

KfK 2869 UF
April 1980

Das Abwärmekataster Oberrheingebiet

G. Bartholomäi, W. Kinzelbach
Laboratorium für Aerosolphysik und Filtertechnik

Kernforschungszentrum Karlsruhe

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE
Laboratorium für Aerosolphysik und Filtertechnik

KfK 2869UF

Das Abwärmekataster Oberrheingebiet

G. Bartholomäi

W. Kinzelbach

Im Rahmen des Abwärmeprojekts Oberrheingebiet
aus Mitteln des Bundesministeriums des Innern
gefördert vom Umweltbundesamt

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

Als Manuskript vervielfältigt
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
ISSN 0303-4003

Kurzfassung

Das Abwärmekataster stellt die räumliche und zeitliche Verteilung der anthropogenen Wärmeemissionen auf einem Raster von 2x2 km² dar und dient im Fall des Oberrheingebiets als Grundlage für modelltheoretische Untersuchungen anthropogener Einflüsse auf das Klima. Mit Hilfe des vorliegenden Katasters können aber auch die Wärme- bzw. Energieversorgung der Region sowie die Verteilung von Schadstoffemissionen analysiert werden.

In erster Näherung entspricht die Verteilung der anthropogenen Abwärme der Verteilung des anthropogenen Energieumsatzes. Da Angaben über den Einsatz von Energieträgern auf Rasterebene im allgemeinen nicht erhältlich sind, mußten Methoden gefunden werden, um aus relevanten Strukturdaten auf den lokalen Energieumsatz zu schließen. Die für die Bundesrepublik und Nachbarstaaten verwendbaren Methoden und die damit erzielten Ergebnisse für das Oberrheingebiet werden vorgestellt.

Das Abwärmekataster basiert auf Daten aus dem Jahr 1973, einem Zeitraum hohen Energieeinsatzes, der erst durch das Jahr 1978 übertroffen wurde. Um darüber hinaus abschätzen zu können, wie sich der Einfluß der anthropogenen Abwärme in den nächsten 20 Jahren ändert, wurde das Kataster bis zum Jahre 2000 extrapoliert.

A b s t r a c t

The Cadastre of Waste Heat in the Upper Rhine Valley

The cadastre of waste heat provides the distribution in space and time of anthropogeneous waste heat emissions on a 2x2 km² grid. In the case of the Upper Rhine Valley it serves as a basis for the numerical evaluation of climatic changes caused by man. Such a cadastre also allows to analyse the distribution of pollutant emissions and the heat or energy supply, respectively, of the region.

In a close approximation the distribution of waste heat is equal to the distribution of energy consumption. As there are generally difficulties in obtaining data about the consumption of the types of energy on the grid level, methods were developed which allow to determine the local energy consumption by using the relevant structural data. The methods used for the Federal Republic of Germany and neighbouring countries and the results for the Upper Rhine Valley, obtained by these methods, are presented.

The cadastre of waste heat is based on data of the year 1973 which was a time of great energy consumption. Only in 1978 this energy consumption was exceeded.

To be able to estimate the change in the influence of the anthropogeneous waste heat during the next 20 years, the cadastre was extrapolated until the year 2000.

Dieser Bericht ist der Abschlußbericht des Teilprojektes 1 (Abwärmekataster) für die erste Phase (1976-1979) des Abwärmeprojektes Oberrheingebiet (APO). Weitere Einzelergebnisse sind in den Halbjahresberichten des APO

- APO 1/77
- APO 2/77
- APO 1/78
- APO 2/78

enthalten. Die Berichte sind erhältlich beim

Kernforschungszentrum Karlsruhe
Laboratorium für Aerosolphysik und Filtertechnik I
Postfach 3640
7500 Karlsruhe

oder beim

Umweltbundesamt
Bismarckplatz 1
1000 Berlin 33

Die Arbeiten wurden in einer Arbeitsgruppe des Laboratoriums für Aerosolphysik und Filtertechnik des Kernforschungszentrums Karlsruhe unter Leitung von Privatdozent Dr. Wolfgang Schikarski durchgeführt.

Umrechnungstabelle

$1/\overline{\psi} = f/\overline{\psi}$	tSKE/a	TJ/a	MWh/a	KW
tSKE/a	1	0,0293	8,15	0,93
TJ/a	34,1	1	278	31,7
MWh/a	0,123	$3,6 \cdot 10^{-3}$	1	0,114
KW	1,075	0,0315	8,76	1

gemittelt über ein Rasterquadrat (4 km^2) entsprechen $1000 \text{ tSKE/a} \hat{=} 0,232 \text{ W/m}^2$

INHALT

	Seite
1. Einleitung	1
2. Definition des Begriffes Abwärme und Einteilung der Abwärme in Komponenten	3
3. Abwärmeemissionen und deren Aufteilung in Komponenten für verschiedene Emittentengruppen sowie für die gesamte Bundesrepublik Deutschland	6
4. Das Abwärmekataster Oberrheingebiet	11
4.1 Allgemeines	11
4.2 Methoden zur Bestimmung der räumlichen Verteilung des Energieumsatzes und Ergebnisse für das Jahr 1973	12
4.3 Das Kataster der mittleren Wärmeemissionen für das Jahr 1973 und wesentliche Änderungen bis 1982	20
4.4 Zeitlicher Verlauf der Wärmeemissionen	26
5. Fortschreibung des Abwärmekatasters bis zum Jahr 2000	35
5.1 Basiswerte und Methoden	35
5.2 Ergebnisse für das Jahr 2000 und Vergleich mit den Werten für das Jahr 1973	42
6. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen	63
Quellenverzeichnis	66
Anhang	70

1. Einleitung

Jegliche Abwärmeemission stellt - wenn auch zum Teil über Umwege, wie Boden und Gewässer - einen Energieeintrag in die Atmosphäre dar. Es ist deshalb zu vermuten, daß Wettergeschehen und Klima durch Abwärmeemissionen beeinflußt werden können. Im lokalen Maßstab ist dies bereits erwiesen: anthropogene Wärmeemissionen sind ein Faktor des Stadtklimas [1,2]. In Großstädten der Bundesrepublik erreicht die mittlere anthropogene Wärmeabgabe bereits 30% der mittleren örtlichen Sonneneinstrahlung. Weltweit liegt die durch den Menschen verursachte Wärmeabgabe jedoch nur bei etwa 1 % der mittleren globalen Sonneneinstrahlung am Boden. Es wird angenommen, daß eine Wärmeemission in der Größenordnung von 1 % der Sonneneinstrahlung im globalen Maßstab Klimaänderungen bewirken kann (vgl. [3]). Regional liegt die Grenze sicherlich höher; in manchen Gebieten wird die 1 %-Marke allerdings schon erheblich überschritten. Es stellt sich deshalb die Frage, ob durch Abwärmeeinleitungen regionale Wetter- bzw. Klimaänderungen heute oder in der nahen Zukunft zu erwarten sind und welche planerischen Maßnahmen ergriffen werden können, um unerwünschte Auswirkungen zu vermeiden.

Auf Vorschlag der Abwärmekommission wird - gefördert durch das Bundesinnenministerium und das Umweltbundesamt - das Abwärmeprojekt Oberrheingebiet durchgeführt, um am Beispiel des Oberrheingrabens diese Frage zu untersuchen.

Das Modellgebiet erstreckt sich zwischen Frankfurt und Basel und wird im Osten und Westen durch die Käme der Randgebirge begrenzt (Abb. 1). Ein Schwerpunkt des Gesamtprojekts ist ein mathematisches Simulationsmodell des Strömungs- und Temperaturfeldes der Region. Grundlage für eine modellmäßige Untersuchung der Wetterwirksamkeit der Wärmeeinleitungen ist eine feinmaschige Bestandsaufnahme der räumlichen und zeitlichen Verteilung der Wärmeeinleitungen im Modellgebiet: ein Abwärmekataster [4].

Als Bezugsjahr wurde 1973 gewählt, ein Jahr mit hohem Energieumsatz in der Bundesrepublik, der nach dem Rückgang infolge der Ölkrise erst im Jahre 1978 übertroffen wurde. Um die Auswirkungen der Abwärme bei dem für die Zukunft zu erwartenden noch höheren Energieumsatz untersuchen zu können, wurde das Abwärmekataster bis zum Jahre 2000 fortgeschrieben.

Im allgemeinen ist weder der Energieumsatz auf einem Raster von $2 \times 2 \text{ km}^2$ bekannt, noch die dabei in Form von Konvektion, latenter Wärme und Strahlung

Oberrrheingebiet

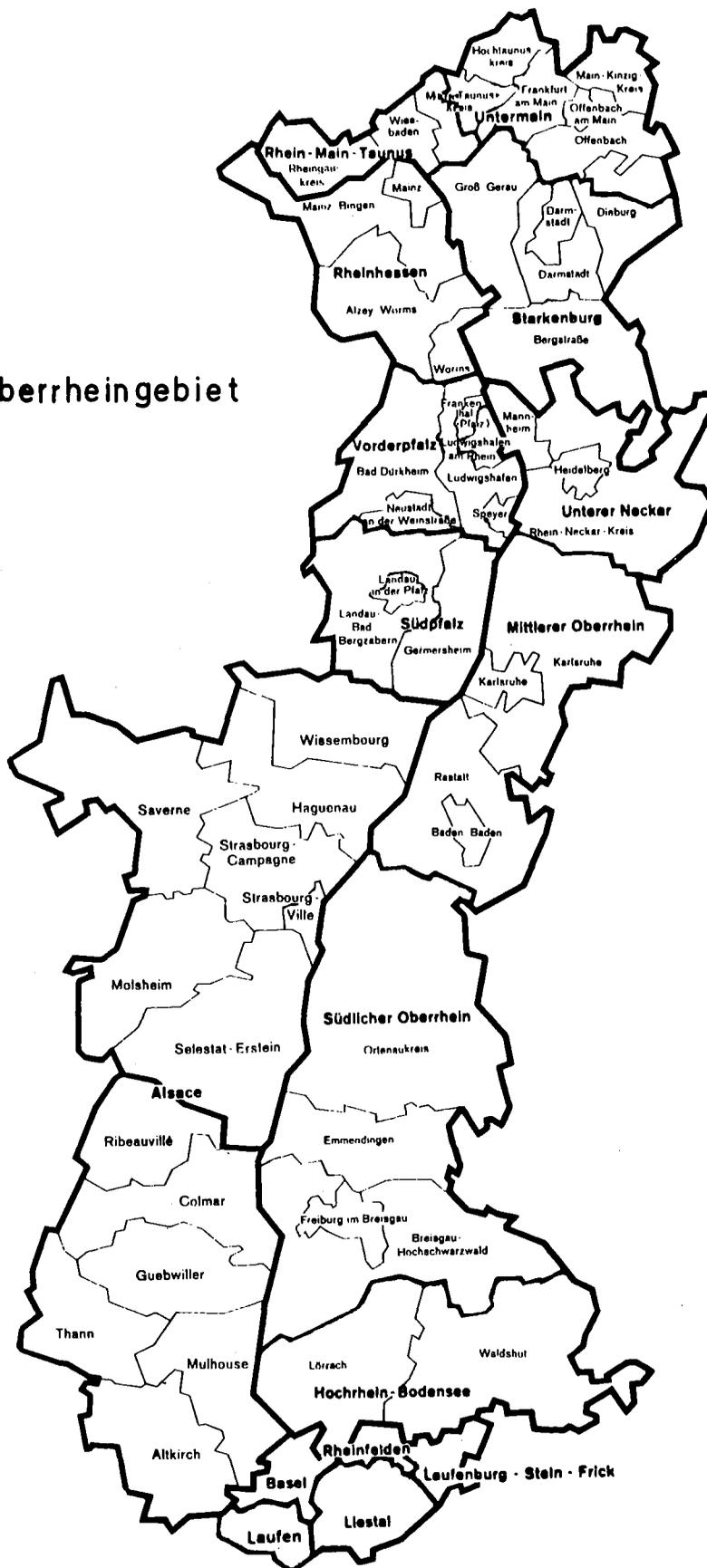


Abb. 1 Katasterggebiet

freigesetzte Abwärme. Daher mußten Methoden entwickelt werden, die den Schluß von in der Bundesrepublik und benachbarten Ländern erhältlichen Strukturdaten auf die Abwärmeemissionen ermöglichen.

Da das Abwärmekataster auf einem Kataster des Energieeinsatzes basiert, kann es auch zur Beantwortung anderer Fragestellungen z.B. nach der Wärme- bzw. Energieversorgung einer Region sowie als Grundlage von Emissionskatastern für Schadstoffe dienen.

2. Definition des Begriffes Abwärme und Einteilung der Abwärme in Komponenten

Jegliche vom Menschen an die Umgebung abgeführte Wärme wird als Abwärme bezeichnet. Dazu gehört jedoch nicht nur der bei der Umwandlung nicht genutzte Anteil der eingesetzten Energie; auch der dem Umwandlungswirkungsgrad entsprechende Nutzanteil wird schließlich zu Abwärme (eine gewisse Sonderstellung können chemische Prozesse einnehmen s.u.). Die Abwärme läßt sich kategorisieren nach der Art der Abgabe und dem Medium, an das sie übertragen wird. Letztendlich gelangt sie in Form von langwelliger Strahlung in den Weltraum. Zuvor nimmt die Atmosphäre jedoch praktisch die gesamte Abwärme auf. Zwischenträger von Abwärme sind vor allem Wasser, Wasserdampf und Erdreich.

Die Wärme wird aus dem Emittenten im wesentlichen durch Konvektion, als latente Wärme, in Form von langwelliger Strahlung und durch Wärmeleitung in Gewässer abgegeben.

Der konvektive Wärmeübergang an die Luft stellt die bedeutsamste Abwärmekomponente dar. Wesentliche Beiträge bei relativ hoher Temperatur sind die Abgase aus Schornsteinen, bei niedriger Temperatur die Wärmeabgabe durch Konvektion über Kühleinrichtungen, Außenflächen und Lüftung. Auch der Wärmetransport durch Abwasser (Kühlwasser) wird als konvektive Wärmeabgabe angesehen. Bei manchen Industriezweigen spielt auch der Wärmeinhalt von Produkten, die in heißem Zustand transportiert werden, eine Rolle.

Die größten Beiträge zur latenten Abwärme stammen aus dem Wasserdampf, der bei der Verbrennung von fossilen Energieträgern, bei der nassen Rückkühlung in Kühlanlagen und bei der abwärmeinduzierten Verdunstung an Gewässeroberflächen entsteht.

Bei einigen Prozessen, vor allem in der chemischen Industrie sowie bei der Glas- und Zementherstellung, wird ein erheblicher Anteil der eingesetzten Energie als Bindungsenergie oder durch Phasenübergänge in Produkten gespeichert und nicht auf dem Produktionsgelände an Luft oder Wasser abgegeben. Dieser Anteil der latenten Wärme wird bestimmt aus der Enthalpiedifferenz zwischen den bei einem Prozeß eingesetzten Ausgangsstoffen (ohne die zum Heizen benutzten Energieträger) und den daraus erzeugten Produkten. Er wird bei der Verwendung der Produkte oder letztlich bei der Müllverbrennung, Vorrottung oder Auskristallisation wieder frei.

Ein letzter Beitrag zur latenten Abwärme kann in den mit dem Rauchgas emittierten oder in der Asche verbleibenden unvollständig verbrannten Stoffen gesehen werden. Sie werden an der Luft weiteroxidiert. Ihr Beitrag ist im allgemeinen vernachlässigbar klein.

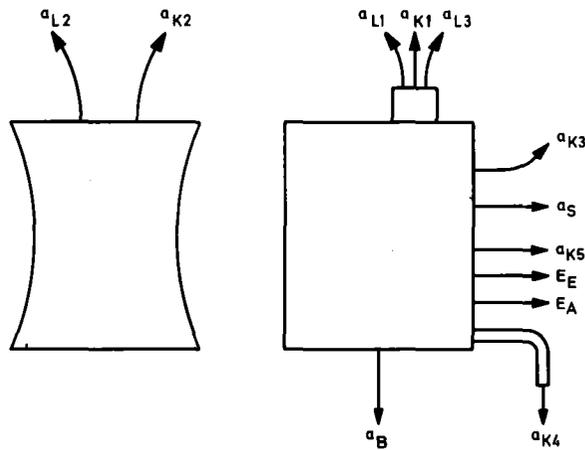
Der Anteil der Strahlung bei der Wärmeabgabe erhöht sich erst bei Oberflächentemperaturen von mehr als 100°C ($\Delta T \gg 100 \text{ K}$) merklich. Im allgemeinen kann man annehmen, daß die Wärmeabgabe von einer Außenfläche mit einer Temperatur von weniger als 100°C bei der im Oberrheintal herrschenden mittleren Windgeschwindigkeit von 2-3 m/sec (in 10 m Höhe) je zur Hälfte durch Konvektion und durch Strahlung erfolgt [5]. Bei Oberflächentemperaturen von 400°C (Öfen) werden bereits ca. 2/3 der Wärme über Strahlung und nur ca. 1/3 über Konvektion abgegeben (vgl. [6]).

Wärmeleitung spielt lediglich beim Wärmeübergang von Gebäuden und Kanalisation an das Erdreich eine Rolle.

Jeder Wärmeemittent ist charakterisiert durch seine Abwärmeleistung und ihre Verteilung auf die verschiedenen Abwärmekomponenten, die in Abb. 2 dargestellt sind. In das Schema läßt sich jeder Abwärmeemittent einordnen, jedoch treten nicht bei jedem Emittenten alle genannten Abwärmekomponenten auf. Außerdem können meistens nicht alle einzeln erfaßt werden. Bezeichnet man als Gesamtabwärme a die Summe über alle in Abb. 2 aufgeführten Komponenten und ist E_G der um den nichtenergetischen Anteil

korrigierte und auf die unteren Heizwerte (H_U) der fossilen Energieträger bezogene Gesamtenergieeinsatz, so gilt im allgemeinen in guter Näherung

$$a = E_G + a_{L1}$$



Strahlung

a_S - von Außenflächen

Latente Wärme

- a_{L1} - in Rauchgasen (vor allem Wasserdampf aus der Verbrennung)
- a_{L2} - aus Rückkühleinrichtungen und Produktkühlern (Wasserdampf)
- a_{L3} - aus dem Prozeß (vor allem Wasserdampf bei Trocknung)
- E_E - Anteil der eingesetzten Energie der im Produkt zu einer Erhöhung der Enthalpie geführt hat und mit dem Produkt aus dem Emittenten exportiert wird
- E_A - latente Wärme in unverbrannten Anteilen der Asche

Wärmeleitung

a_B - an den Boden

Konvektion

- a_{K1} - durch Rauchgas
- a_{K2} - durch Rückkühleinrichtungen und Produktkühler
- a_{K3} - von Außenflächen und durch Lüftung
- a_{K4} - durch Wärmeübertragung an Wasser
- a_{K5} - entsprechend dem Wärmeinhalt abtransportierter Produkte

Abb. 2 Der Abwärmeemittent

3. Abwärmeemissionen und deren Aufteilung in Komponenten für verschiedene Emittentengruppen sowie für die gesamte Bundesrepublik Deutschland

Die Emittenten werden nach der in der Energiewirtschaft üblichen Klassifizierung eingeteilt in die Sektoren

- Umwandlung (Kraftwerke, Raffinerien u.ä.)
- Industrie
- Haushalt und Kleinverbrauch
- Verkehr

Tabelle 1 zeigt typische Emissionsleistungen und Leistungsdichten verschiedener Emittenten sowie die Aufteilung der Abwärme in Komponenten. Bei der Betrachtung von Leistungsdichten bietet sich eine Unterscheidung von Punkt-, Linien- und Flächenquellen an. Der größte Teil der gesamten Abwärme wird von Gemeinden, d.h. von Flächenquellen mit im Vergleich zu Punktquellen niedriger Leistungsdichte emittiert. Dabei spielen die großen Städte eine besondere Rolle, da sie die Wärme über eine große Fläche verteilt abgeben, was zu besonderen atmosphärischen Zirkulationen führen und das Lokalklima beeinflussen kann [7].

Tabelle 1: Vergleich der Abwärmeleistung und Leistungsdichte typischer Emittenten einschließlich der Aufteilung in Abwärmekomponenten

Emittent	gesamte Abwärmeabgabe pro Jahr tSKE/a	Aufteilung der Abwärme in Komponenten (%)				Hauptemissionsfläche (m ²)	Leistungsdichte der von der Hauptemissionsfläche an die Luft abgegebenen Wärme W/m ²
		Strahlung	lat. Wärme	Konv.	Warmwasser		
Naßkühlturm eines KKW mit 1000 MWe (Kreislaufbetrieb)	1.800.000		70	30	< 1	20.000	84.000
Raffinerie (Prozeßanlagen) mit einem Durchsatz von 5-6 Mio t Rohöl /a	400.000	15	20	63	2	100.000	4.000
Zellstoff- u. Papierfabrik mit einer Produktion von 70.000 t/a atro Zellstoff und 130.000 t/a Papier	160.000	2	30	28	40	50.000	2.000*)
Zementfabrik mit einer Jahresproduktion von 800.000 t	48.000	17	35	48	< 1	80.000	600
Abschnitt des Oberrheins von 1 km Länge bei 1 K Erwärmung über die Gleichgewichtstemperatur	5.000	20	50	30		200.000	23
Autobahnabschnitt von 1 km Länge bei einer durchschnittlichen täglichen Verkehrsmenge von 30000 PKW und 7000 LKW	2.500	5	6	90		50.000	46
Bundesbahn-Hauptstrecke von 1 km Länge bei 200 Zügen/d und 95% E-Traktion	140	8	< 1	92		10.000	12
Stadtviertel im Zentrum einer Großstadt (1 km ²)	32.000	22	5	67	7	1.000.000	30
Einfamilienhaus (4 Personen) (einschließlich Garten)	6	24	5	64	8	100 (400)	56 (14)

*) Warmwasserabwärme nicht berücksichtigt.
Alle %-Angaben sind Mittelwerte; die Summe kann durch Rundungsfehler um ± 1 von 100 abweichen.

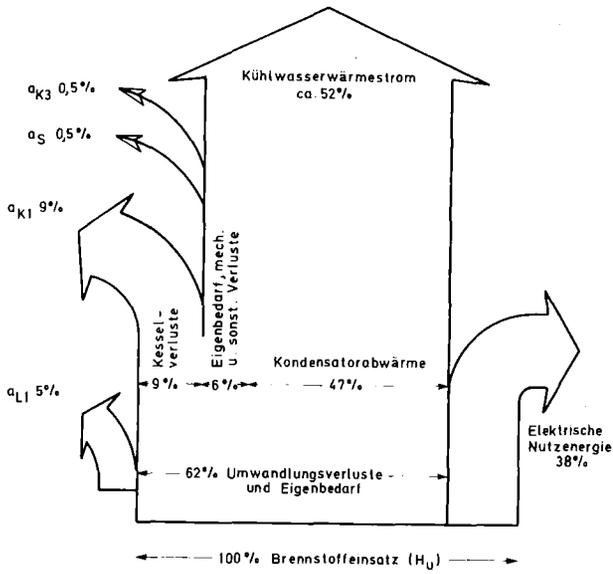
Ein weiterer wesentlicher Anteil der Abwärme wird von den großen Emittenten im Umwandlungssektor und der Industrie auf kleinen Flächen mit hohen Leistungsdichten abgegeben. Hier sind vor allem die Kraftwerke von Bedeutung, die ihre Abwärme auf eng begrenzter Fläche (punktuell), z.B. in Form von Wasser in einen Fluß oder über einen Kühlturm in Form von Wasserdampf und Warmluft an die Atmosphäre abgeben. Bei Punktquellen ist erst bei sehr hohen Abwärmeleistungen mit einem merklichen Einfluß der Wärme auf das Lokalklima zu rechnen [7]. Einen geringen Beitrag zur Gesamtabwärme liefern die Linienquellen, die bei niedrigen Leistungsdichten emittieren. Dazu gehören die Straßen des Außerortverkehrs, vor allem die Autobahnen, die Flüsse, wie der Rhein, und mit einem sehr geringen Beitrag die Bundesbahnstrecken.

