

Die am 7.9.1978 durchgeführten terrestrischen Erhebungen führten ebenfalls zu dem Ergebnis, daß stark nekrotisierte Pflanzen vor allem in den Teilflächen in unmittelbarer Nachbarschaft der Aluminiumhütte auftreten. Die Fluorgehalte liegen mit 150,2 µg/g TS, gemittelt über das gesamte Untersuchungsgebiet, relativ niedrig. Dies steht in plausibler Übereinstimmung zu dem relativ geringen Schädigungsgrad der Vegetation im Einflußbereich dieser Aluminiumhütte. Die Schwefel- und Chlorid-anreicherungen sind im allgemeinen als normal anzusehen.

Von besonderem Interesse ist ein zusammenfassender Vergleich der für die fünf Aluminiumhütten erzielten Ergebnisse der Wirkungsuntersuchungen im Zusammenhang mit der Emission dieser

Hütten. In der Tabelle 1 sind zunächst die mittleren Flächenanteile der nach den Luftbildaufnahmen ausgewerteten Teilflächen mit Vegetationsschäden angegeben. Ebenfalls aufgeführt ist der mittlere Fluorgehalt in den Pflanzenproben sowie die mittlere Symptomausprägung nach den Ergebnissen der terrestrischen Erhebungen. In einer weiteren Spalte sind die Ränge der Emissionen der fünf Aluminiumhütten aufgeführt.

Die in den ersten drei Spalten angegebenen Werte lassen sich ebenfalls entsprechend der in den Klammern beigefügten Zahlen in Ränge einordnen. Das Ergebnis von je 2 Rangvergleichen ist in den Rangkorrelogrammen in Bild 3 dargestellt. Die Kendall'schen Rangkorrelationskoeffizienten sind ebenfalls angegeben. Hierbei ist jedoch zu bedenken, daß wegen der geringen Wiederholungszahl diese Koeffizienten mehr deskriptiven Charakter haben, als daß sie eine statistische Signifikanzprüfung ermöglichen.

Aus den Korrelogrammen ist zunächst zu entnehmen, daß sowohl zwischen den Luftbildinterpretationen und den Fluorgehalten in den Pflanzenproben als auch zwischen den Luftbildinterpretationen und der Symptomausprägung ein plausibler Zusammenhang besteht. Vor allem aus dem ersten Korrelogramm ist zu entnehmen, daß die Aluminiumhütten Kaiser-Aluminiumwerk in Voerde (B) und VAW-Erftwerk in Grevenbroich (E) als Emittenten anzusehen sind, die nur einen sehr geringen Einfluß auf die Vegetation der Nachbarschaft ausüben. Das VAW-Rheinwerk in Norf (D) weist einen mittelstarken Einfluß auf die Nachbarschaft auf, während die Leichtmetallgesellschaft Essen (A) und das VAW-Lippewerk in Lünen (C) ganz beträchtliche Vegetationsschäden in einer Umgebung bis zu 3 km von der Quelle zeigen. Bei dem Vergleich der Luftbildaufnahmen und der symptomatologischen Erhebungen fällt das VAW-Erftwerk Grevenbroich (E) etwas aus dem Rahmen. Das heißt, daß die Luftbildaufnahmen einen niedrigeren Schädigungsgrad anzeigen als die symptomatologischen Erhebungen. Hierbei ist jedoch wiederum zu berücksichtigen, daß die auswertbaren Teilflächen sowohl für

die Luftbildaufnahmen als vor allem für die terrestrischen Erhebungen sehr lückenhaft waren.

In dem Korrelogramm, das den Zusammenhang zwischen der symptomatologischen Erhebung \bar{S} und der festgestellten mittleren Fluoranreicherung \bar{F} darstellt, zeigt ebenfalls das VAW-Erftwerk Grevenbroich (E) eine nicht zu erklärende Abweichung. In diesem Fall kommt zum Ausdruck, daß der auf das gesamte Untersuchungsgebiet bezogene relativ hohe mittlere Schädigungsgrad \bar{S} durch die parallel festgestellte Fluoranreicherung \bar{F} , die sehr niedrig war, nicht zu erklären ist. Welche wirkungsverstärkenden Faktoren eingewirkt haben, kann aufgrund der bislang vorliegenden Untersuchungsergebnisse nicht geklärt werden. Einen überhaupt nicht interpretierbaren Zusammenhang zeigen hingegen die Auswertungen der Luftbildaufnahmen \bar{L} sowie die Ergebnisse der terrestrischen Erhebungen \bar{S} und \bar{F} im Vergleich zu den Rangzahlen der Fluor-Emissionsmassenströme \bar{E} . Geht man von den im ersten Korrelogramm von Bild 3 dargestellten Beziehungen zwischen dem Fluorgehalt und den Ergebnissen der Luftbildaufnahmen aus und legt für die drei Gruppen der in diesem Korrelogramm gekennzeichneten Emittenten mittlere Verhältnisse zugrunde, so emittieren die Leichtmetallgesellschaft in Essen (A) sowie das VAW-Lippewerk Lünen (C) scheinbar zu wenig Fluor, um die ermittelten Vegetationsschäden zu erklären, während die Aluminiumhütten VAW-Rheinwerk in Norf (D) und VAW-Erftwerk in Grevenbroich (E) scheinbar zu hohe Fluor-Emissionsmassenströme aufweisen. Die Emission des Kaiser-Aluminiumwerkes in Voerde (B) ist in diesem Zusammenhang in etwa plausibel.

Am ehesten ist noch entsprechend Bild 3 ein Zusammenhang zwischen der Symptomausprägung \bar{S} und der Emission \bar{E} der fünf Aluminiumhütten erkennbar. Hierbei fallen jedoch wiederum das VAW-Rheinwerk Norf und das VAW-Erftwerk Grevenbroich insofern aus dem Rahmen, als aufgrund der geschätzten Emission bedeutend höhere Vegetationsschäden zu erwarten wären. Anzumerken ist noch, daß bei der Aluminiumhütte Grevenbroich die fluorwasserstoffhal-

tigen Abgase nicht gereinigt werden, während bei den anderen vier im Lande NW gelegenen Aluminiumhütten nasse Reinigungsverfahren zur Anwendung kommen.

Weitergehende Schlußfolgerungen über die Ursachen der unterschiedlichen Auswirkung der untersuchten Aluminiumhütten auf die Vegetation in der Nachbarschaft dieser Anlagen lassen sich zur Zeit nicht ziehen. Hierzu wären zunächst einmal eingehende Untersuchungen zur Emissions- und Immissionsituation erforderlich. Diese Untersuchungen sind gegebenenfalls zu ergänzen durch experimentelle Untersuchungen, bei denen die relative Wirksamkeit verschiedener Applikationsformen, wie gasförmige, aerosolförmige und staubförmige Fluorverbindungen auf Pflanzen zu prüfen wären.

4. Prüfung der methodischen Fragestellung

Obwohl der Vergleich der Untersuchungsgebiete untereinander bereits zeigt, daß die Luftbildaufnahmen und die terrestrischen Erhebungen, bezogen auf die mittleren Verhältnisse in den jeweiligen Untersuchungsgebieten, zu etwa demselben Ergebnis führen, ist es unter methodischen Gesichtspunkten auch noch interessant zu prüfen, inwiefern der räumlich differenzierte Schädigungsgrad bei den verschiedenen Erhebungsarten übereinstimmt. Hierzu wurden für jedes Untersuchungsgebiet die Ränge der drei Variablen: Anteil der Flächen mit geschädigter Vegetation entsprechend der Luftbildauswertung (L), Fluorgehalt in den Blattproben (F) sowie Symptomausprägung aufgrund der terrestrischen Erhebung (S) miteinander korreliert. Zu beachten ist dabei allerdings, daß die Pflanzenproben nur von wenigen Arten genommen wurden, die so ausgewählt wurden, daß sie nach Möglichkeit in allen Gebieten vorkamen. Dies waren zum Beispiel Holunder, Ahorn, Pappel, Birke und einige andere Pflanzenarten. Dabei konnte aus arbeits-technischen Gründen für die terrestrischen Erhebungen nur eine relativ geringe Anzahl von Teilflächen ausgewählt werden,

in denen zudem im allgemeinen nur zwei Pflanzenproben je Teilfläche untersucht werden konnten. Je weniger nun diese ausgewählte Pflanzenprobe in ihrer spezifischen Empfindlichkeit repräsentativ ist für die übrige Vegetation dieser Teilfläche, desto geringer kann auch nur die Übereinstimmung zur Interpretation des Luftbildes sein. Dabei ist davon auszugehen, daß die Unterschiede in der Fluoranreicherung weniger artenspezifisch sind als die Unterschiede in der Symptomausprägung.

Für jedes Untersuchungsgebiet wurden Kendall'sche Rangkorrelationskoeffizienten für diese Variablen, bezogen auf vergleichbare Teilflächen innerhalb der Untersuchungsgebiete, berechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 dargestellt. Ebenfalls angegeben ist der multiple Rangkorrelationskoeffizient zwischen dem Anteil geschädigter Flächen entsprechend der Luftbildaufnahme einerseits und der Fluoranreicherung und der Symptomausprägung andererseits. Aus dieser Tabelle ist zunächst einmal zu erkennen, daß im Falle der Leichtmetallgesellschaft in Essen lediglich eine Korrelation zwischen dem Fluorgehalt und den Ergebnissen der Luftbildinterpretation erkennbar ist. Beim Kaiser-Aluminiumwerk in Voerde ist umgekehrt dazu die Korrelation lediglich zwischen der Symptomausprägung aufgrund der terrestrischen Erhebung und der Luftbildinterpretation erkennbar vorhanden. Bei dem VAW-Lippewerk in Lünen und dem VAW-Rheinwerk in Norf sind beide Variablen zu den Ergebnissen der Luftbildinterpretation korreliert, während das VAW-Erftwerk Grevenbroich wiederum nur eine erkennbare Korrelation zwischen der Fluoranreicherung und dem Ergebnis der Luftbildinterpretation aufweist. Der multiple Rangkorrelationskoeffizient nimmt in allen Fällen zu, verglichen mit den Einzelkorrelationen.

Die zum Teil nur sehr mangelhafte Korrelation zwischen den Ergebnissen der Luftbildaufnahmen und den terrestrischen Erhebungen ist naturgemäß unter methodischen Gesichtspunkten unbefriedigend. Zu berücksichtigen ist dabei allerdings, daß die Interpretation der Luftbildaufnahmen die gesamte Vegetation in den 500 m x 500 m Teilflächen erfaßt, während die

zwei Pflanzenproben kaum als repräsentativ für die jeweilige Teilfläche betrachtet werden können. Um dennoch zu prüfen, ob in den Luftbildaufnahmen wirklich der Einfluß der jeweiligen Aluminiumhütte erkennbar ist, wurden die einzelnen Teilflächen nach Entfernungen geordnet. Für jede Entfernungsstufe wurde der mittlere Anteil der geschädigten Flächen sowie die Standardabweichung ermittelt. In Bild 4A bis 4E sind diese Werte in Abhängigkeit von der Entfernungsstufe dargestellt.

Wie aus den Abbildungen zu ersehen ist, nimmt bei fast allen Aluminiumhütten der Schädigungsgrad systematisch mit der Entfernung ab. Zur Signifikanzprüfung wurden die mittleren Anteile geschädigter Flächen in eine Rangfolge gebracht, die ebenfalls aus den Bildern 4A bis 4E hervorgeht. Zusammen mit der Rangfolge der Entfernungsstufen wurden Rangkorrelogramme gebildet entsprechend den Bildern 5A bis 5E. In diesen Darstellungen sind ebenfalls die Kendall'schen Rangkorrelationskoeffizienten angegeben. Der Schwellenwert, bei dessen Unterschreitung angenommen werden muß, daß die beiden Größen Entfernung und mittlerer Anteil geschädigter Flächen voneinander unabhängig sind, beträgt 0,50 bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 10 %.

