



Berichte des Deutschen Wetterdienstes

173

**Anwendungsorientierte Erstellung großmaßstäbiger
Klimaeignungskarten für die Regionalplanung**

von
Wulf-Peter Gerth



Zitationsvorschlag:

Gerth, Wulf-Peter: Anwendungsorientierte Erstellung großmaßstäbiger Klimaeignungskarten für die Regionalplanung. - Offenbach am Main: Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, 1987. (Berichte des Deutschen Wetterdienstes ; 173)

ISSN der Onlineausgabe: 2194-5969

ISSN der Druckausgabe: 0072-4130

Nutzungsbedingungen



Dieses Dokument steht unter folgender Creative Commons-Lizenz

Sie dürfen das Werk bzw. den Inhalt unter folgenden Bedingungen vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen: Sie müssen den Namen des Autors/Rechteinhabers in der von ihm festgelegten Weise nennen. Dieses Werk bzw. dieser Inhalt darf nicht für kommerzielle Zwecke verwendet werden und es darf nicht bearbeitet, abgewandelt oder in anderer Weise verändert werden.

Mit der Verwendung dieses Dokumentes erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Herausgeber und Verlag: :

Deutscher Wetterdienst
Frankfurter Straße 135
D- 63067 Offenbach am Main

Internet: www.dwd.de
Mail: bibliothek@dwd.de

INHALT

	Seite
Zusammenfassung/Abstract.....	5
1 EINLEITUNG.....	5
2 HARDWAREMÄSSIGE AUSSTATTUNG.....	7
3 SOFTWARE.....	7
3.1 Aufbereitung der digitalisierten Werte.....	8
3.2 Endgültige Flächenfüllung.....	8
3.3 Allgemeine Bemerkungen.....	13
4 ERGEBNISSE.....	15
4.1 Höhen- und Bewuchswerte im Untersuchungsgebiet.....	15
4.2 Mittlere Niederschlagshöhen.....	16
4.3 Allgemeine Erfahrungen bei der Digitalisierung.....	16
5 KLIMAEIGNUNGSKARTEN.....	17
5.1 Klimatologische Einflußfaktoren.....	18
5.2 Klimatologische Grundlagenkarten.....	19
5.3 Klimaeignungskarte "Erholung".....	21
6 SIMULATION VON NUTZUNGSÄNDERUNGEN.....	25
7 SCHLUSSFOLGERUNGEN.....	27
8 LITERATUR.....	29
9 KARTENVERZEICHNIS.....	30

Karten

Zusammenfassung

Das Forschungsvorhaben befaßt sich mit der computergestützten Erstellung von großmaßstäbigen Klimaeignungskarten für die Regional- und Landesplanung. Hierbei werden verschiedene Methoden angewandt: Einerseits kann die Abhängigkeit eines klimatologischen Parameters von Höhe, Bodenbedeckung und topographischer Form mit Hilfe statistischer Methoden analysiert werden; andererseits ermöglichen digitale Geländemodelle die Berechnung von bestimmten lokalklimatischen Gegebenheiten (z.B. Kaltluftabfluß, Strahlung). Schließlich können bereits existierende -manuell erstellte- Karten digitalisiert und in Rasterdaten umgewandelt werden. Auf der Basis dieser Grundlagenkarten können dann durch Überlagerung synthetische, nutzungsartsspezifische Klimaeignungskarten erstellt werden, die zur Lösung von raumplanerischen Fragen beitragen.

Abstract

The research project deals with the construction of large scale climatological maps for land-use-planning with the help of automatic data processing. Different methods are used to obtain those maps: The dependence of climatological elements on altitude, surface cover or topographic features can be analysed by statistical investigations. Numerical models allow the computation of local climatic phenomena such as cold air drainage or the calculation of direct solar radiation. Finally the content of existing maps can be digitised. By the superposition of these spatial distributions, synthetic climatic maps can be constructed that are necessary for various planning aspects.

1 EINLEITUNG

Im Rahmen des Nationalen Klimaforschungsprogrammes der Bundesregierung wurde vom Deutschen Wetterdienst ein Forschungsprojekt bearbeitet mit dem Ziel, großmaßstäbige Klimaeignungskarten für die Regionalplanung computergestützt zu erstellen. Einige Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens sind bereits veröffentlicht (GERTH 1986); der vorliegende Bericht ist in hohem

Maße anwendungsorientiert und dient der Weiterführung und Vervollständigung des Projektes.

Im ersten Teil des Forschungsberichtes "Klimatische Wechselwirkungen in der Raumplanung bei Nutzungsänderungen" wurde mit Hilfe von digitalen Geländemodellen sowie statistischen Methoden die Abhängigkeit klimatologischer Elemente von bestimmten topographischen Einflußfaktoren untersucht und auf der Basis von gerasterten Höhen- und Bewuchswerten großmaßstäbig dargestellt (GERTH 1986). Diese räumlichen Verteilungen können dann nach bestimmten Kriterien überlagert werden, und man erhält schließlich synthetische Klimaeignungskarten, die nicht mehr die Verteilung eines einzelnen Klimaelementes darstellen, sondern vielmehr Räume gegeneinander abgrenzen, die aus klimatologischer Sicht für eine bestimmte Landnutzungsart geeignet (bzw. ungeeignet) sind.

Die Erfahrungen im Rahmen des Projektes haben jedoch gezeigt, daß nicht alle klimatologischen Elemente durch statistische Untersuchungen oder Modellberechnungen darstellbar sind. So ist z.B. die Nebelhäufigkeit und -struktur eine wichtige Grundlage für die Parametrisierung lokalklimatischer Phänomene und wird insbesondere bei der Beurteilung von Planungsmaßnahmen dringend benötigt.

Die Erfassung der Nebelstruktur jedoch resultiert nicht allein aus dem vorhandenen Meßnetz, sondern überwiegend aus Kartierungen im Gelände. Desweiteren basiert die Nebelhäufigkeit nicht auf Messwerten, sondern auf Schätzungen mit einer entsprechenden Streubreite, so daß die Anwendung von statistischen Methoden in der Regel nicht zu den gewünschten Resultaten führt.

Aus diesem Grunde soll im Rahmen des Forschungsvorhabens untersucht werden, inwieweit bereits vorhandene (manuell erstellte) Kartenunterlagen durch Digitalisierungsverfahren in Rasterdaten umgesetzt werden können, die wiederum eine Überlagerung mit anderen klimatologischen Elementen ermöglichen. Darüber hinaus macht die Umsetzung digitalisierter Isolinienverläufe in raumbezogene Gitterpunktwerte die Erfassung von aktuellen Höhen- und Bodennutzungswerten möglich, die eine wesentliche Grundlage für die Anwendung von Modellberechnungen darstellen. In Anbetracht der Fehlerhaftigkeit der momentan vorhandenen topographischen Daten (GERTH 1986) kommt diesem Punkt eine besondere Bedeutung zu.

Bei einer praktischen Anwendung des Verfahrens werden zunächst die Höhen- und Bewuchswerte (bzw. die Bodenbedeckungswerte) aus aktuellen Karten digitalisiert und zu Rasterdaten verarbeitet. Mit Hilfe von Modellberechnungen, statistischen Methoden sowie der Digitalisierung manuell erstellter Karten ist man daraufhin in der Lage, großmaßstäbige räumliche Verteilungen von klimatologischen Elementen oder Parametern zu erhalten. Auf der Basis dieser Grundlagenkarten können dann durch Überlagerung synthetische Klimakarten hergestellt werden, in denen verschiedene planungsrelevante Klimagrößen zusammengefaßt werden, und die den Planer in die Lage versetzen eine Beurteilung der geländeklimatischen Gegebenheiten vornehmen zu können.

Durch die Abänderung der aktuellen Landnutzungswerte (Ist-Zustand) gemäß dem geplanten Vorhaben, können weiterhin Nutzungsänderungen und deren Auswirkungen auf das lokale Klima simuliert werden.

Zusammen mit den im ersten Teil des Forschungsberichtes beschriebenen Methoden der graphischen Darstellung rasterpunktsbezogener räumlicher Verteilungen (GERTH 1984 und 1986) sind alle Grundlagen für eine erfolgreiche Anwendung in der Praxis gegeben.

2 HARDWAREMÄSSIGE AUSSTATTUNG

Im ersten Teil des Forschungsberichtes wurde bereits eine Beschreibung des Mikrocomputersystems samt den dazugehörigen peripheren Geräten vorgenommen, so daß an dieser Stelle lediglich auf den Digitalisiertisch eingegangen werden soll, um den das Computersystem erweitert wurde.

Dieser Digitalisiertisch mit einer nutzbaren Abmessung von ca. 30*30 cm eignet sich zur Erfassung von beliebigen Punkt- und Linienelementen. Die X- und Y-Koordinaten dieser Punkte (bzw. Linien) können je nach eingestellter Betriebsart einzeln (bei Punkten) oder kontinuierlich (bei Linien) übermittelt werden. Die gerätebedingte Genauigkeit, mit der ein Koordinatenpaar erfaßt wird, beträgt 0.05 mm und ist daher für klimatologische Fragestellungen vollkommen ausreichend.

Die Abtastung der zu digitalisierenden Linien (bzw. Punkte) erfolgt mit Hilfe einer Lupe, in deren Mittelpunkt ein Fadenkreuz angebracht ist. Damit kann eine gegebene Isolinie sehr genau abgefahren werden und selbst sehr feine Linien sind durch den Vergrößerungseffekt der Lupe noch gut zu erkennen. Durch eine gleichzeitige Kopplung zum Stiftplotter des Mikrocomputersystems hat der Bearbeiter die Möglichkeit die Güte der Digitalisierung durch Vergleich mit der Originalvorlage sofort zu überprüfen und Fehler gegebenenfalls zu korrigieren.

3 SOFTWARE

Die Software zur Umwandlung von Linien- oder Punktelementen in raumbezogene Rasterdaten wurde im wesentlichen im Rahmen des Forschungsvorhabens selbst erstellt. Hierbei lieferte ein von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördertes Projekt "Neue Kommunikationswege in den Geowissenschaften mit Hilfe der automatischen Datenverarbeitung" (VINKEN 1983) wertvolle Anregungen und Hilfestellungen.

3.1 Die Aufbereitung der digitalisierten Linien

Die beim Digitalisiervorgang gelieferten X/Y-Koordinatenpaare sind zunächst von den gerätebedingten Faktoren (wie dem Auflösungsvermögen, der Lage des Nullpunktes u.ä.) abhängig und müssen daher vor der Weiterverarbeitung in Nutzerkoordinaten umgewandelt werden.

Desweiteren kann nicht angenommen werden, daß die zu digitalisierende Vorlage genau parallel zur X/Y-Richtung des Digitalisiertisches eingespannt wurde. Jedes Koordinatenpaar muß deshalb derart aufbereitet werden, daß sowohl die Parallelverschiebung als auch eine mögliche Drehung der Koordinatenachsen berücksichtigt wird.

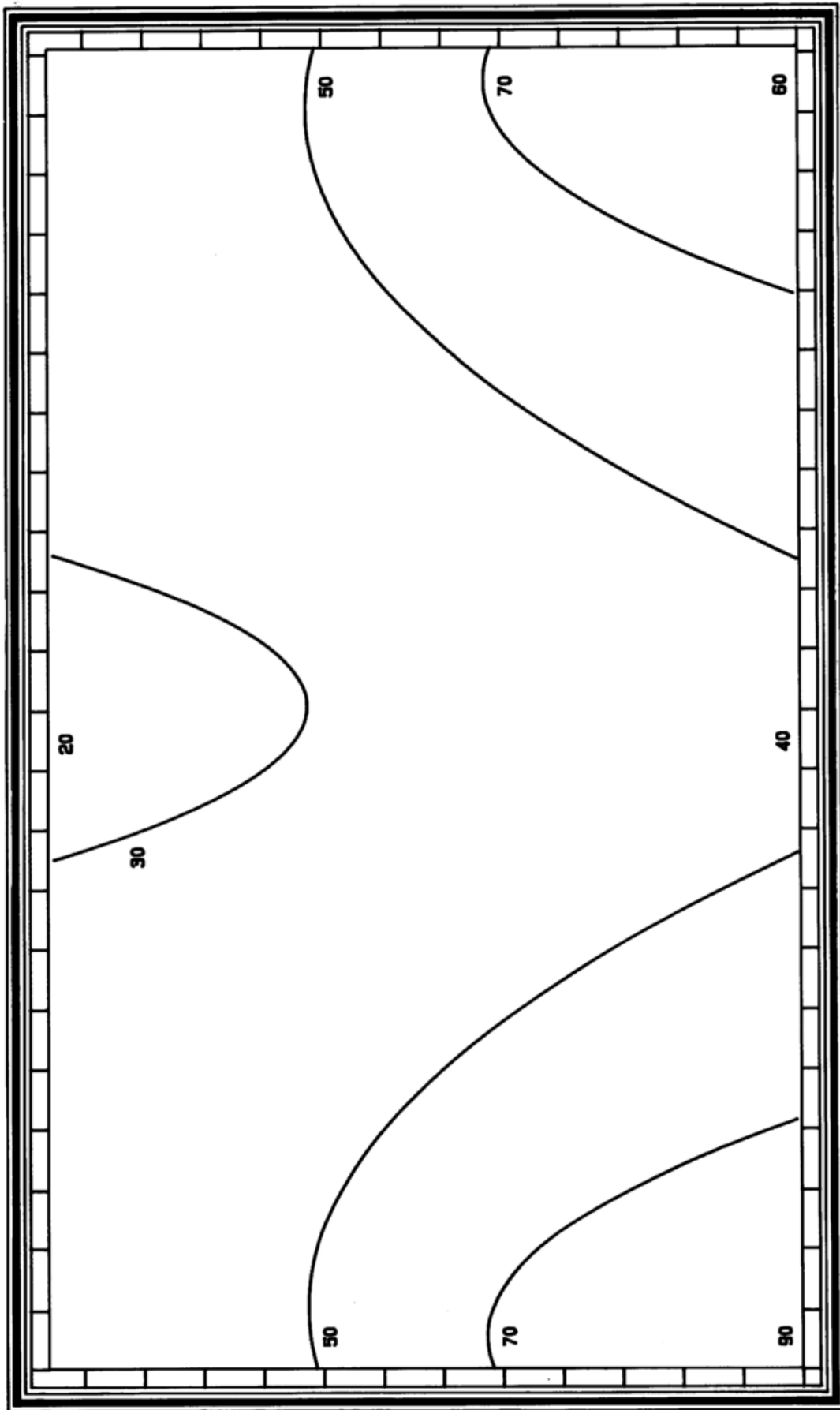
Nach dieser Koordinatentransformation erfolgt eine Attributzuweisung der Linien. Darunter ist ein Satz von verschiedenen Eigenschaften und Merkmalen zu verstehen, die bei der späteren Weiterverarbeitung eine Rolle spielen (z.B. Wert der Isolinie oder des Punktes, Art der Weiterverarbeitung u.s.w.). Die Attributzuweisung erfolgt am Anfang einer jeden Linie (bzw. Punktes).