Bei der Aufteilung in Abwärmekomponenten wird die gesamte am Ort des Emittenten freigesetzte Abwärme zu 100 % angesetzt - einschließlich der latenten Wärme in den Rauchgasen bei der Verbrennung fossiler Energieträger, jedoch ohne die mit den Produkten abtransportierte Energie. Letztere beträgt z.B. bei Raffinerien etwa 4 % und bei Zementwerken 75 % zusätzlich zu der freigesetzten Abwärme.

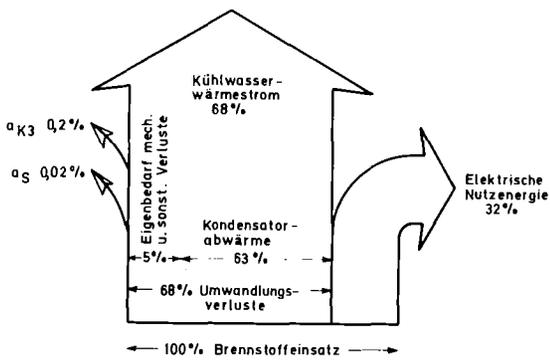
Bei der Bestimmung der Aufteilung in Abwärmekomponenten für ein Stadtviertel wurde eine mittlere Verteilung des Energieeinsatzes auf die Verbrauchersektoren zugrundegelegt, wie man sie im Zentrum von Karlsruhe findet: 90 % in Haushalt und Kleinverbrauch und 10 % im Verkehr. Industrie und Umwandlungssektor sind dabei nicht berücksichtigt, da kleine Industriebetriebe die Aufteilung nur geringfügig ändern, während große Einzelquellen in Stadtzentren kaum vorkommen.

Die Verteilung der Abwärmekomponenten für ein Einfamilienhaus ist je nach Heizung sehr verschieden. Es wurde daher die mittlere Aufteilung nach Abb. 3e benutzt.

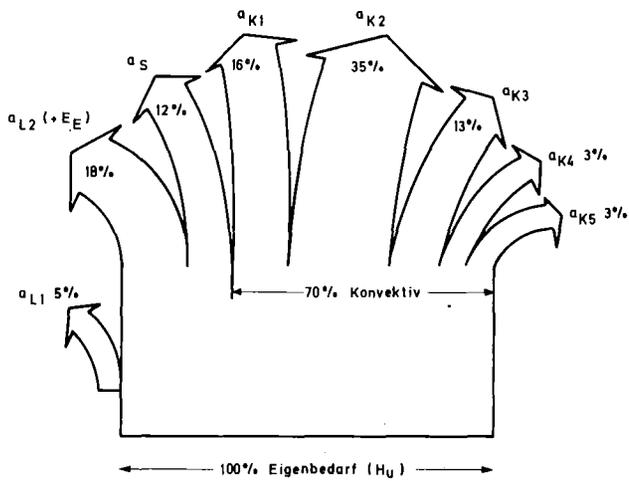
Der Energiefluß und die Aufteilung der Abwärme in Komponenten ist in den Abb. 3a-f dargestellt für verschiedene Sektoren bzw. Teilsektoren [4]. Hier ist der Energieumsatz bezogen auf H_u zu 100 % festgelegt. Es handelt sich dabei um mittlere Aufteilungen. So unterscheiden sich z.B. einzelne Industriezweige stark in der Verwendung der Energie und demzufolge in der



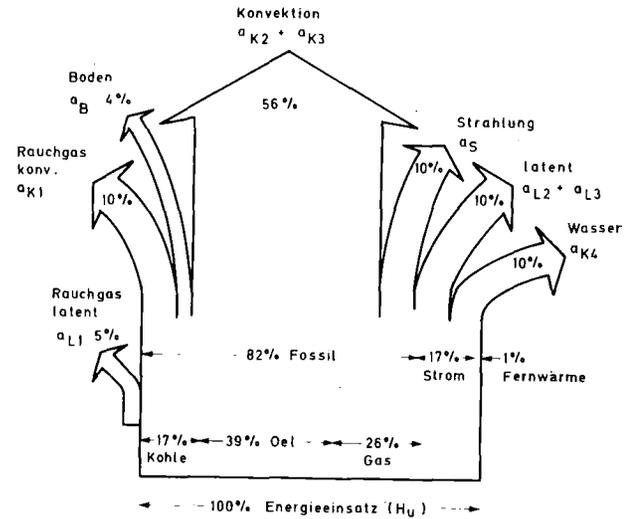
a) Abwärmeflußschema für ein konventionelles Wärmekraftwerk



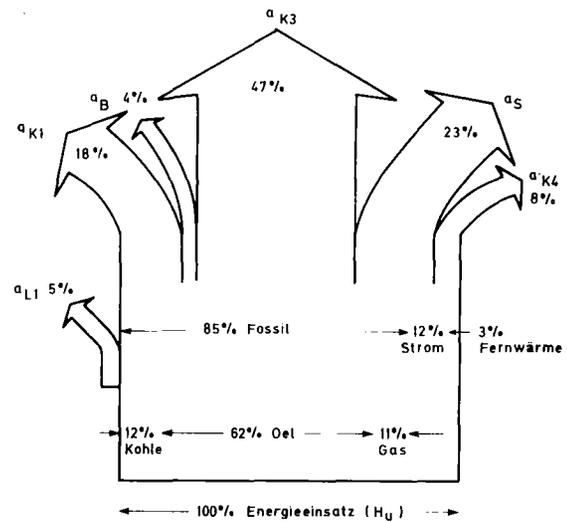
b) Abwärmeflußschema für ein nukleares Wärmekraftwerk



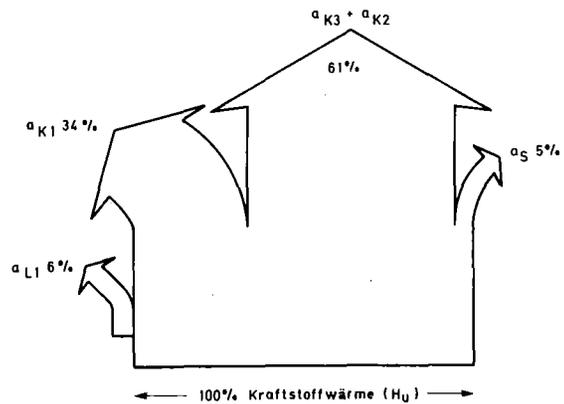
c) Abwärmeflußschema für eine Raffinerie



d) Abwärmeflußschema für die Industrie insgesamt



e) Abwärmeflußschema für den Haushalt



f) Abwärmeflußschema für den Verkehr mit Ottomotoren

Abb. 3 Für verschiedene Emittentengruppen repräsentative Aufteilung der Abwärme in Komponenten

Zusammensetzung der emittierten Abwärme. Selbst zwischen den Betrieben eines Industriezweiges können erhebliche Unterschiede auftreten dadurch, daß Produktspektren, Verfahren oder Kühlarten verschieden sind. Die bei Kraftwerken dem Eigenbedarf, den mechanischen und sonstigen Verlusten entsprechende Abwärme wird durch Strahlung, Konvektion und mit dem Kühlwasserwärmestrom abgegeben (vergl. Abb. 3a und b).

Die Information über die sektorale Aufteilung der Abwärme in Komponenten liefert zusammen mit der Energiebilanz [8] eine Abwärmebilanz für die Bundesrepublik Deutschland, die in Abb. 4 für das Jahr 1973 wiedergegeben ist. Daraus kann man ablesen, welche Beiträge zur Gesamtabwärme von besonderer Bedeutung sind. Eine Bilanz für das Jahr 2000 auf der Basis der Werte im Energieprogramm der Bundesregierung 1977 [9, 10] zeigt Abb. 5. Die entsprechenden Werte wurden auch für die Fortschreibung im Oberrheintal benutzt mit Ausnahme der Sektoren, für die eine detailliertere Analyse möglich war. Gegenüber 1973 nimmt die Gesamtabwärme entsprechend dem höheren Primärenergieeinsatz zu. Der Anteil der latenten Wärme wird durch den erhöhten Beitrag des Umwandlungssektors zum Gesamtenergieeinsatz größer. Obwohl Naßkühltürme verstärkt eingesetzt werden, steigt der absolute Energieeintrag in Gewässer weiter an und damit auch die daraus an die Atmosphäre abgegebene Wärme. Der Anteil der mit Abgasen emittierten Wärme am Gesamtenergieumsatz wird durch den zunehmenden Einsatz der Kernenergie verringert. Alle übrigen Beiträge zur Gesamtabwärme werden kleiner, da der relative Anteil der Endverbraucher am gesamten Energieumsatz abnimmt. Die Verschiebung von Gewichten innerhalb des Bereichs der fossilen Brennstoffe (Zunahme des Gasanteils und damit der latenten Wärme $H_o - H_u$) hat auf die Abwärmebilanz nur einen geringfügigen Einfluß.

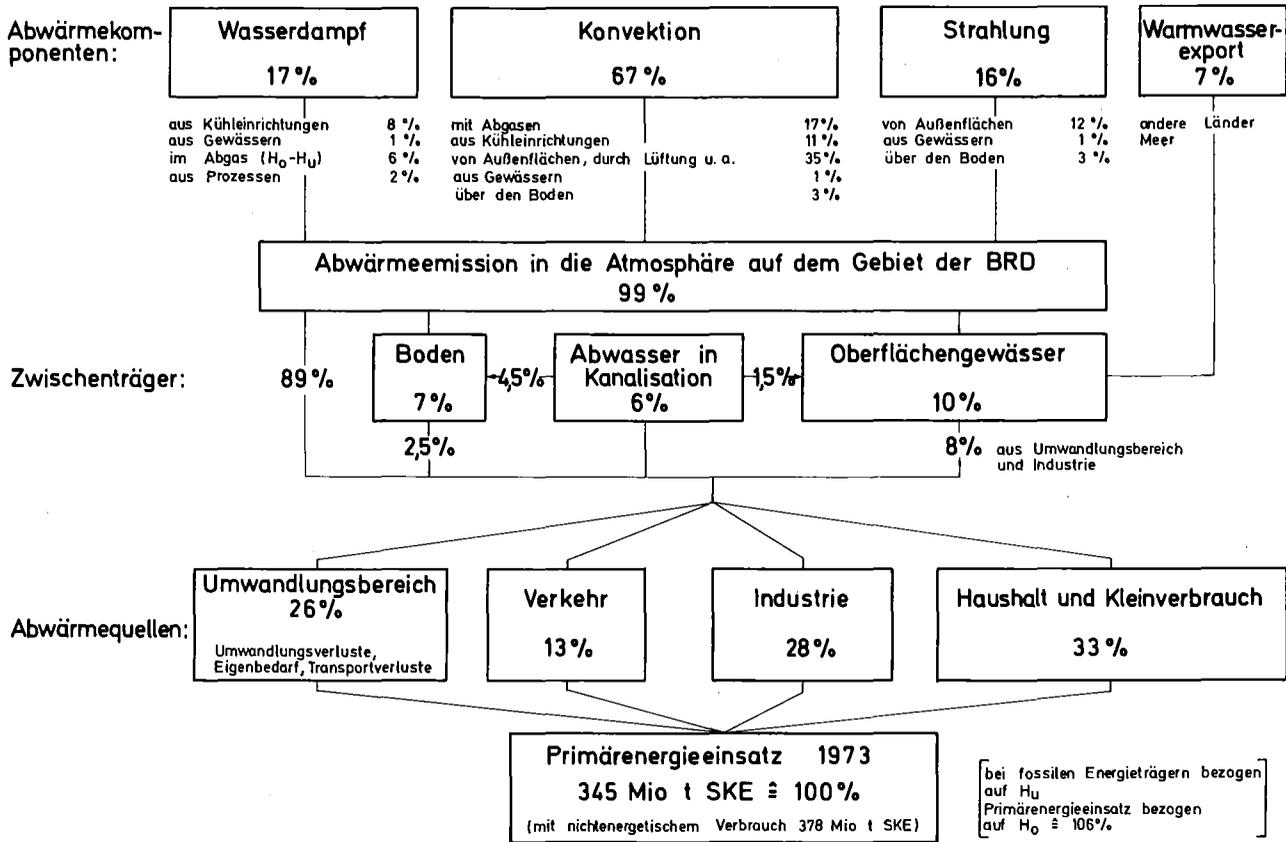


Abb. 4 Abwärmebilanz der Bundesrepublik 1973

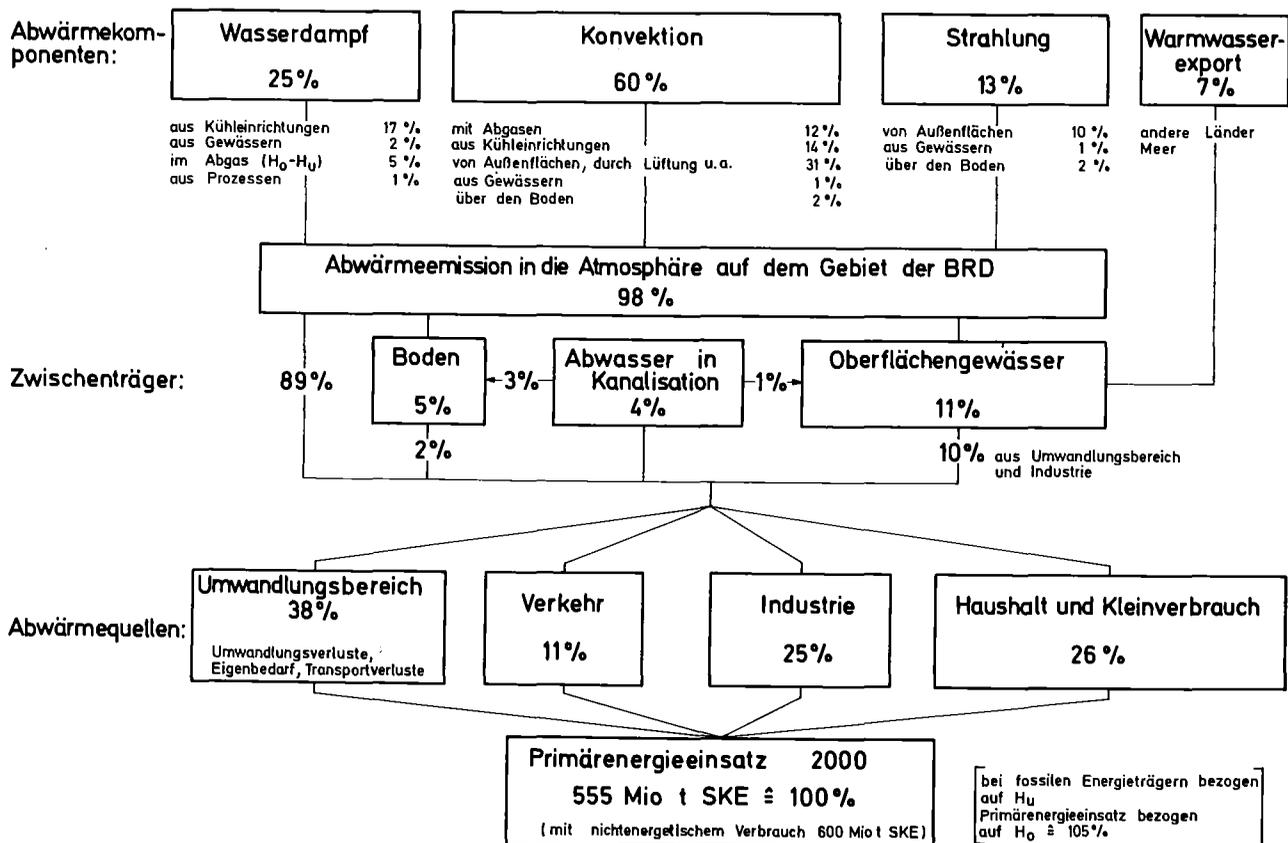


Abb. 5 Abwärmebilanz der Bundesrepublik 2000

4. Das Abwärmekataster Oberrheingebiet

4.1 Allgemeines

Das dem Abwärmekataster zugrundeliegende Untersuchungsgebiet (Abb. 1) beherbergt ca. 9 Mio. Einwohner auf einer Fläche von rund 27.500 km². Es erstreckt sich zwischen Basel und Bad Homburg und wird im Osten und Westen von den Höhen der Randgebirge begrenzt. Das Kataster bietet eine Darstellung der räumlichen und zeitlichen Verteilung der im Untersuchungsgebiet an die Atmosphäre abgegebenen Abwärme. Dem Kataster liegen Daten aus dem Jahre 1973 - einem Zeitraum hohen Energieeinsatzes - zugrunde. Besondere Eigenschaften des Katasters sind

- die Auftrennung der gesamten Abwärmeemission an die Atmosphäre in die Komponenten Konvektion, Strahlung und latente Wärme
- eine räumliche Auflösung von 2 km, wobei die Rasterpunkte mit den ungeraden Kilometern des Gauss-Krüger-Netzes zusammenfallen
- eine Abschätzung des zeitlichen Ganges der Abwärmeemissionen mit einer Auflösung von 2 h.

Da das Untersuchungsgebiet Teile von Deutschland, Frankreich und der Schweiz umfaßt, mußten je nach Land unterschiedlich aufgeschlüsselte Eingangsdaten herangezogen werden. Dies führte zu unterschiedlicher Genauigkeit der Katasterdaten. Die genaueste Bestimmung der Abwärmeemission war im deutschen Teil des Untersuchungsgebietes möglich. Im französischen Teil waren weitgehende Annahmen über die räumliche Verteilung des auf Departementsebene bekannten Energieeinsatzes notwendig. Außerdem mußte eine Transformation der geographischen Koordination von den in Frankreich gebräuchlichen Lambert-Koordinaten auf Gauss-Krüger-Koordinaten durchgeführt werden. Im schweizerischen Teil wurden die Ergebnisse des schweizer Projekts CLIMOD [11] übernommen. Diese Daten beschreiben ursprünglich die Verhältnisse des Jahres 1970 und wurden für die Verwendung im Abwärmeprojekt mit dem Faktor 1,18 fortgeschrieben, der den Energiezuwachs der gesamten Schweiz zwischen 1970 und 1973 widerspiegelt.

4.2 Methoden zur Bestimmung der räumlichen Verteilung des Energieumsatzes und Ergebnisse für das Jahr 1973

Da die Abwärmeemissionen dem Energieeinsatz entsprechen (bei fossilen Energieträgern bezogen auf den oberen Heizwert H_o), modifiziert durch die bei manchen Prozessen (z.B. chemische Industrie) frei werdenden oder gebundenen Energien, besteht die erste Stufe des Abwärmekatasters in einem Kataster des Energieeinsatzes.

Energieeinsatz und Abwärme der großen Emittenten (≥ 8 MW) im Umwandlungssektor (Kraftwerke, Raffinerien) und der Industrie wurden durch eine Umfrage bestimmt. Alle Emittenten, die erfaßt werden konnten, sind daher genau lokalisierbar. Durch eine genauere Analyse der Prozeßführung bei verschiedenen Industriezweigen konnte die branchenspezifische Aufteilung in Abwärmekomponenten ermittelt werden.

Die industriellen Großemittenten findet man fast ausschließlich in den energieintensiven Zweigen der Grundstoff- und Produktionsgüterindustrie wie Metallerzeugende Industrie, Zementindustrie, Glasindustrie, Chemische Industrie, Kohlenwertstoffindustrie und Papiererzeugende Industrie. Der spezifische Energieumsatz pro Beschäftigten liegt in diesen Branchen zwischen 20 und 300 tSKE/a (0,5 und 10 TJ/a). Daneben fallen einige Großbetriebe des Maschinenbaus und Straßenfahrzeugbaus sowie der Elektrotechnik bei geringem spezifischen Energieeinsatz (1,7-5 tSKE/a) wegen ihrer hohen Beschäftigtenzahl in die Gruppe der großen Einzelquellen. In der Nahrungsmittelindustrie stellen Zuckerfabriken Großemittenten dar (spez. Energieeinsatz 115 tSKE/a).

In den Tab. 2 und 3 sind die großen Emittenten des Umwandlungssektors im Oberrheintal zusammengefaßt und bezüglich ihrer Abwärme analysiert. In das Kataster wurden allerdings auch kleinere Emittenten (unter 8000 tSKE/a) aufgenommen, wenn die Daten zur Verfügung standen.