Aus diesen Korrelogrammen ist zu entnehmen, daß die Aluminiumhütte LMG Essen einen eindeutigen entfernungsabhängigen Einfluß auf die umgebende Vegetation ausübt und daß für die Aluminiumhütten VAW-Lippewerk Lünen und VAW-Rheinwerk Norf diese Abhängigkeit tendenziell bestätigt werden kann, während der Korrelationskoeffizient beim Kaiser-Aluminiumwerk Voerde und beim VAW-Erftwerk in Grevenbroich nahe bei Null liegt. Hierbei ist allerdings wiederum zu berücksichtigen, daß der Einfluß dieser Emittenten auf die Nachbarschaft ohnehin nur sehr gering ist, so daß auch von vornherein keine stärkere räumliche Differenzierung zu erwarten ist.

Dieses Bild findet sich auch bestätigt in der Darstellung der mittleren Fluorgehalte in der Vegetation in Abhängigkeit von der Entfernung (siehe Bild 6A bis 6E). Hierbei ist zu berück-

sichtigen, daß in völliger Übereinstimmung zu den gutachterlichen Erfahrungen in der LIS stark geschädigte Vegetation grundsätzlich relativ niedrige Fluorgehalte aufweist, da die Aufnahme von Fluor durch das Blatt sowie der Weitertransport innerhalb des Blattgewebes bei frühzeitig einsetzender Nekrotisierung sehr schnell unterbunden wird. Daher ist es erklärlich, daß trotz der bodennahen Auslässe der Fluoremissionen bei den Aluminiumhütten der LMG Essen, des VAW-Lippewerks Lünen sowie des VAW-Rheinwerks Norf sich das Maximum der Fluoranreicherung in etwa 0,8 km Entfernung vom Werk befindet, während die ohnedies die Umgebung weniger beaufschlagenden Quellen des Kaiser-Aluminiumwerks Voerde sowie des VAW-Erftwerks in Grevenbroich einen mehr oder weniger monoton abfallenden Verlauf der Fluoranreicherung in Abhängigkeit von der Entfernung zum Emittenten aufweisen.

5. Schlußfolgerungen

Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß es mit der Falschfarbenfotografie als Luftbildaufnahme gelingt, in plausibler Weise den Einflußbereich singulärer Quellen zu erfassen und abzugrenzen. Der Vorteil liegt in der hohen räumlichen Auflösung sowie der nahezu vollständigen Erfassung der gesamten Vegetation. In Übereinstimmung mit den terrestrischen Erhebungen konnten die fünf Aluminiumhütten in ihrem Einfluß auf die Vegetation in ihrer Nachbarschaft in eine bestimmte Reihenfolge gebracht werden. Diese Reihenfolge ist nicht plausibel, wenn als Vergleich die Fluoremission der fünf Aluminiumhütten herangezogen wird. Ursachen für diese Diskrepanz können zur Zeit nicht angegeben werden.

Unter methodischen Gesichtspunkten ist von Interesse, inwieweit sich innerhalb der fünf Untersuchungsgebiete die drei Erhebungsmethoden Luftbildaufnahme, Fluoranreicherung und symptomatologische Erhebung räumlich differenziert in Einklang bringen lassen. Die ermittelten Korrelationen waren teils signifikant, insgesamt jedoch unbefriedigend. Ursache dürfte die wenig

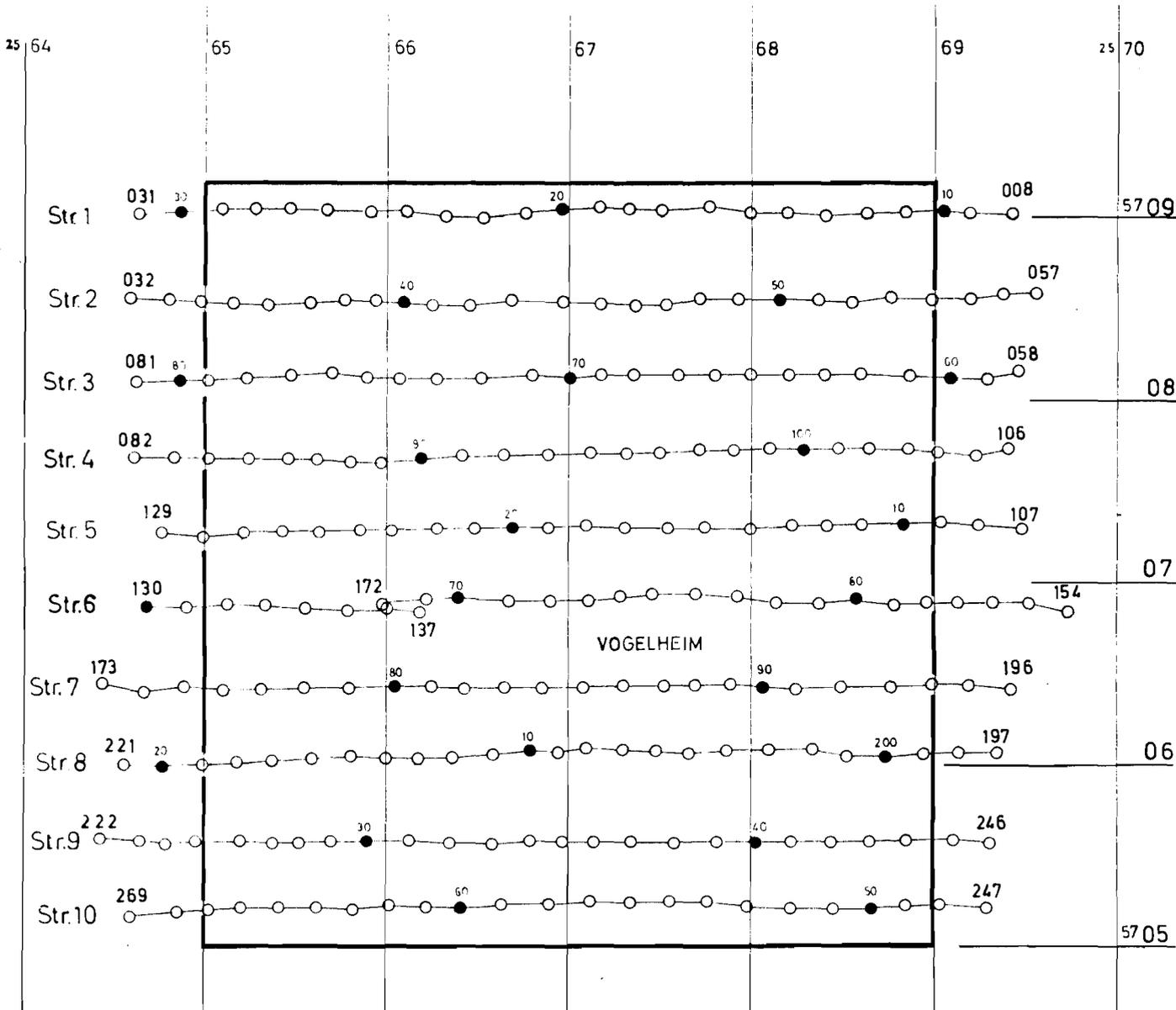
repräsentative Stichprobenahme bei den terrestrischen Erhebungen sowie der zeitliche Unterschied zwischen Befliegung und terrestrischer Erhebung sein. Als Konsequenz für nachfolgende Untersuchungen ist hieraus abzuleiten, sich auf weniger Teilflächen als bisher zu beschränken, die Vegetation in diesen Teilflächen jedoch sehr detailliert zu untersuchen. Verhältnismäßig eindeutig war der Zusammenhang zwischen der durch das Luftbild angezeigten Schädigung in den einzelnen Teilflächen und ihrer Entfernung von der Quelle. Damit ist über diese Hilfsgröße zumindest ableitbar, daß es sich bei den aus den Luftbildaufnahmen abgeleiteten Schäden mit hoher Wahrscheinlichkeit um Immissionsschäden in der räumlichen Differenzierung, verursacht durch die jeweiligen Aluminiumhütten, handelt.

Ausdrücklich zu betonen ist, daß man auch bei zukünftig geplanten Befliegungen nicht auf terrestrische Untersuchungen verzichten kann, so daß die Falschfarbenfotografie keinesfalls als einfacher Ersatz für die konventionellen Methoden der Schadenserkenkung und Schadensanalyse anzusehen ist. Andererseits ermöglichen die Luftbildaufnahmen eine räumliche Auflösung, die mit Mitteln der terrestrischen Untersuchungstechnik nur mit einem ganz erheblichen personellen Einsatz zu erzielen wäre. Der Vorteil der Infrarotluftbildaufnahmen liegt damit auf der Hand, wenn alle Möglichkeiten der Fehlinterpretation sorgfältig beachtet werden.