3.2 Endgültige Flächenfüllung

Zunächst einmal wird jedes Rasterfeld, durch das eine Isolinie läuft, mit dem entsprechenden Isolinienwert belegt, der bei der Attributzuweisung festgelegt wurde. Im Falle von einzelnen Punkten kann zusätzlich bestimmt werden (ebenfalls über die Attributzuweisung), ob die Punkte -linear interpoliert- miteinander verbunden werden sollen. Dies ist z.B. dann wichtig, wenn die Talsohle oder ein Höhenrücken (bei topographischen Daten) erfaßt werden soll.

Die einzelnen Schritte bei der Flächenfüllung sollen anhand der Abbildungen 1a bis 1c verdeutlicht werden. Abbildung 1a zeigt fiktive digitalisierte Höhenwerte in Form von Isolinien und einigen Einzelpunkten. In der Abbildung 1b wird zunächst das vorläufige Raster dargestellt. Man erkennt, daß die Punkte, welche die Talsohle markieren, miteinander verbunden werden, wobei zwischen den Linien eine lineare Interpolation erfolgt. Die Punkte dagegen, die die Kuppen- bzw. Muldenlage symbolisieren, werden als Einzelpunkte betrachtet (keine lineare Interpolation).

Abb.1a : Digitalisierte (fiktive) Höhenwerte



Nach dieser vorläufigen Flächenfüllung erfolgt die vollständige Interpolation: Von jedem zu interpolierenden Punkt (in der Abbildung 1b durch "0" gekennzeichnet) werden zunächst Richtstrahlen in 10 Grad Schritten ausgesandt. Trifft ein solcher Richtstrahl erstmals auf eine Isolinie oder einen Punkt, so wird sowohl der Isolinienwert als auch der Abstand dieser Linie zum Interpolationspunkt bestimmt. Im günstigsten Falle (kein Richtstrahl trifft auf den Rand des Untersuchungsgebietes) hat man demnach 36 Isolinienwerte samt den dazugehörigen Entfernungen. Der Wert des zu interpolierenden Punktes wird dann durch gewichtete Mittelwertbildung bestimmt:

$$(1) \quad PW = \left(\sum IW(i) / ENT(i) \right) / \left(\sum 1 / ENT(i) \right)$$

mit : PW = Wert des zu interpolierenden Punktes
 IW(i) = Werte der umliegenden Punkte
 ENT(i) = Entfernung zwischen PW und IW(i)
 i = Anzahl der umliegenden Punkte (maximal 36)

Um eine kontinuierliche Verteilung sicherzustellen, muß eine bestimmte Interpolationsreihenfolge eingehalten werden. So beginnt die Interpolation immer im Umkreis um einen einzelnen Punkt. Die Größe des Umkreises ist abhängig von der Anzahl der Rasterpunkte in X- und Y-Richtung und soll verhindern, daß Einzelpunkte, die zwischen zwei Leitstrahlen liegen, nicht erfaßt werden (etwa bei zu großer Entfernung zum Interpolationspunkt), während ein benachbarter Interpolationspunkt diesen Wert eventuell berücksichtigt. Sind auf diese Art und Weise alle Einzelpunkte des Feldes bearbeitet, so erfolgt die weitere Interpolation vom Rand her in das Innere des Gebietes, bis alle Rasterpunkte mit einem Interpolationswert belegt sind.

Die mit dieser Methode erzielten Ergebnisse sind der Abbildung 1c zu entnehmen. Weitere Testrechnungen mit verschiedenen anderen topographischen Formen zeigten ebenfalls gute Resultate. Dennoch sollte nicht vergessen werden, daß das Verfahren rein mathematischer Natur ist; man kann also nicht mehr Informationen erwarten als beim Digitalisiervorgang hineingebracht wurden. Bei einer praktischen Anwendung sollten deshalb immer möglichst viele Isolinien digitalisiert werden, um auch kleinste Feinheiten erfassen zu können; zu wenige Isolinien führen immer zu einer Generalisierung.

Nicht in jedem Falle ist eine Interpolation zwischen verschiedenen Linien erwünscht oder sinnvoll. Aus diesem Grunde wurde eine abgeänderte Version des Interpolationsprogrammes erstellt in der alle Flächen, die von einem Polygonzug umrandet sind, mit dem gleichen Wert belegt werden. Dies ist z.B. dann wichtig, wenn Bewuchswerte digitalisiert werden sollen (Wald-, Siedlungsränder etc.). Die Grundlage für dieses Verfahren ist die Tatsache, daß ein Punkt genau dann im Inneren eines Polygonzuges liegt, wenn die Anzahl der Schnittpunkte mit anderen Polygonzügen oder Linien (unabhängig von der Richtung) ungerade ist. Voraussetzung für eine erfolgreiche Anwendung dieser Methode sind daher in sich geschlossene Isolinien, was bei der Digitalisierung zu berücksichtigen ist (YOELI 1982).

Unabhängig von der Art der Interpolationsmethode sind einige Eigenheiten zu berücksichtigen, die bei der Umwandlung von Linienelementen in Gitterpunktwerte auftreten. Da alle Rasterfelder, durch die eine Linie läuft, mit dem jeweiligen Isolinienwert aufgefüllt werden und die Linie praktisch

nie mit dem "äußeren Rand" eines Rasterfeldes identisch ist, wird ein Gebiet, das von einem Polygonzug umrandet ist, geringfügig (maximal eine Rasterpunktsbreite) vergrößert. Weiterhin können Feinheiten im Verlauf einer Isolinie, die kleiner sind als die Abmessung eines Gitterpunktes, nicht mehr aufgelöst werden. Durch die Wahl eines hinreichend kleinen Rasters können diese Probleme jedoch weitgehend minimiert oder ausgeschaltet werden.

3.3 Allgemeine Bemerkungen

Die Programme zur Flächenfüllung sind in hohem Maße interaktiv. Das bedeutet, daß während der Ausführung bestimmte Manipulationen vorgenommen werden können wie Verschiebung einer Isolinie, Maßstabsveränderungen oder nachträgliches Einlesen von Einzelpunkten bzw. Flächen. Weiterhin erfolgen Warnungen (mit der Möglichkeit einer Korrektur) wenn eine Isolinie nicht geschlossen ist oder zwei Linien übereinanderliegen bzw. sich schneiden. In nahezu jeder Phase der Bearbeitung hat man die Möglichkeit die bisherigen Ergebnisse auszudrucken oder zu plotten.

Als ein Beispiel sind die in der Abbildung 1c dargestellten Rasterwerte als Isolinienplot ausgegeben (s. Abbildung 1d). Gegenüber der Originalvorlage (Abbildung 1a) fällt der treppenähnliche Verlauf der Isolinien auf, der auf das relativ große Raster zurückzuführen ist. Das doppelte Auftreten der 70m-Höhenlinie im rechten unteren Eck der Abbildung ist aus topographischer Sicht vollkommen korrekt, da bei "reellen" Karten eine Form wie in Abbildung 1a nicht zu beobachten wäre. Ansonsten beobachtet man eine sehr kontinuierliche, symmetrische Verteilung der Höhenwerte.

Zusammenfassend sollen die einzelnen Schritte zur Erzeugung von Rasterdaten aus digitalisierten Linien- oder Punktelementen noch einmal dargestellt werden:

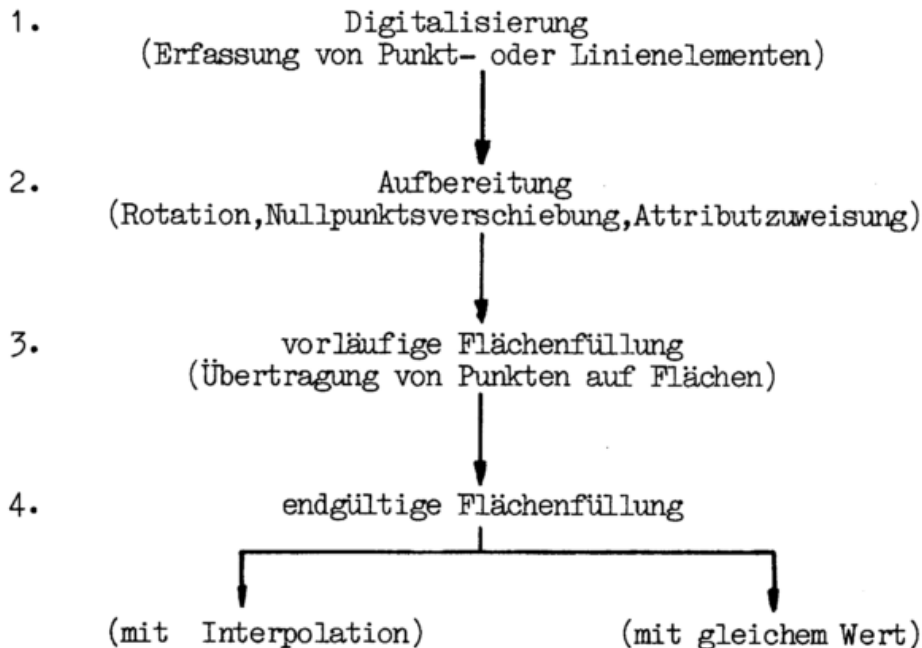
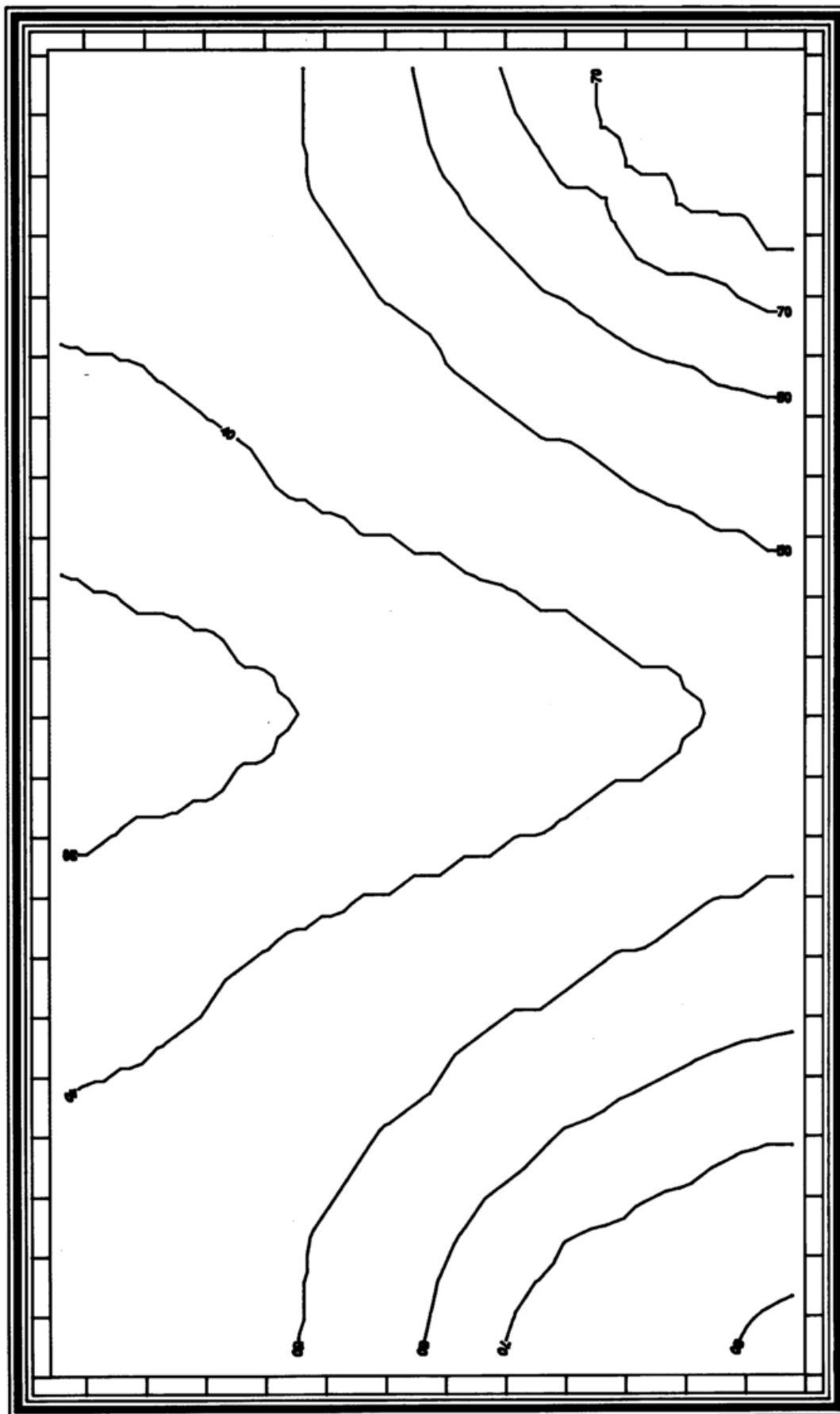


Abb.1d : Isoliniendarstellung der Rasterwerte



Mit diesen Programmen ist man in der Lage ,beliebige Karten zu digitalisieren und deren Inhalt in Rasterdaten umzuwandeln. Diese Rasterdaten können dann zusammen mit anderen Gitterpunktwerten weiterverarbeitet werden oder aber die Originalkarte kann -in einem anderen Maßstab oder einer geänderten Klassenbreite- wiederhergestellt werden. Damit sind die Voraussetzungen für eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten gegeben: von der Beschaffung des notwendigen Grundlagenmaterials (Höhen-, Bewuchswerte) über die Speicherung und Archivierung aller möglichen Kartenunterlagen bis hin zur Manipulation und erneuten Ausgabe dieser Karten.