In Tab. 2 ist neben der installierten elektrischen Nettoleistung der Kraftwerke und ihrer Abwärme auch der Anteil der insgesamt abgegebenen Sekundärenergie (Strom und Fernwärme), η_1 , sowie der Anteil des ins Netz eingespeisten Stroms, η_2 , am Primärenergieeinsatz aufgeführt. Daraus läßt sich das Verhältnis von Fernwärme zu Strom ablesen. Unter der Rubrik

Tabelle 2 Abwärme aus großen Emittenten des Umwandlungssektors im Oberrheintal (ohne Raffinerien) im Jahre 1973

	Gauss-Krüger-Koordinaten		Inst. el. Nettoleistung MW	Abwärme ¹⁾								Wirkungsgrade		Kühlart	Name des Vorfluters	Fluß ²⁾ km	
	Hochwert	Rechtswert		Leistung				Aufteilung in Abwärmekomponenten Angaben in %				η ₁ %	η ₂ %				
				Spitzenwert MW	Extremwerte Monatsmittel MW	Monat	Jahresmittelwert		a _L	a _K	a _S						a _{K4}
							MW	tSKE/a									
Große Kraftwerke:																	
KMW Mainz	55 ⁴³	34 ⁴⁵	356	650	530 300	1 7	410	446000	7	19	2	79	34	32	Durchlauf	Rhein	503
GKW Mannheim	54 ⁷⁹	34 ⁶³	1275	2100	1700 870	11 7	1250	1350000	10	14	3	83	41	36	"	"	416
RDK Karlsruhe	54 ³¹	34 ⁴⁹	660	1000	790 70	10 6	560	600000	10	12	2	85	40	40	"	"	360
KW Straßbourg	53 ⁸¹	34 ¹¹	235	450			215	231000	9	15	2	83	37	37	"	"	296
KW Staudinger Großkrotzenburg	55 ⁵¹	34 ⁹⁷	793	1500	1200 500	Winter Sommer	790	850000	44 13 54	23 10 27	1 1 1	44 89 30	35	35	Variable ohne mit	Main Naßkühlturm	62
Kleinere Kondensationskraftwerke, Heizkraftwerke und Heizwerke:																	
HKW Offenbach	55 ⁵³	34 ⁸³	75	180	90 23	1 7	53	57000	9	23	2	76	44	18	Durchlauf	Main	40
Stadtwerke Frankfurt HKW Niederrad	55 ⁵¹	34 ⁷³	67				36	39000	33	30	3	67	73		"	"	31
KW West	55 ⁵¹	34 ⁷⁵	151		180 60	12 8	126	135000	8	16	2	82	50		"	"	33
HKW Nordweststadt	55 ⁵⁹	34 ⁷⁵	27				16	17000	50	98	2		75		Luft		
Mainkraftwerke FfM	55 ⁵¹	34 ⁶⁷	82	150	124 0	10 Sommer	68	73000	6	18	3	79	44	33	Durchlauf	"	24
Doppel HKW Nord Mannheim	54 ⁸⁷	34 ⁶¹	32		45 22	1 6	32	35000	45	52	6	23	70		Ablauf	Rhein	430
Kernforschungszentrum ³⁾ Karlsruhe (Heizwerk, MZFR, KNK)	54 ³⁹	34 ⁵⁹		22	19 3	1 7	10	11000	18	65	28	--					
HKW West Karlsruhe	54 ⁴¹	34 ⁵⁹	75	250			170	185000	64	33	3	--			Kreislauf		
HKW West Karlsruhe	54 ³¹	34 ⁵³	76	100	73 9	1 7	56	61000	21	54	36	(71)	47	38	Durchlauf		
Summe ⁴⁾			3900				3800	4,1 Mio tSKE/a				68				Rhein oder Main	

¹⁾ Alle Angaben beziehen sich bei fossilen Energieträgern auf den unteren Heizwert (H_u), deshalb ist bei fossil oder mit Müll befeuerten Anlagen die Summe der Abwärmekomponenten größer als 100 %

²⁾ Bei Neckar und Main von der Mündung, beim Rhein von der Rheinbrücke Konstanz

³⁾ Essind nicht nur die Verluste sondern die gesamte vom Gelände des Kernforschungszentrums emittierte Wärme angegeben

⁴⁾ Alle nicht aufgeführten kleineren öffentlichen Anlagen im Oberrheintal emittieren zusammen ca. 0,06 Mio tSKE

Tabelle 3 Abwärme aus den Raffinerien im Oberrheintal

Raffinerie	A		B		C	D	E	F		G ¹⁾	H ¹⁾
	1973	Zukunft	1973	Zukunft	1973	1976	1973	1973	Zukunft	1973	1973
Gesamtröhleinsatz in 10 ⁶ t	6,8	6,6	5,0	5,6	4,3	3,5	6,8	2,8	8,0	5,3	6,2
Gesamtabwärme in tSKE/t Rohöleinsatz	0,076	0,116	0,050	0,077	0,238	0,075	0,068	0,102	0,067	0,074	0,074
Abwärme in 10 ³ tSKE/a (% von a)											
a	517 (100)	767 (100)	250 (100)	433 (100)	1021 (100)	263 (100)	461 (100)	286 (100)	532 (100)	374 (100)	431 (100)
Konvektion (ohne a _{K4})	340 (66)	460 (60)	182 (73)	299 (69)	573 (56)	226 (86)	227 (49)	170 (59)	315 (59)	262 (70)	302 (70)
a _{K1} Prozeßanlagen	91 (18)	137 (18)	24 (9)	41 (10)	199 (19)	58 (22)	64 (14)	30 (10)	38 (7)		
a _{K2} "	171 (33)	249 (32)	121 (48)	168 (39)	317 (31)	163 (62)	109 (24)	106 (37)	173 (33)		
a _{K3} "	56 (10)	59 (8)	32 (13)	83 (19)	50 (5)	4 (2)	38 (8)	32 (11)	99 (19)		
a _{K3} Tanklager	14 (3)	14 (2)	5 (2)	7 (2)	7 (1)	1 (1)	16 (4)	2 (1)	4 (1)		
a _{K4}	54 (10)	74 (10)	1 (1)	2 (1)	8 (1)	-- (-)	10 (2)	3 (1)	4 (1)	22 (6)	26 (6)
a _S	70 (13)	74 (10)	37 (15)	90 (21)	57 (6)	6 (2)	54 (12)	34 (12)	103 (19)	52 (14)	60 (14)
a _S Prozeßanlagen	55 (10)	59 (8)	32 (13)	83 (19)	50 (5)	4 (2)	38 (8)	32 (11)	99 (19)		
a _S Tanklager	15 (3)	15 (2)	5 (2)	7 (2)	7 (1)	1 (1)	16 (4)	2 (1)	4 (1)		
a _L	43 (8)	133 (17)	14 (5)	28 (6)	341 (33)	20 (8)	152 (33)	68 (24)	89 (17)	26 (7)	30 (7)
a _{L1} Prozeßanlagen	43 (8)	53 (7)	2 (1)	2 (1)	69 (7)	-- (-)	23 (5)	16 (6)	18 (3)		
a _{L2} "	-- (-)	80 (10)	12 (5)	25 (6)	272 (27)	-- (-)	129 (28)	52 (18)	71 (13)		
E _E + a _{K5}	18 (3)	26 (3)	15 (6)	14 (3)	41 (4)	11 (4)	18 (4)	11 (4)	21 (4)	11 (3)	13 (3)
F $\sqrt{\text{km}^2}$ Fläche der Prozeßanlagen	0,083	0,195	0,215	0,230	0,150	0,040	0,0935	0,075	0,120		
S $\sqrt{\text{W/m}^2}$ Von F emittierte Abwärmeintensität	4700	3000	1000	1600	5900	5800	4000	3300	3900		

Die Summe der Teilbeträge kann vom jeweiligen Gesamtbetrag wegen Rundungsfehlern geringfügig abweichen

1) Da keine genaueren Angaben vorlagen, wurde die Abwärme in Anlehnung an andere Raffinerien mit ähnlichem spezifischen Energieeinsatz aufgeteilt.

2) Die Rubrik "Zukunft" beschreibt die mittelfristige Entwicklung (Zeit unbestimmt)

"Abwärme" ist nicht nur das Jahresmittel und seine Aufteilung in Abwärmekomponenten, sondern auch der höchste und niedrigste Monatsmittelwert sowie in der Spalte "Spitzenwert" die Abwärmeleistung bei Vollast angegeben. Der im Oberrheintal 1973 installierten elektrischen Nettoleistung von ca. 3,9 GW entspricht eine maximale Abwärmeleistung von ca. 6,7 GW und ein Jahresmittelwert von 3,8 GW. Von dieser Abwärme werden immerhin 68 % mit dem Kühlwasser in die Flüsse Rhein oder Main eingeleitet.

Wie Tabelle 3 zeigt, ist die Abwärme pro t Rohöleinsatz von Raffinerie zu Raffinerie sehr verschieden. Diese Unterschiede sind vor allem durch unterschiedliche Produktspektren bedingt und weniger durch verschiedene Prozeßführung. Der Energieeigenbedarf steigt stark mit dem Anteil der Petrochemie am Produktspektrum. Die Aufteilung der Abwärme in Komponenten, besonders die latente Wärme, hängt vor allem von der Art der Kühlung ab, in geringem Maße vom Anteil der Fackelverluste. Für den von den Prozeßanlagen ausgehenden Wärmestrom wird ein Mittelwert von ca. 4000 W/m^2 als repräsentativ angesehen. Unterschiede dürften dabei im wesentlichen auf unterschiedlich dichter Bebauung der bei den einzelnen Raffinerien für die Prozeßanlagen zur Verfügung stehenden Flächen beruhen.

Aus der Untersuchung der Großemittenten ergab sich eine wesentliche Verbesserung des Katasters, da ihr Anteil am Gesamtenergieeinsatz im Oberrheingebiet etwa 30 % beträgt (vgl. Tab. 4). Von der Abwärme dieser Emittenten wird mehr als 1/3 in die Flüsse Rhein, Main und Neckar eingeleitet. Der verbleibende industrielle Energieeinsatz ist von wenigen Ausnahmen abgesehen auf Gemeindeebene bekannt. Da im Elsaß nur der Ölverbrauch der Industrie auf Kantonsebene erhältlich war, wurde proportional dazu ein spezifischer Verbrauch pro Industriebeschäftigten und Jahr bestimmt und mit der Anzahl der Industriebeschäftigten in einer Gemeinde zum Gemeindeschätzwert hochgerechnet. Zur weiteren räumlichen Auflösung wurde eine homogene Verteilung über die bebaute Gemeindefläche angenommen.

Im Sektor Haushalt und Kleinverbrauch liegen im Grunde nur Verbrauchszahlen auf Bundesebene vor. Aus diesen Daten wurde ein spezifischer Einsatz von 2,98 tSKE pro Jahr und Wohnung im Haushalt und von 3,47 tSKE pro Jahr und Beschäftigten im Kleinverbrauch (Industriebetriebe mit weniger als

10 Beschäftigten, Handel und Gewerbe, öffentliche Einrichtungen und Landwirtschaft) bestimmt. Im Elsaß wurde für den gesamten Sektor Haushalt und Kleinverbrauch ein spezifischer Verbrauch pro Einwohner von 1,54 tSKE/a verwendet. Damit ließ sich der Energieeinsatz auf Gemeindeebene abschätzen. Er wurde wiederum als homogen über die bebaute Gemeindefläche verteilt angenommen. Regionale klimatische Unterschiede konnten durch Korrektur des Heizenergieeinsatzes - er macht rund 80% des Gesamtenergieeinsatzes im Sektor Haushalt und Kleinverbrauch aus - über die jährlichen Gradtagszahlen berücksichtigt werden. Die Gradtagszahlen wurden vom Deutschen Wetterdienst, Offenbach, aufbereitet und zur Verfügung gestellt. Das mit der Bevölkerungszahl gewichtete Mittel der Gradtagszahlen im Jahr 1973 betrug 3558 Gradtage für das Oberrheintal und 3843 Gradtage für das gesamte Bundesgebiet.

Im Sektor Verkehr wurde zwischen Außerortsverkehr und Innerortsverkehr unterschieden. Der Energieeinsatz im Außerortsverkehr ist aus Angaben über die Verkehrsdichte und den spezifischen Verbrauch für Pkw-, Lkw-, Schienen- und Schiffsverkehr sowie die Länge der Verkehrswege für jedes Rasterquadrat berechenbar. Verkehrsdichtekarten für den Straßen- und Schienenverkehr sowie Angaben zum Schiffsverkehr auf dem Rhein standen zur Verfügung, gestellt durch die Verkehrsministerien der Länder Baden-Württemberg, Hessen und Rheinland-Pfalz, durch die Bundesbahndirektion Frankfurt und den Bundesverband der Deutschen Binnenschifffahrt. Die durchschnittlichen täglichen Verkehrsmengen auf den Straßen lagen im allgemeinen getrennt nach Lkw und Pkw vor. Für kleinere Straßen, für die keine Verkehrszählungen durchgeführt worden waren, wurde durch Vergleich mit ähnlichen Straßen eine Verkehrsmenge von 680 Pkw und 120 Lkw pro Tag abgeschätzt. Auf den Autobahnen wurde ein spezifischer Kraftstoffverbrauch von 0,4 l Diesel/km für Lkw (0,18 tSKE/a pro Tages-Lkw-km) und 0,11 l Benzin/km für Pkw (0,045 tSKE/a pro Tages-Pkw-km) angenommen, auf allen anderen Straßen 0,25 l Diesel/km für Lkw (0,11 tSKE/a pro Tages-Lkw-km) und 0,1 l Benzin/km für Pkw (0,041 tSKE/a pro Tages-Pkw-km). Nach Angaben der Deutschen Bundesbahn beträgt die spezifische Antriebsenergie pro Tages-Zug-km auf einer elektrifizierten Strecke 0,7 tSKE/a, auf einer nicht elektrifizierten Strecke 1,1 tSKE/a. Auf der Rheinstrecke zwischen Basel und Bingen wurden 1973 rund 68.000 tSKE/a durch die Schifffahrt an das Wasser abgegeben, das sind pro Rhein-km etwa 140 tSKE/a zwischen Basel und Neuburgweier und

310 tSKE/a zwischen Neuburgweier und Bingen. Die Wärmeemissionen pro Rasterquadrat durch Bundesbahn und Schifffahrt sind damit im allgemeinen gegenüber anderen Emittenten vernachlässigbar (vgl. Tab. 1). Der Energieumsatz im Luftverkehr wurde nur für den Flughafen Frankfurt ermittelt. Entsprechende Daten wurden von der Flughafenverwaltung zur Verfügung gestellt. 1973 wurden für einen Start im Mittel knapp 0,5 tSKE benötigt; Großraumflugzeuge setzen bei einem Start bis zu 2,5 tSKE um (für Landungen kann man ca. 3/4 der Startwerte ansetzen). Gut 2/3 des Gesamtenergieumsatzes am Flughafen entfielen auf Flugzeuge. Der Energieeinsatz im Innerortsverkehr wurde nur in Gemeinden mit mehr als 20.000 Einwohnern (E) berücksichtigt und dort in zwei Größenklassen proportional zur Einwohnerzahl angesetzt und zwar zwischen 20.000 und 100.000 Einwohnern mit 0,15 tSKE/a E, bei 100.000 und mehr Einwohnern mit 0,5 tSKE/a E. Die spezifischen Werte wurden aus einer Untersuchung des Verkehrs im Stadtkreis Karlsruhe ermittelt. Die Verteilung erfolgt über die bebaute Gemeindefläche.

Im Untersuchungsgebiet verteilt sich der Energieumsatz durch den Straßenverkehr zu etwa 31 % auf den Innerortsverkehr, zu knapp 33 % auf den Autobahnverkehr und zu 38 % auf den restlichen Außerortsverkehr. Der Beitrag der Autobahn und damit der Beitrag des Fernverkehrs zum Gesamtverkehr ist im Oberrheintal größer als im Mittel für die Bundesrepublik.

Bebaute Flächen sowie Straßen und Schienenlängen wurden für jedes Rasterquadrat aus der topographischen Karte 1:25000 bestimmt. Etwa 8% der Gesamtfläche des Untersuchungsgebietes sind bebaut, davon knapp 1%-Punkt durch Außerortsstraßen einschließlich 1050 km Autobahn.

In einem zweiten Schritt wurde der Energieeinsatz mit den in Kapitel 3 beschriebenen Ergebnissen sektorenweise auf Abwärmekomponenten transformiert. Bei Einzelquellen der Industrie wurde soweit möglich berücksichtigt, daß durch chemische Reaktionen u.a. zusätzliche Wärme erzeugt oder ein Teil des Energieeinsatzes im Produkt gespeichert werden kann. Die aus großen Einzelquellen in Rhein, Main und Neckar eingeleiteten Wärmemengen wurden in ein mathematisches Modell der Flüsse eingegeben, das die Wärmeabgabe längs des Flusses sowie den Wärmeexport aus dem Untersuchungsgebiet liefert (vgl. [12_7]). In allen anderen Sektoren wurde angenommen, daß die im Warmwasser enthaltene Abwärme noch auf dem Gemeindegebiet an die Atmosphäre abgegeben wird.

Bei der Bestimmung der Abwärme aus Einzelquellen wurde die größte Genauigkeit erreicht. Energieumsatz und Abwärme konnten im allgemeinen mit weniger als 10% Fehler erfaßt werden. Dadurch wird erneut die Bedeutung der Einzelquellenuntersuchung für das Kataster unterstrichen. Der Beitrag des Außerortsverkehrs zur Abwärme eines Rasterquadrats kann aufgrund der verwendeten Daten auf 15-20% genau angegeben werden. Da die restlichen Beiträge zur Abwärme auf Gemeindeebene berechnet und homogen über die bebaute Fläche verteilt werden, können in einzelnen Rastern wesentlich größere Fehler auftreten. Das trifft aber nur für Raster mit niedriger Abwärmeemission zu, z.B. an Stadträndern. In Stadtzentren ist der Fehler durch die homogene Verteilung im allgemeinen gering.

Tab. 4 zeigt eine Energie- und Abwärmebilanz für das Untersuchungsgebiet, getrennt nach Sektoren. In diesem Gebiet ist die Bevölkerungsdichte mit 327 E/km^2 erheblich höher als im Durchschnitt für die Bundesrepublik (249 E/km^2). Im deutschen Teil des Untersuchungsgebiets sind es sogar fast 390 E/km^2 . Der spezifische Primärenergieeinsatz pro Einwohner liegt mit $5,3 \text{ tSKE/a}$ unter dem Mittelwert von $5,6 \text{ tSKE/a}$ für die Bundesrepublik, vor allem durch den niedrigeren Wert ($3,9 \text{ tSKE/a}$) im Elsaß. Dieses Teilgebiet ist mit 180 E/km^2 weniger dicht besiedelt und auch weniger industrialisiert als die anderen Teilgebiete. Im Oberrheintal ist der Energiebedarf entsprechend dem wärmeren Klima um ca. $0,2 \text{ tSKE/a}$ und Einwohner geringer. Vernachlässigt man diese besondere Bedingung, dann müßte der spezifische Energiebedarf im deutschen Teil des Untersuchungsgebietes ($5,7 \text{ tSKE/a}$) über dem Bundesmittel liegen. Die mittlere Abwärmeemission ist allerdings mit $1,6 \text{ W/m}^2$ merklich höher als das Bundesmittel von $1,3 \text{ W/m}^2$. Trotzdem ist die mittlere Flächenbelastung durch anthropogene Abwärme gering gegenüber dem Jahresmittel der Globalstrahlung von 115 W/m^2 im Untersuchungsgebiet. Die Aufteilung des Energieeinsatzes auf die einzelnen Sektoren lautet für das Bundesgebiet: Umwandlungssektor 26%, Industrie 28%, Verkehr 13% sowie Haushalt und Kleinverbrauch 33%. Vergleicht man mit Tab. 4, so erkennt man, daß der Umwandlungssektor im Oberrheintal einen wesentlich kleineren, die Industrie sowie der Sektor Haushalt und Kleinverbrauch einen größeren Anteil am Energieumsatz hat. Etwa 10% des benötigten Stroms müssen im Jahre 1973 u.a. aus dem Ruhrgebiet importiert werden.

Tab. 4: Energieumsatz und Abwärmeemission des Oberrheingebiets 1973

	Energieeinsatz (bezogen auf untere Heizwerte bei fossilen Energieträgern)		Abwärmeabgabe an die Atmosphäre (einschließlich latenter Abwärme)	
	Mio tSKE ¹⁾	%	Mio tSKE ¹⁾	%
Einzelquellen (Umwandlungssektor und Industrie)	14.9 (0.8, 0.5)	31	10.2 (0.7, 0.5)	22
Umwandlungssektor:				
Raffinerien (Eigenbedarf)	3.2 (0.6, 0)	7	3.2 (0.6, 0)	7
Kraftwerke ²⁾ (Verluste)	4.1 (0.2, 0)	9	1.4 (0.1, 0)	3
Industrie:				
Einzelquellen (≥ 8 MW)	7.6 ³⁾ (0, 0.5)	16	5.6 (0, 0.5)	12
Sonstige	7.9 (2.4, 0.1)	17	8.3 (2.5, 0.1)	18
Haushalt u. Kleinverbrauch	18.2 (2.3, 1.1)	38	19.2 (2.4, 1.2)	41
Verkehr:				
Straße	6.2 (1.0, 0.6)	13	6.5 (1.1, 0.6)	14
Schiene	0.2		0.2	
Flughafen Frankfurt	0.2		0.2	
Wasserstraßen	0.2		0.1	
Energieeinsatz insgesamt:	47.8 (6.6, 2.3)	100		
Import durch Rhein	Warmwasserbilanz 1.9			
Rhein, Main und Neckar: Wärmeeinleitungen	6.1 (0.5, 0.2)	13		
Wärmeabgabe a.d. Atmosphäre	- 2.3		2.3	5
Export durch Rhein	- 5.7			
Import-Export-Bilanz	- 3.8	8		
	Abwärme insgesamt: =====		47.0 (6.8, 2.5)	100
	Aufteilung in Abwärme-komponenten		Lat 14% Konv 69% Str 17%	

1) In Klammern sind die Werte für den französischen und den schweizerischen Teil des Untersuchungsgebiets angegeben; die Werte für den deutschen Teil ergeben sich als Differenz zum Gesamtwert

2) Ohne Wasserkraftwerke

3) Davon dienen ca. 0.3 Mio tSKE der Enthalpieänderung der Produkte.

4.3 Das Kataster der mittleren Wärmeemissionen für das Jahr 1973 und wesentliche Änderungen bis 1982

Das Kataster der mittleren anthropogenen Wärmeemissionen für das Jahr 1973 ist in den Abb. 6, 7, 8 und 9 graphisch dargestellt. Alle Abbildungen zeigen die gesamte von jedem Rasterquadrat ($2 \times 2 \text{ km}^2$) an die Atmosphäre abgegebene anthropogene Abwärme, d.h. die Summe über die Komponenten Konvektion, Strahlung und latente Wärme. Da der Gesamtenergieumsatz des Jahres 1973 in der Bundesrepublik erst im Jahr 1978 übertroffen wurde, kann das vorliegende Kataster vor allem bezüglich der Flächenquellen noch als relativ aktuell angesehen werden. Wesentliche Änderungen gegenüber 1973 ergaben sich im Umwandlungsbereich durch die Fertigstellung der Kraftwerke Biblis A und B, Philippsburg 1 sowie durch Erweiterungen beim Kraftwerk Mainz Wiesbaden (abzüglich Stilllegungen)¹⁾. Bis zum Jahr 1981 dürfte außerdem das Kraftwerk Leibstadt (Schweiz) in Betrieb gehen und bis 1982 ist mit einer Erweiterung beim Großkraftwerk Mannheim zu rechnen; bis dahin wird voraussichtlich der Forschungsreaktor FR2 im Kernforschungszentrum Karlsruhe stillgelegt sein. Nimmt man einen mittleren Auslastungsgrad der Kernkraftwerke (vgl. Tab. 9) von 80% an, so ergibt sich für die Anlagen insgesamt eine Abwärme von 8,6 bis 8,9 Mio tSKE/a je nach Kühlart; davon werden 78% bzw. 24% mit dem Kühlwasser in den Rhein eingeleitet (vgl. Tab. 9). Auch im Sektor Verkehr ergaben sich größere Änderungen durch Autobahnneubauten vor allem im Elsaß und der Pfalz. Die gesamte Wärmeabgabe auf den Neubautrecken wurde zu etwa 0,5 Mio tSKE/a abgeschätzt. Umwandlungssektor und Verkehr weisen auch im Mittel über die Bundesrepublik ein größeres Wachstum auf als die anderen Wirtschaftssektoren: der Energieumsatz des Jahres 1973 wurde im Verkehr bereits 1975, im Umwandlungssektor 1976 übertroffen.

Der Vergleich von Abb. 6 und 7 zeigt wie sehr das Kataster durch Berücksichtigung der Einzelquellen verändert wird. Die meisten hohen Spitzen sind Großemittenten aus dem Umwandlungssektor und der Industrie zuzuschreiben und entstehen nur selten durch eine Ballung vieler kleiner Emittenten auf einem Rasterquadrat. Als höchste über ein Rasterquadrat gemittelte Intensität findet man 230 W/m^2 (Abb. 7). Bezieht man die Abwärmeleistung auf die tatsächliche Emissionsfläche (z.B. die Fläche innerhalb derer sich die Prozeßanlagen eines Industriebetriebes befinden), so erhält man noch wesentlich

¹⁾ Philippsburg 1 wird wegen Umbauten kaum vor Ende 1980 wieder in Betrieb gehen.