Anhang

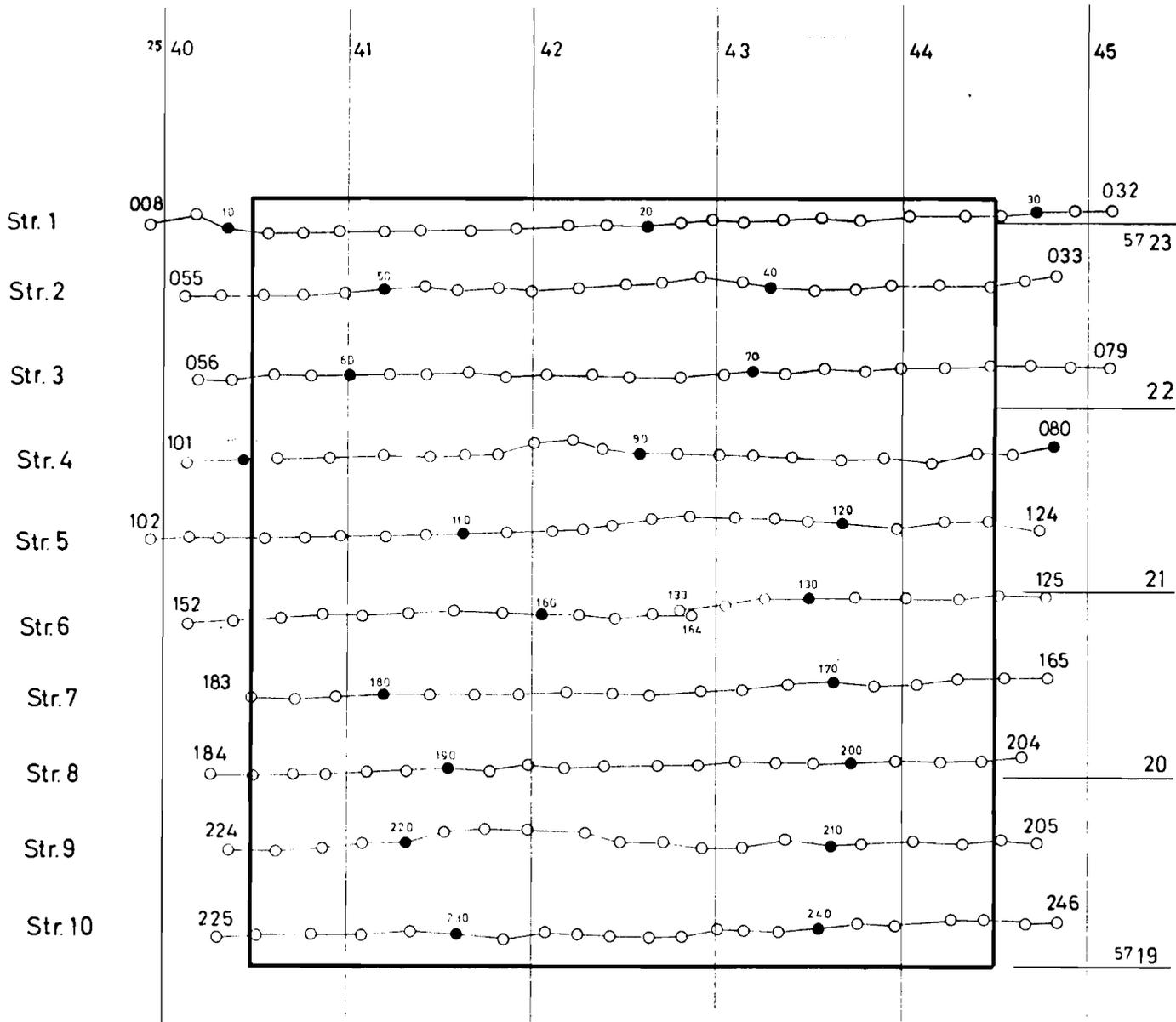
Bei der Durchmusterung der einzelnen Rasterflächen wird eine Ja-/Nein-Entscheidung in folgender Weise zugrunde gelegt: Immer dann, wenn die Vegetation in einer Rasterfläche die Farbstufe "leicht aufgehellt" oder "grau" aufweist, wird in dieser Fläche eine Vegetationsbeeinträchtigung unterstellt (Entscheidung: ja). Weist die Vegetation der Rasterfläche die Farbstufe "rot" auf, so wird angenommen, daß in dieser Fläche keine Vegetationsbeeinträchtigung vorliegt (Entscheidung: nein). Für vegetationsfreie Rasterflächen kann naturgemäß keine Entscheidung getroffen werden. Setzt man nun die Anzahl der Rasterflächen mit Ja-Entscheidung zur Summe der Flächen mit Ja- und Nein-Entscheidung ins Verhältnis, so ergibt sich im nachfolgenden das als "Flächenanteil mit geschädigter Vegetation" bezeichnete Maß L als Ergebnis der Luftbildinterpretation. Dieses Maß sagt somit nichts über die Anzahl geschädigter Pflanzen aus, die in den 361 Rasterquadraten der 500 m x 500 m Teilflächen tatsächlich aufgetreten sind.

T a b e l l e n - u n d B i l d a n h a n g



Bildmittenübersicht			
zur Top. Karte Nr.: 4407, 08, 4507, 08			
Auftrag: Lünen, Wesel, <u>Vogelheim</u>		Nr. 1/4994	
Kamera: Zeiss RMK A 30/23	Objektiv: Tonar A	f = 305,21 mm	
Nr. 118414	Nr.		
Bild-Maßstab: ca. 1 : 2.500		L. Überd.: ca. 60 %	
Befliegungsdatum: 18.6.1978			
Freigegeben durch den Reg. Pras. Münster/W. Nr. 3282/78 vom			
 Hansa Luftbild		Postfach 36 09 · Elbestraße 5 D-4400 Münster · Tel. 02 51 / 30971	

Karte 1A: Befliegungsplan zur Aufnahme von Infrarot-Luftbildern in der Umgebung der Leichtmetallgesellschaft Essen, am 18.6.1978



Bildmittenübersicht			
zur Top Karte Nr. 4205			
Auftrag Lunen, Wiesel, Vogelheim		Nr. 1/4994	
Kamera: KMK A 20/3	Objektiv: Topar A	f. 305,21 mm	
Nr. 118414	f.r.		
Bildmaßstab ca. 1:1000		L. Ueberd. ca. 60	
Befliegungsdatum: 18.6.1978			
Ergebe. n durch die Reg. Präsi. Münster/W. Nr. 2383/78 vom			
 Hansa Luftbild		Postfach 36 09 - Elbestraße 5 D-4400 Münster - Tel. 02 51 / 309 71	

Karte 1B: Befliegungsplan zur Aufnahme von Infrarot-Luftbildern in der Umgebung des KAISER - Aluminiumwerkes Voerde, am 18.6.1978

Bildmittenübersicht

zur Top. Karte Nr.: 4310, 4311

Auftrag: LÜNEN

Nr: 1/4994

Kamera: ZEISS RMK A

Objektiv: TOPAR A 118394

Nr 118414

f = 305,21 mm

Bild-Maßstab: ca. 1:2 500

L. Überd.: ca. 60 %

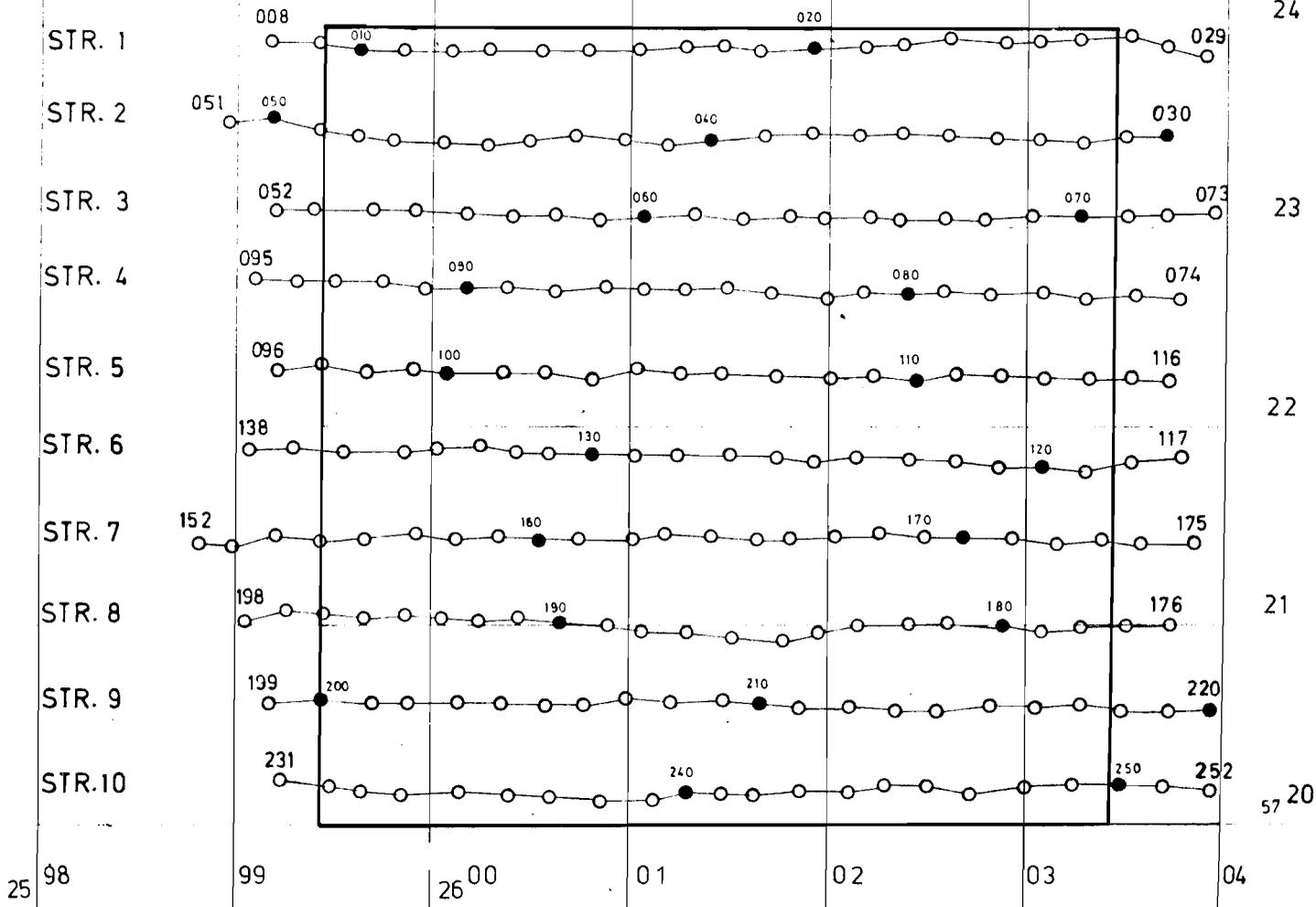
Befliegungsdatum: 2. 6. 1978

Freigegeben durch den Reg. Pras. Münster/W. : Nr. vom

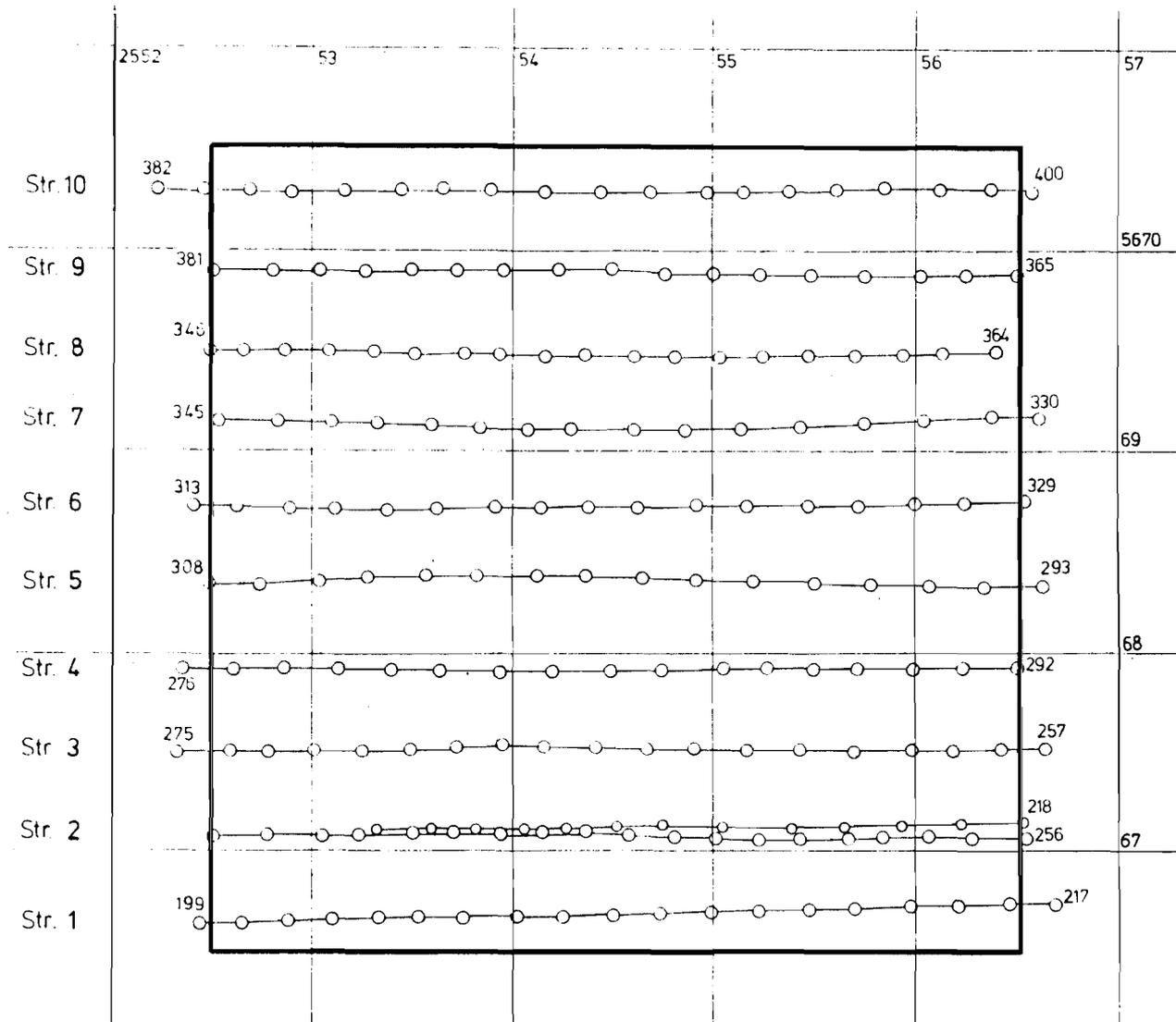


Hansa Luftbild

Postfach 36 09 · Elbestraße 5
D-4400 Münster · Tel. 02 51 / 3 09 71



Karte 1C: Befliegungsplan zur Aufnahme von Infrarot-Luftbildern in der Umgebung des VAW - Lippe-werkes, Lünen, am 2.6.1978