4 ERGEBNISSE

Um das Verfahren an konkreten Beispielen auszutesten ,wurden verschiedenartige Karten digitalisiert ,in Rasterwerte umgewandelt und als Rasterdarstellung (Rasterplot) mit Hilfe des interaktiven graphischen Systems ausgegeben. Die Güte dieser räumlichen Verteilungen ,sowie die Übereinstimmung mit der Originalvorlage ist in jedem Falle als vollkommen ausreichend zu betrachten.

4.1 Höhen- und Bewuchswerte im Untersuchungsgebiet

Im ersten Teil des Forschungsberichtes wurde auf der Grundlage der topographischen Daten im 5"-Raster gearbeitet. Diese Daten sind jedoch (obwohl korrigiert) äußerst fehlerhaft. Aus diesem Grunde wurden die Höhen- und Bewuchswerte im Untersuchungsgebiet (GERTH 1986) aus den aktuellsten zur Verfügung stehenden topographischen Karten (Maßstab 1 : 50 000) digitalisiert und anschließend auf ein 100m * 100m Raster übertragen. Die Darstellung der Verteilung erfolgte im Maßstab 1 : 100 000 um einen Vergleich mit den im ersten Teil des Forschungsberichtes gezeigten Karten zu ermöglichen.

Das Ergebnis der Digitalisierung ist in der Karte 1 dargestellt.Im Vergleich mit der Originalkarte gleichen Maßstabes zeigt sich eine nahezu vollständige Übereinstimmung. Demgegenüber beobachtet man einige Abweichungen im Vergleich zu den vorher verwendeten Werten der 5"-Datei. Insbesondere bei den Landnutzungsklassen erkennt man mehr Details (kleinere Freiflächen in Siedlungsgebieten oder Wäldern,bessere Trennung von einzelnen Stadtteilen u.s.w.) als in den ursprünglichen Werten.

Ein weiterer Vorteil gegenüber dieser Datenbank besteht darin ,daß die Landnutzungs-kategorie "dichte Bebauung" bereits bei der Digitalisierung berücksichtigt wurde und nicht erst durch eine nachträgliche Korrektur wie in GERTH (1986) beschrieben. Es zeigte sich weiterhin ,daß die Digitalisierung weit weniger Zeit in Anspruch nahm ,als eine Korrektur der fehlerhaften 5"-Daten.

Mit den aktuellen gerasterten Höhen- und Bewuchswerten sind damit die wichtigsten Grundlagendaten für eine Anwendung von Modellberechnungen oder statistischen Methoden in der Praxis gegeben.

4.2 Mittlere Niederschlagshöhen

Als Beispiel einer Anwendung auf klimatologische Karten wurde die mittlere Niederschlagshöhe für den Monat August (Bezugszeitraum: 1931 bis 1960; Maßstab 1 : 1000 000) digitalisiert und auf ein 1km-Raster umgerechnet. Die Originalkarte wurde dem Atlas "Das Klima von Hessen" (KALB u. VENT-SCHMIDT 1981) entnommen. Bei der anschließenden maßstabsgetreuen Wiedergabe der Klimakarte (s. Karte 2) zeigte sich wiederum eine sehr gute Übereinstimmung mit dem Original.

Ein großer Vorteil bei der Digitalisierung solcher Karten liegt darin, daß die daraus resultierenden Rasterwerte bequem weiterverarbeitet werden können. Neben einer Maßstabsänderung (bzw. einer Änderung der Klassenbreite) können Überlagerungen mit anderen -auf die gleiche Weise aufbereiteten- Elementen vorgenommen werden. So ist es z.B. denkbar, zusammen mit der mittleren Temperaturverteilung dieses Monats eine Karte zu erstellen, die eine Art "Trockenheitsindex" wiedergibt.

Darüberhinaus ermöglichen Rasterdaten von klimatologischen Elementen eine problemlose Aufnahme in Landschaftsdatenbanken und -informationssysteme, die in zunehmendem Maße von einigen Bundesländern erstellt oder aufgebaut werden (BUNDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR NATURSCHUTZ UND LANDSCHAFTSÖKOLOGIE 1982) und für nahezu alle Planungsbereiche von großer Wichtigkeit sind.

4.3 Allgemeine Erfahrungen bei der Digitalisierung

Bei der Digitalisierung von Höhen- oder Bewuchswerten sollte der Maßstab der zu digitalisierenden Karten immer größer (oder gleich) dem Maßstab sein, in dem das fertige Endprodukt dargestellt werden soll. Damit wird sichergestellt, daß alle Informationen, die eine Karte enthält, auch erfaßt werden. Es ist wenig sinnvoll, die (bereits stark generalisierten) Höhenwerte einer Karte im Maßstab 1 : 1000 000 zu digitalisieren und diese Daten anschließend auf den Maßstab 1 : 100 000 zu transformieren, was -rein rechnerisch gesehen- natürlich möglich ist. Aus diesem Grunde wurden die in der Karte 1 dargestellten Werte auch von topographischen Karten des Maßstabes 1 : 50 000 entnommen. Damit stehen u.U. sogar mehr topographische Informationen zur Verfügung als bei einer Darstellung in diesem Maßstab (1 : 100 000) benötigt werden.

Ein weiteres Problem besteht in der Auswahl der Isolinien, die digitalisiert werden sollen. Das Beispiel aus Abschnitt 3 (s.a. Abbildung 1) zeigt recht deutlich, daß eine gleichmäßige Interpolation zwischen den jeweiligen Isolinien stattfindet. Bei topographischen Formen, die von parallelverlaufenden Höhenlinien gekennzeichnet sind (z.B. Talsysteme, Höhenrücken) genügt es daher jeweils die unterste sowie die oberste der Linien zu digitalisieren und die Erzeugung der dazwischenliegenden Werte dem Interpolationsprogramm zu überlassen. Das gleiche gilt auch für klimatologische Karten, deren Isolinien bei vielen Elementen zumeist annähernd höhenlinienparallel verlaufen.

Besonderer Wert muß auch auf die Erfassung von einzelnen Punkten gelegt werden. Dies ist z.B. dann wichtig, wenn Isolinien keine "inneren" Linien

mehr besitzen (Kuppenlagen, Muldenlagen oder unterste Tallagen). Bei der Digitalisierung von Höhenwerten müssen dann trigonometrische Punkte (in topographischen Karten eingezeichnet) ausgewählt werden; bei klimatologischen Karten muß der jeweilige Mittelwert einer Station (soweit verfügbar) im entsprechenden Gebiet berücksichtigt werden. Dies kann in einigen Fällen dann zu Problemen führen, wenn in dem benötigten Gebiet keine Klimastationen zur Verfügung stehen.

Zwar stimmen die in den Karten 1 und 2 gezeigten Verteilungen fast vollständig mit dem verwendeten Original überein, dennoch kann man bei einigen geschlossenen Gebieten eine geringfügige Vergrößerung beobachten. Dieser Effekt, auf den schon in Abschnitt 3.2 hingewiesen wurde, ist typisch für eine Umwandlung von Punkt- oder Linieninformationen in flächenhafte Rasterwerte (Werte mit einer endlichen Ausdehnung). Eine Vergrößerung von bestimmten Gebieten führt jedoch immer zu einer Verkleinerung der Flächen, in die diese Ausdehnung erfolgt.

Dieser Effekt soll anhand der Karte 2 näher erläutert werden: Gebiete mit monatlichen Niederschlagswerten von mehr als 90mm (blauer und blau-grüner Bereich in der Karte) sind nur geringfügig größer als im Original (< 0.5 %). Der grüne und der dunkelbraune Bereich (Niederschlagsklassen 80mm - 90mm und 60mm - 70mm) weitet sich um jeweils 1% und 2% aus, während der braungrüne Bereich um knapp 4% abnimmt. Diese Angaben gelten natürlich nur für die in der Karte 2 gewählte Rasterpunktsgröße. Eine Verkleinerung des Rasters bewirkt auch eine Verringerung der Abweichung zur Originalvorlage.

Die Ausführungen dieses Abschnittes machen deutlich, daß -je nach Inhalt bzw. Thema der zu digitalisierenden Karten- vom Bearbeiter eine gewisse Vorarbeit zu leisten ist, um vernünftige Ergebnisse zu erhalten.

5 KLIMAEIGNUNGSKARTEN

Klimaeignungskarten sind großmaßstäbige synthetische Karten, die Gebiete gegeneinander abgrenzen, welche aus klimatologischer Sicht für eine bestimmte Landnutzung geeignet (bzw. ungeeignet) sind. Die Erstellung solcher Klimaeignungskarten basiert zum einen auf dem genauen Kenntnis der lokalklimatischen Gegebenheiten (d.h. die flächendeckende Verteilung von einzelnen Klimaelementen oder -parametern muß bekannt sein); zum anderen müssen die spezifischen Anforderungen der jeweiligen Nutzungsart an das Klima berücksichtigt werden. Damit unterscheiden sich Klimaeignungskarten gegenüber herkömmlichen Klimakarten nicht nur im Inhalt, sondern auch im Maßstab, der kleinräumige, lokale Effekte erkennbar werden läßt.

Bereits im ersten Teil des Forschungsberichtes wurden für die Nutzungsarten "Wohnen" sowie "Industrie und Verkehr" Klimaeignungskarten erstellt und die Kriterien beschrieben, die zur Konstruktion dieser Karten führten. Die Ausführungen dieses Abschnittes dienen der Vervollständigung und beschreiben die Erstellung einer Klimaeignungskarte für die flächenintensive Nutzungsart "Erholung". Somit sind alle Voraussetzungen gegeben, klimatologisches Grundlagenmaterial planungsbezogen aufzubereiten und dem Planer

ein Instrumentarium zur Verfügung zu stellen ,mit Hilfe dessen er in der Lage ist ,den Faktor Klima besser zu berücksichtigen und in den Planungsprozeß mit einzubeziehen.

5.1 Klimatologische Einflußfaktoren

Der übergeordnete Begriff Erholung beinhaltet verschiedenartige Erholungsarten wie Naherholung, Wochenenderholung, Urlaub, Sport bis hin zur Kur-erholung und Rekonvaleszenz. Entsprechend schwierig ist daher eine einheitliche Bewertung nach klimatischen Gesichtspunkten. Naherholungsgebiete liegen (ihrer Funktion gemäß) meistens in der unmittelbaren Umgebung von städtischen Ballungsräumen mit (in der Regel) ungünstigen bioklimatischen Bedingungen ,während andere Erholungsarten weitgehend wetterunabhängig sind (z.B. Sporteinrichtungen in geschlossenen Räumen). Es kann daher keine Klimaeignungskarte geben ,die all diesen unterschiedlichen Erholungsarten gleichermaßen gerecht wird. Daher soll die Erstellung dieser Karte nach bioklimatischen Gesichtspunkten erfolgen ,um dem Erholungssuchenden die Möglichkeit zu geben ,Orte mit günstigen klimatischen Bedingungen aufzusuchen.

Das Bioklima wird durch das Zusammenwirken der thermischen ,photoaktinischen und luftchemischen Wirkungskomplexe bestimmt (DEUTSCHER WETTERDIENST 1985) und beeinflusst in hohem Maße das körperliche Wohlbefinden des Menschen.

Thermische Belastungen treten vor allem bei hohen Lufttemperaturen im Sommer auf. Bei gleichzeitig erhöhter Luftfeuchtigkeit kann dem Körper keine Wärme durch Verdunstung des Schweißes entzogen werden. Der dadurch entstehende Wärmestau führt bei einigen Menschen zu großen Belastungen. Diese Belastungen können -je nach Windgeschwindigkeit- verstärkt oder abgemildert werden. Hohe Windgeschwindigkeiten fördern die Abkühlung durch vermehrten Abtransport von Wärme ,während geringe Windgeschwindigkeiten oder Windstillen die thermische Belastung steigern.

Der photoaktinische Wirkungskomplex umfaßt hauptsächlich die Auswirkungen von Sonneneinstrahlung ,atmosphärischer Gegenstrahlung sowie Infrarotstrahlung auf das menschliche Wohlbefinden. Dabei übt das sichtbare Licht (Sonneneinstrahlung) vor allem eine psychologische Wirkung aus ,während der UV-Anteil für Reaktionen der Haut verantwortlich ist. Die langwelligen Strahlungskomponenten (Gegenstrahlung, Infrarotstrahlung) bewirken eine erhöhte Wärmezufuhr im menschlichen Körper. Die Strahlungsintensität ist u.a. abhängig von lokalen Faktoren wie der Höhenlage ,der Lufttrübung (Nebel, Dunst, Aerosolkonzentration) sowie dem Wasserdampfgehalt der Atmosphäre.

Beim luftchemischen Wirkungskomplex spielt die Verunreinigung der Luft durch natürliche oder künstliche Beimengungen eine große Rolle. Je nach meteorologischen Bedingungen können sich Schadstoffe in der Atmosphäre anreichern und so zu Belastungen führen, oder es erfolgt ein rascher Abtransport bei gleichzeitiger Verdünnung. Die klimatischen Einflußfaktoren werden durch Windrichtung und -geschwindigkeit ,atmosphärische Schichtung ,Nebel, Strahlung und Niederschlag bestimmt und sind damit in hohem Maße von der Geländeform abhängig.

5.2 Klimatologische Grundlagenkarten

Zur Erstellung der Klimaeignungskarte für die Nutzungsart "Erholung" werden die folgenden klimatologischen Grundlagenkarten verwendet:

1. Anzahl der Tage mit Wärmebelastung : Ein wärmebelasteter Tag ist dann gegeben ,wenn die Äquivalenttemperatur zu irgendeinem Termin die Grenze von 49 Grad Celsius überschreitet. Die Äquivalenttemperatur ihrerseits ist ein Maß für den gesamten Wärmehalt der Luft und berücksichtigt die klimatologischen Einflußfaktoren "Temperatur" und "Luftfeuchtigkeit".
2. Jahresmittel der Windgeschwindigkeit : Mit der flächendeckenden Verteilung dieser Klimagröße wird ein wichtiger Einflußfaktor des thermischen und luftchemischen Wirkungskomplexes erfaßt.