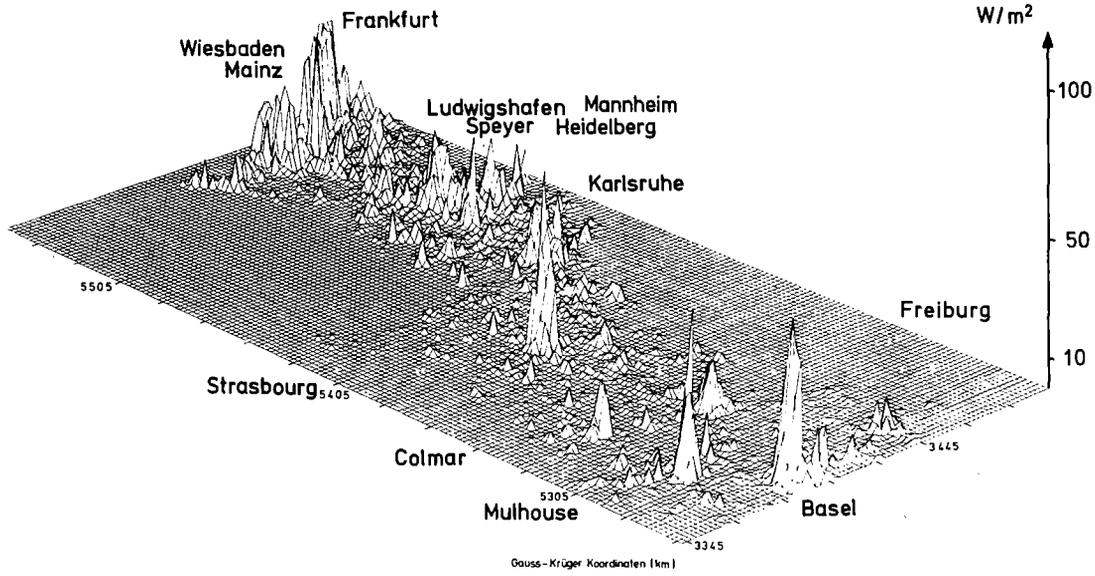


Abb. 6 Abwärmekataster für das Oberrheingebiet 1973 ohne Einzelquellen (große Emittenten aus dem Umwandlungssektor und der Industrie) - Jahresmittelwerte

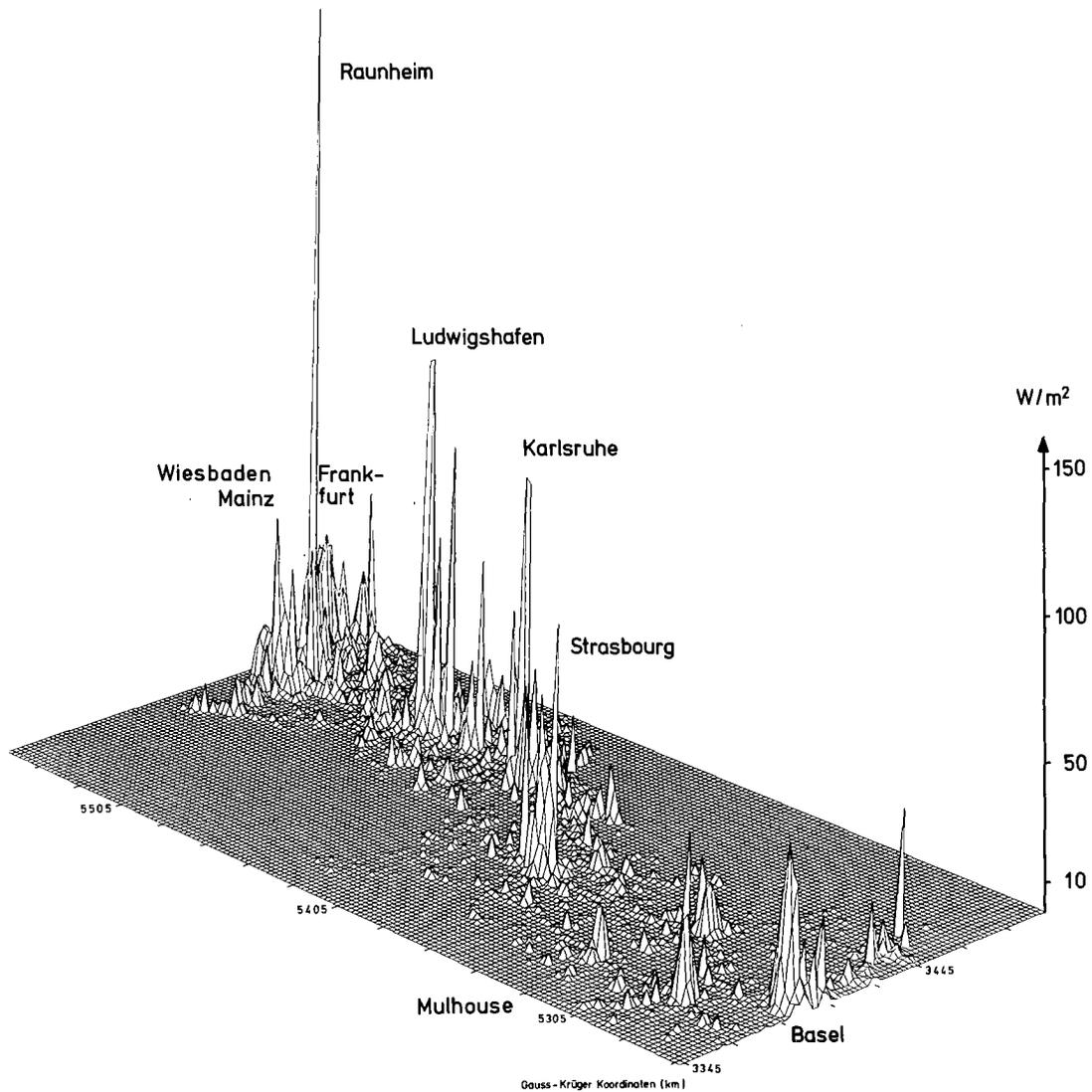


Abb. 7 Abwärmekataster für das Oberrheingebiet 1973 mit Einzelquellen (großen Emittenten aus dem Umwandlungssektor und der Industrie) - Jahresmittelwerte

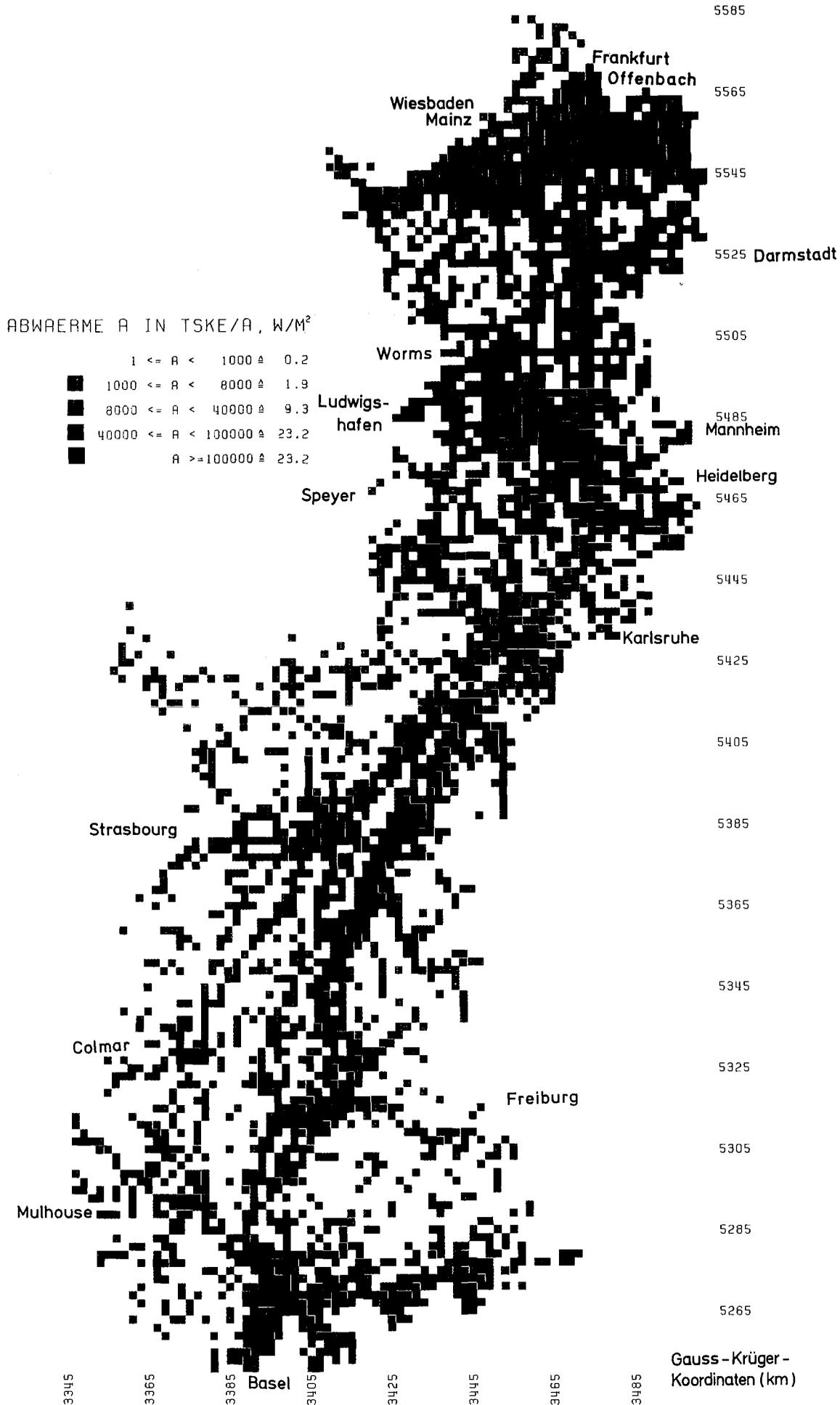


Abb. 8 Abwärmekataster für das Oberrheingebiet 1973 mit Einzelquellen (großen Emittenten aus dem Umwandlungssektor und der Industrie) - Jahresmittelwerte

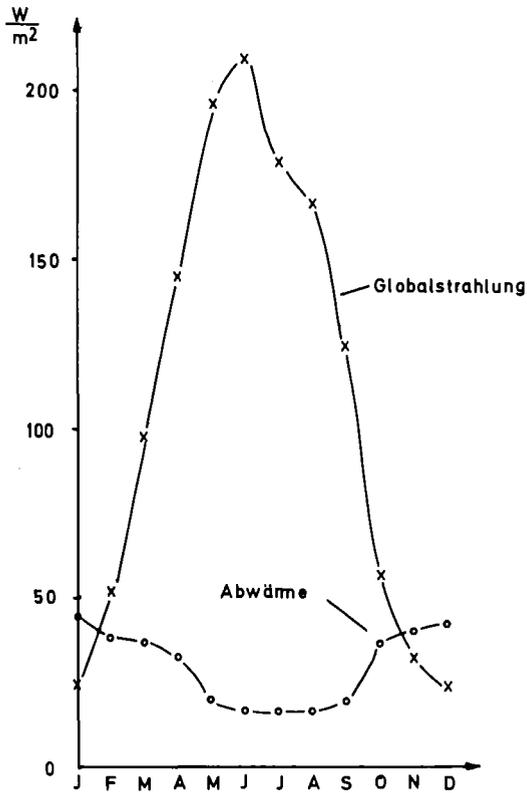


Abb.10a Vergleich der Globalstrahlung mit der anthropogenen Wärmeemission im Zentrum einer Großstadt (Karlsruhe)

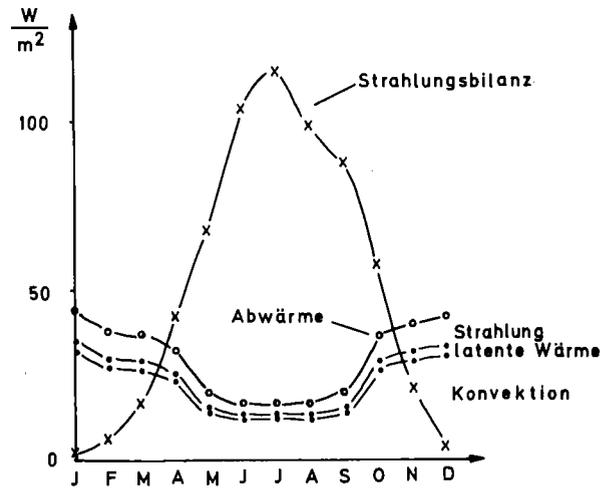


Abb.10b Vergleich zwischen Strahlungsbilanz und Abwärme in einer Großstadt

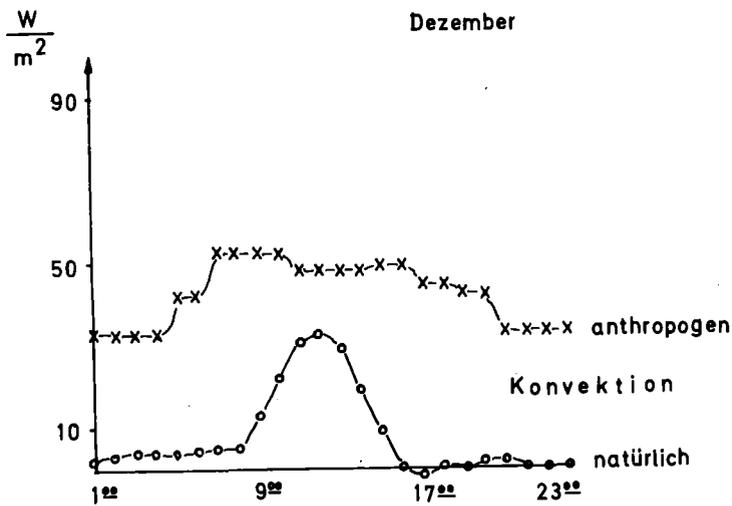


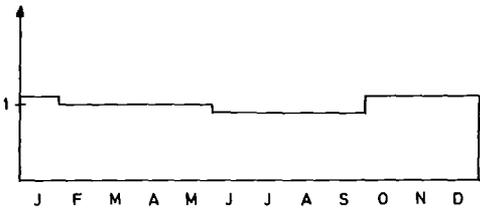
Abb.11 Vergleich der Tagesgänge des konvektiven Wärmeflusses aus natürlichen und anthropogenen Quellen

Auswirkungen der anthropogenen Wärmeemission in einer Stadt können nur unter Berücksichtigung der Wetterlage sowie weiterer anthropogener Einflüsse bestimmt werden. Solche Einflüsse sind die Veränderung des Strahlungshaushalts in der atmosphärischen Grenzschicht über der Stadt durch Abgase und Aerosole sowie die Veränderung von Albedo, Verdunstung, Bodenrauigkeit, Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit des Bodens durch die Bebauung (vgl. [1, 2]). Der Beitrag der einzelnen Veränderungen kann nur durch Modellrechnungen ermittelt werden, da immer nur die Summe aller Einwirkungen meßbar ist.

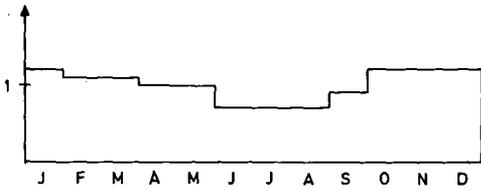
4.4 Zeitlicher Verlauf der Wärmeemissionen

Der zeitliche Gang der Emissionen kann nur unter vereinfachenden Annahmen mit vernünftigem Aufwand modellmäßig nachgebildet werden. Die wesentlichen Annahmen sind, daß für jeden Sektor ein repräsentativer Jahresgang und darüber hinaus ein für das ganze Jahr verwendbarer repräsentativer Tagesgang existieren, die im gesamten Untersuchungsgebiet angewandt werden können. Diese Tages- und Jahresgänge werden in Form von Gewichtungsfaktoren an den Mittelwerten der Sektorenbeiträge zur Gesamtwärmeabgabe angebracht. Bei der Bestimmung repräsentativer Werte für die Gewichte wird auf Daten verschiedener geographischer Herkunft zurückgegriffen. Diese Mittelung bewirkt bereits eine Dämpfung lokaler Spitzenwerte. Eine Orientierung der Jahres- und Tagesgänge an lokalen Extremwerten kann zwar eine Abschätzung für Ober- und Untergrenzen der momentanen Wärmeleistung liefern, erscheint aber als Input für ein Simulationsmodell nicht relevant.

Zur Bestimmung des Jahresgangs des industriellen Energieeinsatzes liegen Bundesdaten für alle Industriezweige vor [15]. Auf Landesebene sind die monatlichen Energieeinsätze der Gesamtindustrie bekannt [16]. Der Jahresgang der Gesamtindustrie ist sehr ausgeglichen (Abb.12a). Der Grund ist darin zu sehen, daß die Grundstoffindustrie, die den größten Anteil am industriellen Energieverbrauch hat, praktisch keinen Jahresgang aufweist. Da das endgültige Kataster die Wärmeemissionen der Grundstoffindustrie zum überwiegenden Teil als Einzelquellen individuell behandelt, wird die verbleibende Industrie mit dem Gang der um die Grundstoffindustrie verminderten Gesamtindustrie der BRD versehen. Dieser ist in Abb.12b dargestellt.



a) Jahresgang des industriellen Energieeinsatzes (Gesamtindustrie)



b) Jahresgang des industriellen Energieeinsatzes (ohne Grundstoff-industrie)



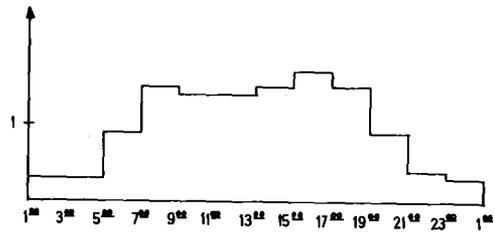
c) Jahresgang des Heizenergieeinsatzes im Sektor Haushalt und Kleinverbrauch



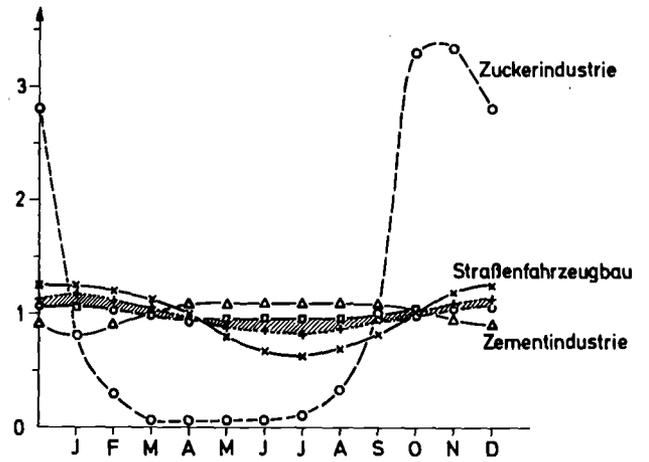
d) Tagesgang des Energieeinsatzes in den Sektoren Industrie, Haushalt und Kleinverbrauch



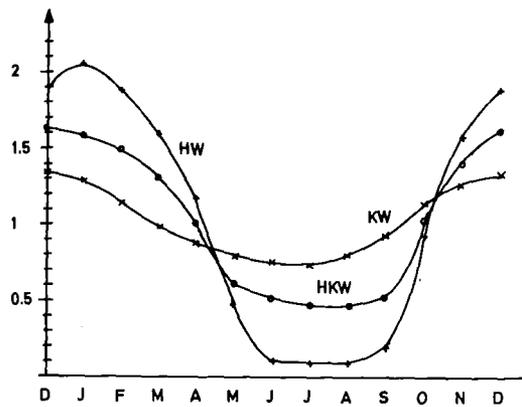
e) Jahresgang des Energieeinsatzes im Außerortsverkehr



f) Tagesgang des Energieeinsatzes im Straßenverkehr



g) Typische Jahresgänge des Primärenergieeinsatzes in Industriezweigen mit Großbetrieben. Im schraffierten Bereich liegen Glasindustrie, Papier- und Zellstoffindustrie, chemische Industrie und Stahlindustrie



h) Typische Jahresgänge des Primäreinsatzes in Kraftwerken (KW), Heizkraftwerken (HKW) und Heizwerken (HW)
 ☉ Jahresmittel

Abb. 12 Zeitliche Gänge des Energieeinsatzes in verschiedenen Sektoren

Im Haushalt sind 80 % des Energieeinsatzes als Heizenergie vom Gang der Außentemperatur abhängig, die damit im wesentlichen den Jahresgang im Sektor Haushalt und Kleinverbrauch bestimmt. Warmwasser- und Stromverbrauch wurden als konstant über das ganze Jahr angenommen. Der Gang der Außentemperatur (Abb.12 c) wurde aus Mittelwerten der vom Deutschen Wetterdienst Offenbach zur Verfügung gestellten Heizgradtagszahlen (monatlich) für Orte im Oberrheingebiet gewonnen. Grundsätzlich können auch Daten über den Energieeinsatz in Heizkraftwerken einen Jahresgang liefern. Es fällt jedoch schwer, in diesem Falle Industrie von Haushalt und Kleinverbrauch zu trennen.

Der Tagesgang des kombinierten Energieeinsatzes in Haushalt und Industrie - ohne Einzelquellen - ist in Abb.12d dargestellt. Eine Trennung war nicht möglich, da nur Daten über den Tagesgang der insgesamt abgegebenen elektrischen Energie sowie Tagesgänge von Heizwerken, die sowohl Haushalte als auch Industriebetriebe beliefern, vorlagen.

Die zeitliche Variation des Verkehrsaufkommens ist durch Verkehrszählungen an einer Reihe von Zählpunkten weitgehend dokumentiert. Beim Innerortsverkehr kann von konstanten Monatswerten ausgegangen werden. Die stärkste jahreszeitliche Variation weisen die Autobahnen auf. Für den gesamten Außerortsverkehr wurde durch Mittelung über alle verfügbaren Autobahnzählstellen des Oberrheintals [17] sowie mehrere Bundes- und Landesstraßenzählstellen [18] ein repräsentativer Jahresgang bestimmt. Dieser ist in Abb. 12e wiedergegeben. Eine stärkere Variation zeigen die Stundenwerte, für die der in Abb. 12f dargestellte mittlere Gang aus Daten der Quellen [17, 18, 19] berechnet wurde. Er wird sowohl auf Außer- als auch Innerortsverkehr angewandt .

Tages- und Jahresgänge der großen Einzelquellen wurden durch eine Umfrage gewonnen. Sie weisen im allgemeinen nur geringe Schwankungen auf, Ausnahmen stellen in der Industrie Zuckerfabriken dar und im Umwandlungssektor Heizwerke sowie Kraftwerke, die im Spitzen- und Mittellastbereich gefahren werden (Industrie:Abb. 12g, Umwandlungssektor:Abb. 12h). Hinweise auf den Jahresgang von Kraft- und Heizwerken finden sich auch in Tab. 2 in Form des höchsten und niedrigsten Monatsmittelwertes der Abwärmeleistung. Bei Kernkraftwerken wurde angenommen, daß sie im Grundlastbereich fahren und keinen systematischen Jahresgang aufweisen. Die Stillstandszeiten wurden im Jahresmittelwert berücksichtigt. Auch Raffinerien weisen keine systematischen Schwankungen auf.

Wendet man die sektoralen Einzelergebnisse auf das Oberrheintal als Ganzes an, so ergibt sich ein relativer zeitlicher Gang des Energieeinsatzes, wie er in Tab.5 wiedergegeben ist. Dabei sind die Einzelquellen nicht berücksichtigt; sie bewirken im allgemeinen eine weitere Dämpfung der Schwankungen. Man sieht, daß der höchste Momentanwert der Gesamtwärmeabgabe im Januar zwischen 7 und 11 Uhr auftritt, während der niedrigste Momentanwert in den Nachtstunden (23 bis 5 Uhr) der Monate Juni, Juli und August fällt. Zwischen dem niedrigsten und dem höchsten Momentanwert liegt der Faktor 5. Die höchste momentane Abwärmeemission beträgt etwa das Doppelte des Jahresmittels, während die niedrigste etwa ein Drittel des Mittelwertes ausmacht.

Tabelle 5: Relative momentane Emissionsleistung, bezogen auf das Jahresmittel (gerundet auf eine Stelle nach dem Komma)

Monat	Tageszeit											
	1 ⁰⁰ -3 ⁰⁰	3 ⁰⁰ -5 ⁰⁰	5 ⁰⁰ -7 ⁰⁰	7 ⁰⁰ -9 ⁰⁰	9 ⁰⁰ -11 ⁰⁰	11 ⁰⁰ -13 ⁰⁰	13 ⁰⁰ -15 ⁰⁰	15 ⁰⁰ -17 ⁰⁰	17 ⁰⁰ -19 ⁰⁰	19 ⁰⁰ -21 ⁰⁰	21 ⁰⁰ -23 ⁰⁰	23 ⁰⁰ -1 ⁰⁰
Januar	1.1	1.1	1.5	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.6	1.5	1.2	1.1
Februar	1.0	1.0	1.3	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.3	1.3	1.0	1.0
März	0.9	0.9	1.2	1.5	1.5	1.4	1.4	1.5	1.3	1.2	1.0	0.9
April	0.8	0.8	1.1	1.4	1.3	1.2	1.3	1.3	1.2	1.1	0.8	0.8
Mai	0.5	0.5	0.6	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.6	0.5	0.5
Juni	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4
Juli	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4
August	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4
September	0.4	0.4	0.6	0.8	0.8	0.7	0.8	0.8	0.7	0.6	0.4	0.4
Oktober	0.9	0.9	1.2	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.2	0.9	0.9
November	1.0	1.0	1.3	1.6	1.6	1.5	1.5	1.6	1.4	1.3	1.0	1.0
Dezember	1.1	1.1	1.4	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.5	1.4	1.1	1.1

Da die Abwärme für die Schweiz auf Rasterebene nicht nach Wirtschaftssektoren getrennt vorlag, wurden Momentanwerte pauschal nach Tab. 5 aus dem Jahresmittel bestimmt.