Rheinische Braunkohlenwerke Aktiengesellschaft Köln
Abteilung C 4/2

Bildmittenübersicht L 4906

Befliegungsdatum: 18.6.78

Gebiet: Derikum ARCHIV-Nr. 113

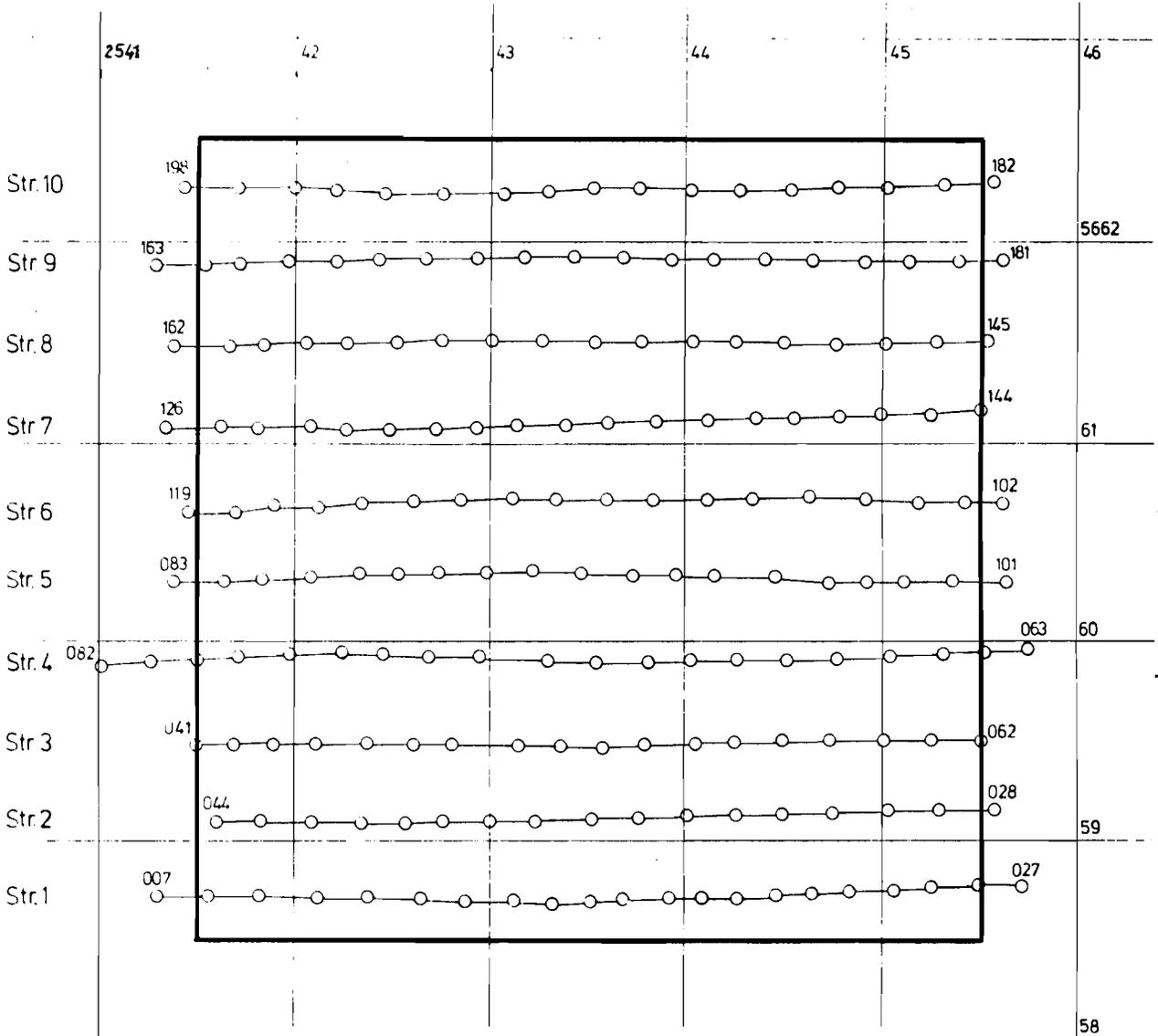
Auftraggeber: Minister für Arbeit, Gesundheit u. Soziales A 7833

Aufnahmekamera: Zeiss RMK A 15/23 - I Nr. 21128 Objektiv: Pleogon f = 152,49
Zeiss RMK A 15/23 - II Nr. 111673 Pleogon f = 153,22
Zeiss IFAK A 20/23 Nr. 20050 Toupar f = 305,65

Fotograph: N. Wallrath

Bildmaßstab: 1: 2500 von Bild-Nr. 199 bis 230
 1: von Bild-Nr. 238 bis 308
 1: von Bild-Nr. 313 bis 400

Karte 1D: Befliegungsplan zur Aufnahme von Infrarot-Luftbildern in der Umgebung des VAW - Rheinwerkes, Norf, am 18.6.1978



Rheinische Braunkohlenwerke Aktiengesellschaft Köln
Abteilung C 4/2

Bildmittenübersicht L 4904

Befliegungsdatum: 18.6.1978

Gebiet: Grevenbroich ARCHIV-Nr. 112

Auftraggeber: Minister für Arbeit, Gesundheit u. Soziales A 7833

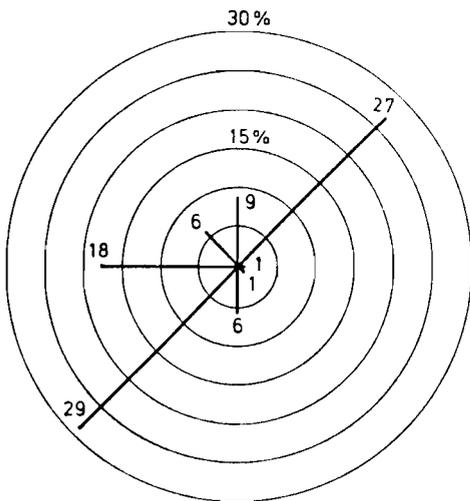
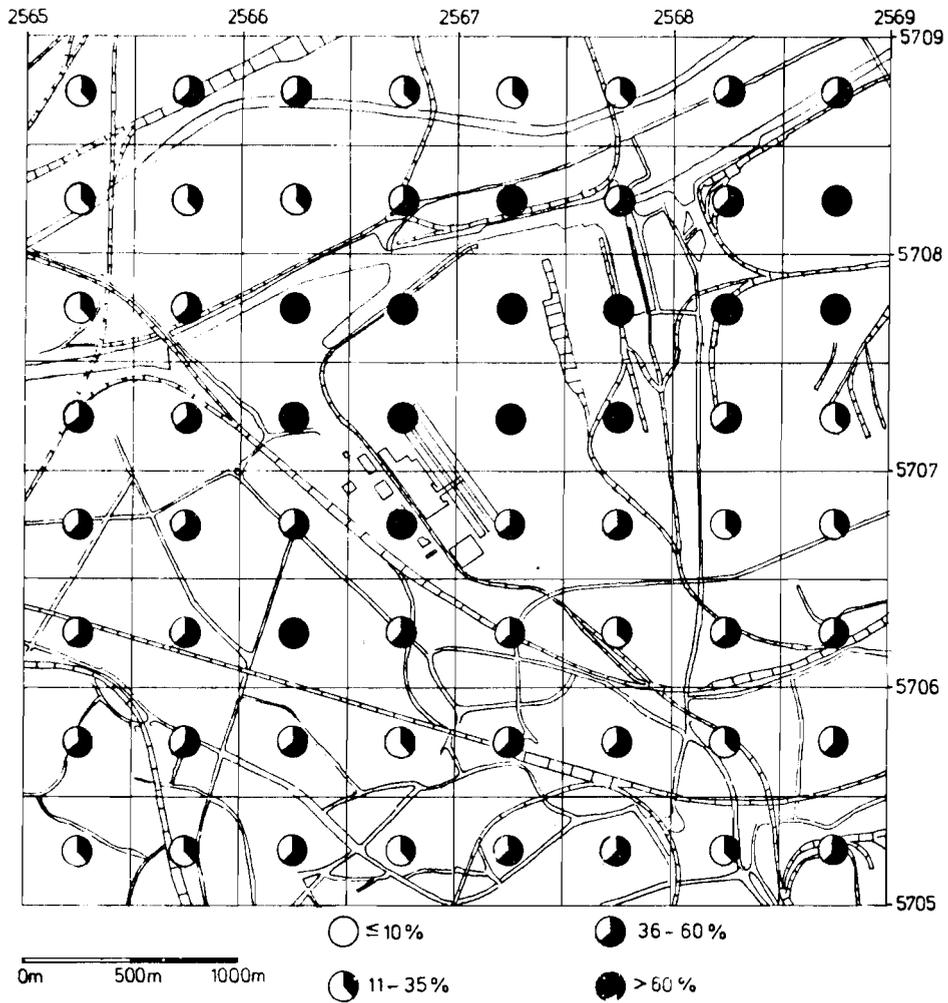
Aufnahmekamera: Zeiss RMK A 15/23 - I Nr. 21128 Objektiv: Pleogon f = 152,49
Zeiss RMK A 15/23 - II Nr. 111678 Pleogon f = 153,22
Zeiss RMK A 30/23 Nr. 20050 Tovar f = 305,45

Fotograph: N. Wallrath

Bildmaßstab: 1: 2500 von Bild-Nr. 027 bis 119
 1: _____ von Bild-Nr. 126 bis 198
 1: _____ von Bild-Nr. _____ bis _____

Karte 1E: Befliegungsplan zur Aufnahme von Infrarot-Luftbildern in der Umgebung des VAW - Erftwerkes, Grevenbroich, am 18.6.1978