Die räumlichen Verteilungen dieser beiden Klimagrößen wurden bereits im ersten Teil des Forschungsberichtes ausführlich erläutert und dargestellt, so daß in diesem Bericht nur eine (auf 1 : 150 000) verkleinerte Version dieser Karten (s.a. Karte 3a und 3b) gezeigt wird. Die geringfügigen Unterschiede gegenüber den ursprünglichen Karten sind darauf zurückzuführen, daß die digitalisierten topographischen Daten (s.a. Karte 1) verwendet wurden und nicht die Werte der topographischen Datenbank im 5"-Raster (SCHMELING 1977). Als eine weitere Grundlagenkarte wird:

3. die Nebelhäufigkeit und Nebelstruktur herangezogen :Nebel ist dann gegeben ,wenn die horizontale Sichtweite weniger als 1km beträgt. Je nach Auftreten bzw. Höhenlage unterscheidet man zwischen Talnebel, Hochnebel oder Wolkennebel. Die Entstehung von Talnebel ist häufig mit gradient-schwachen Hochdruckwetterlagen verbunden. Sinkt die Lufttemperatur aufgrund der nächtlichen Ausstrahlung bis zum Taupunkt ab, so kommt es zur Ausbildung einer Nebelschicht ,deren Untergrenze in Erdbodennähe liegt und deren Mächtigkeit im Laufe einer Nacht auf einige Dekameter ansteigen kann.

Hochnebel ist eine oft mehrere hundert Meter mächtige Nebelschicht, die ein größeres Gebiet bedeckt und über einen längeren Zeitraum hinweg erhalten bleiben kann. Die umliegenden Berge ragen meist in die Hochnebel-schicht hinein, während die untersten Tallagen häufig frei von Nebel sind.

Von Wolkennebel spricht man ,wenn Kuppen und Gipfellagen von Wolken eingehüllt werden und somit die Bedingung für Nebel (Sichtweite < 1km) erfüllt ist. Nähere Angaben über Nebelart und Nebelstruktur findet man in den "Meteorologischen Begriffsbestimmungen zur Regionalplanung" (DEUTSCHER WETTERDIENST 1985).

Die Bearbeitung der räumlichen Nebelverteilung gestaltet sich in der Regel als sehr schwierig. Neben den Stationsbeobachtungen muß auch die Lage der nebelarmen ,warmen Hangzone berücksichtigt werden ,die sich in einer abrupten Verringerung der Nebelhäufigkeit (gegenüber den Tallagen) auszeichnet. Ähnlich sprunghafte Änderungen treten auch beim Übergang in den Hoch-/Wolkennebelbereich auf. Aufgrund der engen Bindung von Nebelhäufigkeit und der Nebelart bzw. -struktur sind zusätzliche Kartierungen im Gelände erforderlich (SCHIRMER 1970). Bedenkt man ferner ,daß die Nebel-

beobachtungen auf Schätzwerten basieren, die vom subjektiven Empfinden des jeweiligen Beobachters geprägt sind, so ist es leicht zu verstehen, daß statistische Methoden zur Festlegung der Nebelhäufigkeit (oder -struktur) nur sehr unbefriedigende Ergebnisse liefern.

Aus diesem Grunde wurde die räumliche Verteilung von Nebelhäufigkeit und Nebelstruktur zunächst manuell entworfen, daraufhin digitalisiert und schließlich gemäß dem in Abschnitt 3 beschriebenen Verfahren auf ein 100m*100m-Raster übertragen. Als Datengrundlage dienten die Beobachtungen an den Klimahaupt- und Niederschlagsstationen, die Ergebnisse von Befragungsaktionen bei interessierten Bevölkerungskreisen, sowie bereits existierende Karten. Um eine Überlagerung mit den oben erwähnten Karten (Bezugszeitraum dieser Karten ist das Jahr 1972) zu ermöglichen, wurde die Verteilung nur für das Jahr 1972 bestimmt. Das Ergebnis ist in der Karte 4 (Maßstab 1 : 100 000) dargestellt. Die jährliche Anzahl der Nebeltage -gemittelt über jeweils 100m-Höhenintervalle- kann der Tabelle 1 entnommen werden.

Tabelle 1 : Anzahl der Tage mit Nebel (1972) in Abhängigkeit von der Höhe

Höhe über NN	Anzahl der Tage
< 100m	59
100m - 200m	41
200m - 300m	33
300m - 400m	55
400m - 500m	102
500m - 600m	153

Der Karte 4 entnimmt man, daß Nebelhäufigkeiten zwischen 50 und 70 Tage/Jahr im Rheintal sowie in dem unteren Ende des Selztales zu erwarten sind. Mit zunehmender Höhe nimmt die Anzahl der Nebeltage ab und erreicht in Höhenlagen zwischen 220m über NN und 280m über NN (nebelarme warme Hangzone) ein Minimum mit weniger als 30 Tagen im Jahr. Im nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes wird der größtenteils zusammenhängende Bereich der nebelarmen Hangzone an einigen Stellen von den tiefeingeschnittenen Taunustälern unterbrochen. Auch die höhergelegenen Teile des Alzeyer-Hügellandes ragen aus dem Talnebelbereich (dieser Bereich ist der Karte 4 als schwarz schraffierte Fläche überlagert).

Oberhalb einer Höhe von 280m über NN erfolgt ein rascher Anstieg der Nebelhäufigkeit in den Bereich des Hoch- bzw. Wolkennebels (schwarz karierte Fläche in der Karte 4). Die Nebelhäufigkeit in diesem Gebiet ist wesentlich größer als in den Tallagen. So beobachtet man ab 430m über NN mehr als 90 Nebeltage pro Jahr, während in den Höhenlagen des Taunus (ca. 600m über NN) an 160 Tagen im Jahr Nebel auftreten kann.

5.3 Klimaeignungskarte "Erholung"

SCHIRMER (1978) führte eine Beurteilung von Räumen nach bioklimatischen Gesichtspunkten auf der Grundlage der Anzahl der Tage mit Wärmebelastung (s.a. Karte 3a) und des Jahresmittelwertes der Windgeschwindigkeit (s.a. Karte 3b) durch. Hierbei werden Gebiete mit bioklimatischen Belastungen gemäß der Tabelle 2 bestimmt.

Tabelle 2 : Überlagerungskriterien für die bioklimatische Belastungsstufe

	intensiv	mäßig	abgeschwächt	
Windgeschwindigkeit	<2	<2	2 - <3	m/s
Wärmebelastung	>25	20-25	>25	Tage

Die Klassifikation versucht die extremen Verhältnisse in Bezug auf die beiden Einflußfaktoren Windgeschwindigkeit und Wärmebelastung zu erfassen und sie gemeinsam in einer synthetischen Karte darzustellen, die bioklimatisch belastete Räume wiedergibt.

Zur Abgrenzung von Gebieten, in denen bioklimatische Reize auftreten, verwendet SCHIRMER die in der Tabelle 3 dargestellten Überlagerungskriterien:

Tabelle 3 : Überlagerungskriterien für die bioklimatische Reizstufe

	intensiv	mäßig	abgeschwächt	
Windgeschwindigkeit	>4	>4	3 - 4	m/s
Wärmebelastung	<10	10-15	<10	Tage

Alle übrigen Kombinationsmöglichkeiten (weder bioklimatische Belastung noch bioklimatische Reize) werden zu einer "bioklimatischen Schonstufe" zusammengefaßt. In Bezug auf Erholungseinrichtungen können die Gebiete, die ein solches Schonklima aufweisen, als besonders gut geeignet angesehen werden. Reizklimate mit erhöhter Windgeschwindigkeit und verminderter Wärmebelastung sind für gesunde Menschen ebenfalls von beträchtlichem Erholungswert, da die bioklimatischen Reize (etwa durch entsprechende Bekleidung) zu dosieren sind, während sie bei kranken Menschen -je nach Art der Erkrankung- unterschiedlich zu bewerten sind.

Zur Konstruktion der Klimaeignungskarte für die Nutzungsart "Erholung" wird als ein weiterer Parameter die Nebelhäufigkeit bzw. -struktur (s.a. Karte 4) mit herangezogen. Besonders bei herbstlichen Hochdruckwetterlagen bieten die Gebiete, die aus dem Nebelbereich herausragen durch ihre meist reine und trockene Luft (z.T. verbunden mit erhöhter Sonneneinstrahlung)

gute Erholungsmöglichkeiten. Regionen großer Nebelhäufigkeit dagegen -insbesondere in Gebieten mit hohen Luftverunreinigungen- können lufthygienisch belastet sein und eignen sich weniger zur Erholung. In diesem Zusammenhang ist der Bereich des Hochnebels, selbst bei etwas größerer Nebelhäufigkeit, als günstiger zu beurteilen als der des Talnebels.

Die Entscheidungskriterien zur Erstellung der nutzungsartspezifischen Klimaeignungskarte "Erholung" sind auf der nachfolgenden Seite übersichtshalber zusammengestellt. Zunächst werden (unabhängig von der in den Tabellen 2 und 3 dargestellten Dreiteilung in "intensiv", "mäßig" und "abgeschwächt") alle Intensitätsstufen zu einer bioklimatischen Belastungs- bzw. Reizstufe zusammengefaßt und die räumliche Verteilung dieser synthetischen Größe bestimmt. Zusammen mit der Verteilung der Nebelhäufigkeit und Nebelstruktur (s.a. Karte 4) ergeben sich die folgenden Überlagerungskriterien:

Liegt ein Rasterpunkt in Gebieten mit bioklimatischen Belastungen, so wird daraufhin abgefragt, ob sich die Fläche im Bereich des Tal-, Hoch- oder Wolkennebels befindet. Ist dies der Fall, so herrscht nur eine geringe Eignung zur Ausweisung von Erholungsgebieten. Mäßige Eignung dagegen wird dann angenommen, wenn die Fläche außerhalb des Nebelbereiches (nebelarme Hangzone) liegt.

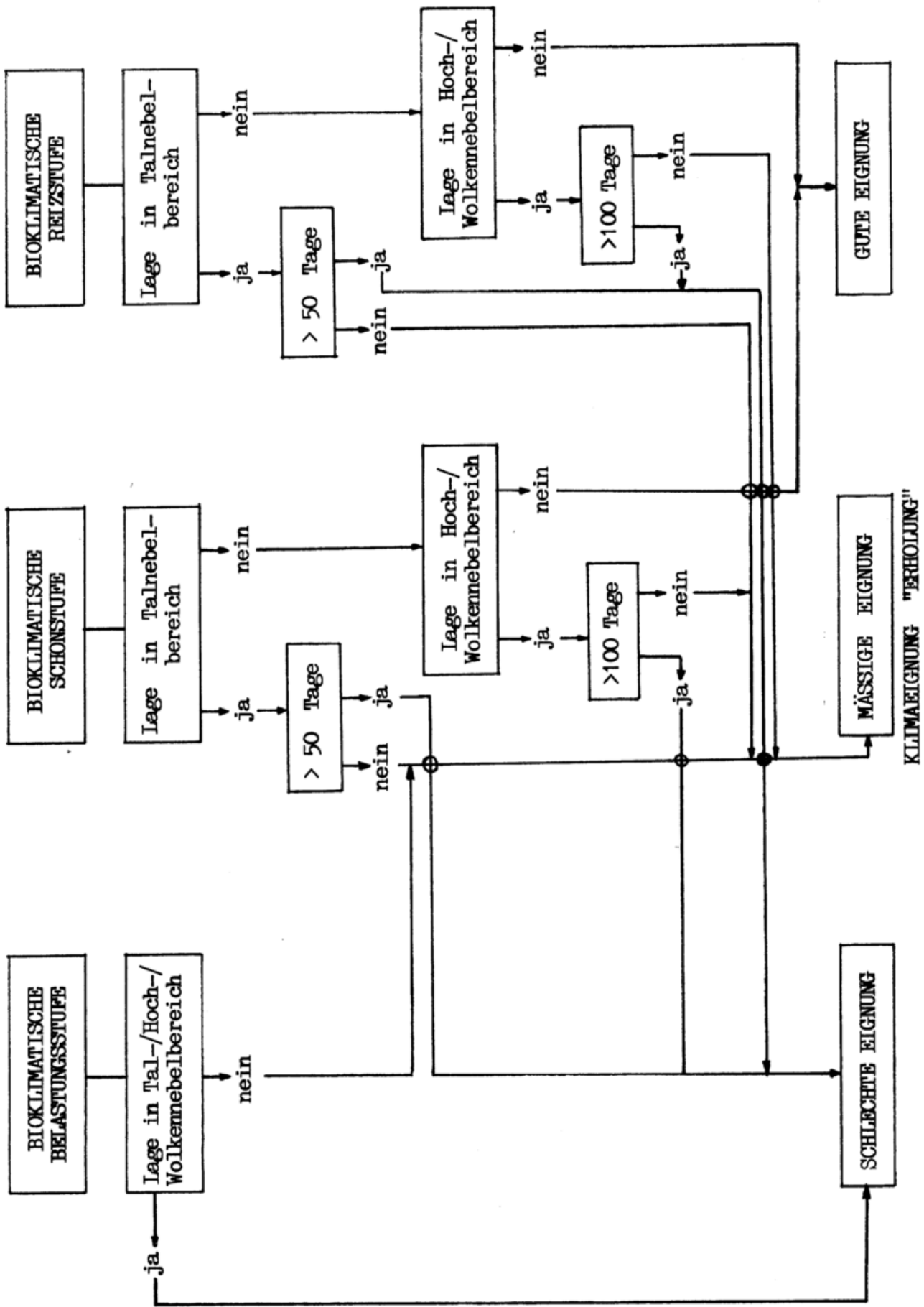
In Gebieten mit Schonklima wird zunächst abgefragt, ob der Rasterpunkt im Talnebelbereich liegt. Ist dies der Fall und beträgt die Nebelhäufigkeit über 50 Tage pro Jahr (die Wahl dieses Grenzwertes erfolgte in Anlehnung an die "Begriffsbestimmungen für Kurorte, Erholungsorte und Heilbrunnen" (DEUTSCHER BÄDERVERBAND, DEUTSCHER FREMDENVERKEHRSVERBAND 1972)), so wird nur eine geringe Eignung zur Erholung gegeben. Mäßige Eignung herrscht in den Talnebelbereichen mit weniger als 50 Nebeltagen pro Jahr.