Die Abb. 13, 14 und 15 zeigen Momentanaufnahmen des Katasters zu den o.g. Zeitpunkten. Die höchste Spitze in Abb. 13 geht im wesentlichen auf die Wärmeemissionen des Kraftwerks Staudinger in Großkrotzenburg zurück. Es ist das einzige Kraftwerk im Untersuchungsgebiet, das 1973 bereits eine größere Leistung über einen Naßkühlturm abgab. Der hohe Wert in Abb. 13 tritt auf, wenn der Kühlturm im Winter bei niedrigem Wasserstand des Mains und Kraftwerksvollast genutzt wird. Einen kleinen Beitrag dazu

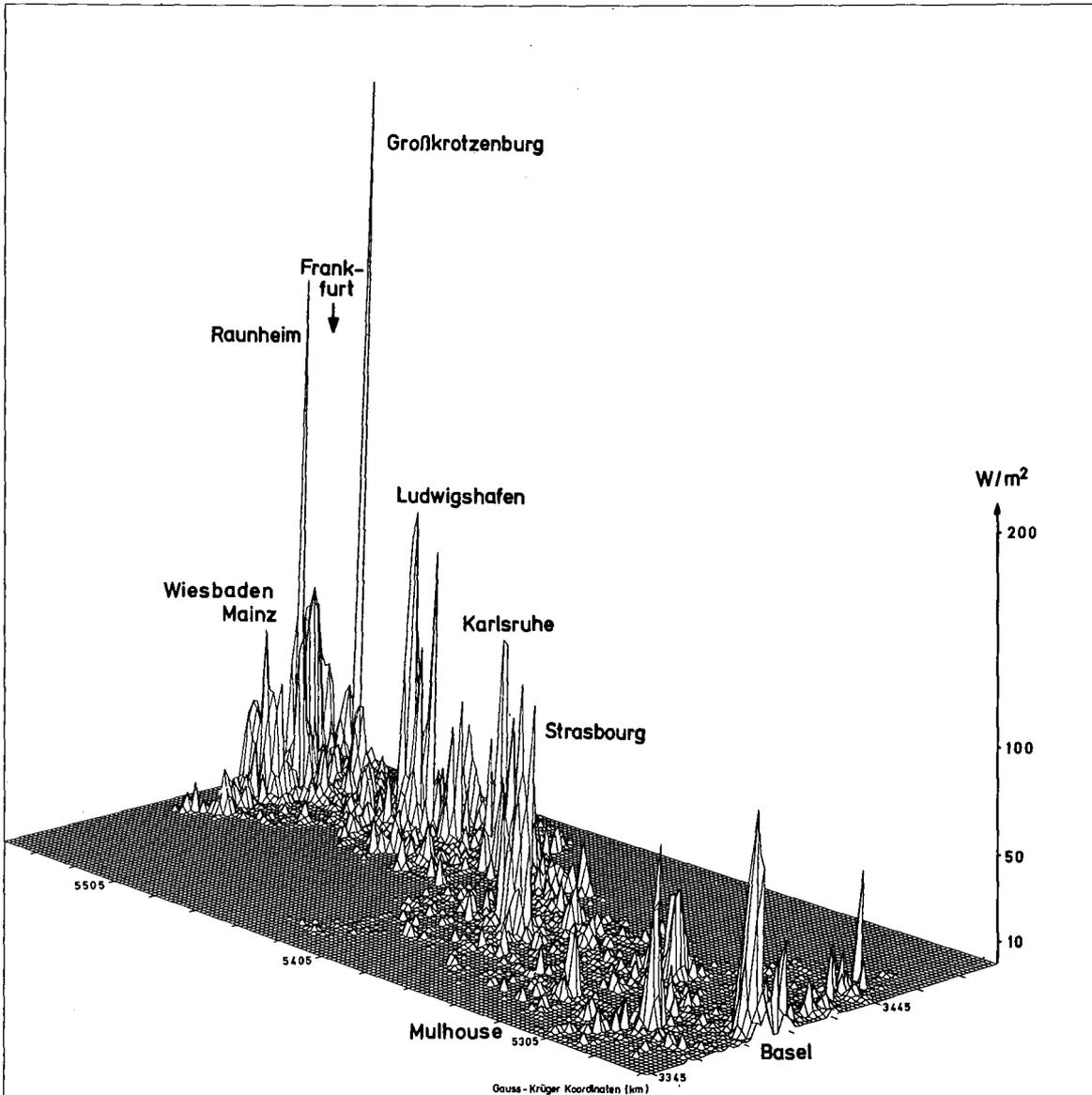


Abb. 13 Abwärmekataster für das Oberrheingebiet 1973 mit Einzelquellen (großen Emittenten aus dem Umwandlungssektor und der Industrie) - Maximalwerte (Januar 7⁰⁰ - 11⁰⁰)

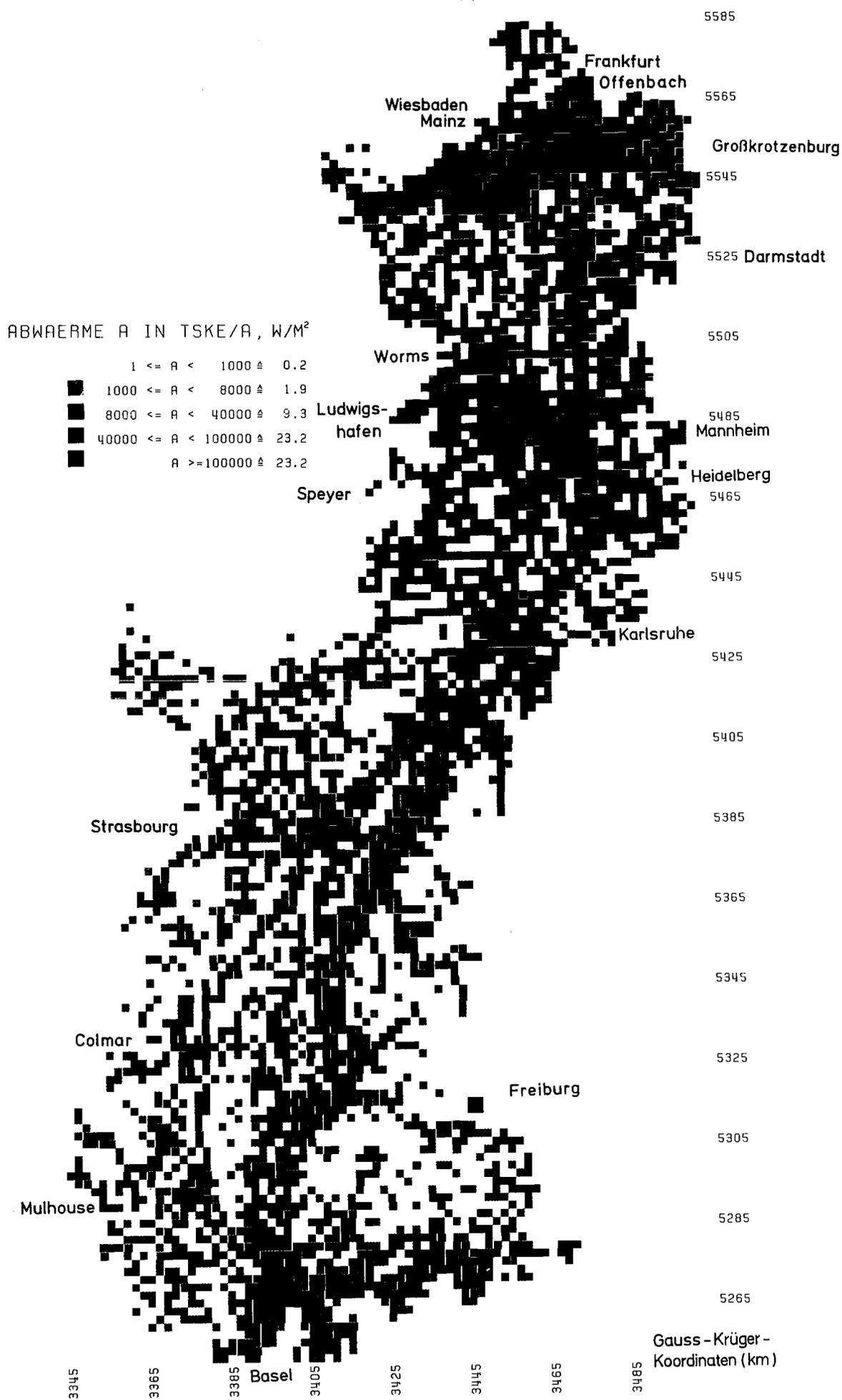


Abb. 14 Abwärmekataster für das Oberrheingebiet 1973 mit Einzelquellen (großen Emittenten aus dem Umwandlungssektor und der Industrie) - Maximalwerte (Januar 7⁰⁰ - 11⁰⁰)

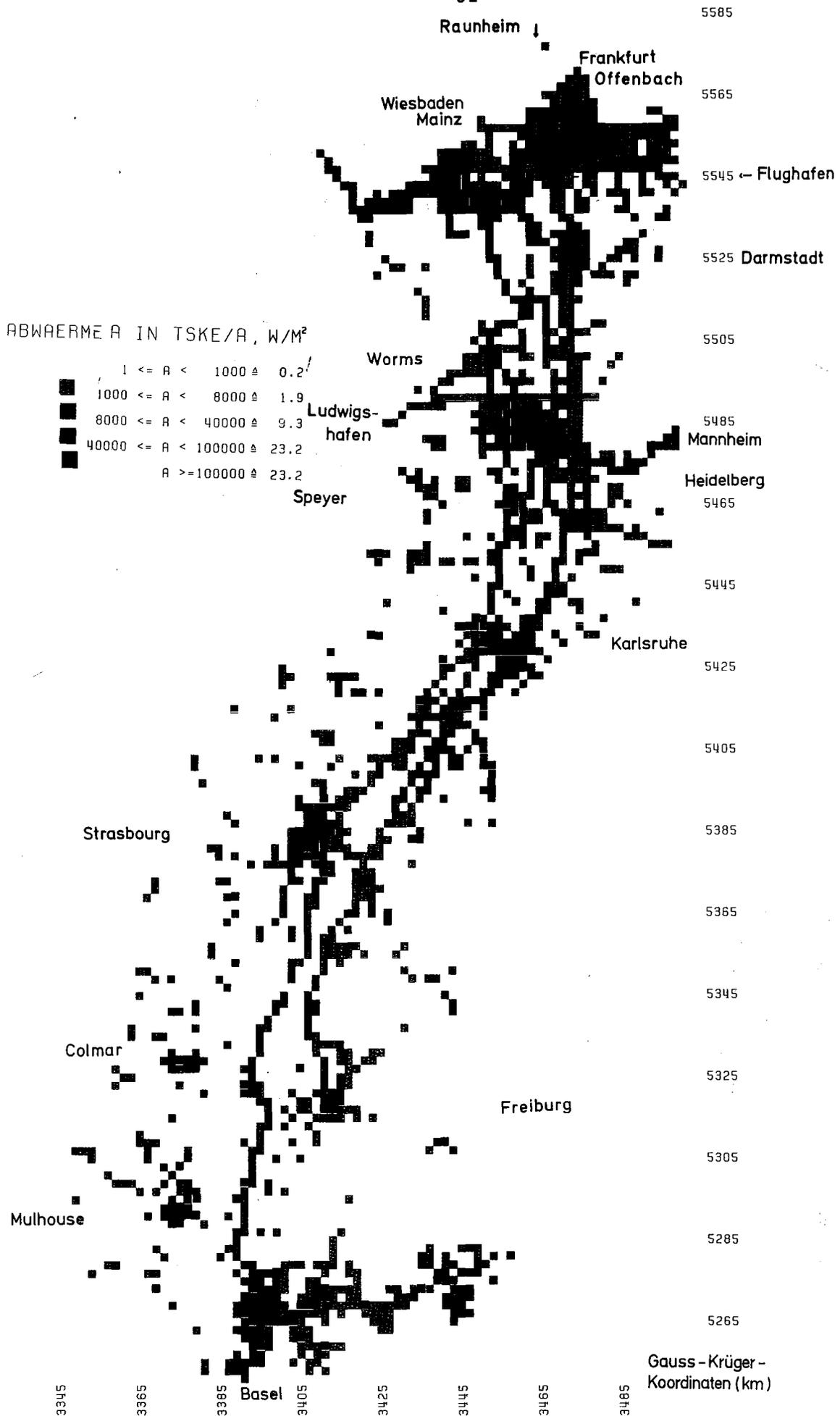


Abb. 15 Abwärmekataster für das Oberrheingebiet 1973 mit Einzelquellen (großen Emittenten aus dem Umwandlungssektor und der Industrie) - Minimalwerte (Sommer 1° - 5°)

liefert die Wärmeemission aus dem Main. Im Sommer wird das Kraftwerk nur mit reduzierter Leistung gefahren und bei hohem Wasserstand der größte Teil der Abwärme in den Main abgeführt. Dadurch wird die Wärme nicht punktförmig sondern entlang des Flusses über viele Rasterquadrate verteilt abgegeben. Die Abwärmeemission im betrachteten Rasterquadrat beträgt dann nur etwa 1/10 des Winterwertes. Ein Vergleich von Abb. 14 und 15 macht deutlich, wie sehr die Abwärmeemission der Flächenquellen (Städte) im Winter durch die Raumheizung zunimmt. In Stadtzentren treten dann zu den Zeiten maximaler Emission, morgens zwischen 7.00 und 11.00 Uhr Werte von 50-80 W/m² auf (in einzelnen Rasterquadraten sogar bis zu 200 W/m²); in Sommernächten sinkt dort die Wärmeabgabe auf weniger als 5 W/m². In Abb. 15 heben sich daher auch große Einzelquellen mit geringem Jahresgang deutlicher vom Untergrund ab. Bei einem Vergleich der genannten Werte mit Abb. 10a u. 10b ist zu berücksichtigen, daß in den Abbildungen keine Momentanwerte sondern Monatsmittelwerte aufgetragen sind, was zu einer starken Dämpfung der Amplituden führt. Im Sommer liegen die anthropogenen Wärmeemissionen in einer Stadt tagsüber bei etwa 20 W/m²; die Globalstrahlung kann an einem sonnigen Sommertag, um die Mittagszeit in unseren Breiten 700-800 W/m² erreichen, während sie an einem klaren Wintermorgen um 7.00 Uhr Null ist, aber auch um 11.00 Uhr noch unter 300 W/m² bleibt.¹⁾

Die gesamte Abwärmeleistung im Oberrheintal erhöht sich im Winter um ca. 80% gegenüber dem Jahresmittelwert auf 2,8 W/m², im Sommer ist sie um 60% geringer (0,6 W/m²). Die Schwankungen der mittleren Abwärmeintensität im Oberrheintal werden vor allem durch den Sektor Haushalt und Kleinverbrauch bestimmt, dessen Anteil an der Gesamtabwärmeemission von 10% im Sommer (nachts) auf 56% im Winter (morgens) ansteigt (vgl. Tab. 12).

¹⁾ Priv. Mitteilg.: Witte, Met. Inst. d. Universität Karlsruhe

Tab. 6: Voraussichtliche Entwicklung des Primärenergieeinsatzes in der BRD (Vergleich der Ergebnisse verschiedener Untersuchungen).

Es ist der Energieeinsatz E in Mio tSKE angegeben sowie die Veränderung V gegenüber 1973 (= 100%) in %

Aufteilung nach Wirtschaftssektoren	1973	im Jahre 2000																	
	[8,20]	DIW, EWI, RWI [9]				Fichtner [20]				Reents [21]		Pestel [22] 2)				Shell 1979 [23]			
		E	Referenzfall		untere Variante		Referenzfall		untere Variante		E	V	Referenzfall		untere Variante		obere Variante		untere Variante
E	E	V	E	V	E	V	E	V	E	V	E	V	E	V	E	V	E	V	
Industrie	95,6	137	143	129	135	182	190	144	150	157	165	174	120	164	113	103	107	87	91
Haushalt und Kleinverbrauch	112,6	144	128	135	120	165	147	144	128	193	171	109	165	75	116	128	114	113	100
Verkehr	45,7	62	136	60	131	75	163	67	146	75	163	78	170	68	149	66	146	61	133
Umwandlungssektor (einschl. Transportverluste u.ä.)	94,7	212	224	195	206	268	283	238	251			169	178	134	141	164	174	135	142
nichtenergetischer Verbrauch	29,9	45	151	41	137	55	184	55	184	58	194	54	180	54	180	51	171	40	130
Gesamt	378,5	600	159	560	148	744	197	647	171			584	154	495	131	513	135	435	115
Aufteilung 1) nach Energieträgern																			
Steinkohle	84,2 (26,0)	102	121	107	127	111+21	132	104+18	124	} (19)	(62)	85	100	78	93	103	122	83	96
Braunkohle	33,1 (5,4)	38	115	45	136	41+ 1	124	38+ 2	115			37	112	37	112	36	108	35	105
Mineralöl	208,9 (150,7)	162	78	147	70	255+15	122	205+ 5	98	(171)	(114)	186	89	147	70	200	96	174	83
Erdgas (Gas)	38,5 (31,9)	97	252	90	234	113+ 7	294	92+ 3	239	(110)	(344)	104	270	90	234	82	213	70	181
Kernenergie	3,9	163	4200	128	3300	210+45	5400	193+28	4900			113	2900	84	2150	72	1860	57	1460
Wasserkraft, Nettostromimporte	8,2	13	159	13	159	} 15		15				5	5			10		8	
Sonstige Energieträger	1,7	25	1500	30	1800												10	600	8
(Strom)	(30,6)	(93)	(305)	(83)	(271)	(94)	(310)	(85)	(280)	(104)	(340)	(69)	(225)	(59)	(193)				
(Fernwärme)	(4,7)							(17)	(360)	(20)	(430)	(18)	(380)	(16)	(340)				

1) Werte in Klammern geben den Endenergieeinsatz an.

2) Bei Pestel werden die Kleinverbraucher nicht wie sonst üblich den Haushalten sondern der Wirtschaft zugeordnet. Bei den Haushalten und bei der Wirtschaft wurde der Endenergieaufwand für den Verkehr herausgerechnet.

5. Fortschreibung des Abwärmekatasters bis zum Jahr 2000

5.1 Basiswerte und Methoden

Bei der Fortschreibung des Katasters von 1973 bis zum Jahr 2000 müssen folgende Faktoren berücksichtigt werden:

- die Veränderung des Energieumsatzes in allen Wirtschaftszweigen
- Veränderungen an Prozeßabläufen, die einen wesentlichen Einfluß auf Energieausnutzung und Aufteilung in Abwärmekomponenten haben
- die Veränderung des relativen Beitrages der einzelnen Energieträger zum Gesamtenergieeinsatz und schließlich
- die Veränderung der räumlichen und zeitlichen Verteilung des Energieumsatzes.

Der Energieumsatz des Jahres 2000 wird durch zwei Szenarien beschrieben: eine obere Variante in Anlehnung an eine Untersuchung von DIW, EWI und RWI [9] (vgl. Fortschreibung des Energieprogrammes der Bundesregierung von 1977 [10]) und eine untere Variante, die stärkere Energiesparmaßnahmen und eine bessere Energienutzung berücksichtigt.

In Tab. 6 sind die Ergebnisse verschiedener Prognosen und Projektionen bis zum Jahr 2000 miteinander verglichen. Die neueste Untersuchung [23] ergibt die niedrigsten Werte. Den größten Zuwachs des Energieeinsatzes, verzeichnet in fast allen Szenarien in Tab. 6 der Umwandlungssektor, gefolgt vom nichtenergetischen Verbrauch. Darauf folgen Industrie und Verkehr bei der DIW, EWI, RWI- und der Fichtner-Studie [20]. Bei der Studie von Reents rangiert der Sektor Haushalt und Kleinverbrauch vor den beiden Letzgenannten. In den beiden neuesten Studien (Pestel [22], Shell [23]) wird der Industrie der kleinste Zuwachs zugeschrieben, während im Sektor Verkehr ein wesentlich größerer Zuwachs erwartet wird.

Die Zuwachsraten im Referenzfall der DIW, EWI, RWI-Studie wurden zur Fortschreibung des Katasters benutzt. Daraus wurde mit den hohen Einsparpotentialen der Fichtner-Studie die untere Variante bestimmt. Die benutzten Faktoren sind in Tab. 7 zusammengestellt. Zur Erläuterung: der Energieumsatz der Industrie (Tab. 6) beträgt nach Fichtner im Jahr 2000 190%, mit Einsparung 150% gegenüber 1973; im Jahr 2000 könnten demnach 21% einge-

spart werden, bezogen auf den Referenzfall. Angewandt auf den Referenzfall der DIW, EWI, RWI-Studie (143%) erhält man im Jahr 2000 für den Fall mit Einsparung 113% gegenüber 1973. Die DIW, EWI, RWI-Studie geht bei der unteren Variante nur von einer Einsparung von knapp 6% aus.

Im Elsaß dürfte zwar ein etwas stärkerer Energiezuwachs zu erwarten sein, als im deutschen Teil des Oberrheingebietes. Da für das Elsaß jedoch keine Prognosen vorlagen, wurde der Energieumsatz mit denselben Faktoren fortgeschrieben. Das Kataster für die Schweiz wurde entsprechend zweier Perspektiven für den Endenergiebedarf der Schweiz bis zum Jahre 2000 extrapoliert [24]. Der Autor, E. Kiener, untersucht 6 Szenarien für die er einen Zuwachs zwischen 17 und 66% erwartet. Den neueren Studien für die Bundesrepublik nach zu urteilen, sollte man dem niedrigsten Wert zuneigen.

Tab. 7: Faktoren zur Fortschreibung des Energiekatasters von 1973 bis zum Jahre 2000

	Obere Variante	untere Variante
Industrie	1,43	1,13
Haushalt und Kleinverbrauch	1,28	1,11
Straßenverkehr	(1,36)	(1,22)
Flughafen Ffm.	1,14 1,50	1,00 1,50
Eisenbahn	1,17	1,17
Schweiz	1,50	1,17

Im Oberrheintal war ab 1973 der Bau von zusätzlich 580 km (BRD 380 km, Frankreich 200 km) Autobahn geplant. Im Jahre 1973 betrug die mittlere Verkehrsdichte auf den Autobahnen des Untersuchungsgebietes 22000 PKW und 5000 LKW pro Tag. Legt man diese Zahlen zugrunde, so wird auf den geplanten Neubaustrecken eine Energie von ca. 1,1 Mio tSKE umgesetzt, etwa 22% des Energieumsatzes durch den Straßenverkehr 1973. Geht man von einer Steigerung im Sektor Verkehr von 36% (Tabelle 7) aus und sieht die Verkehrsdichte auf den Autobahnen als Sättigungswert an, so bleibt für alle anderen Straßen (auch im Innerortsverkehr) eine Zunahme von 14%; in der unteren Variante werden die Werte von 1973 übernommen. Dadurch wird eine ungleichmäßige räumliche Verteilung des Energiezuwachses berücksichtigt. Durch den Bau neuer Autobahnen werden zwar andere Straßen entlastet, insgesamt dürfte jedoch der Anteil des überregionalen Verkehrs zunehmen. Der entsprechende Energiezuwachs ist allerdings nicht quantifizierbar. Da im Jahre 1973 der spezifische Energieeinsatz auf den Straßen des Oberrheintals (0,69 tSKE/aE) etwas über dem Bundesmittel (0,65 tSKE/aE) lag, wird durch die Art der Fortschreibung auch für die Zukunft ein höherer Wert angenommen. Wie erwähnt wurde ein erheblicher Teil der geplanten Autobahnen bereits dem Verkehr übergeben. Nach den letzten Äußerungen der Bundesregierung erscheint es jedoch fraglich, daß die Autobahnplanungen im deutschen Teil des Oberrheingebietes in vollem Umfang realisiert werden.