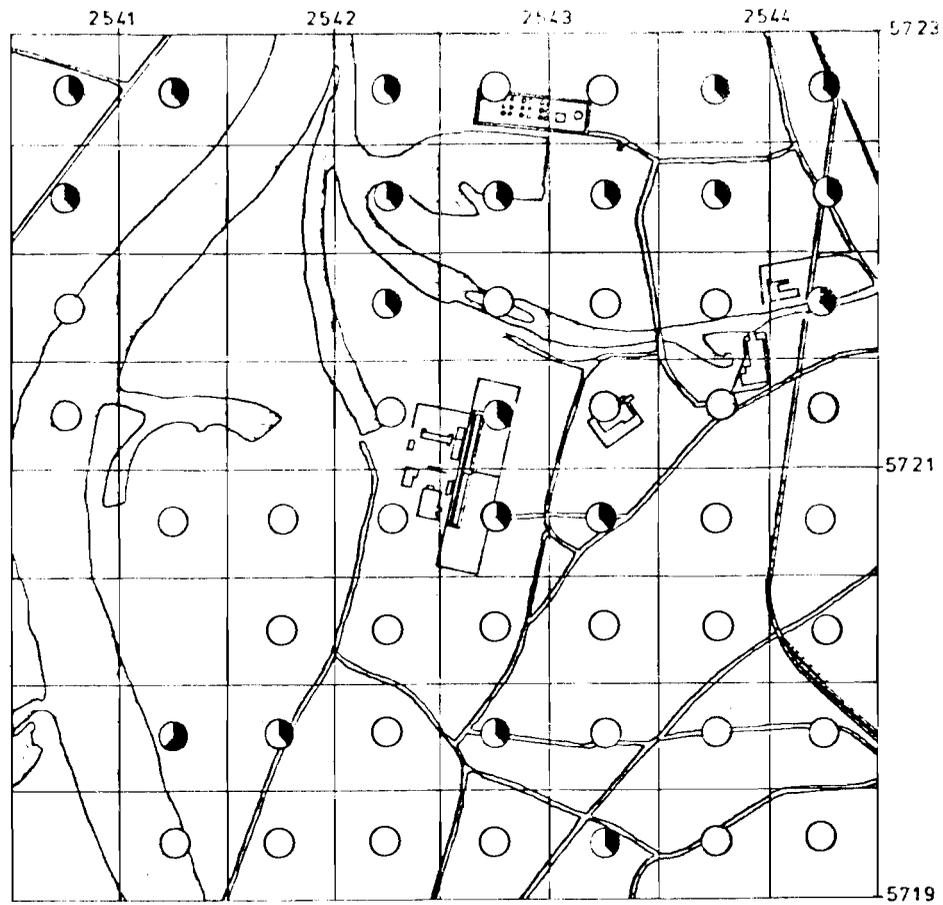
VII



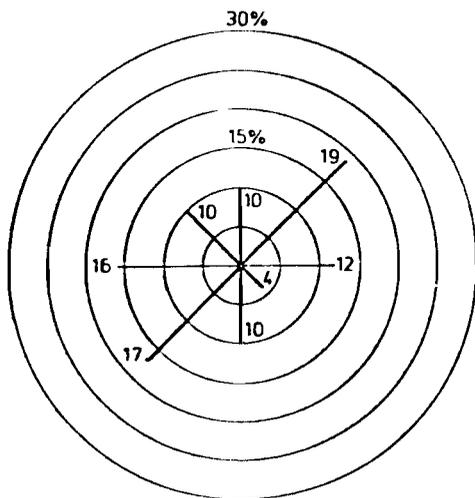
Prozentuale Windverteilung vom 1.3. bis 17.6.1978
 (Meßdaten zur Verfügung gestellt von der Leichtmetallgesellschaft, Essen)

Karte 2A: Prozentualer Anteil von Rasterflächen mit geschädigter Baum- und Strauchvegetation auf dem Infrarot-Luftbild, je Teilfläche von 500 m x 500 m

VIII

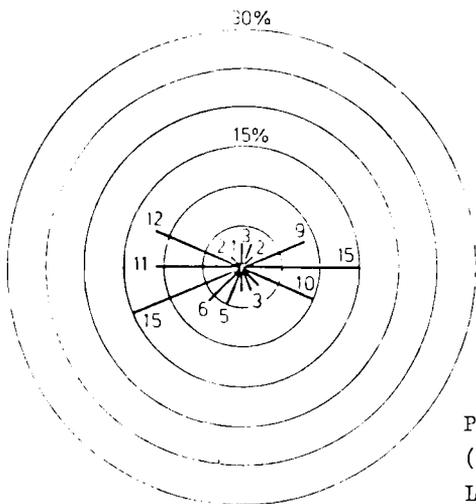
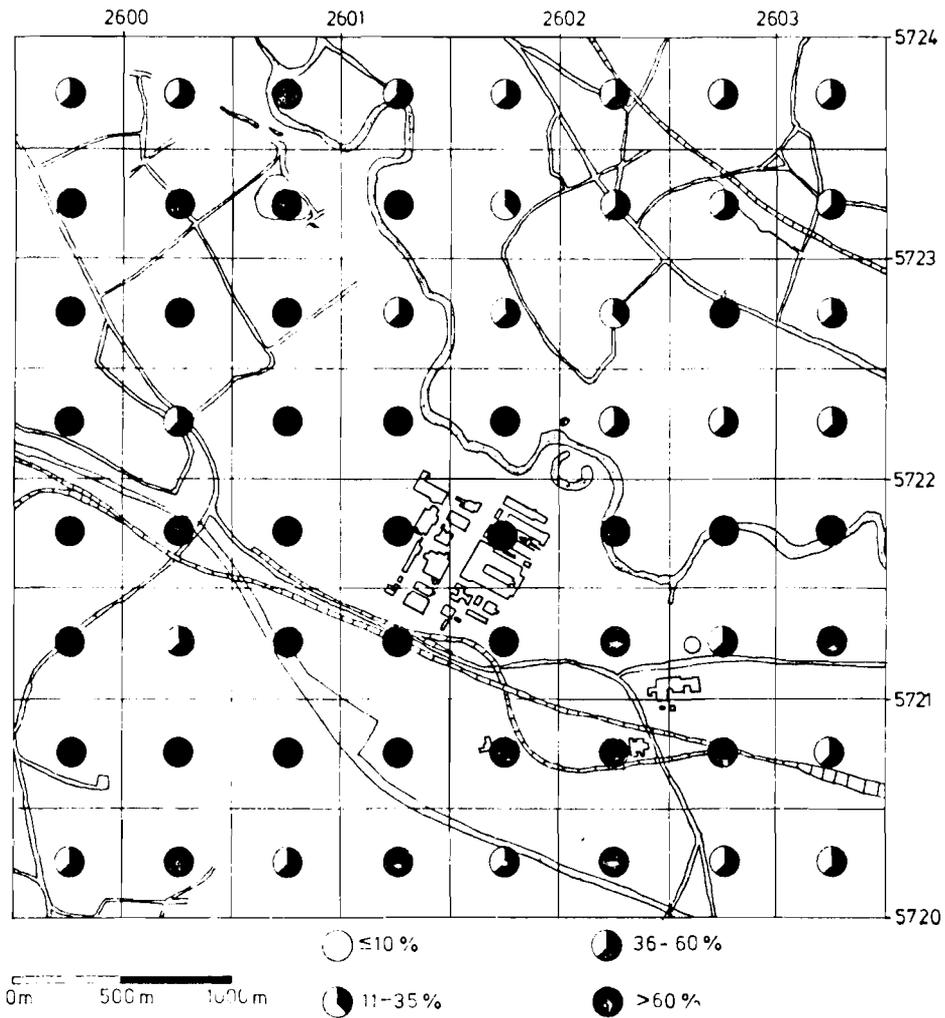


0m 500m 1000m



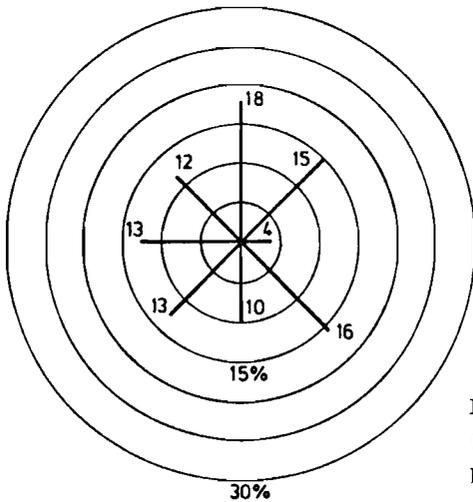
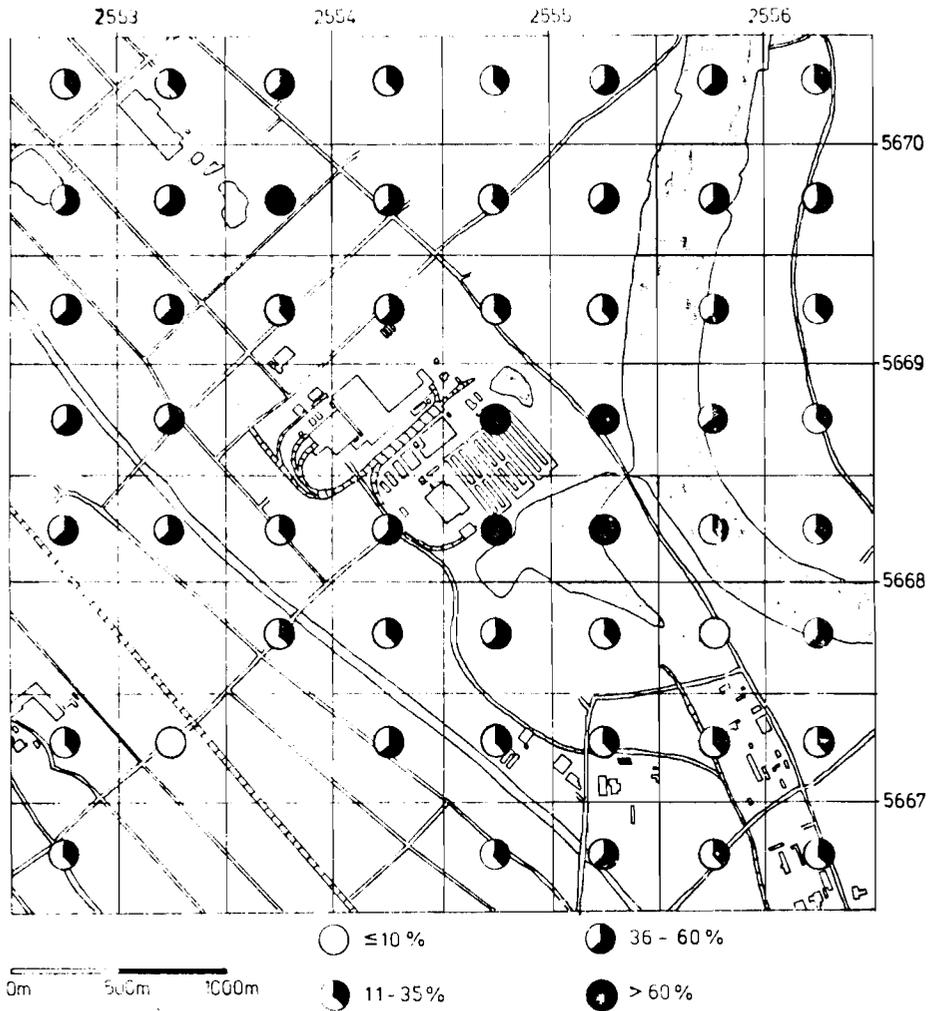
Prozentuale Windverteilung vom 1.3. bis 17.6.1978
(Meßdaten zur Verfügung gestellt vom KAISER - Aluminium-
Werk, Voerde)

Karte 2B: Prozentualer Anteil von Rasterflächen mit geschädigter Baum- und Strauchvegetation auf dem Infrarot-Luftbild, je Teilfläche von 500 m x 500 m