In Höhen oberhalb der Obergrenze des Talnebels wird bestimmt, ob der zu untersuchende Punkt im Bereich des Hoch- bzw. Wolkennebels liegt. Ist dies der Fall, so gelten die gleichen Eignungskriterien wie beim Talnebel; lediglich der Grenzwert von 50 Nebeltagen/Jahr wird auf 100 Nebeltage/Jahr erhöht.

Liegt die Fläche im Bereich der nebelarmen warmen Hangzone (zwischen der Obergrenze des Talnebels und der Untergrenze des Hochnebels), so wird eine gute Eignung zur Erholung angenommen. Mit dieser Regelung soll sichergestellt werden, daß neu zu errichtende Erholungsgebiete (bzw. Erholungseinrichtungen) in Räumen liegen, die einerseits keine bioklimatischen Belastungen aufweisen und deren Erholungswert andererseits nicht durch zu viele Nebeltage pro Jahr geschmälert wird.

Da Gebiete mit bioklimatischen Reizen in Bezug auf den Erholungswert für einen gesunden Menschen ebenfalls als positiv zu beurteilen sind, werden die gleichen Eignungskriterien wie bei der bioklimatischen Schonstufe angewandt.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die Gebiete, die außerhalb des Tal-, Hoch- oder Wolkennebelbereiches liegen, zur Ausweisung von Erholungsgebieten am geeignetsten sind. Flächen im Nebelbereich (bzw. bioklimatisch belastete Gebiete) dagegen eignen sich -je nach der Nebelhäufigkeit- nur schlecht oder mäßig.



Die Klimaeignungskarte "Erholung" (s.a. Karte 5) ist das Ergebnis der Überlagerung nach den o.a. Kriterien. Als eine Hintergrundinformation sind Siedlungen (schwarz) und Wasserflächen (blau) mit in die Karte eingefügt, um dem Betrachter die räumliche Orientierung zu erleichtern.

Schlecht geeignet zur Errichtung von Erholungsgebieten ist das Rhein- bzw. Selztal bis auf Höhenlagen um 130m über NN. Oberhalb dieser Höhe - aber noch unterhalb der Talnebelobergrenze (vergl. mit der Karte 4) - erkennt man im Bereich einiger Siedlungen ebenfalls Gebiete mit schlechter Erholungseignung. Dies ist darauf zurückzuführen, daß diese Ortschaften aufgrund der ungünstigen Modifikation des Wind- und Temperaturfeldes (verringerte Windgeschwindigkeit und erhöhte Wärmebelastung im Siedlungsbe- reich) bioklimatisch belastet sind.

In den Höhenlagen des Taunus (um ca. 500m über NN) sollten ebenfalls keine Erholungseinrichtungen geplant werden, da der Erholungswert durch die hohe Nebelhäufigkeit (> 100 Nebeltage pro Jahr) stark eingeschränkt wird.

Günstige Standorte für die Ausweisung von Erholungsgebieten sind im Bereich der nebelarmen warmen Hangzone (im Höhenintervall zwischen 200m über NN und 400m über NN) sowie in den Kuppenlagen des Alzeier Hügellandes zu finden. Diese Gebiete weisen einerseits ein positiv zu bewertendes Schönklima auf, andererseits ist die Nebelhäufigkeit sehr gering, so daß für Erholungssuchende günstige Bedingungen gegeben sind.

Zwischen den jeweils gut oder schlecht geeigneten Gebieten erkennt man einen relativ schmalen Übergangsbereich, in dem nur mäßige Erholungseignung besteht. Siedlungen, die bioklimatisch belastet sind - jedoch oberhalb des Talnebelbereiches liegen - sind für Erholungseinrichtungen ebenfalls nur mäßig geeignet.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die Erholungseignung im Untersuchungsgebiet in hohem Maße höhenabhängig ist. Weder die untersten Tal- lagen noch die höhergelegenen Gipfellagen eignen sich für Erholungszwecke. Gut geeignet dagegen ist der Bereich der nebelarmen warmen Hangzone. Diese von der Höhenlage abhängige räumliche Verteilung wird an einigen Stellen durch die Bebauung modifiziert, so daß kleinräumige Strukturen innerhalb von großflächigen, zusammenhängenden Gebieten entstehen.

Abschließend sei noch auf ein Problem hingewiesen, das bei der Erstellung von Klimaeignungskarten wie auch von synthetischen Klimakarten auftritt. Bei der Überlagerung verschiedener Grundlagenkarten ist eine Definition von bestimmten Grenzwerten notwendig. Die Festlegung solcher Grenzwerte stößt aber aus klimatologischer Sicht auf etliche Schwierigkeiten, da sie bestenfalls nur in bestimmten Landschaftsformen (Mittelgebirgsraum, Küste, Flachland etc.) Gültigkeit besitzen und immer nur im Zusammenhang mit einer bestimmten Landnutzung zu definieren sind. Die in diesem Forschungsvorhaben verwendeten Grenzwerte sind größtenteils der Literatur entnommen und wurden bereits bei einer ähnlichen Problematik in vergleichbaren Gebieten angewandt (SCHIRMER 1978) (WANNER 1980 und 1983).

6 SIMULATION VON NUTZUNGSÄNDERUNGEN

Alle bislang gezeigten Klimakarten basieren auf topographischen Daten, die dem aktuellsten Kartenstand entsprechen. Damit stellen diese Karten den Ist-Zustand dar, der sich aufgrund von Höhenlage und momentaner Landnutzung eingestellt hat. Durch Abänderung der Bodenbedeckungswerte (bzw. der Höhenwerte) gemäß dem geplanten Vorhaben ist es möglich, die Auswirkungen von Nutzungsänderungen auf das lokale Klima abzuschätzen und aufzuzeigen. Am Beispiel des Kaltluftabflusses soll eine solche Simulation von Nutzungsänderungen durchgeführt werden.

Karte 7a zeigt die lokalklimatisch bedeutsamen Flächen (Kaltluftflüsse, Kaltluftsammlgebiete sowie Kaltluftseen oder Kaltluftstaus an Siedlungs- und Waldrändern), die sich ergeben, wenn aktuelle topographische Daten (gemäß der Karte 1) verwendet werden. Man erkennt, daß sich an der Luvseite (in Richtung ansteigendes Gelände) vieler Siedlungen (aber auch an Waldrändern) ein Kaltluftstau ausbildet, der -je nach Hangneigung bzw. Neigung der Talsohle- mehr oder weniger umfangreich ausgeprägt ist.

In der gleichen Art wie bei der Karte 1 sind die Höhen- und Bewuchswerte mit einer geringfügig abgeänderten Landnutzung in der Karte 6 dargestellt (Verkehrsflächen, die in der Karte 1 nicht berücksichtigt wurden sind schwarz dargestellt). Im einzelnen wurden folgende Nutzungsänderungen vorgenommen:

1. Bau einer Straße von Gau-Algesheim (südwestlich von Ingelheim gelegen) in nördlicher Richtung bis zum Rhein. Die Straße folgt zunächst dem Südufer des Rheins, überquert den Fluß dann nördlich von Ingelheim und führt auf der nördlichen Uferseite weiter. Im Bereich des Rheines soll die Straße auf einem 3m hohen Damm verlaufen, der im Landesinneren (zwischen Gau-Algesheim und dem Rhein) immer flacher wird. In der Nähe von Gau-Algesheim verläuft die Straße ebenerdig.
2. Von Gau-Algesheim aus wird in nördlicher Richtung (entlang der neuerichteten Straße) ein Gewerbegebiet mit einer durchschnittlichen Gebäudehöhe von 15m errichtet.
3. Die ursprünglich durch eine schmale Freifläche voneinander getrennten Stadtteile von Oestrich-Winkel (nordwestlich der Stadt Ingelheim am nördlichen Rheinufer gelegen) werden bebaut. Die mittlere Gebäudehöhe soll 10m betragen.
4. Das ursprünglich bis an den Rand von Martinsthal (nördlich von Eltville gelegen) heranreichende Waldgebiet wird im nordöstlichen Bereich der Siedlung z.T. gerodet, so daß zwischen Ort und Waldrand eine Freifläche von ca. 500m Breite entsteht.

Alle hier aufgeführten Nutzungsänderungen sind rein willkürlich ausgewählt worden und haben keinen Bezug zu tatsächlich geplanten Bau- oder Rodungsmaßnahmen. Wendet man das Kaltluftabflußmodell (eine genaue Beschreibung des Modelles findet man in GERTH (1986)) auf die derart veränderte Topographie (bzw. Bodenbedeckung) an, so erhält man die in der Karte 7b dargestellten Ergebnisse.

Durch den Bau der Straße bilden sich im Bereich um Ingelheim-Nord umfangreiche Kaltluftstaugebiete aus. Nur sehr geringe Auswirkungen auf die lokalklimatischen Gegebenheiten dagegen hat der Straßenbau auf der nördlichen Rheinseite. Hier erkennt man lediglich einige wenige Stellen, an denen sich ein Kaltluftstau bildet. Dies ist darauf zurückzuführen, daß der Geländeanstieg zum Taunus hin sehr rasch erfolgt. Auf der zum Rhein hin gelegenen Seite der Straße herrscht zwar immer eine Höhendifferenz von 3m (gegenüber Flußniveau), das Gelände auf der anderen Seite der Straße ist jedoch vielfach höher als das Fahrbahnniveau, so daß die Kaltluft ungehindert abfließen kann und nur an einigen Stellen aufgestaut wird.

Durch den Bau des Gewerbegebietes werden keinerlei erkennbare Auswirkungen auf die Kaltluftsituation im Untersuchungsgebiet verursacht. Im Gegensatz zu Ingelheim, das den Talausgang des Selztales blockiert und damit einen langgezogenen Kaltluftstau produziert, verläuft das Gewerbegebiet in etwa längs zur Hangneigung, so daß keine Stauerscheinungen möglich sind, da die Kaltluft an beiden Seiten ungehindert abfließen kann.

Die Verbindung der Stadtteile von Oestrich-Winkel bewirkt, daß sich der Kaltluftstaubereich im Norden der Siedlung geringfügig vergrößert. Der Grund für diese nur kleine Veränderung ist wiederum auf den raschen Geländeanstieg zum Taunus hin zurückzuführen.

Im Bereich um Martinthal ist eine Vergrößerung des Kaltluftstaugebietes nach Osten hin durch die Rodung der Waldflächen zu beobachten.

Keine der hier simulierten Nutzungsänderungen bewirkt eine direkte Änderung des Kaltluftabflusses (d.h. Kaltluftflüsse werden durch die Bebauung weder zerstört, noch durch Rodungsmaßnahmen neu erzeugt). Auch ergeben sich keine spürbaren Auswirkungen in Bezug auf die insgesamt produzierte Kaltluft (und damit auch auf die Höhe des Kaltluftsammegebietes); hierzu sind die Nutzungsänderungen letztendlich zu gering.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß Hindernisse (Gebäude oder Waldflächen), die quer zum Gefälle der Landschaft verlaufen oder errichtet werden sollen, in den meisten Fällen einen Kaltluftstau erzeugen. Die Größe dieses Staubereiches ist abhängig von der Hangneigung im Luv des Hindernisses: Stark geneigte Gebiete verursachen nur einen kleinräumigen Kaltluftstau, während in flacheren Geländeabschnitten bereits geringfügige Nutzungsänderungen ausreichen können, um großräumige Staugebiete zu produzieren. Dieses Verhalten ist nicht nur auf das Untersuchungsgebiet beschränkt, sondern konnte im Rahmen verschiedener Gutachten (DEUTSCHER WETTERDIENST 1982 und 1983) auch in anderen Gegenden der Bundesrepublik Deutschland festgestellt werden.

Die o.a. Nutzungsänderungen und deren Einfluß auf die Kaltluftsituation im Untersuchungsgebiet wirken sich jedoch auch auf andere klimatologische Elemente aus. In Gebieten mit stagnierender Kaltluft steigt die Frostgefährdung - insbesondere in den Übergangsjahreszeiten Frühjahr und Herbst - gegenüber kaltluftfreien Flächen beträchtlich an. Im Bereich des Gebietes, auf dem die eigentliche Nutzungsänderung erfolgte, tritt darüberhinaus auch noch eine Beeinflussung des lokalen Temperatur-, Feuchte- und Windfeldes auf.

Die Ausführungen dieses Abschnittes zeigen recht deutlich, daß es nicht nur möglich ist, den momentanen Zustand des Klimas zu erfassen und darzu-

stellen, sondern auch Änderungen der aktuellen Landnutzung und deren Einfluß auf die lokalklimatischen Gegebenheiten eines bestimmten Raumes zu simulieren. Damit ist man in der Lage, Standorte für ein geplantes Projekt vorzuschlagen, an denen die Auswirkungen auf das örtliche Klima am geringsten sind.

Darüberhinaus besteht die Möglichkeit, Maßnahmen anzugeben, mit denen die lokalklimatischen Gegebenheiten in einem bestimmten Gebiet eventuell verbessert werden können. Hierzu gehört z.B. die Schaffung neuer Abflußbahnen für die Kaltluft (etwa durch schneisenförmiges Roden von kaltluftanstauenden Waldgebieten). Durch Aufforstungen an den richtigen Stellen können sowohl Kaltluftflüsse umgeleitet, wie auch unerwünschte Kaltluftansammlungen verhindert werden.