Für die als Einzelquellen erfaßten Großemittenten der Industrie lagen entsprechend langfristige Planungen nicht vor. In der Fichtner-Studie [20] werden Zuwachsraten und Einsparpotentiale für verschiedene Branchen angegeben. Sie wurden im Verhältnis 143/190 (vgl. Tab. 6) auf den für die Fortschreibung des Katasters benutzten Wert der DIW, EWI, RWI-Studie reduziert und sind in Tabelle 8 zusammengestellt.

Die Einsparpotentiale der Fichtner-Studie konnten in manchen Branchen mit Ergebnissen der Einzelquellenuntersuchung verglichen werden. Dabei lagen die Werte der Fichtner-Studie im allgemeinen etwas höher. Durch die Verknappung des Erdöls dürfte jedoch der Druck zur Energieeinsparung und zu entsprechenden Änderungen der Prozeßführung in Zukunft erheblich zunehmen; daher wurden die (reduzierten)Fichtner-Werte benutzt.

Tab. 8: Faktoren zur Fortschreibung des Energieumsatzes der Einzelquellen der Industrie, branchenweise bis zum Jahr 2000

Obere Variante	Untere Variante	Branche
1,41	0,96	Mineralölfirmen (ohne Raffinerien)
1,47	1,30	Ne-Metall
1,25	1,00	Stahl
1,03	1,00	Gießereien
1,47	1,12	Ziehereien, Kaltwalzwerke
2,00	1,40	Chemie
2,90	2,25	Kunststofferzeugung
1,17	1,05	Gummi, Asbest
2,90	2,25	Kunststoff-Verarbeitung
1,30	1,10	Steine, Erden (ohne Zement)
1,30	1,00	Zement
1,28	1,05	Glas, Keramik
1,70	1,40	Maschinenbau
1,06	0,95	Fahrzeugbau
2,20	1,90	Elektrotechnik, Feinmechanik
1,48	1,35	Eisen, Blech, Metall
1,50	1,20	Zellstoff, Papier, Pappe
1,50	1,20	Druck
1,13	0,88	Textil
1,53	1,30	Nahrung, Genuss

Der Beitrag der einzelnen Energieträger zum Energieumsatz der Endverbrauchersektoren im Jahr 2000 konnte der Studie von Reents [21] entnommen werden. Diese Aufteilung ist wichtig zur Berechnung der latenten Wärme im Rauchgas. Im Umwandlungssektor sind die für die einzelnen Emittenten (Tab. 3 und 9) vorgesehenen Energieträger zum größten Teil bekannt. Die Eisenbahn wurde als voll elektrifiziert angesehen. In Tab. 6 ist die Aufteilung nach Energieträgern aus verschiedenen Studien zusammengestellt. Bei Kernenergie, regenerativen Energiequellen und Erdgas wird ein hoher Zuwachs erwartet.

Tabelle 9: Abwärmeemissionen aus öffentlichen Wärmekraftwerken, die voraussichtlich bis zum Jahr 2000 in Betrieb sind¹⁾

Anlage	Gauss-Krüger Koordinaten		Inst. el. Nettoleistung MW _e	Abwärme ²⁾ (Verluste)			Aufteilung in Abwärmekomponenten Angaben in %				Kühlart ³⁾	Vorfluter	Fluß ⁴⁾ km
	Hochwert	Rechtswert		Spitzenleistung MW	Jahresmittelwert MW	Mio tSKE	a _L	a _K	a _S	a _{K4}			
HKW Offenbach	55 ⁵³	34 ⁸³	75	180	50	0,06	9	23	2	76	Durchlauf	Main	40
Mainkraftwerke Frankfurt	55 ⁵¹	34 ⁶⁷	82	150	70	0,07	6	18	3	79	"	"	24
Stadtwerke Frankfurt: HKW Niederrad	55 ⁵¹	34 ⁷³	133		60	0,07	27	24	1	75	"	"	31
KW West	55 ⁵¹	34 ⁷⁵	151		130	0,14	8	16	2	82	"	"	33
KW Staudinger Großkrotzenburg	55 ⁵¹	34 ⁹⁷	2000	3700	1860	2,0	48	25	1	40	variabel mit Naßkühlturm	"	62
							63	31	1	20	Durchlauf	Main	
							13	10	1	89			
KW Fechenheim	55 ⁴⁹	34 ⁶⁵	650	1200	600	0,65	43	35	2	31	variabel	"	41
							66	46	2	2	Durchlauf		
							11	17	2	81			
KMW Mainz	55 ⁴³	34 ⁴⁵	634	1150	650	0,7	7	19	2	79	Durchlauf	Rhein	503
Biblis A+B	55 ⁰⁹	34 ⁵⁷	2390	4880	3400	3,7	31	14	--	58	variabel	"	456
							52	22	--	31	mit Naßkühlturm		
							--	1	--	99	Durchlauf	Rhein	
Biblis C	"	"	1300	2650	1950	2,1	66	28	--	6	Kreislauf	Rhein	456
GKW Mannheim ⁵⁾	54 ⁷⁹	34 ⁶³	1900	2850	1700	1,8	24	22	3	61	gemischt (Naß)	Rhein	416
Philippsburg 1,2	54 ⁵⁷	34 ⁵⁹	2100	3900	2400	2,5	25	11	--	66	variabel	"	390
							70	29	--	6	Kreislauf		
							--	1	--	99	Durchlauf		
Neupotz 1,2	54 ⁴¹	34 ⁵¹	2600	4800	2900	3,1	66	28	--	6	Kreislauf	"	368
RDK Karlsruhe ⁶⁾	54 ³¹	34 ⁴⁹	950	1450	600	0,65	9	11	2	87	Durchlauf	"	360
HKW West Karlsruhe Greffern ⁸⁾	54 ³¹	34 ⁵³	76	100	56	0,06	21	54	36	(71)	" ⁷⁾	"	
	54 ⁰³	34 ²⁵	1300	2400	1450	1,6	66	28	--	6	Kreislauf	"	318
Strasbourg	53 ⁸¹	34 ¹¹	250	450	215	0,23	9	15	2	83	Durchlauf	"	296
Sundhouse ⁹⁾	53 ⁴³	33 ⁹⁵	1300	2400	1450	1,6	66	28	--	6	Kreislauf	"	253
Wuhl	53 ³⁷	33 ⁹⁷	362	2500	1500	1,6	18	8	--	76	variabel	"	248
							70	29	--	6	Kreislauf		
							--	1	--	99	Durchlauf		
Fessenheim	53 ⁰⁹	33 ⁹³	1780	3320	2000	2,2	--	1	--	99	Durchlauf	"	212
Schwörstadt ¹⁰⁾	52 ⁷³	34 ¹³	1300	2400	1450	1,6	66	28	--	6	"	"	143
Leibstadt	52 ⁷³	34 ³⁷	942	1800	1100	1,2	"	"	--	"	Kreislauf	"	110
Kaiseraugst	52 ⁶⁷	34 ⁰⁷	925	1750	1050	1,1	"	"	--	"	"	"	153
Summe ¹¹⁾			24200		26600	28,6				(12) 40%		Rhein oder Main	

1) Es wird angenommen, daß alle Anlagen über 50 MW_e bei Stilllegung durch Neubau ersetzt werden

2) Alle Angaben beziehen sich bei fossilen Energieträgern auf den unteren Heizwert (H_u), deshalb ist bei fossil oder mit Müll befeuerten Anlagen die Summe der Abwärmekomponenten größer als 100 %; a_K = a_{K1} + a_{K2} + a_{K3}

3) Bei variabler Kühlung ist zu beachten: der Wirkungsgrad der Stromerzeugung ist bei Kreislaufkühlung geringer als bei Durchlaufkühlung; deshalb ist die Abwärme bei gleichem Energieeinsatz im ersten Fall größer /127 (Summe der Abwärmekomponenten > 100%), Falls nach Kühlregie gefahren wird (max. Leistung einer Kraftwerkskette bei vorgegebener Aufwärmespanne der Flußtemperatur) liegt das Verzweungsverhältnis zwischen Durchlauf- und Kreislaufkühlung für das Kraftwerk Wuhl by 75:25, für Philippsburg bei 65:35 und für Biblis bei 40:60 in Jahren mit durchschnittlicher Wasserführung der Flüsse. Verschiedene Kraftwerke mit variabler Kühlung wie Philippsburg können auch im Ablaufbetrieb fahren.

4) Bei Neckar und Main von der Mündung, beim Rhein von der Rheinbrücke Konstanz

5) In Mannheim Kirschgartshausen (Gauss-Krüger-Koordinaten 54^{93/34}⁵⁹, Rhein km 437) steht die Erstellung eines Hochtemperaturreaktors mit einer inst. Nettoleistung von 1150 MW_e zur Diskussion (Abwärme: 1730 MW Spitzenwert, 930 MW bzw. 1 Mio tSKE Jahresmittelwert), evtl. mit Trockenkühlung (a_K 99%, a_S 1%). Standort und Kraftwerkstyp sind jedoch fraglich.

6) Block 1 und 2 wird ca. 1985 stillgelegt, Block 3 und 4 "Kaltreserve", Block 5 und 6 "Mitlaufende Reserve", Zubau evtl. 500 MW_e.

7) a_{K4} wurde im Verhältnis 50:30:20 auf a_L, a_K und a_S verteilt unter der Annahme, daß die Wärme im Rasterquadrat des Emittenten vollständig an die Atmosphäre abgegeben wird.

8) Alternativstandorte für ein großes Kraftwerk (evtl. 1300 MW_e) anstelle von Greffern sind Freistett (Gauss-Krüger-Koordinaten 53^{93/34}¹⁹, Rhein km 308) und Meißenheim (Gauss-Krüger-Koordinaten 53^{65/34}⁰⁷, Rhein km 275). Dabei stehen nicht nur Kernkraftwerke zur Diskussion. Bei der Standortwahl sind auch die französischen Standorte zu berücksichtigen, vergl. Fußnote 9).

9) Die Standorte Lauterbourg (Gauss-Krüger-Koordinaten 54^{25/34}⁴¹, Rhein km 350, vorgesehen: 1300 MW_e), Sundhouse und Marcolshausen (Gauss-Krüger-Koordinaten 53^{29/33}⁹⁵, Rhein km 240, vorgesehen: 2600 MW_e) sind derzeit nicht nur untereinander alternativ zu sehen, sondern auch als Alternativen zu den annähernd gegenüberliegenden Standorten auf deutscher Seite. Keinesfalls ist vor dem Jahr 2000 mit einer Inbetriebnahme von drei Anlagen zu rechnen (in französischen Planungen ist eine ausgewiesen).

10) Bei Schwörstadt gibt es zwei Standortalternativen, im Tal oder auf der Höhe. Das Kühlsystem ist noch nicht festgelegt; zur Diskussion stehen Wechselkühlung und Hybridkühlung. Mit der Fertigstellung ist wahrscheinlich erst nach 2000 zu rechnen.

11) Die Abwärme aus kleineren, hier nicht aufgeführten Anlagen, dürfte 0,2-0,3 Mio tSKE betragen, also weniger als 1% der Summe, es sei denn bis zum Jahr 2000 nimmt der Anteil der kleineren Einheiten, wie Blockheizkraftwerke, erheblich zu. Entsprechend der oberen Variante der Szenarien für das Jahr 2000 beträgt die installierte el. Nettoleistung im deutschen Teil des Untersuchungsgebietes voraussichtlich 19000 MW_e, im französischen Teil 3330 MW_e und im schweizer Teil 1870 MW_e.

12) Im Jahresmittel werden 10,8 Mio tSKE mit dem Kühlwasser in Rhein oder Main eingeleitet.

Die Kohle wird in der unteren Variante der DIW, EWI, RWI-Studie stärker zur Verstromung herangezogen und nimmt daher entsprechend zu, während der Zuwachs der Kernenergie geringer ist. Der Mineralölverbrauch dürfte insgesamt abnehmen und nur in den Endverbrauchssektoren noch wachsen. Die Auswirkungen auf die Aufteilung in Abwärmekomponenten, die eine Veränderung des Beitrages einzelner Energieträger zum Gesamtenergieeinsatz hat, wurden bereits in Kapitel 3 diskutiert.

Die Abwärmeemissionen aus Kraftwerken, die voraussichtlich im Jahr 2000 in Betrieb sind, wurden in Tab. 9 zusammengestellt (vgl. [25-28]). Im Jahr 1976 betrug die nichteingesetzte Leistung öffentlicher Kraftwerke 34% der gesamten installierten Engpaßleistung; davon war knapp die Hälfte (15%) nicht verfügbar. Es ist jedoch anzunehmen, daß mit zunehmender Betriebs- erfahrung und Vereinheitlichung der Blockgrößen, besonders bei Kernkraft- werken, dieser Anteil abnimmt [29]. Die mittlere Arbeitsausnutzung der Druckwasserreaktoren in der Bundesrepublik lag 1977 bei 75%. Die Schweiz lag mit 87% Arbeitsausnutzung an der Spitze aller Länder [30]. Demzufolge scheint für das Jahr 2000 eine Ausnutzung von 80% nicht unrealistisch. Als Jahresmittelwerte wurden daher 80% der Spitzenwerte (Vollast) angenommen; in Tab. 9 ist eine Reservehaltung von ca. 25% berücksichtigt, deshalb sind als Jahresmittelwerte für die Kernkraftwerke nur 60% der Spitzenwerte auf- geführt. Damit erhält man eine Abschätzung der unteren Grenze der Wärmebe- lastung. Für die fossilen Kraftwerke, die mehr im Mittellastbereich arbeiten, wurde die Ausnutzung des Jahres 1973 angesetzt. Man kann davon ausgehen, daß einige, vor allen Dingen ältere Kraftwerke, als kalte Reserve für Kern- energie oder für die Leistungsfrequenzregelung eingesetzt werden. Dies trifft zumindest für das Rheinhafen Dampfkraftwerk Karlsruhe (Blöcke 3-6) und teilweise für das Großkraftwerk Mannheim zu.

Bei der unteren Variante wird damit gerechnet, daß bis zum Jahr 2000 von der in Tab. 9 aufgeführten elektrischen Nettoleistung nur ca. 80%, 19300 MW_e verfügbar sind (auf dem deutschen Teilgebiet ca. 80% und auf dem schweizer Teilgebiet etwa die Hälfte).

Energieeinsatz und Abwärme der Raffinerien wurden in Anlehnung an Tabelle 3 bestimmt. Für die untere Variante wurden die Werte aus dem Jahr 1973 über- nommen und - soweit möglich - durch die Plandaten für die nähere Zukunft ergänzt (Gesamtenergieeinsatz 3,8 Mio tSKE). Mit 30% Energieeinsparung durch technische Verbesserungen (vgl. [20]) kommt man auf 2,7 Mio tSKE.

Geht man davon aus, daß sich der spezifische Energieeinsatz der Raffinerien von im Mittel 0,08 (1973) auf 0,2 tSKE/t Rohöleinsatz im Jahre 2000 erhöht, so erhält man einen Gesamtenergieeinsatz von 7,5 Mio tSKE. Voraussetzung dazu ist bei gleichem Rohöldurchsatz eine wesentliche Änderung des Produktspektrums der Raffinerien in Richtung Petrochemie. Bei 20% Energieeinsparung durch technische Verbesserungen bleiben 6 Mio tSKE (obere Variante). Mit den Zuwachsraten der Fichtner-Studie ergäbe sich ein Energieeinsatz von 4,5 Mio tSKE ohne und von 3,3 Mio tSKE mit Energieeinsparung. Da die Raffinerien in den letzten Jahren nicht ausgelastet waren (vgl. [31]), dürfte einer der unteren Werte wahrscheinlich sein.

Die regionalen Strukturdaten werden von den zuständigen Planungsämtern zur Zeit bis 1990 fortgeschrieben. Angaben über Bevölkerung oder Bebauungspläne der Gemeinden für das Jahr 2000 waren deshalb nicht erhältlich. Im allgemeinen wird noch mit einer weiteren Ausdehnung der Städte gerechnet, jedoch ein Rückgang der Bevölkerung in den Ballungsgebieten um bis zu 10% erwartet. In mittelgroßen Gemeinden zeichnet sich ein Bevölkerungswachstum ab, während die Einwohnerzahl der kleinen Gemeinden schrumpft. Da im großen und ganzen die Bevölkerungsänderungen gering sind, wurden sie bei der Fortschreibung des Katasters nicht berücksichtigt.

Für die Industrie sind zwar Nutzungsflächen in den Regionalplänen ausgewiesen, jedoch ohne weitere Angaben, so daß der Energieumsatz für diese Flächen nicht abgeschätzt werden kann. Demzufolge wurde auch die Flächenaufteilung aus dem Jahr 1973 übernommen.

Durch entsprechende technische und energiepolitische Maßnahmen lassen sich die tages- und jahreszeitlichen Schwankungen des Energieeinsatzes weiter verringern (z.B. Auffüllen des Nachtstromtals, Energiespeicher, Isolieren von Gebäuden). Da aber auch hier keine genaueren Angaben vorlagen, wurden die Gänge des Jahres 1973 beibehalten. Da Kernkraftwerke keinen ausgeprägten Gang zeigen und die Stillstandszeiten ungleichmäßig über das Jahr verteilt sind, wurde für sie eine konstante Auslastung von 80% angenommen. In Momentaufnahmen des Katasters (Sommer, Winter) befinden sich Kernkraftwerke jedoch immer im Vollastbetrieb.

Änderungen der räumlichen Verteilung konnten also nur im Umwandlungssektor, Änderungen der zeitlichen Verteilung des Energieeinsatzes überhaupt nicht

bestimmt werden. Der Zubau an Kernkraftwerken und das unterschiedliche Wachstum der einzelnen Industriezweige, das bei der Fortschreibung der Einzelquellen berücksichtigt wurde, führt jedoch im Kataster zu einer Änderung der zeitlichen Verteilung der Abwärme, da Tages- und Jahresgänge der genannten Emittentengruppen verschieden sind (vgl. Abb. 12).

5.2 Ergebnisse für das Jahr 2000 und Vergleich mit den Werten für das Jahr 1973

Nach den derzeitigen Planungen und Tendenzen dürften Energieumsatz und Abwärme im Oberrheingebiet stärker zunehmen als im Mittel für die Bundesrepublik (vgl. Tab. 6 und 10). In Abb. 16 und 17 ist die räumliche Verteilung der Abwärme für beide Szenarien dargestellt. Vor allem im Umwandlungssektor ist mit einem überproportionalen Zuwachs zu rechnen, selbst wenn man davon ausgeht, daß nicht alle geplanten Kraftwerke in den nächsten 20 Jahren auch gebaut werden. Die installierte elektrische Nettoleistung dürfte gegenüber 1973 auf knapp 500% (untere Variante) bis 620% ansteigen, Energieumsatz und Stromerzeugung evtl. sogar noch mehr - BRD-Mittelwert 200 bis 300% (vgl. Tab. 2, 6, 9 und 10). Auf Stromerzeugung und Strombedarf im Oberrheintal wird im Folgenden noch genauer eingegangen. Der Anteil der Umwandlungsverluste (Raffinerien und Kraftwerke) könnte von 16% 1973 auf über 30% im Jahr 2000 anwachsen. Die von Kraftwerken in die Atmosphäre emittierte Wärme steigt um den Faktor 8 bis 13, die in Gewässer eingeleitete Wärme um den Faktor 2,5 bis 4. Auch für die Industrie ist gegenüber dem Bundesdurchschnitt (+ 43%, bzw. + 13% - Tab. 7) mit einem erhöhten Zuwachs (+ 61%, bzw. + 24% - Tab. 10) zu rechnen, da die Verteilung der Industriezweige von Durchschnitt abweicht - Industriezweige mit hohem Wachstum sind im Oberrheintal häufiger; dabei wurden nur die Einzelquellen nach Branchen getrennt fortgeschrieben.

In Tabelle 10 sind Energieverbrauch und Abwärme der einzelnen Wirtschaftssektoren im Oberrheintal für die Jahre 1973 und 2000 zusammengestellt. Wie bei Tabelle 9 wird für Kernkraftwerke ein Auslastungsgrad von 60% angesetzt, für fossile Kraftwerke die Arbeitsausnutzung entsprechender Kraftwerke des Jahres 1973 übernommen. Im Jahre 2000 könnte der Umwandlungssektor einen größeren Beitrag zum Energieumsatz liefern als der Sektor Haushalt und Kleinverbrauch. Der Anteil der Einzelquellen könnte fast 50% erreichen. Für die untere Variante wird angenommen, daß die Industrie trotz Zunahme des Energieeinsatzes nicht mehr Wärme in Gewässer einleitet als 1973, da die Energie besser genutzt wird.

In Tabelle 10 wurde für dieses Szenario eine Fernwärmeversorgung von 6 Mio tSKE angenommen; das entspricht einer Steigerung gegenüber 1973 um den Faktor 12. Die Abwärmeemission wird dadurch entsprechend reduziert. Geht man davon aus, daß ca. 25% der Kraftwerksverluste für die Fernwärme genutzt werden können, so würde im Oberrheintal bei Verlusten von knapp 23 Mio tSKE (17+6=23 - vgl. Tab.10) ein Fernwärmepotential von knapp 6 Mio tSKE zur Verfügung stehen.