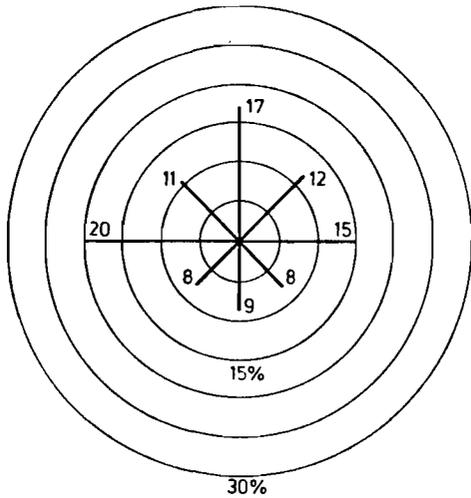
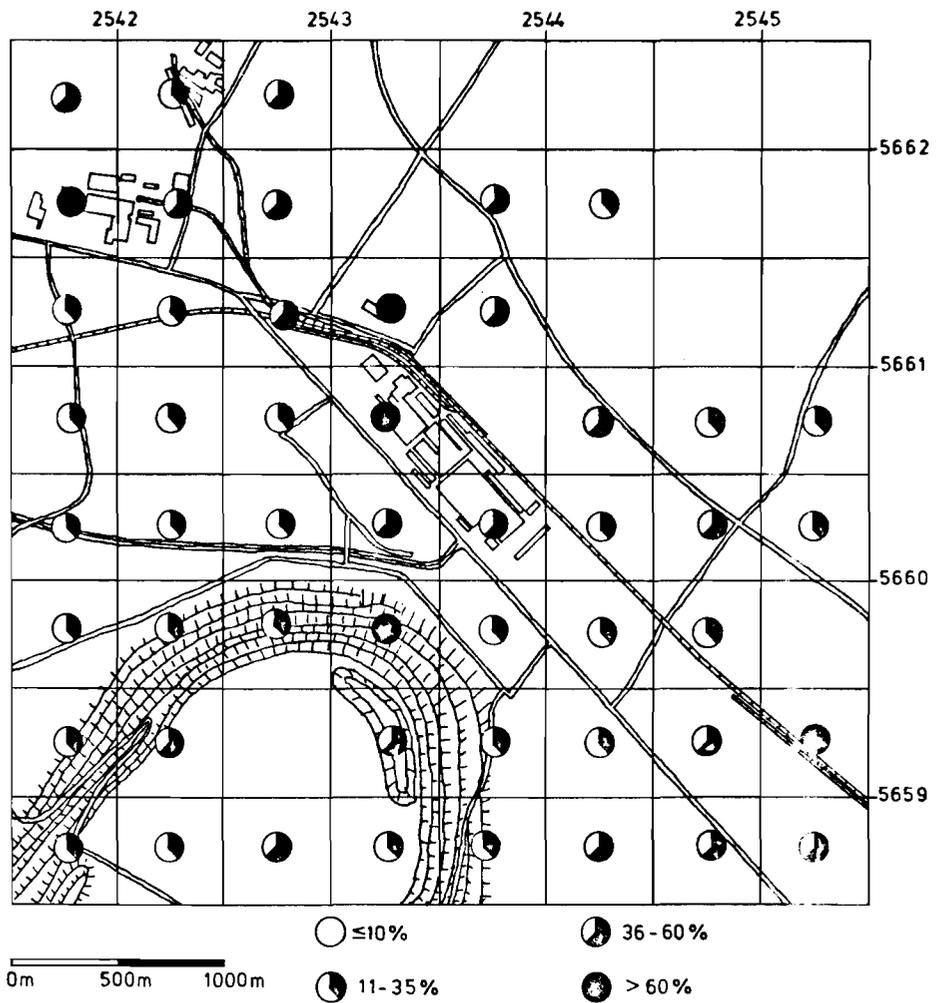
Prozentuale Windverteilung vom 1.3. bis 17.6.1978
(Meßdaten zur Verfügung gestellt vom VAW - Lippewerk,
Lünen)

Karte 2C: Prozentualer Anteil von Rasterflächen mit geschädigter
Baum- und Strauchvegetation auf dem Infrarot-Luftbild,
je Teilfläche von 500 m x 500 m



Prozentuale Windverteilung vom 1.3. bis 17.6.1978
(Meßdaten zur Verfügung gestellt vom VAW - Rheinwerk,
Norf)

Karte 2D: Prozentualer Anteil von Rasterflächen mit geschädigter
Baum- und Strauchvegetation auf dem Infrarot-Luftbild,
je Teilfläche von 500 m x 500 m



Prozentuale Windverteilung vom 27.2. bis 17.6.1978
(Meßdaten zur Verfügung gestellt vom VAW - Erftwerk,
Grevenbroich)

Karte 2E: Prozentualer Anteil von Rasterflächen mit geschädigter
Baum- und Strauchvegetation auf dem Infrarot-Luftbild,
je Teilfläche von 500 m x 500 m



Bild 1a: Infrarot-Luftbildaufnahme aus der nordwestlichen Umgebung der LMG Essen im Bereich der Teilflächen 10, 11, 18 und 19 (Ausschnitt - Vergrößerung)

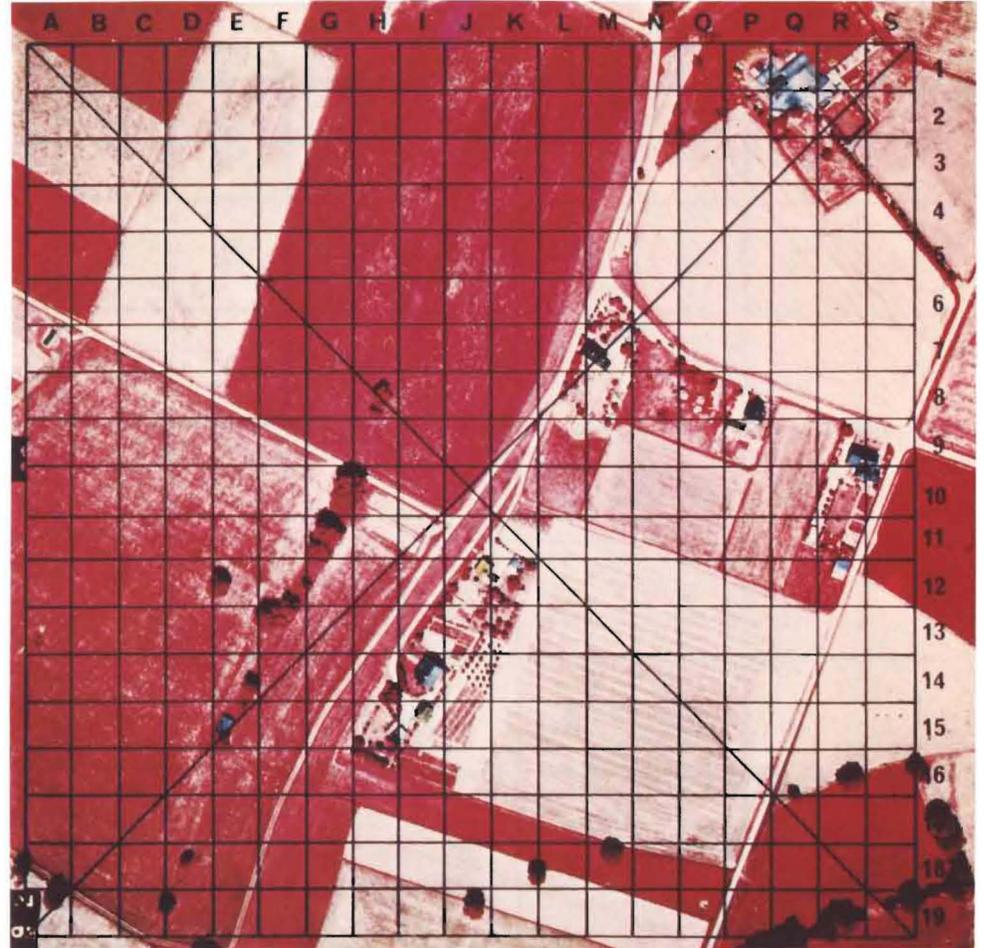


Bild 1b: Infrarot-Luftbildaufnahme aus der süd-südwestlichen Umgebung des KAISER-Aluminium-Werkes, Voerde, im Bereich der Teilflächen 43, 44, 51 und 52 (mit einem aus 361 Rasterquadraten bestehenden Raster)

1	2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	32
33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56
57	58	59	60	61	62	63	64

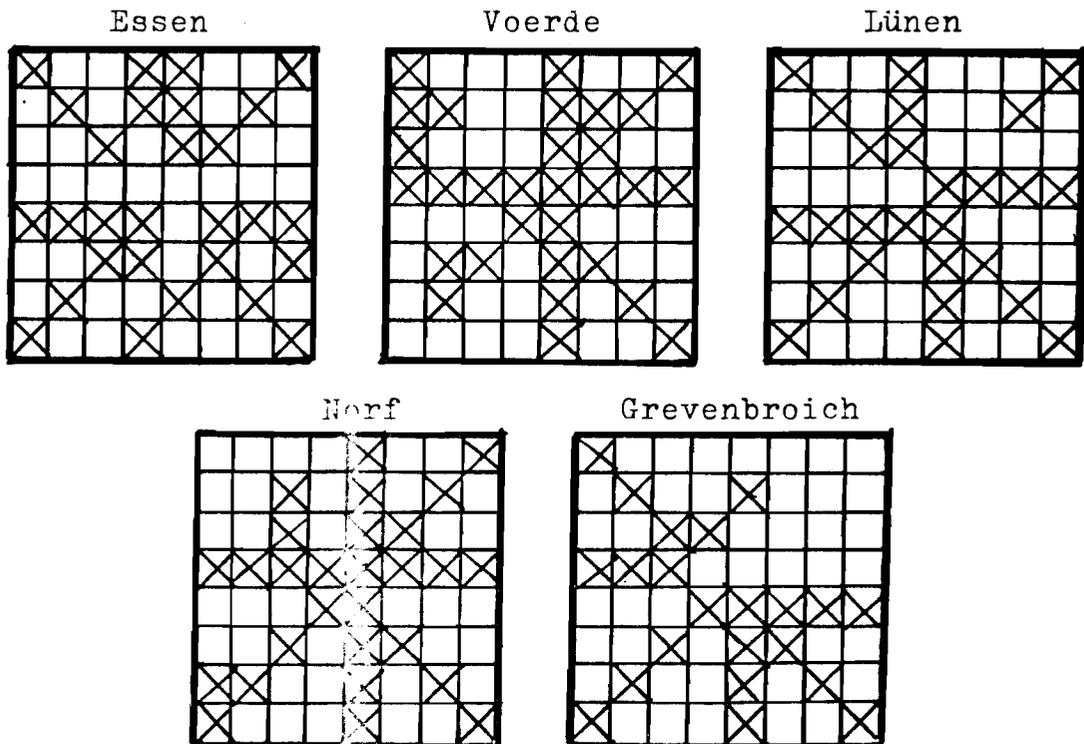


Bild 1c: Ausgewählte Teilflächen für die phänomenologische Untersuchung der Vegetation auf einer Fläche von 4 km x 4 km um den Fluoremittenten