7 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens "Klimatische Wechselwirkungen in der Raumplanung bei Nutzungsänderungen" zeigen recht deutlich, daß es möglich ist, aufgrund von Geländeinformationen (gerasterte Landnutzungs- und Höhenwerte) großmaßstäbige, flächendeckende Verteilungen klimatologischer Elemente oder Parameter zu erhalten. Die hierbei erzielten Ergebnisse sind, soweit es sich um Modellberechnungen handelt, im Prinzip auf die gesamte Bundesrepublik Deutschland übertragbar. Bei statistischen Verfahren muß man grundsätzlich zwischen der Übertragbarkeit der Ergebnisse und der Übertragbarkeit der Untersuchungsmethodik unterscheiden. Die in dieser Arbeit dargestellten Karten (sofern sie auf statistischem Wege erhalten wurden) gelten grundsätzlich nur für das eigentliche Untersuchungsgebiet und können in der Regel nicht auf andere Räume übertragen werden; die Methodik dagegen kann auch in anderen Gebieten angewandt werden. Das hierzu notwendige Meßnetz muß nicht unbedingt so umfangreich sein wie das hier verwendete. Durch eine sinnvolle Standortwahl kann die Anzahl der temporären Meßstationen gering gehalten werden und selbst einzelne Profilmessfahrten bei ausgewählten Wetterlagen liefern durchaus gute Ergebnisse (DEUTSCHER WETTERDIENST 1985).

Auf der Basis dieser Grundlagenkarten können dann synthetische Klimaeignungskarten erstellt werden, die Gebiete voneinander abgrenzen, in denen bestimmte planungsrelevante Klimamerkmale gemeinsam auftreten, die sich in ihrer Wirkung verstärken können. Insbesondere bei der Konstruktion dieser Karten erweist sich der Einsatz der EDV als notwendig, da eine manuell durchgeführte Überlagerung von mehreren Grundlagenkarten nach komplexen Kriterien nur sehr schwer durchführbar ist. Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden neben der in Abschnitt 5 beschriebenen Klimaeignungskarte für die Nutzungsart "Erholung" auch noch Eignungskarten für "Wohnen" sowie "Industrie und Verkehr" (GERTH 1986) erstellt. Hiermit sind für die wichtigsten Planungsbereiche Karten verfügbar, die wesentlich mehr Informationen enthalten als die räumliche Verteilung einzelner Klimaelemente oder -parameter.

Für Planungszwecke ist jedoch nicht nur die Erfassung des IST-Zustandes von Bedeutung, sondern auch eine Abschätzung über die Folgen von geplanten Vorhaben auf das lokale Klima. Durch Abänderung der aktuellen Landnutzung (entsprechend dem Planungsvorhaben) ist es möglich, die Auswirkungen von Nutzungsänderungen zu simulieren und Standorte für ein geplantes Projekt vorzuschlagen, an denen die Folgen auf die lokalklimatischen Gegebenheiten am geringsten sind.

Die wichtigsten Grundlagen für Untersuchungen dieser Art bilden die topographischen Daten. Durch den Einsatz eines Digitalisierers in Verbindung mit der entsprechenden Software (s.a. Abschnitt 3), können diese Daten in beliebig hoher Auflösung für jeden Teil der Bundesrepublik gewonnen werden. Gegenüber fest abgespeicherten topographischen Daten besitzt diese Methode den Vorteil, daß die jeweils aktuellste Kartenvorlage zur Digitalisierung verwendet werden kann, so daß man unabhängig ist von den fehlerhaften -auf jeden Fall jedoch veralteten- Werten, die im ersten Teil des Forschungsberichtes Verwendung fanden.

Abschließend soll noch einmal auf die klimatologischen Elemente und Phänomene eingegangen werden, die mit statistischen Methoden oder Modellberechnungen erhalten werden können und die das Basismaterial für weitere Untersuchungen darstellen:

1. Statistische Methoden: -Mit statistischen Verfahren können alle klimatologischen Elemente dargestellt werden, die eine signifikante Abhängigkeit von Höhe, Oberflächenform oder Bewuchs/Bebauung erkennen lassen.

-Liegen bereits fertig bearbeitete Karten vor, so können diese digitalisiert und daraufhin in flächendeckende Rasterdaten umgewandelt werden.

2. Modellberechnungen : -Auf der Basis von Modellrechnungen, die nur auf topographischen Daten beruhen, lassen sich flächendeckende Verteilungen von Kaltluftflüssen, Kaltluftsammlgebieten und Kaltluftstaus (bzw. Kaltluftseen) erhalten.

-Für einzelne Punkte oder Flächen lassen sich Kaltlufteinzugsgebiete berechnen, d.h. es können die Gebiete bestimmt werden, die einen bestimmten Standort mit Kaltluft versorgen.

-Umgekehrt lassen sich die Gebiete berechnen, die von einem bestimmten Punkt (oder einer Fläche) mit Kaltluft versorgt werden. Die beiden letztgenannten Versionen des Kaltluftmodelles fanden bei der Erstellung der Klimaeignungskarten "Industrie und Verkehr" sowie "Wohnen" (GERTH 1986) Verwendung und können -je nach Art des Problems- bei Bedarf auch separat angewandt werden.

-Aufgrund der Horizontüberhöhung, die für jedes Rasterfeld berechnet werden kann, läßt sich die effektiv mögliche Sonnenscheindauer bestimmen.

-Unter vereinfachten Bedingungen (GERTH 1986) ist auch eine flächendeckende Berechnung der direkten Sonneneinstrahlung möglich, die für gewisse landwirtschaftliche Planungsbereiche von Interesse ist.

Hiermit ist das Forschungsvorhaben abgeschlossen. Die hardwaremäßige Ausstattung sowie die Entwicklung einer anwendungsorientierten Software, die dieses Projekt mit sich brachte, ermöglichen eine praktische Anwendung des Verfahrens in anderen Gebieten. Damit sind alle Voraussetzungen gegeben (von der Beschaffung des topographischen Grundlagenmaterials bis hin zur Erstellung von nutzungsartspezifischen Klimaeignungskarten und deren Ausgabe mit Hilfe des interaktiven graphischen Systems), die Entscheidungsträger im Planungsbereich mit wichtigen Informationen und Daten zu versorgen, die für eine klimagerechte Planung notwendig sind.

8 LITERATUR

- (1) BUNDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR NATURSCHUTZ UND LANDSCHAFTSÖKOLOGIE: Landschaftsinformationssysteme, in: Natur und Landschaft, 57. Jahrgang, Heft 12, Stuttgart, 1982
- (2) DEUTSCHER BÄDERVERBAND, DEUTSCHER FREMDENVERKEHRSVERBAND : Begriffsbestimmungen für Kurorte, Erholungsorte und Heilbrunnen, 1972
- (3) DEUTSCHER WETTERDIENST: Meteorologische Begriffsbestimmungen zur Regionalplanung, Offenbach a.M., 1985
- (4) DEUTSCHER WETTERDIENST: Amtliches Gutachten über die klimatischen Verhältnisse im Filderraum, Offenbach a.M., 1982
- (5) DEUTSCHER WETTERDIENST: Amtliches Gutachten über die klimatischen Verhältnisse im Raum Oberderdingen im Hinblick auf raumplanerische Maßnahmen, Offenbach a.M., 1983
- (6) DEUTSCHER WETTERDIENST: Das Klima von Bamberg, amtliches Gutachten des Wetteramtes Nürnberg, 1985
- (7) GERTH, W.-P.: Klimatische Wechselwirkungen in der Raumplanung bei Nutzungsänderungen, 1. Arbeitsbericht, Offenbach a.M., 1984
- (8) GERTH, W.-P.: Klimatische Wechselwirkungen in der Raumplanung bei Nutzungsänderungen, Berichte des Deutschen Wetterdienstes, Nr. 171, Offenbach a.M., 1986
- (9) KALB, M.; VENT-SCHMIDT, V.: Das Klima von Hessen, Hessisches Ministerium für Landesentwicklung, Umwelt, Landwirtschaft und Forsten, Wiesbaden, Teil I, 1980

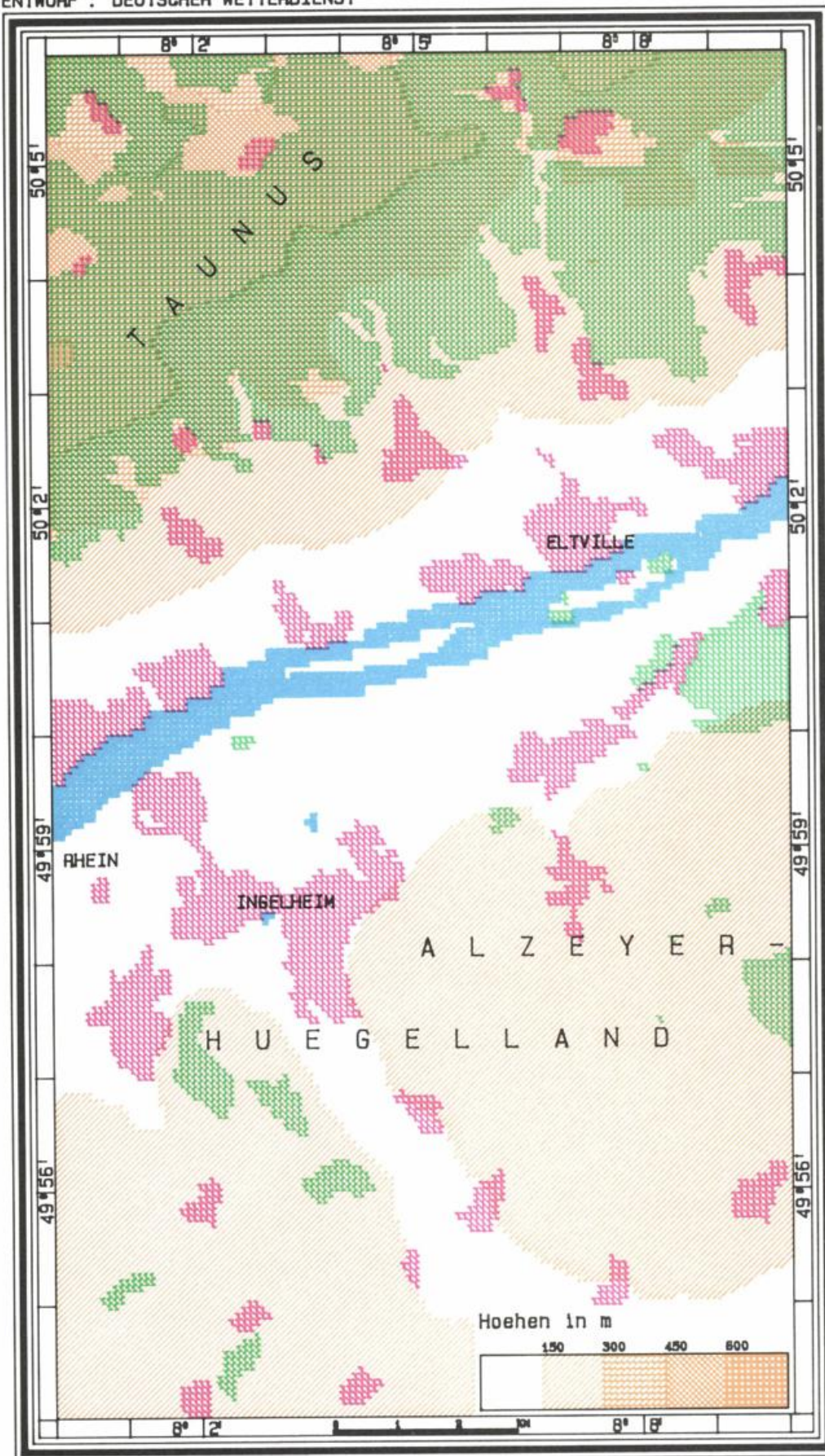
- (10) SCHIRMER, H.: Die klimatische Gliederung des Gebietes der Landesarbeitsgemeinschaft Hessen/Rheinland-Pfalz/Saarland, Veröffentlichungen der Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Hannover, 1978
- (11) SCHIRMER, H.: Beitrag zur Erfassung der regionalen Nebelstruktur, Abhandlungen des 1. Geographischen Instituts der Freien Universität Berlin, Band 13, Aktuelle Probleme geographischer Forschung, Berlin, 1970
- (12) SCHMELING, D.: Das topographische Datenbank- und Verarbeitungssystem TDMS 1100 der Deutschen Bundespost, Fernmeldetechnisches Zentralamt, Darmstadt, 1977
- (13) VINKEN, R.: Die automatische Datenverarbeitung als Hilfsmittel bei der Aufnahme und Konstruktion geowissenschaftlicher Karten, in: Geologisches Jahrbuch, Reihe A, Hannover, 1983
- (14) WANNER, H.: Das Projekt "Durchlüftungskarte der Schweiz", Informationen und Beiträge zur Klimaforschung, Geographisches Institut der Universität Bern, Bern, 1983
- (15) WANNER, H.: Klima und Lufthygiene im Raum Bern, Veröffentlichungen der geographischen Kommission, Bern, 1980
- (16) YOELI, P.: Cartographic drawing with computers, in: Computer Applications Department of Geography, University of Nottingham, Nottingham, 1982