Tab. 10: Energieumsatz und Abwärmeemissionen im Oberrheingebiet in den Jahren 1973 und 2000

	Energieeinsatz (H _u)						Abwärmeabgabe an die Atmosphäre (einschl. latenter Abwärme)						
	1973		2000				1973		2000				
	Mio tSKE	%	untere Variante (viel Fernwärme)		obere Variante (wenig Fernwärme)		Mio tSKE	%	untere Variante		obere Variante		
		Mio tSKE	%	Mio tSKE	%	Mio tSKE	%	Mio tSKE	%	Mio tSKE	%	Mio tSKE	%
Einzelquellen (Umwandlungssektor und Industrie)	14,9	31	30,0	45	49,0	53	10,2	22	21,2	33	34,3	40	
Umwandlungssektor:													
Raffinerien (Eigenbedarf)	3,2	7	2,7	4	6,0	6	3,2	7	2,7	4	6,1	7	
Kraftwerke (Verluste)	4,1	9	17,0	25	29,0	31	1,4	3	10,9	17	18,2	21	
(Fernwärmeabgabe)	(0,5)	(1)	(6)	(9)	(1)	(1)							
Industrie:													
als Einzelquellen erfaßt	7,6	16	10,3	15	14,0	15	5,5	12	7,6	12	10,0	12	
sonstige Betriebe	7,9	17	8,9	13	11,0	12	8,3	18	9,3	15	11,6	14	
Haushalt u. Kleinverbrauch	18,2	38	20,5	30	23,5	25	19,2	41	21,5	34	24,8	29	
Verkehr:													
Straße	6,2						6,5						
Schiene	0,2	14	7,9	12	9,0	10	0,2	15	8,4	13	9,5	11	
Flughafen Frankfurt	0,2						0,2						
Wasserstraßen	0,2						0,1						
Energieeinsatz insgesamt: (Vergleich mit 1973)	47,8 (100%)	100	67 (141%)	100	93 (194%)	100							
			Warmwasserbilanz										
Import durch Rhein	1,9		2		2								
Rhein, Main, Neckar:													
Industrie	3,2		3,2		4,8								
Raffinerien	0,1		0,1		0,2								
Kraftwerke	2,8		6,9		10,8								
Gesamt	6,1	13	10,2	15	15,8	17							
Wärmeabgabe a. d. Atmosphäre	-2,3		- 3,2		- 4,8		2,3	5	3,2	5	4,8	6	
Export durch den Rhein	-5,7		- 9,0		-13,0								
Import-Export-Bilanz	-3,8	8	- 7,0	10	-11,0	12							
Abwärme insgesamt:							47	100	64	100	85	100	

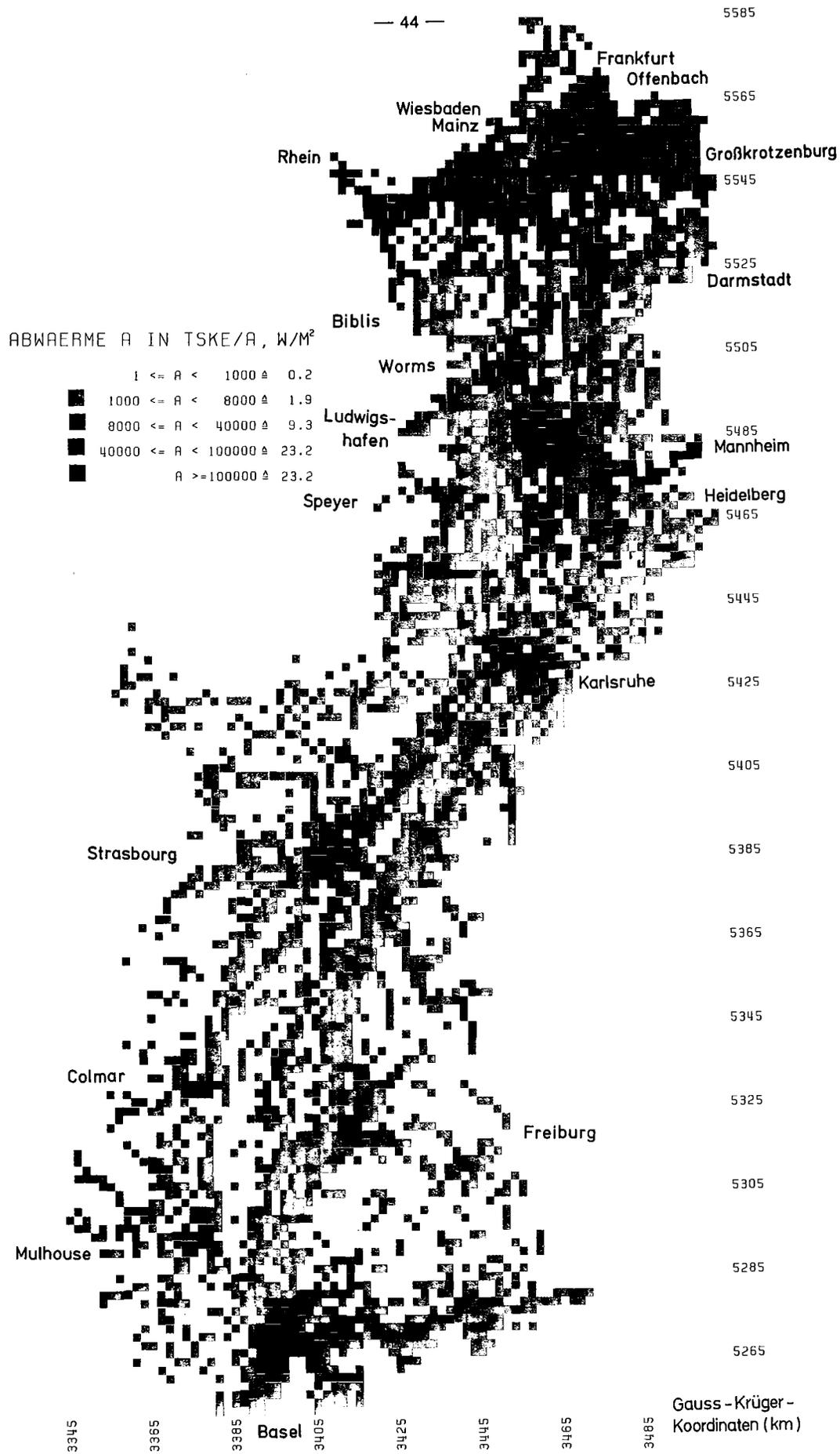


Abb. 16 Abwärmekataster für das Oberrheingebiet 2000 mit Einzelquellen (großen Emittenten aus dem Umwandlungssektor und der Industrie) - Jahresmittelwerte Untere Variante

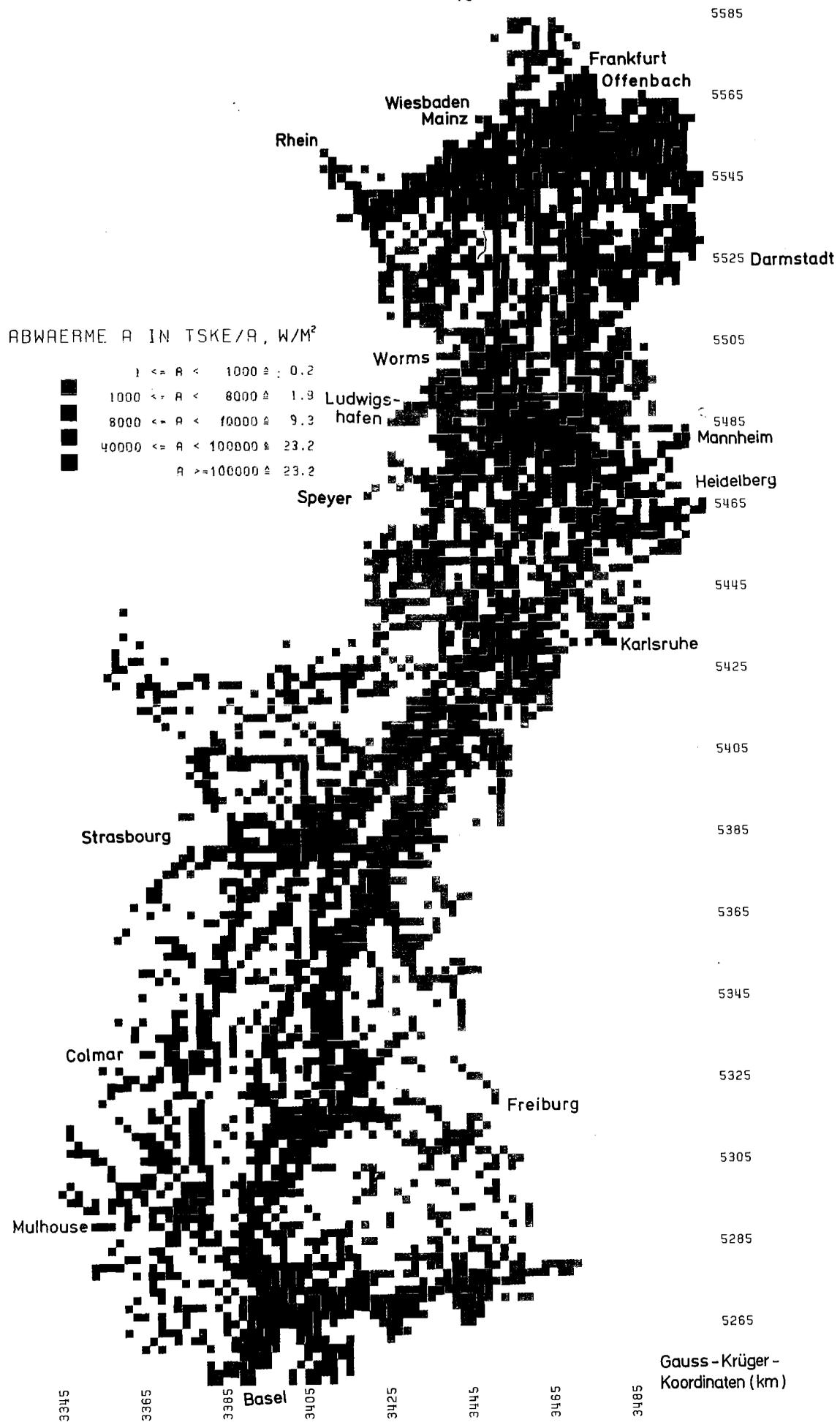


Abb. 17 Abwärmekataster für das Oberrheingebiet 2000 mit Einzelquellen (großen Emittenten aus dem Umwandlungssektor und der Industrie) - Jahresmittelwerte
Obere Variante

Nimmt man an, daß Gemeinden über 100.000 Einwohner für eine Fernwärmeversorgung in Frage kommen, so besteht im Untersuchungsgebiet ein Bedarf von über 5 Mio tSKE allein im Sektor Haushalt und Kleinverbrauch. Bezieht man Gemeinden von mehr als 20.000 Einwohnern mit ein, so erhöht sich der Wert auf über 8 Mio tSKE. Nach Neuffer $\overline{[32]}$ kann der Niedertemperaturwärmebedarf wirtschaftlich bis zu 25% durch Wärmekraftkopplung gedeckt werden, entsprechend einer Primärenergieeinsparung von ca. 5%; für das Oberrheingebiet wäre damit eine Einsparung von 4-5 Mio tSKE verbunden und eine Verminderung der Abwärme um denselben Betrag. Legt man das Verhältnis der Steigerungsraten von Fernwärme zu Strom bei Reents zugrunde (vgl. Tab. 6), können im Untersuchungsgebiet mindestens 3 Mio tSKE Fernwärme erwartet werden. Es ist jedoch fraglich, ob das genannte Fernwärmepotential bis zum Jahr 2000 ausgeschöpft werden kann. Im Kataster wurde die Fernwärme allerdings nicht berücksichtigt, da die Verteilung noch weitere Untersuchungen erfordern würde.

Der für das Jahr 2000 erwartete Energieumsatz ist der Shell-Studie $\overline{[23]}$ zufolge wesentlich niedriger, als nach der DIW, EWI, RWI-Studie $\overline{[9]}$. Vergleicht man die Referenzfälle (Tab. 6) so ergeben sich für die einzelnen Wirtschaftssektoren folgende Faktoren:

Industrie	0,75
Haushalt und Kleinverbrauch	0,89
Verkehr	1,07
Umwandlungssektor	0,78

Wendet man diese Faktoren auf die Szenarien in Tab. 10 an, so ergibt sich folgendes Bild für den Energieeinsatz im Oberrheingebiet (der Energieeinsatz im Umwandlungssektor wurde aus Tab. 10 übernommen, da die Kraftwerksleistung genauer ermittelt wurde): Der Umwandlungssektor bekommt noch mehr Gewicht gegenüber den anderen Wirtschaftssektoren; der überproportionale Zuwachs des Gesamtenergieumsatzes gegenüber dem Bundesdurchschnitt wird noch deutlicher (Shell-Studie: 115% untere Variante, 136% obere Variante - vgl. Tab. 6). Die Werte für die einzelnen Wirtschaftssektoren sind in Tab. 11 zusammengestellt. Tab. 10 und 11 liefern eine grobe Abschätzung für den Bereich, in dem sich die Entwicklung des Energieeinsatzes und damit auch der Abwärme im Oberrheintal bis zum Jahr 2000 bewegen dürfte.

Tab. 11: Energieeinsatz im Oberrheintal im Jahr 2000 bezogen auf den Referenzfall der Shell-Studie [23].

	untere Variante		obere Variante	
	Mio tSKE	%	Mio tSKE	%
Umwandlungssektor (Verluste)	19,7	32	35	41
Industrie	14,3	24	18,8	22
Haushalt und Kleinverbrauch	18,3	30	21	25
Verkehr	8,5	14	9,7	11
Gesamtenergieumsatz (1973 = 100 %)	61 (127%)	100	84 (177%)	100
Wärmeinleitungen in Rhein, Main und Neckar	9,4	15	14,6	17

In Tabelle 12 werden die Abwärmeemissionen der Wirtschaftssektoren zu verschiedenen Zeitpunkten miteinander verglichen. In die Winterszenarien gehen dabei die Kraftwerke mit Vollast ein, in den Sommerszenarien fahren die Kernkraftwerke mit 60% ihrer Leistung, die fossilen Kraftwerke mit einer Auslastung wie im Jahre 1973 (im Mittel 55%). Die Kraftwerke geben im Winter mehr Wärme über Kühltürme ab, wegen der dann geringeren Wasserführung der Flüsse und tragen damit verstärkt zur latenten Komponente der Abwärme bei. Trotzdem wird der Anteil der latenten Komponente an der Gesamtabwärme kleiner durch den überragenden Beitrag des Sektors Haushalt und Kleinverbrauch, der Wärme vor allem über Konvektion emittiert. Der Beitrag der Raumheizung zur Abwärme wird an dem großen Sommer-Winter-Unterschied in diesem Sektor deutlich. Der Energiebedarf der Industrie ist im Winter höher als im Sommer durch die Raumheizung und die größere Aufwärmspanne zwischen Außen- und Prozeßtemperatur. Zudem ist nachts der Energieeinsatz geringer als tagsüber, da bei vielen Firmen nachts nicht gearbeitet wird. Im Winter nimmt der Straßenverkehr zwar im Mittel ab, an einem Wintermorgen ist das Verkehrsaufkommen jedoch höher als in einer Sommernacht; entsprechendes gilt für den Beitrag des Verkehrs zur Abwärme.

Beim Vergleich der Abwärmeleistung der Sektoren muß der ins Wasser eingeleitete Teil berücksichtigt werden, andernfalls wird vor allem der Beitrag der Kraftwerke zu niedrig eingeschätzt.

Tabelle 12: Vergleich von Jahresmittel-, Winter- und Sommerwert der Abwärmeintensität im Oberrheingebiet für die Jahre 1973 und 2000

	Einheit	Abwärmeabgabe an die Atmosphäre (einschl. latenter Abwärme)								
		1973			2000 untere Variante			2000 obere Variante		
		1	2	3	1	2	3 ¹⁾	1	2	3 ¹⁾
Einzelquellen (Umwandlungssektor und Industrie)	%	22	16	41	33	20	52 (55)	40	34	59 (63)
Umwandlungssektor: Raffinerien Kraftwerke (Fernwärmeabgabe)	%	7 3 (1)	4 4 (2)	17 5 (0)	4 17 (9)	3 9 (20)	8 (7) 26 (34) (0)	7 21 (1)	4 23 (3)	13 (11) 29 (39) (0)
Industrie: als Einzelquellen erfaßt sonstige Betriebe	%	12 18	8 14	20 25	12 15	8 13	17 (14) 16 (13)	12 14	7 12	17 (13) 16 (13)
Haushalt und Kleinverbrauch	%	41	56	10	34	49	7 (6)	29	41	6 (4)
Verkehr	%	15	11	15	13	10	10 (9)	11	8	8 (7)
Aus Rhein, Main und Neckar an die Atmosphäre abgegeben	%	5	3	9	5	3	15 (18)	6	3	11 (12)
Abwärmeintensität bezogen auf das gesamte Ober- rheintal	% Mio tSKE/a PJ/a GW W/m ²	100 47 1380 44 1,6	100 84 2470 78 2,8	100 19 550 17 0,6	100 64 1870 59 2,1	100 108 3170 100 3,7	100 34 (40) 1000 32 1,1	100 85 2490 79 2,9	100 146 4280 136 4,9	100 45 (54) 1320 42 1,5
% bezogen auf 1973-1		100	180	40	135	230	70	180	310	95
Aufteilung in latente Wärme Abwärmekomponenten: Konvektion in % Strahlung		14 69 17	11 70 19	21 65 13	22 62 15	18 64 17	37 (40) 53 (50) 10 (10)	29 58 13	25 60 15	42 (45) 50 (48) 8 (7)
Warmwasserbilanz: [Angaben in MW]										
Import durch den Rhein Rhein, Main, Neckar:		1800	2500	1200	1900	2600	1300	1900	2600	1300
Industrie Raffinerien } Kraftwerke } Wärmeeinleitungen		2980 70 2600 5650	3500 70 4500 8100	2000 70 1700 3800	2980 90 6400 9500	3700 90 6300 10100	2100 90 12800(22100) 15000	4460 180 10000 14600	5000 180 10600 15800	3500 180 14500(24900) 18200
Wärmeabgabe an die Atmosphäre		2100	2500	1600	3000	3300	4600(6000)	4500	4800	4700(6100)
Export durch den Rhein		5300	8100	3400	8400	9400	11700(19600)	12000	13600	13500(23800)

1) Die Werte in Klammern geben die Abwärme an, falls die Kernkraftwerke mit Vollast fahren.

1 $\hat{=}$ Jahresmittelwert; die Wärmeeinleitung der Kraftwerke in Gewässer bezieht sich auf ein Jahr mit durchschnittlicher Wasserführung der Flüsse. Es wurde bei Kraftwerken mit ca.60% Auslastung gerechnet.

2 $\hat{=}$ Wintermorgen - Zeit hoher Wärmeabgabe; niedriger Wasserstand der Flüsse; Kraftwerke mit variabler Kühlung geben die Abwärme über Kühlturm an die Luft ab. Es wurde bei allen Kraftwerken mit Vollast gerechnet.

3 $\hat{=}$ Sommernacht - Zeit niedriger Wärmeabgabe; hoher Wasserstand der Flüsse; Kraftwerke mit variabler Kühlung geben die Abwärme an das Wasser ab. Es wurde mit ca.60% Auslastung (bzw. Vollast) bei Kraftwerken gerechnet.

Bei der Nutzung der Gewässer zu Kühlzwecken ist der Wasserverlust zusammen mit der Emission von latenter Wärme zu berücksichtigen. Durch Kühltürme und die Abgabe von anthropogener Wärme aus dem Wasser an die Atmosphäre werden dem Rhein im Untersuchungsgebiet Wassermengen bis zu $8 \text{ m}^3/\text{sec}$ im Sommer und bis zu $11 \text{ m}^3/\text{sec}$ im Winter durch Verdunstung entzogen. Bei einem mittleren Abfluß von $1200 \text{ m}^3/\text{sec}$ verliert der Rhein dadurch weniger als 1% seiner Wasserführung.

Im Jahre 1973 wurden im Oberrheingebiet ca. 3,7 Mio tSKE Strom erzeugt und ca. 4,2 Mio tSKE verbraucht. Es mußte also Strom, vor allem aus dem Ruhrgebiet, importiert werden. Geht man von einer mittleren Auslastung der Kernkraftwerke von 80% aus und berücksichtigt zusätzlich 28% (20%) Reservehaltung, so werden im Jahre 2000 im Untersuchungsgebiet mit der in Tab. 9 aufgeführten installierten elektrischen Nettoleistung 15,6 (16,7) Mio tSKE Strom erzeugt. Dabei sind die fossilen Kraftwerke mit einer mittleren Auslastung von 50% einschließlich Reservehaltung berücksichtigt. Diese Kraftwerke werden zum Teil dem Mittel- und Spitzenlastbereich zuzuordnen sein. Der Wirkungsgrad für die Stromerzeugung wurde zu 34% angesetzt. Auch die Erzeugung aus Wasser- und Industriekraftwerken ist mit 1,1 Mio tSKE in diesen Werten enthalten. Bei der unteren Variante ist mit einer Stromproduktion von 13,3 (14,1) Mio tSKE zu rechnen. Hier wurden für Wasser- und Industriekraftwerke 1,8 Mio tSKE angesetzt. Demgegenüber steht ein Strombedarf im betrachteten Gebiet von 16,2 Mio tSKE bei der oberen und 14,6 Mio tSKE bei der unteren Variante (Tab. 13). Bei der oberen Variante könnte demnach der Strombedarf gerade gedeckt werden. Ein um 5% erhöhter Wirkungsgrad würde allerdings die Stromproduktion um 15% erhöhen.

Der Strombedarf wurde sektorenweise, bei Einzelquellen sogar branchenweise aus dem jeweiligen Energieumsatz bestimmt mit Faktoren (Elektrizität/ Gesamtenergie) aus der Fichtner - Studie [20]. Extrapoliert man die VDEW - Studie [34] von 1990 auf 2000 mit einem Strombedarfszuwachs von 2% pa (untere Variante) bzw. 3% pa (obere Variante), so erhält man als Bedarf für Haushalt und Kleinverbrauch nur 5,2 bzw. 6,2 Mio tSKE und damit als Gesamtstrombedarf für das Oberrheingebiet 12,7 bzw. 14,3 Mio tSKE. Mit diesen Werten würde der Strombedarf auf 300-340% ansteigen, mit den Werten aus Tab. 13 sogar auf 350-390%. Nach der DIW, EWI, RWI-Studie [9] sollte der Stromverbrauch im Mittel für die Bundesrepublik nur auf 270-305% ansteigen (vgl. Tab. 6); die Werte aus Tab. 13 dürften damit eine obere Grenze darstellen.

Tab. 13: Strombedarf für das Oberrheintal in den Jahren 1973 und 2000

	1973		2000			
	Strom Mio tSKE	Anteil am Energieumsatz des Sektors %	untere Variante		obere Variante	
			Strom Mio tSKE	Anteil am Energieumsatz des Sektors %	Strom Mio tSKE	Anteil am Energieums. des Sektors %
Industrie: als Einzelquellen erfaßt Sonstige Betriebe	}1,5	}10	3,9 2,9	38 33	4,2 2,8	30 25
Raffinerien	0,2	6	0,4	15	0,8	14
Haushalt und Kleinverbrauch	2,2	12	7,1	35	8,1	35
Verkehr	0,2	3	0,3	4	0,3	3
Gesamt (ohne KW)	4,2	10	14,6	29	16,2	25

Geht man von den in Tab. 11 berechneten Werten und damit einem geringeren Zuwachs des Energieumsatzes aus, so erhält man mit den Prozentzahlen aus Tab. 13 einen Strombedarf von 13,6 Mio tSKE bei der oberen und 12,1 Mio tSKE bei der unteren Variante. Der Strombedarf würde nur auf 290-320% ansteigen. Demnach könnte im Jahr 2000 Strom aus dem Oberrheingebiet exportiert werden. Nach einer Studie des DIW [33] importiert das Land Baden-Württemberg im Jahr 1990 ca. 1,4 Mio tSKE Strom. Die Stromlieferungen könnten demnach teilweise aus dem Oberrheingebiet kommen.

In Abb. 18 bis 21 sind noch einmal die beiden Szenarien für das Abwärmekataster im Jahre 2000 dargestellt. Man sieht, daß die Konzentration der Wärmeemissionen auf Ballungszentren weiter zugenommen hat. Große Wärmemengen außerhalb der Ballungszentren werden vor allem durch die Kernkraftwerke entlang des Rheins emittiert. In den 3-D-Bildern (Abb. 20,21) - dort sind Intensitäten am besten vergleichbar - treten alle anderen Wärmequellen gegenüber den großen Punktemittenten in den Hintergrund, während in den 2-D-Abbildungen die Bedeutung der Flächenquellen deutlicher wird.