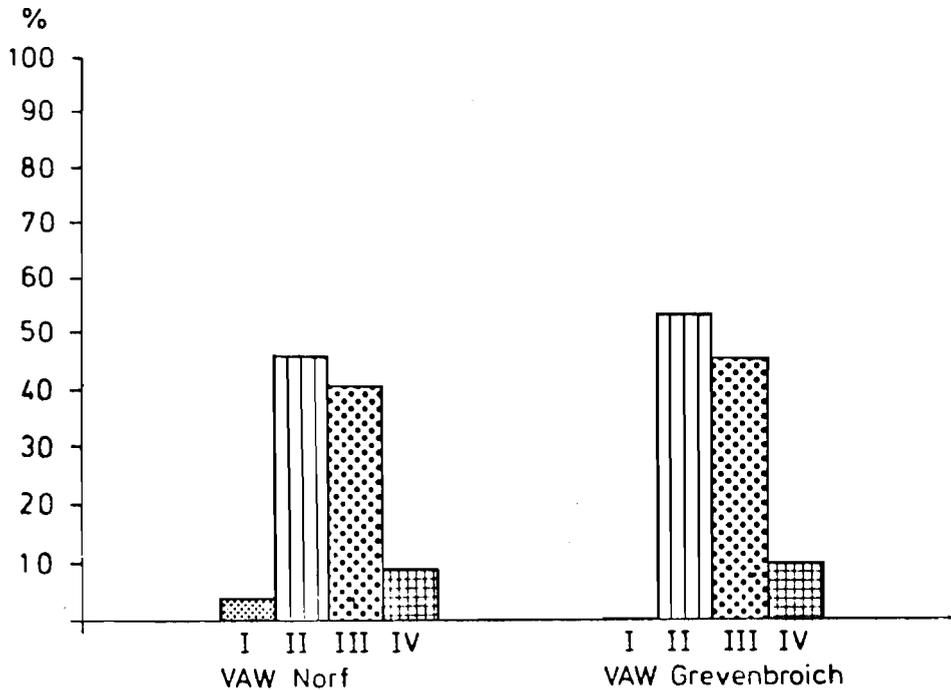
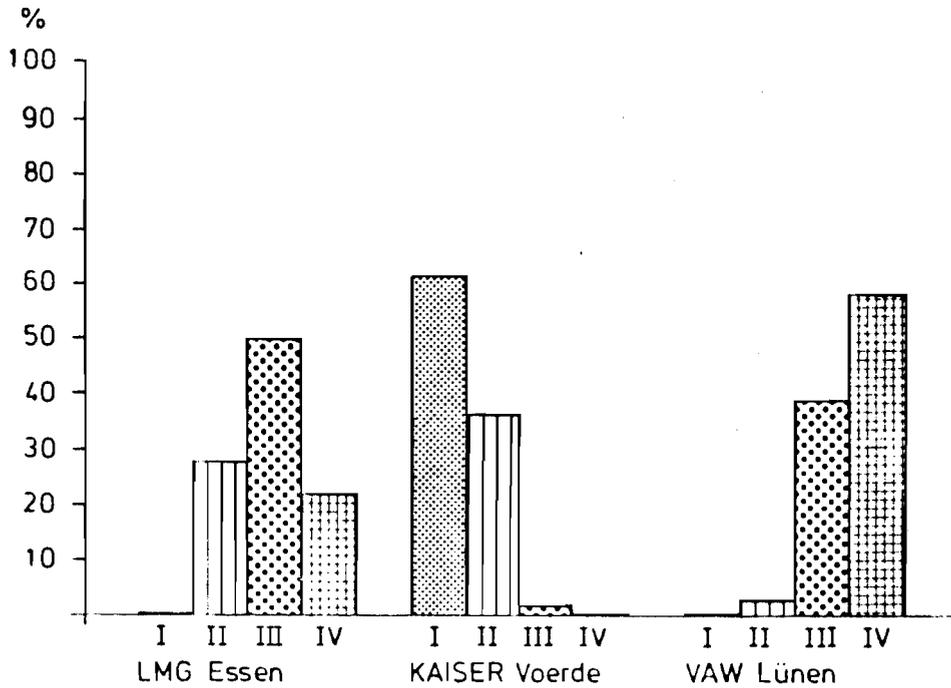


Bild 2: Prozentualer Anteil von Rasterflächen mit geschädigter Baum- und Strauchvegetation nach den Ergebnissen der Luftbildinterpretation. Die Klassen I - IV entsprechen in Übereinstimmung mit den Karten 2A bis 2E den Schädigungsstufen I: $\leq 10\%$, II: 11 - 35 %, III: 36 - 60 % sowie IV: $> 60\%$.

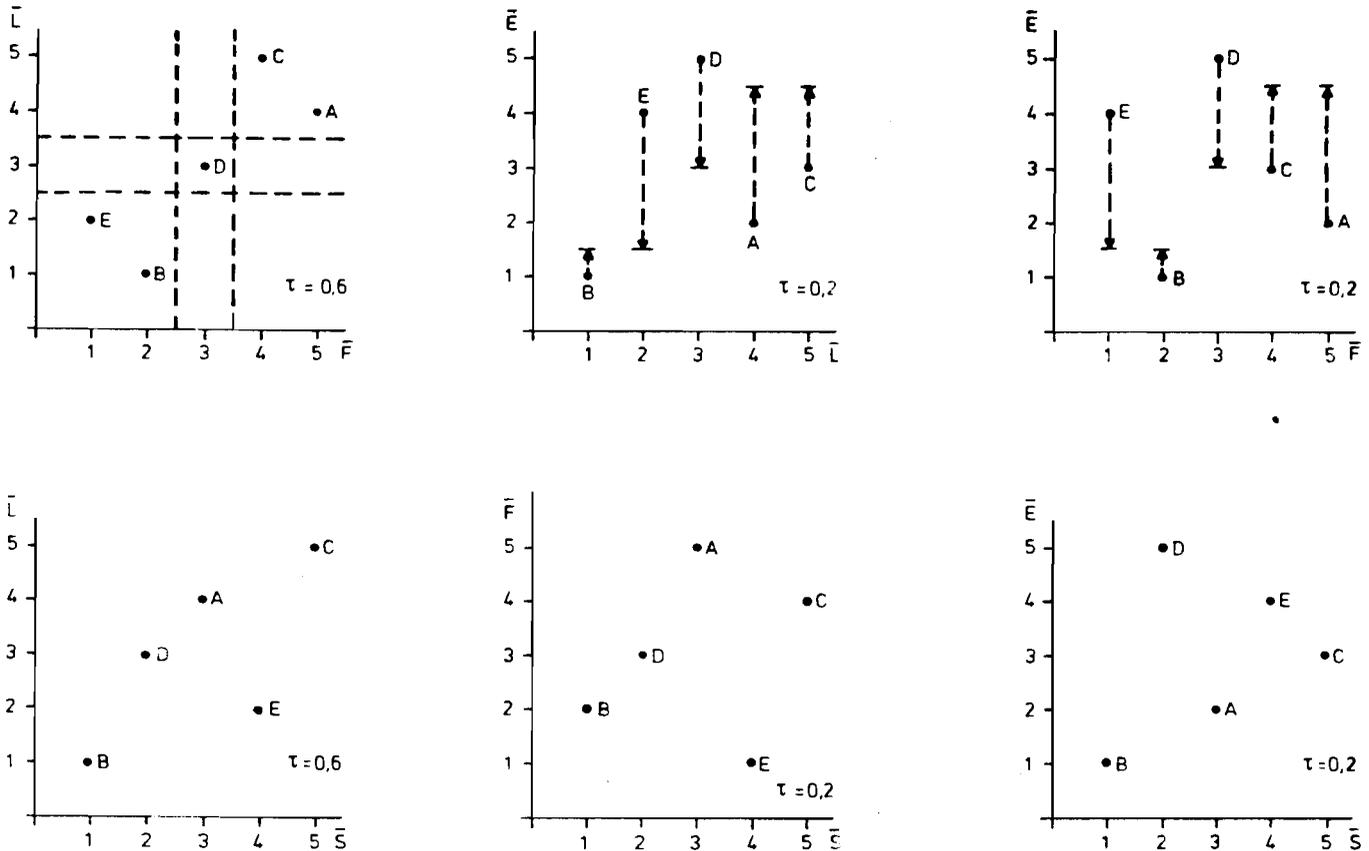


Bild 3: Rangkorrelogramm für den paarweisen Vergleich zwischen dem mittleren Flächenanteil geschädigter Pflanzen \bar{L} nach den Ergebnissen der Luftbildinterpretation, der mittleren Symptomausprägung \bar{S} sowie der mittleren Fluoranreicherung \bar{F} in den Blattproben aufgrund der terrestrischen Erhebungen sowie dem Emissionsmassenstrom für Fluor \bar{E} .

Die Buchstaben bezeichnen A: LMG Essen,
 B: KAISER Voerde,
 C: VAW Lünen,
 D: VAW Norf,
 E: VAW Grevenbroich.

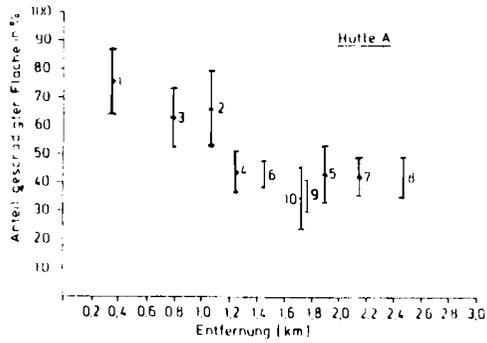


Bild 4 A

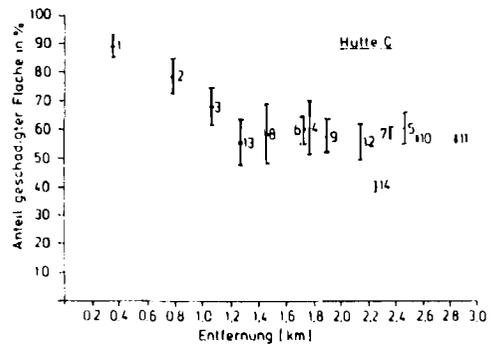


Bild 4 C

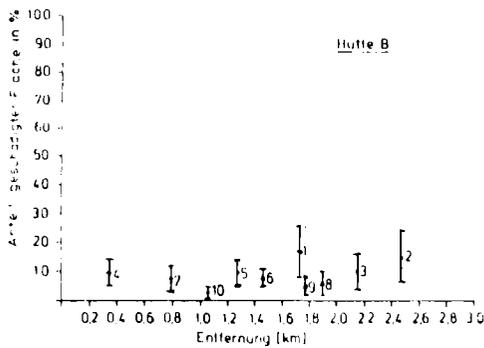


Bild 4 B

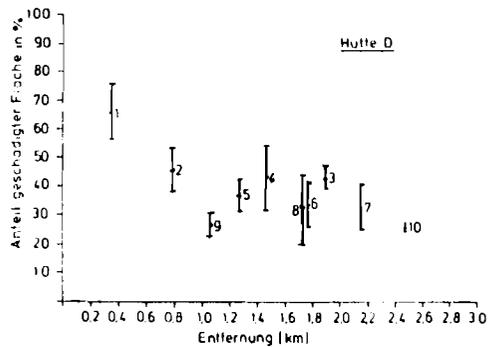


Bild 4 D

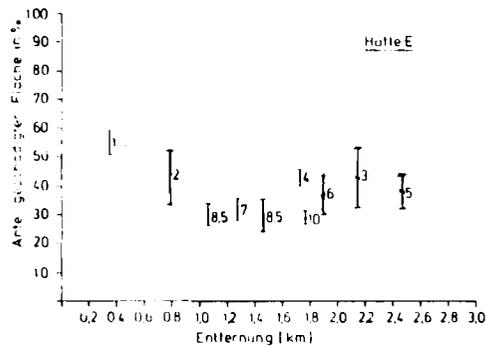


Bild 4 E

Bild 4: Prozentualer Anteil der Flächen mit geschädigter Vegetation in Abhängigkeit von der Entfernung der untersuchten Teilflächen zum Emittenten.