9 KARTENVERZEICHNIS

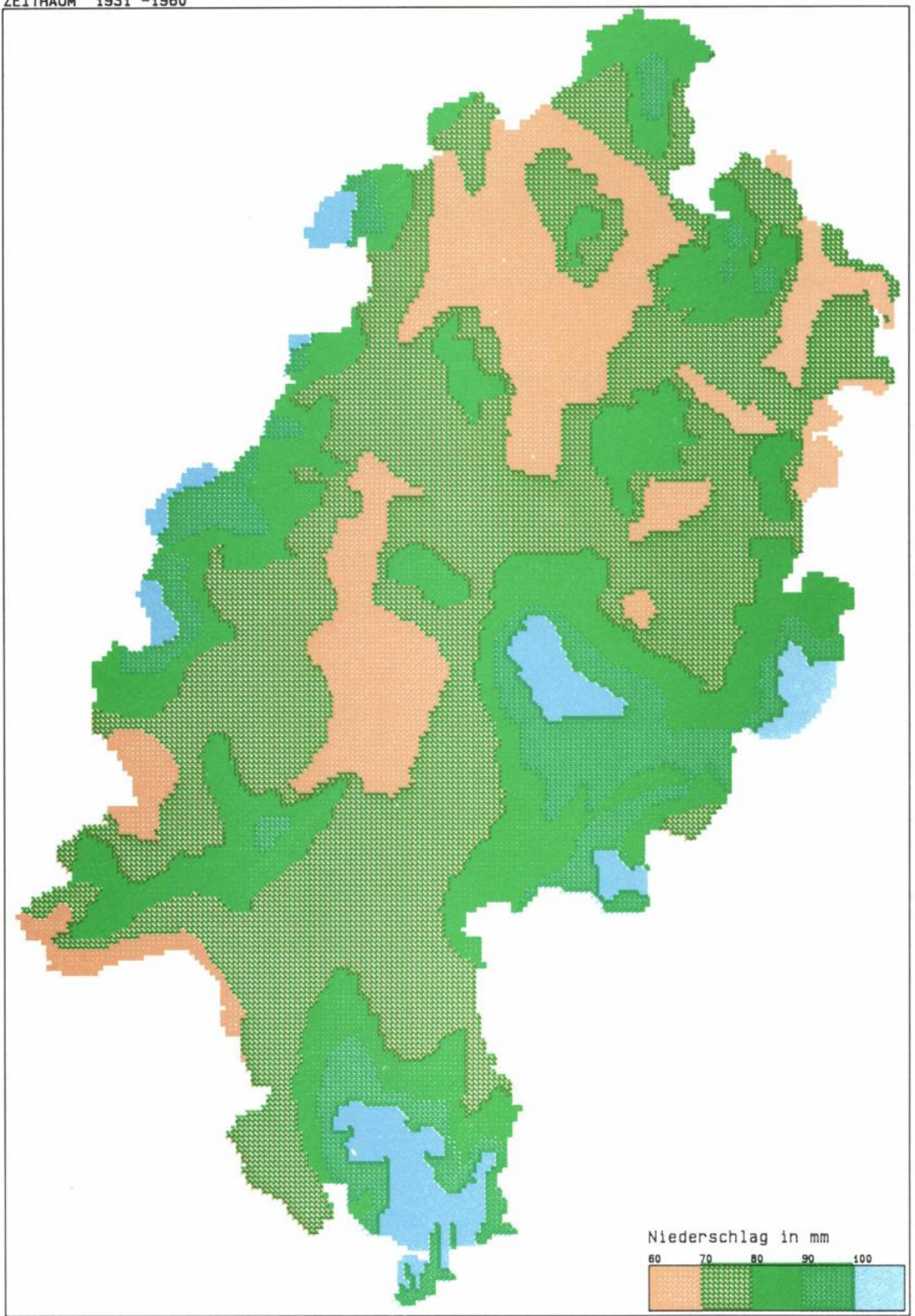
- Karte 1 : Höhen- und Bewuchswerte im Untersuchungsgebiet
 Maßstab 1 : 100 000
 (Siedlungen sind rot, Wasserflächen blau und Waldgebiete grün dargestellt)
- Karte 2 : Mittlere monatliche Niederschlagshöhe (August)
 Maßstab 1 : 1000 000
 (Die Niederschlagsverteilung ist nur innerhalb der Landesgrenze von Hessen dargestellt)
- Karte 3a : Anzahl der Tage mit Wärmebelastung
 Maßstab 1 : 150 000
- Karte 3b : Jahresmittel der Windgeschwindigkeit
 Maßstab 1 : 150 000
- Karte 4 : Nebelhäufigkeit und Nebelstruktur
 Maßstab 1 : 100 000
- Karte 5 : Klimaeignung "Erholung"
 Maßstab 1 : 100 000
 (Siedlungen sind rot, Wasserflächen blau dargestellt)

- Karte 6 : Höhen- und Bewuchswerte (mit Nutzungsänderung)
Maßstab 1 : 100 000
(Siedlungen sind rot, Wasserflächen blau, Verkehrsflächen schwarz
und Waldgebiete grün dargestellt)
- Karte 7a : Lokalklimatisch bedeutsame Flächen
Maßstab 1 : 100 000
(Siedlungen sind rot, Waldgebiete grün dargestellt)
- Karte 7b : Lokalklimatisch bedeutsame Flächen (mit Nutzungsänderung)
Maßstab 1 : 100 000
(Siedlungen sind rot, Waldgebiete grün dargestellt)

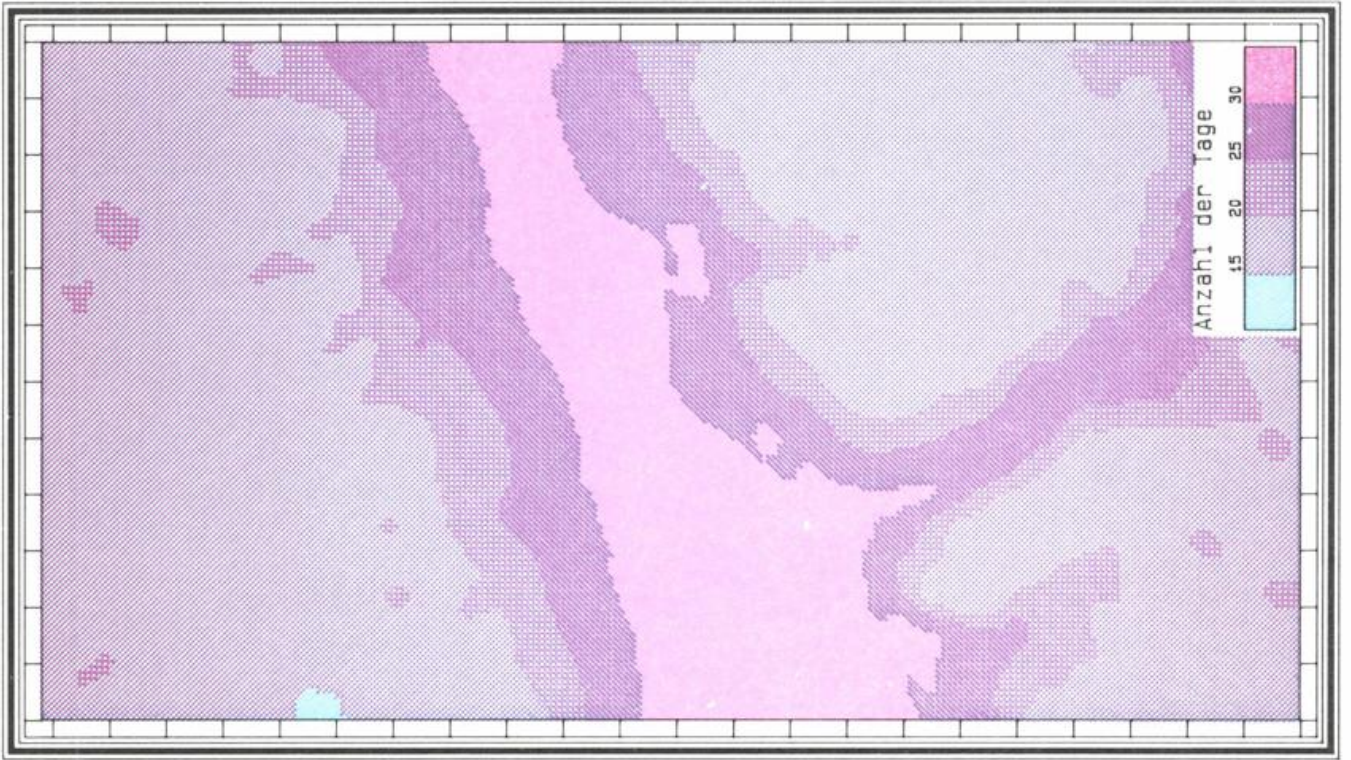
KARTE 1 : HOEHEN- UND BEWUCHSWERTE IM UNTERSUCHUNGSGBIET
MASSTAB 1 : 100 000
ENTWURF : DEUTSCHER WETTERDIENST



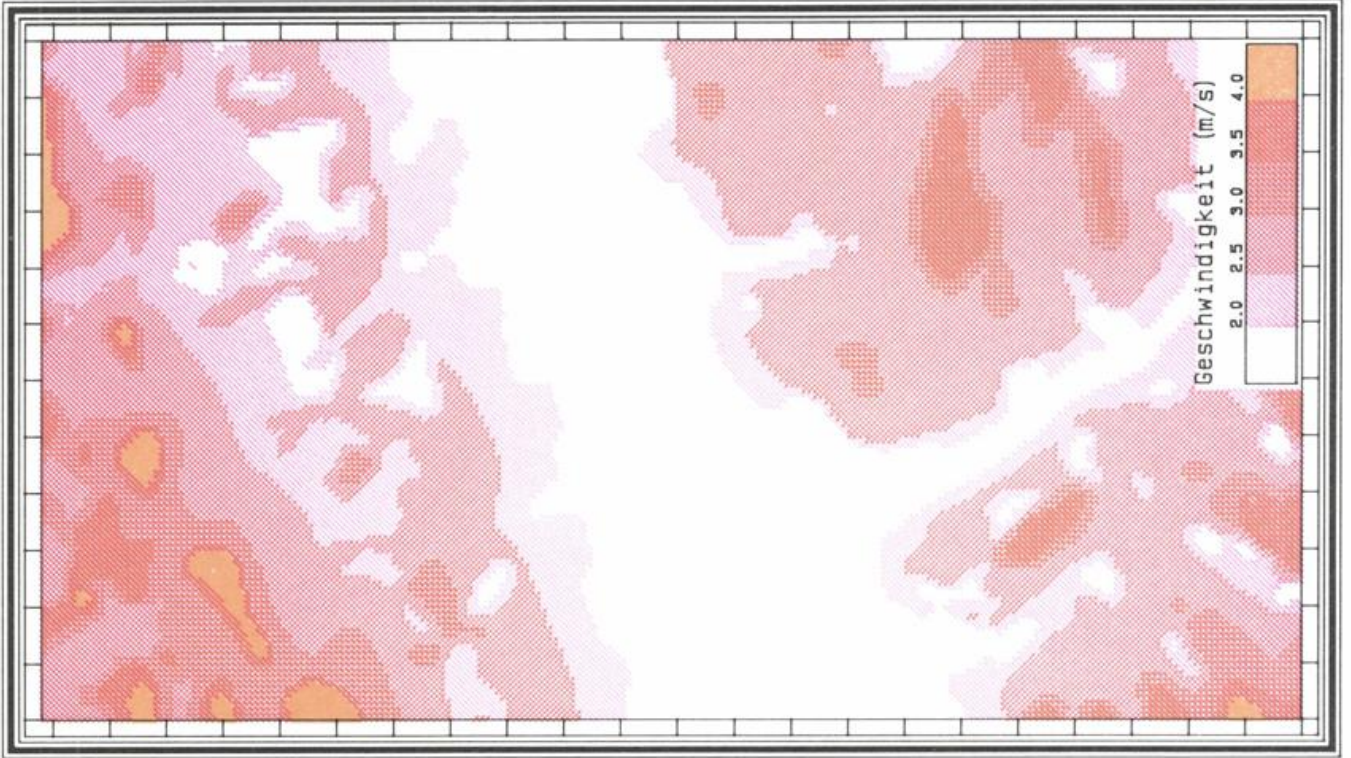
KARTE 2 : MITTLERE MONATLICHE NIEDERSCHLAGSHOEHEN (AUGUST)
MASSTAB 1 : 1000 000
ZEITRAUM 1931 -1960



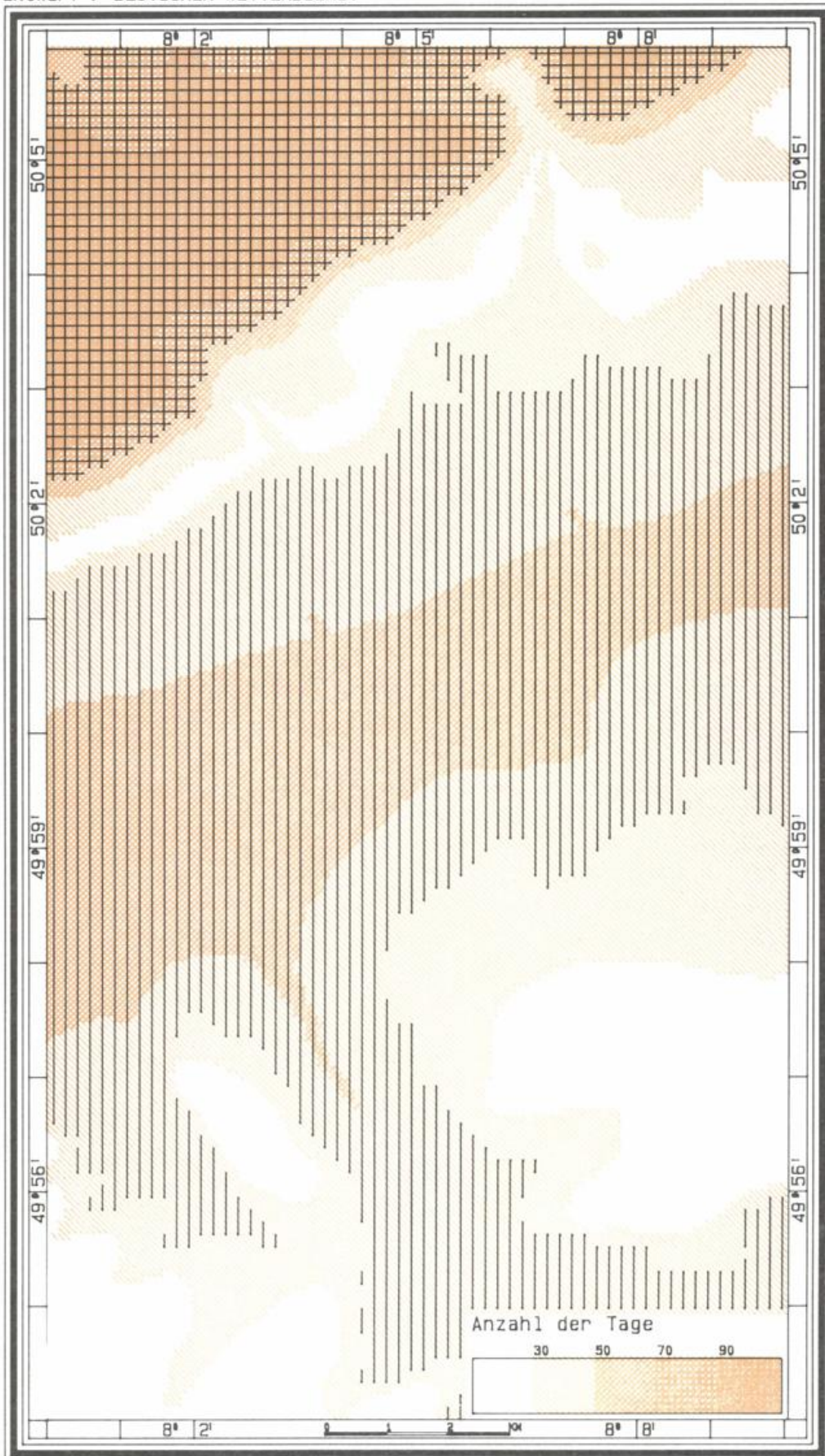
KARTE 3a : ANZAHL DER TAGE MIT WAERMEBELASTUNG
MASSTAB 1 : 150 000
ENTWURF : DEUTSCHER WETTERDIENST