Hütte A: Leichtmetallgesellschaft, Essen

Hütte B: KAISER - Aluminiumwerk, Voerde

Hütte C: VAW - Lippewerk, Lünen

Hütte D: VAW - Rheinwerk, Norf

Hütte E: VAW - Erftwerk, Grevenbroich

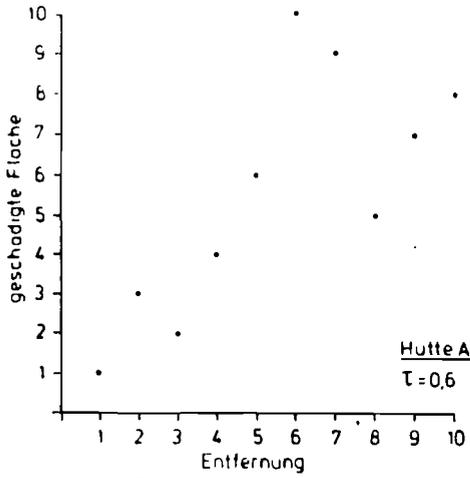


Bild 5A

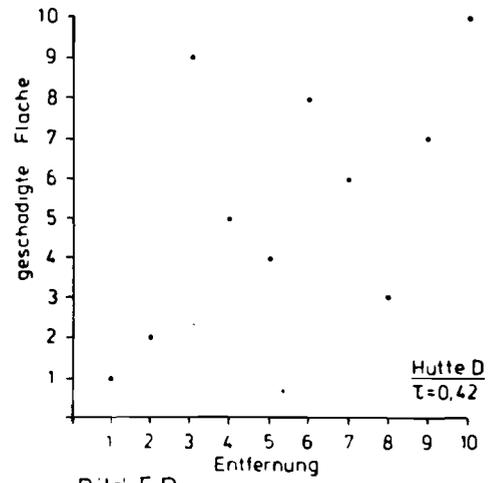


Bild 5D

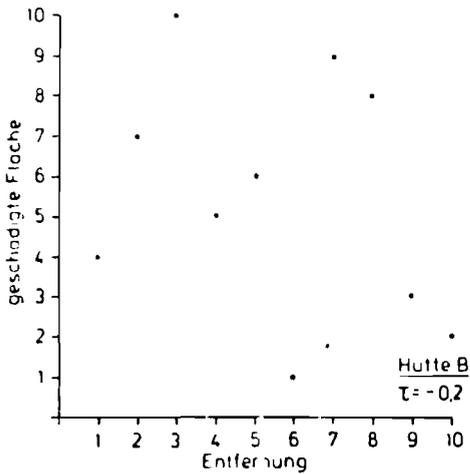


Bild 5B

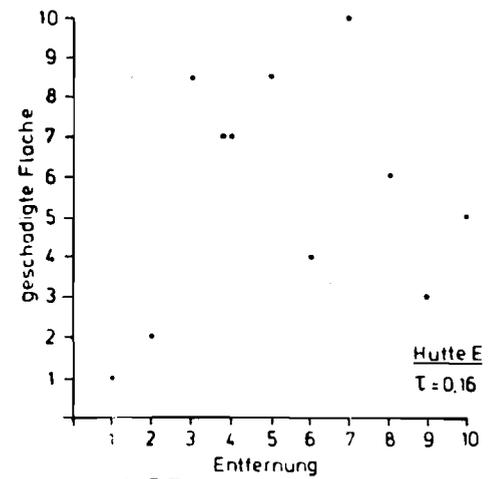


Bild 5E

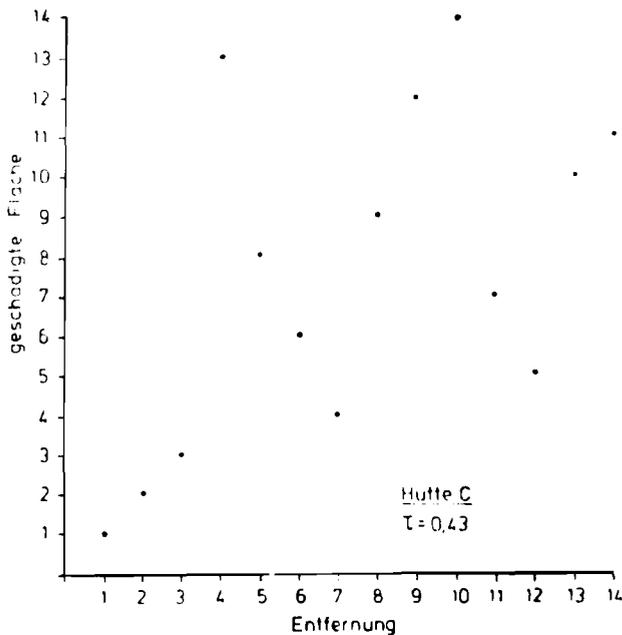


Bild 5C

- Hütte A: Leichtmetallgesellschaft, Essen
- Hütte B: Kaiser-Aluminium-Werk, Voerde
- Hütte C: VAW-Lippewerk, Lünen
- Hütte D: VAW-Rheinwerk, Norf
- Hütte E: VAW-Erftwerk, Grevenbroich

Bild 5: Abhängigkeit zwischen dem Teilflächenanteil geschädigter Vegetation und der Entfernung zum Emittenten, dargestellt als Rangkorrelogramm.

XVIII

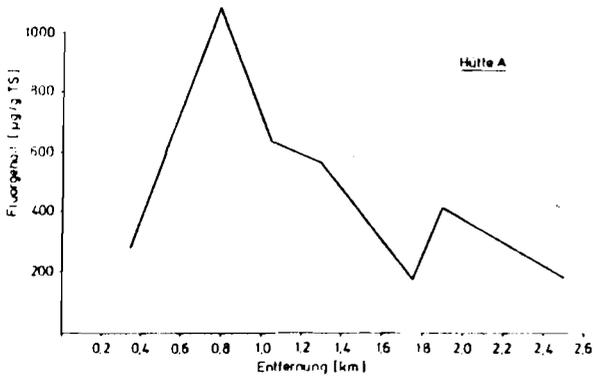


Bild 6A

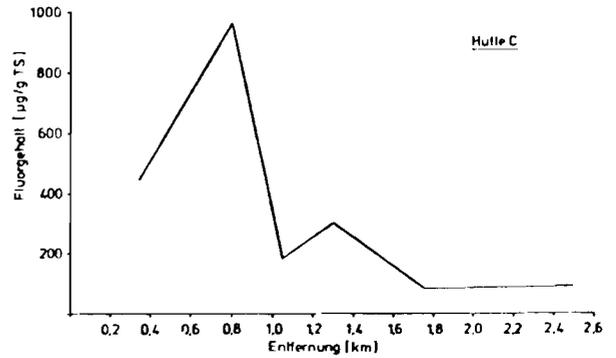


Bild 6C

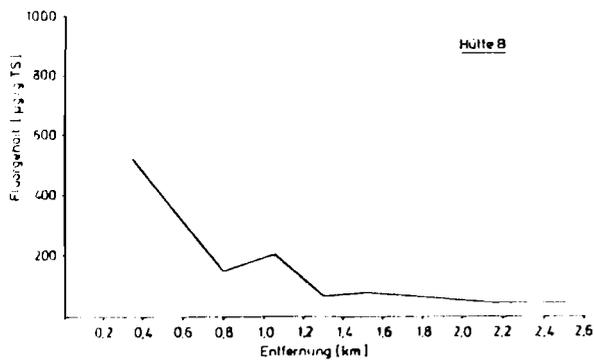


Bild 6B

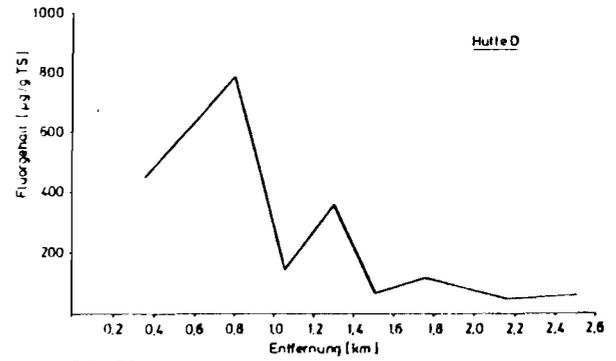


Bild 6D

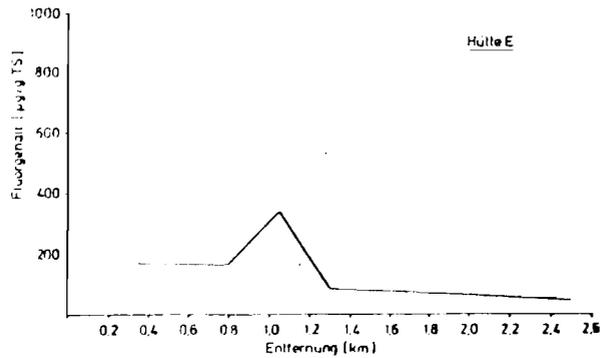


Bild 6E

Bild 6: Fluorgehalte der Vegetation in Abhängigkeit von der Entfernung zum Emittenten in $\mu\text{g/g TS}$.

Hütte A: Leichtmetallgesellschaft, Essen

Hütte B: KAISER - Aluminiumwerk, Voerde

Hütte C: VAW - Lippewerk, Lünen

Hütte D: VAW - Rheinwerk, Norf

Hütte E: VAW - Erftwerk, Grevenbroich

Tabelle 1: Vergleich der Emissionsdaten und der Ergebnisse der Wirkungsuntersuchungen

	Mittlere Flächen- anteile geschädig- ter Pflanzen (\bar{L}) in %	Mittlerer Fluorgehalt \bar{F} in $\mu\text{g/g TS}$	Mittlere Symptom- ausprägung \bar{S} in Einheiten Klassen	Ränge des Emissionsmassen- stroms für Fluor
A. LMG Essen	47,7 (4)	519,3 (5)	0,86 (3)	(2)
B. KAISER Voerde	8,5 (1)	158,9 (2)	0,43 (1)	(1)
C. VAW Lünen	62,8 (5)	328,3 (4)	1,05 (5)	(3)
D. VAW Norf	38,3 (3)	322,8 (3)	0,54 (2)	(5)
E. VAW Grevenbroich	37,5 (2)	150,2 (1)	0,89 (4)	(4)

XX

Tabelle 2: Ergebnisse der Rangkorrelationsanalyse beim Vergleich der Teilflächen innerhalb eines jeden Untersuchungsgebietes

	Anzahl auswert- barer Teilflächen	τ_{LS}	τ_{LF}	$\tau_{0,1}$	$\tau_{L(SF)}$
A. LMG Essen	28	0,01	0,17	0,26	0,17
B. KAISER Voerde	28	0,25	0,03	0,26	0,26
C. VAW Lünen	23	0,36	0,29	0,29	0,41
D. VAW Norf	26	0,20	0,26	0,27	0,29
E. VAW Grevenbroich	22	-0,17	0,25	0,30	0,30

In der Tabellenüberschrift bedeuten τ_{LS} der Korrelationskoeffizient zwischen L und S, τ_{LF} der Korrelationskoeffizient zwischen L und F, $\tau_{0,1}$ der entsprechende Schwellenwert auf der Grundlage 10 %iger Irrtumswahrscheinlichkeit, sowie $\tau_{L(SF)}$ der multiple Korrelationskoeffizient.

XX