KARTE 3b : JAHRESMITTEL DER WINDGESCHWINDIGKEIT
MASSTAB 1 : 150 000
ENTWURF : DEUTSCHER WETTERDIENST

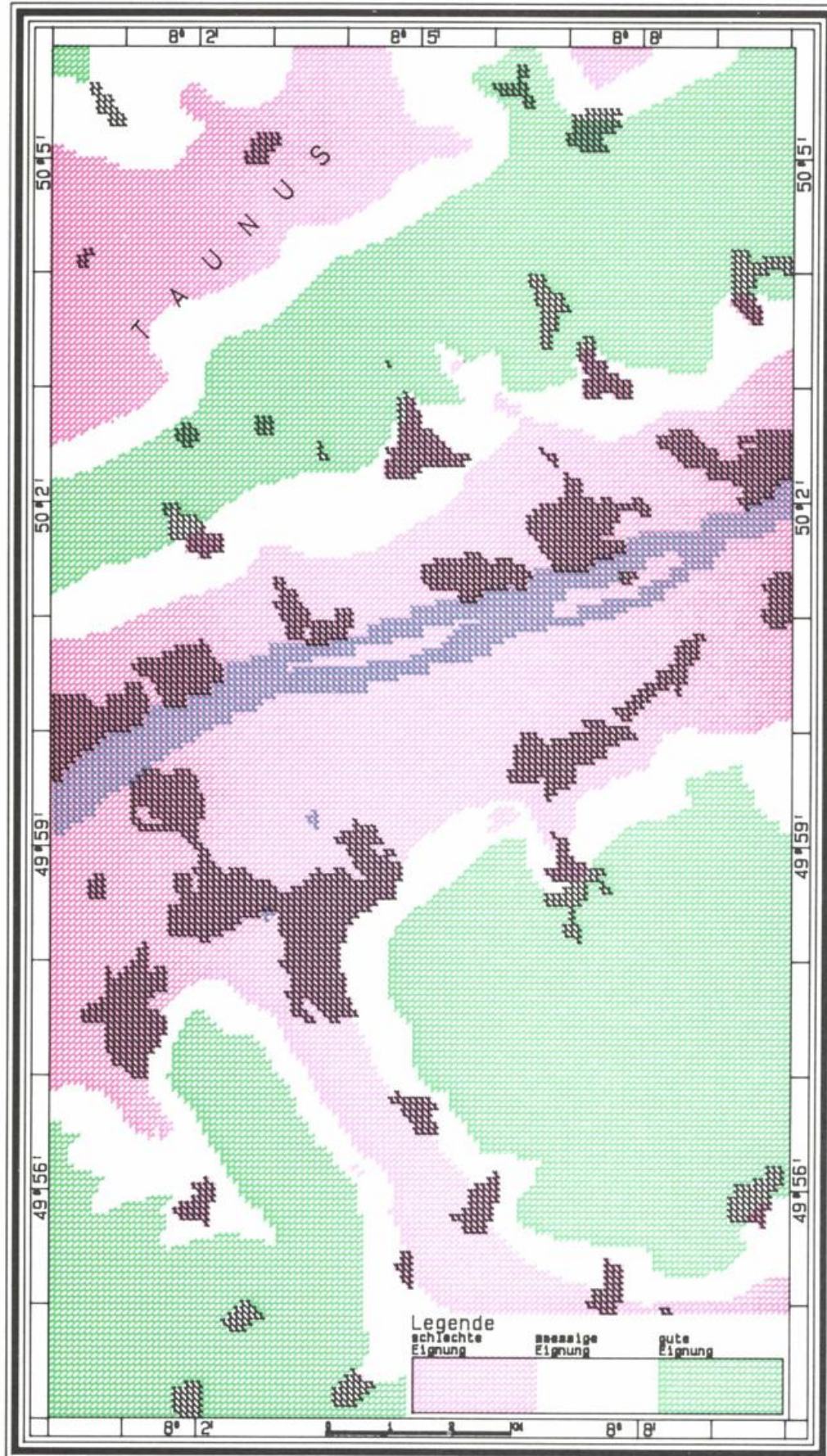


Karte 4 : Nebelhaeufigkeit und Nebelstruktur
Masstab 1 : 100 000
Entwurf : DEUTSCHER WETTERDIENST

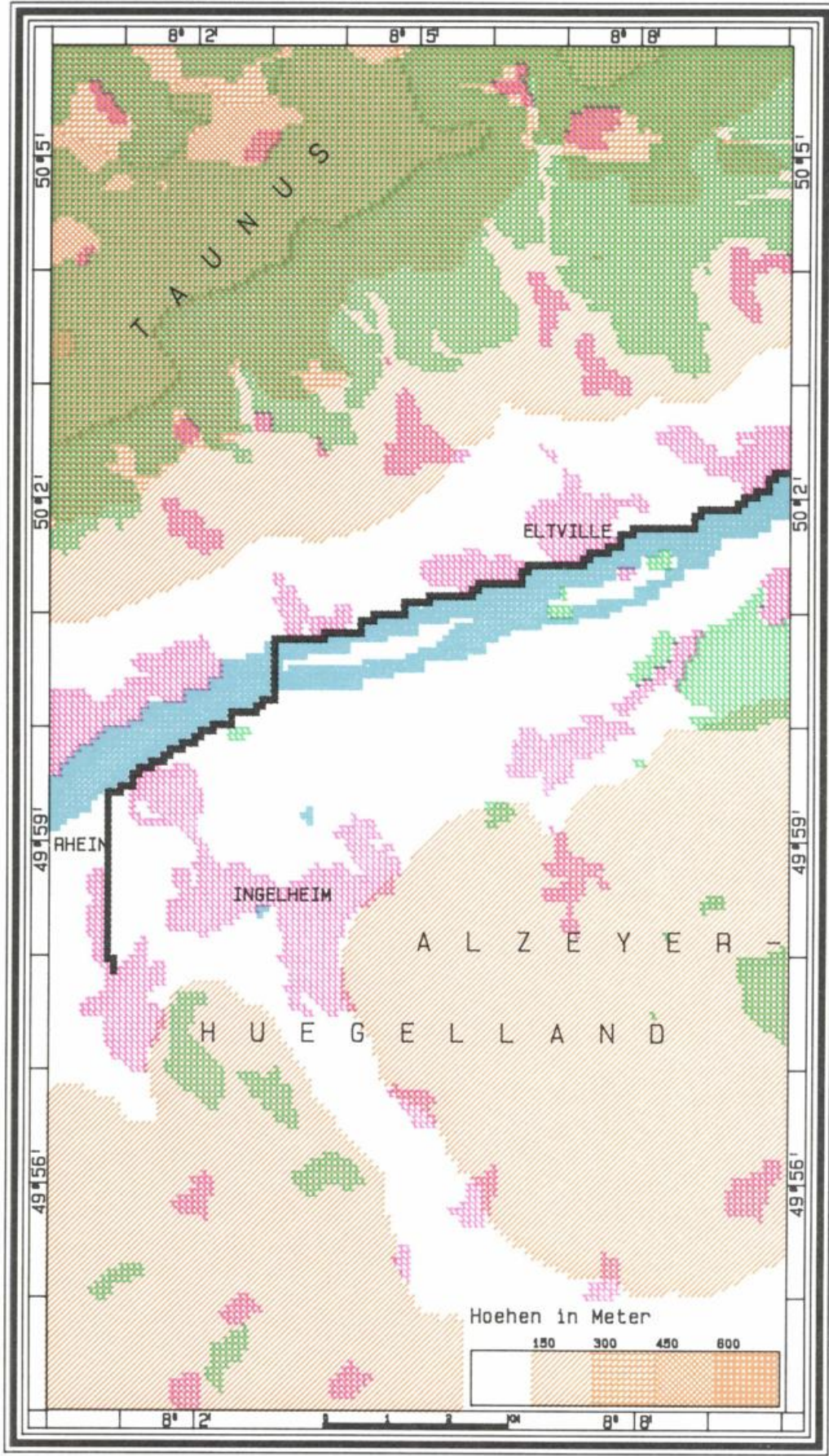


Der Talnebelbereich ist senkrecht schraffiert dargestellt
Der Hoch- / Wolkennebelbereich ist kariert dargestellt

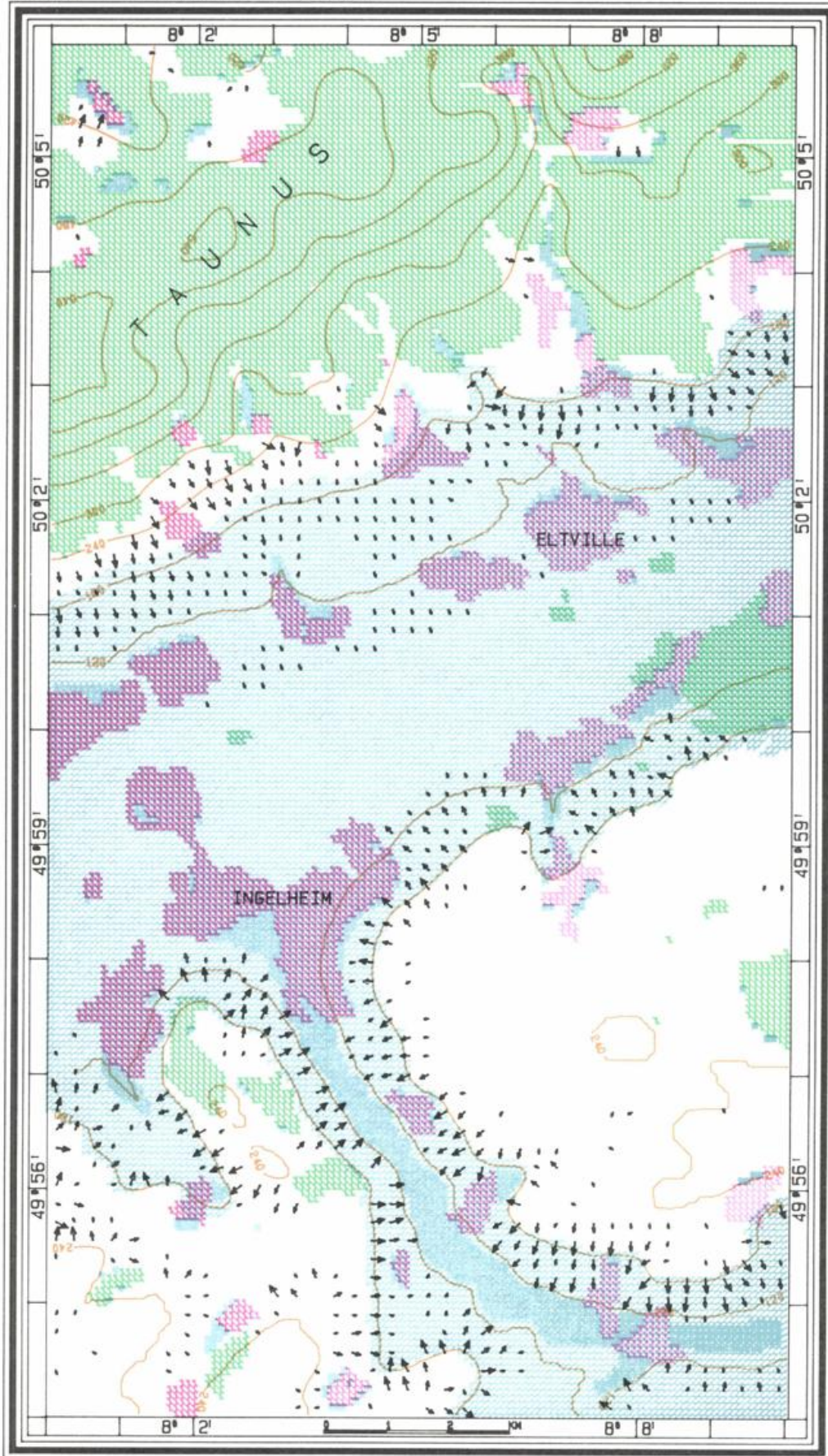
Karte 5 : Klimaeignung "Erholung"
 Masstab 1 : 100 000
 Entwurf : DEUTSCHER WETTERDIENST



KARTE 6 : HOEHEN- UND BEWUCHSWERTE (MIT GEAEANDERTER LANDNUTZUNG)
 MASSTAB 1 : 100 000
 ENTWURF : DEUTSCHER WETTERDIENST



KARTE 7a : LOKALKLIMATISCH BEDEUTSAME FLAECHEN
 MASSTAB 1 : 100 000
 ENTWURF : DEUTSCHER WETTERDIENST



LEGENDE
 Kaltluft-
 Fluss → Stau

KARTE 7b : LOKALKLIMATISCH BEDEUTSAME FLAECHEEN (MIT NUTZUNGSÄÄNDERUNG)
 MASSTAB 1 : 100 000
 ENTWURF : DEUTSCHER WETTERDIENST