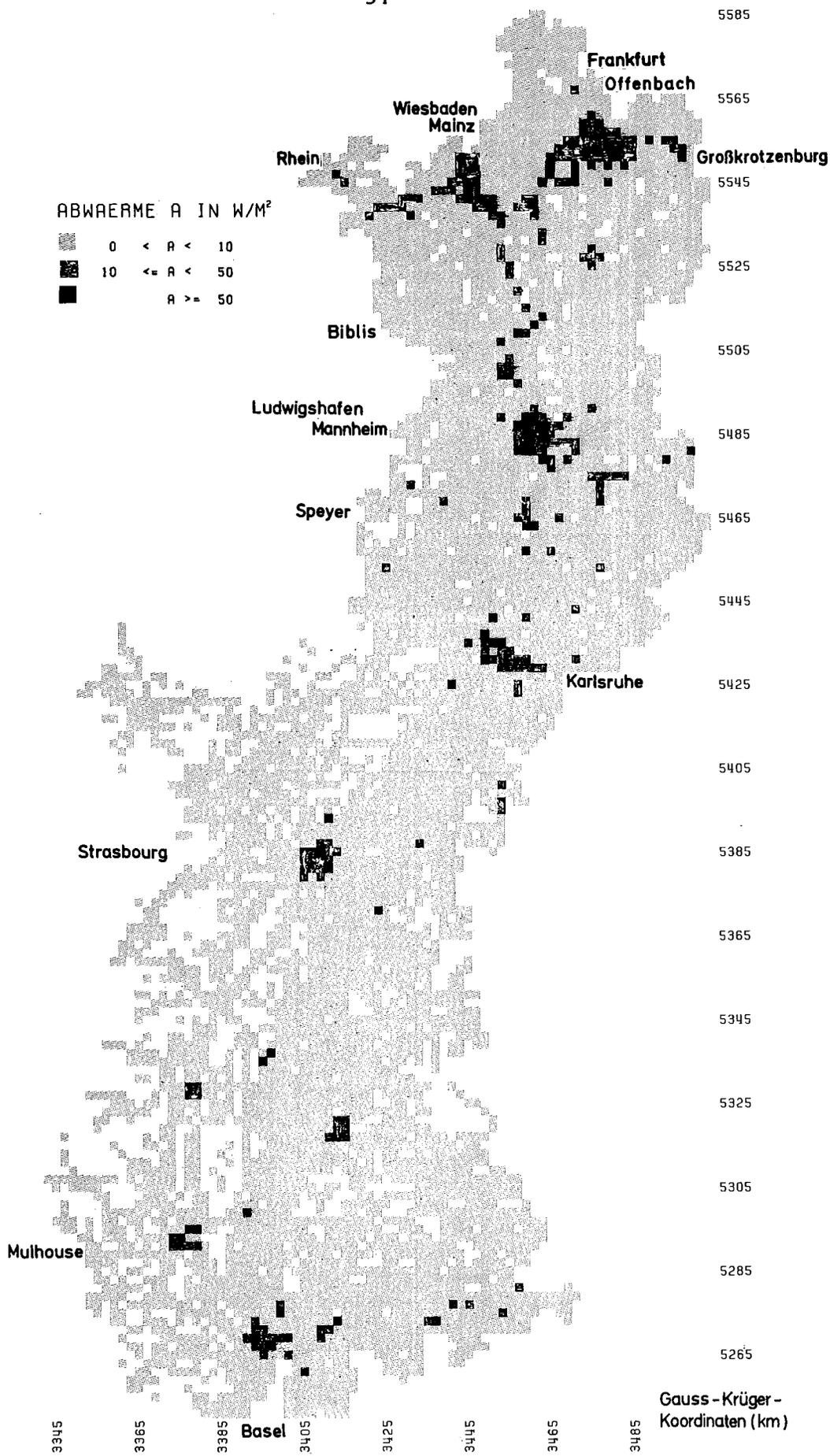


Abb. 18 Abwärmekataster für das Oberrheingebiet 2000 mit Einzelquellen (großen Emittenten aus dem Umwandlungssektor und der Industrie) - Jahresmittelwerte
Untere Variante

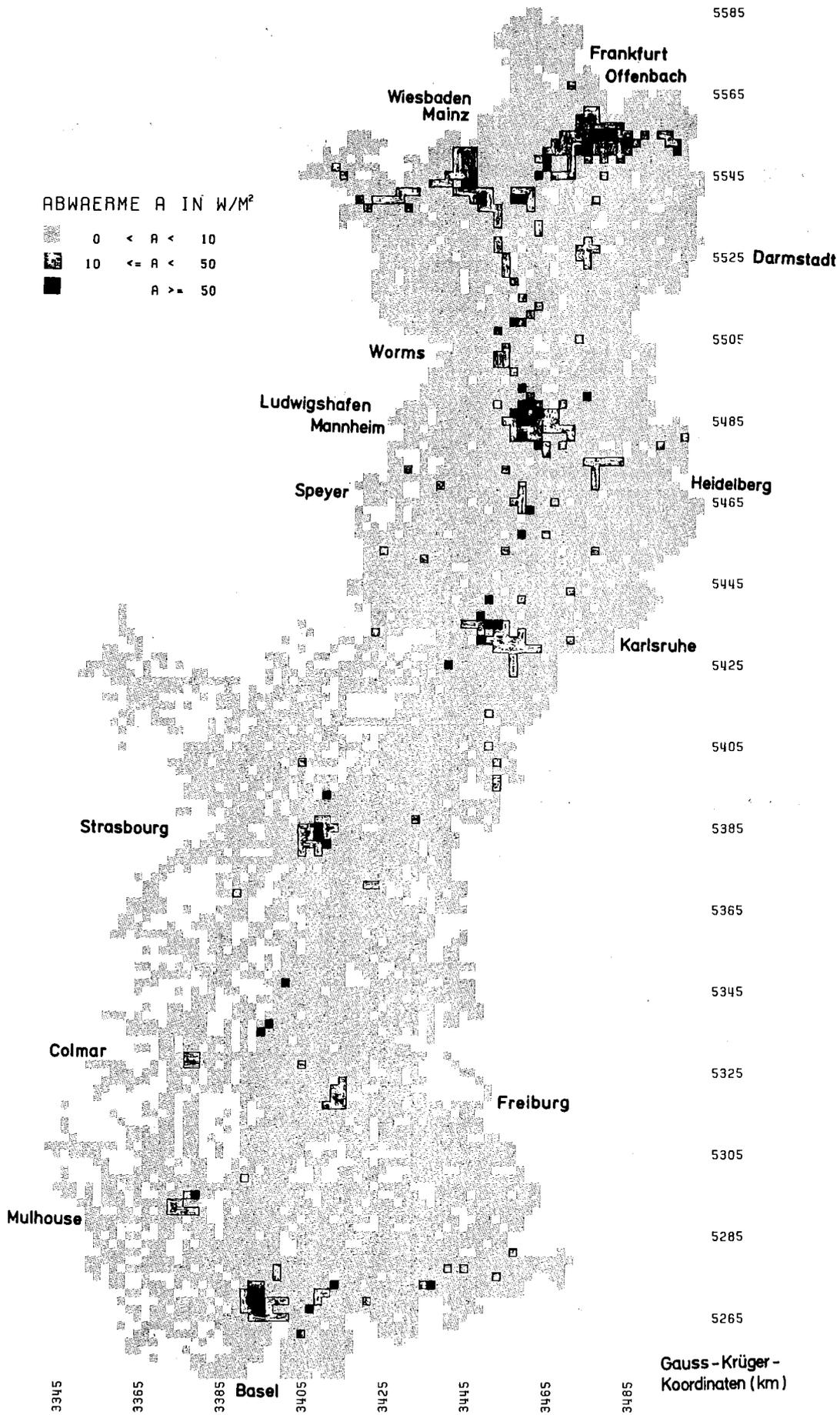


Abb. 19 Abwärmekataster für das Oberrheingebiet 2000 mit Einzelquellen (großen Emittenten aus dem Umwandlungssektor und der Industrie) - Jahresmittelwerte
Obere Variante

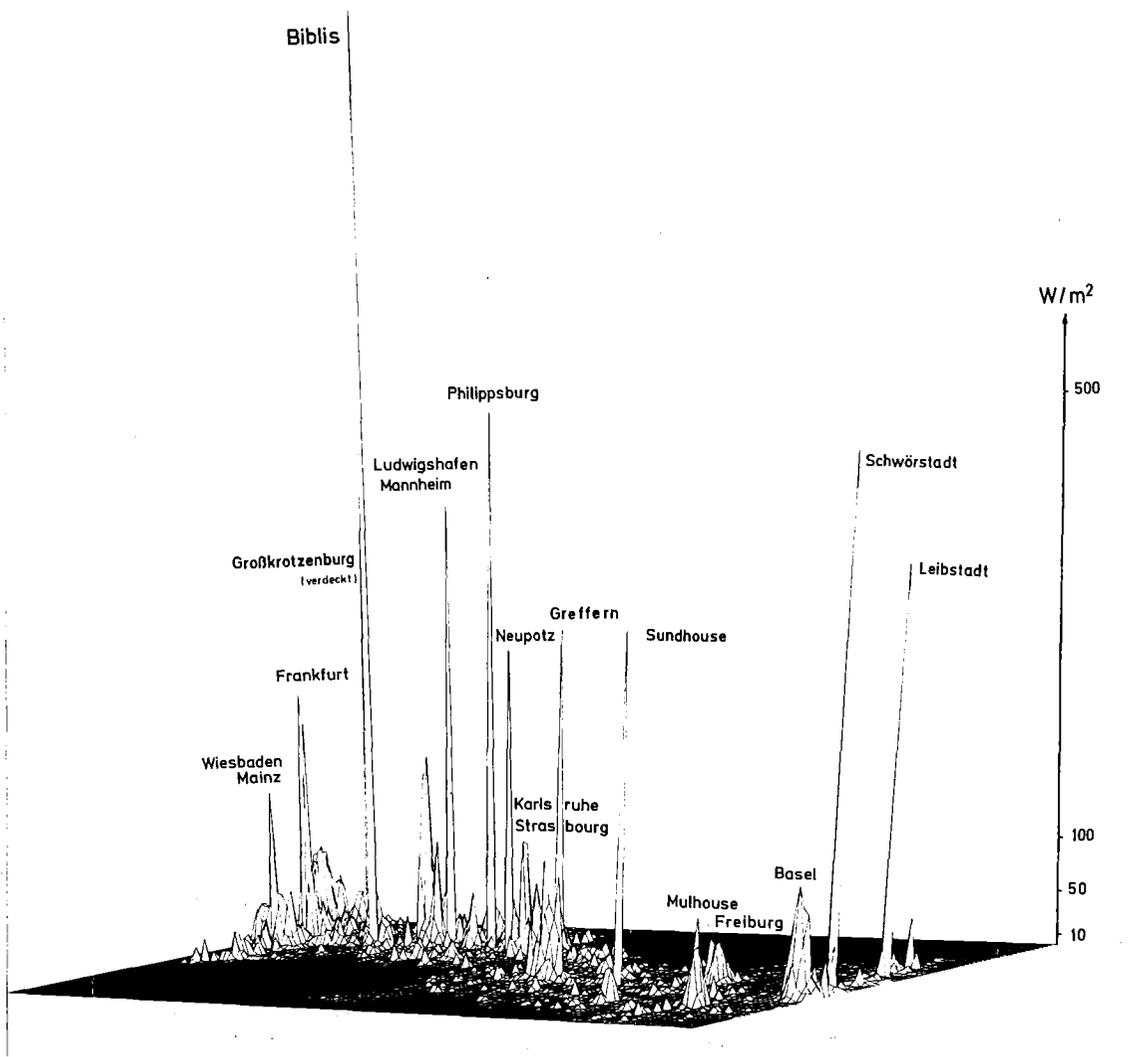


Abb. 20 Abwärmekataster für das Oberrheingebiet 2000 mit Einzelquellen (großen Emittenten aus dem Umwandlungssektor und der Industrie) - Maximalwerte (Januar 7⁰⁰ - 11⁰⁰) Untere Variante

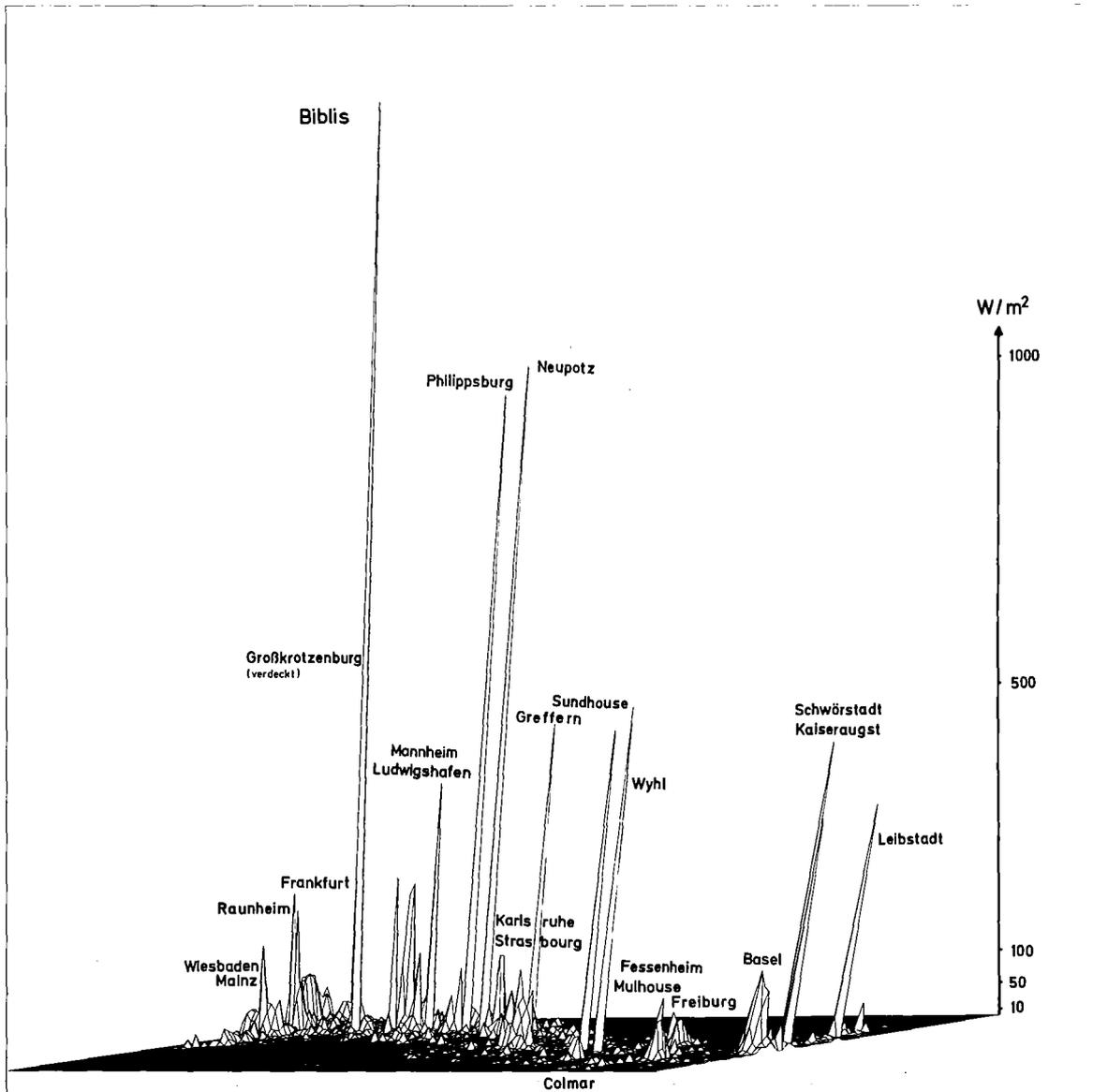


Abb. 21 Abwärmekataster für das Oberrheingebiet 2000 mit Einzelquellen (großen Emittenten aus dem Umwandlungssektor und der Industrie) - Maximalwerte (Januar 7° - 11°) Obere Variante

Im Kataster für das Jahr 2000 gehen von 40% der Fläche des Oberrheingebiets Abwärmeemissionen aus. Dieser Anteil erhöht sich gegenüber 1973 durch die Art der Fortschreibung nur um 0,5%-Punkte. Im Szenario mit hohem (niedrigem) Energieeinsatz werden im Jahre 2000 von 0,3% (0,2%) der Fläche des Untersuchungsgebietes (Rasterquadrate mit Emissionen ≥ 250000 tSKE/a) ca. 40% (32%) der Abwärme in die Atmosphäre abgegeben mit einer über die betrachteten Rasterquadrate und über das Jahr gemittelten Intensität von 220 (200) W/m^2 . Die Raster mit einer Abwärme über 100000 tSKE/a (= 22,3 W/m^2) stellen zusammen etwa 1% (0,8%) der Fläche und liefern 57% (49%) der Wärmeemissionen mit einer mittleren Intensität von 86 (77) W/m^2 . Vom größten Teil der Emissionsfläche - 19% der Gesamtfläche - wird Wärme mit einer Intensität zwischen 0,2 und 2,2 W/m^2 (1000 bis 10000 tSKE/a und Rasterquadrat) abgegeben. Dieser Teil der Fläche erhöht sich gegenüber dem Jahr 1973 nur um 1%-Punkt.

Die untere Variante der Fortschreibung des Katasters liefert für Sommer und Winter die folgende Verteilung der Abwärme:

Im Winter gehen von 0,5% der Rasterquadrate (Abwärme ≥ 250000 tSKE/a) 38% der Wärmeemissionen aus mit einer mittleren Intensität von 156 W/m^2 und von 1,6% der Rasterquadrate (Abwärme ≥ 100000 tSKE/a) 57% der Wärmeemissionen mit einer mittleren Intensität von 74 W/m^2 . Die Fläche mit hohen Emissionen ist zwar gegenüber dem Jahresmittel größer geworden, aber die mittlere Intensität in den betrachteten Bereichen ($100000 \leq A \leq 250000$ bzw. $A \geq 250000$ tSKE/a) hat abgenommen, da mehr Raster an der unteren Grenze (100000 tSKE/a bzw. 250000 tSKE/a) dazukamen. Die meisten Rasterquadrate (18%) emittieren zwar weiterhin im Bereich zwischen 0,2 und 2,2 W/m^2 , das Maximum ist jedoch etwas zu höheren Werten verschoben. Im Sommer sind die entsprechenden Werte: von 0,1% der Fläche werden 43% der Wärme abgegeben mit einer mittleren Intensität von 235 W/m^2 , von 0,3% der Fläche 52% der Abwärme mit im Mittel 122 W/m^2 . Von den meisten Rasterquadraten (16%) wird nun im Bereich zwischen 0,02 und 0,2 W/m^2 emittiert.

Im Jahre 1973 waren die Unterschiede zwischen Sommer und Winter größer als oben beschrieben. Durch den starken Kraftwerkszubau nehmen sie ab und sind für die obere Variante der Fortschreibung geringer als für die untere Variante.

Die genannten Zahlen beziehen sich auf die Verhältnisse, wie sie für das Kataster angenommen wurden. Dasselbe gilt auch für die Werte in Tab. 14. Der Anteil der Kraftwerke liegt daher etwas höher als für Jahresmittel und Sommer in Tabelle 10 und 12 angegeben.

Tab. 14: Verteilung der Abwärme auf die Ballungszentren und Stadtgebiete im Oberrheintal für die Jahre 1973 und 2000.

Gebiet	Abwärmeemission (Jahresmittelwerte)						Fläche km ²
	1973		im Jahr 2000				
	Mio tSKE/a	W/m ²	untere Variante		obere Variante		
		Mio tSKE/a	W/m ²	Mio tSKE/a	W/m ²		
Raum Frankfurt (zwischen Hattersheim, Hanau, Bad Homburg und Langen)	8,2	12	11	16	13	19	640
Kerngebiet Frankfurt, Offenbach	4,9	23	6,1	28	7,0	32	200
Gebiet um Rüsselsheim, Raunheim	1,8	28	1,9	29	2,0	31	60
Raum Wiesbaden, Mainz	3,2	11	3,6	13	4,1	15	260
Darmstadt	0,85	7	0,9	7	1,1	9	120
Worms	0,6	5	0,75	6	0,8	6	120
Raum Ludwigshafen, Mannheim (zwischen Frankenthal, Wein- heim, Ludwigshafen und Heidelberg)	6,6	11	8,8	15	11,2	19	560
Kerngebiet Ludwigshafen, Mannheim	5,1	24	7,0	33	9,3	43	200
Speyer	0,7	11	1,1	17	1,2	19	60
Raum Karlsruhe (Wörth, Karlsruhe, Ettlingen)	2,8	11	3,5	13	3,7	14	240
Straßburg, Kehl	2,1	15	2,4	17	2,8	19	130
Colmar	0,2	4	0,3	6	0,3	6	44
Freiburg	0,65	11	0,7	12	0,9	14	56
Mulhouse	0,9	15	1,0	17	1,2	20	56
Raum Basel (Weil, Basel, Lörrach)	2,5	9	4,5	17	6,0	22	250
Kerngebiet Basel	2,0	16	2,4	19	3,1	24	120
Gesamt	31	9	40	12	46	14	3100
Zum Vergleich: Gesamtabwärme, mittlere Abwärme- intensität und Fläche des Oberrheingebietes $\hat{=}$ 100%	65%	560%	60%	550%	50%	450%	11%

Die Wärmeemissionen aus den Ballungszentren sind in Tab. 14 zusammengestellt. Sie emittieren zusammen ca. 65 % der Gesamtabwärme des Untersuchungsgebietes im Jahre 1973, im Jahr 2000 sind es über 50% bei der oberen Variante und über 60% bei der unteren Variante. Das größte Ballungsgebiet ist der Raum um Frankfurt, dort findet man jedoch keineswegs auch die größte Abwärmeintensität. An der Verteilung der Abwärme auf Ballungsgebiete und andere Teilräume des Oberrheintales wird sich durch unterschiedliche Sparmaßnahmen entsprechend den verschiedenen Studien (Tab.6) kaum etwas ändern, es sei denn man geht von der Versorgung durch große zentrale Kraftwerke in stärkerem Maße zu einer mehr dezentralen Versorgung durch kleinere Heizkraftwerke über. Ein Vergleich mit Tab.9 zeigt, daß die Wärmeemissionen des Kernkraftwerks Biblis (Blöcke A, B und C) ähnlich groß sind wie die Wärmeemissionen der Kerngebiete von Frankfurt / Offenbach oder Ludwigshafen/ Mannheim.

Momentaufnahmen des Katasters im Sommer und Winter des Jahres 2000 sind in den Abbildungen 22-25 für beide Szenarien dargestellt. Deutlich wird der Unterschied zwischen Sommer und Winter vor allem bei den Flächenquellen, im wesentlichen bedingt durch die Wärmeemissionen des Sektors Haushalt und Kleinverbrauch. Geht man davon aus, daß die Gebäude in Stadtzentren weiterhin durch Hochbauten ersetzt werden, so muß man für das Jahr 2000 mit einer höheren Abwärmeintensität als 1973 rechnen (vgl. Kapitel 4.4, Seite 33). Da man erwarten kann, daß Gebäude in Zukunft besser isoliert werden, dürfte die Abwärmeintensität gegenüber 1973 im Winter abnehmen, im Sommer zunehmen. Für die Fortschreibung wurden aber die Gänge des Jahres 1973 benutzt, außerdem wurde weder eine Veränderung der Bauhöhe, noch eine Ausdehnung der Städte berücksichtigt, sondern die ermittelte Wärmeenergie in der in Kapitel 4.2 beschriebenen Weise über die Stadtgebiete verteilt. Daher zeigt das Kataster für das Jahr 2000 eine Zunahme der Abwärmeintensität in Stadtzentren sowohl im Winter als auch im Sommer.

Das Band des Rheins ist nördlich von Biblis auf den Abbildungen 22 bis 25 recht gut zu sehen. Im Sommer wird der Rhein stärker belastet als im Winter, da Kraftwerke mit variabler Kühlung bei höherer Wasserführung mehr Wärme an das Wasser abgeben können, ohne die Aufwärmspanne von $\Delta t = 3$ Grad zu überschreiten. Im Mittel liegt die anthropogen verursachte Wärmeemission aus dem Rhein unter 40 W/m^2 im Jahr 1973 bzw. unter 80 W/m^2 im Jahr 2000.

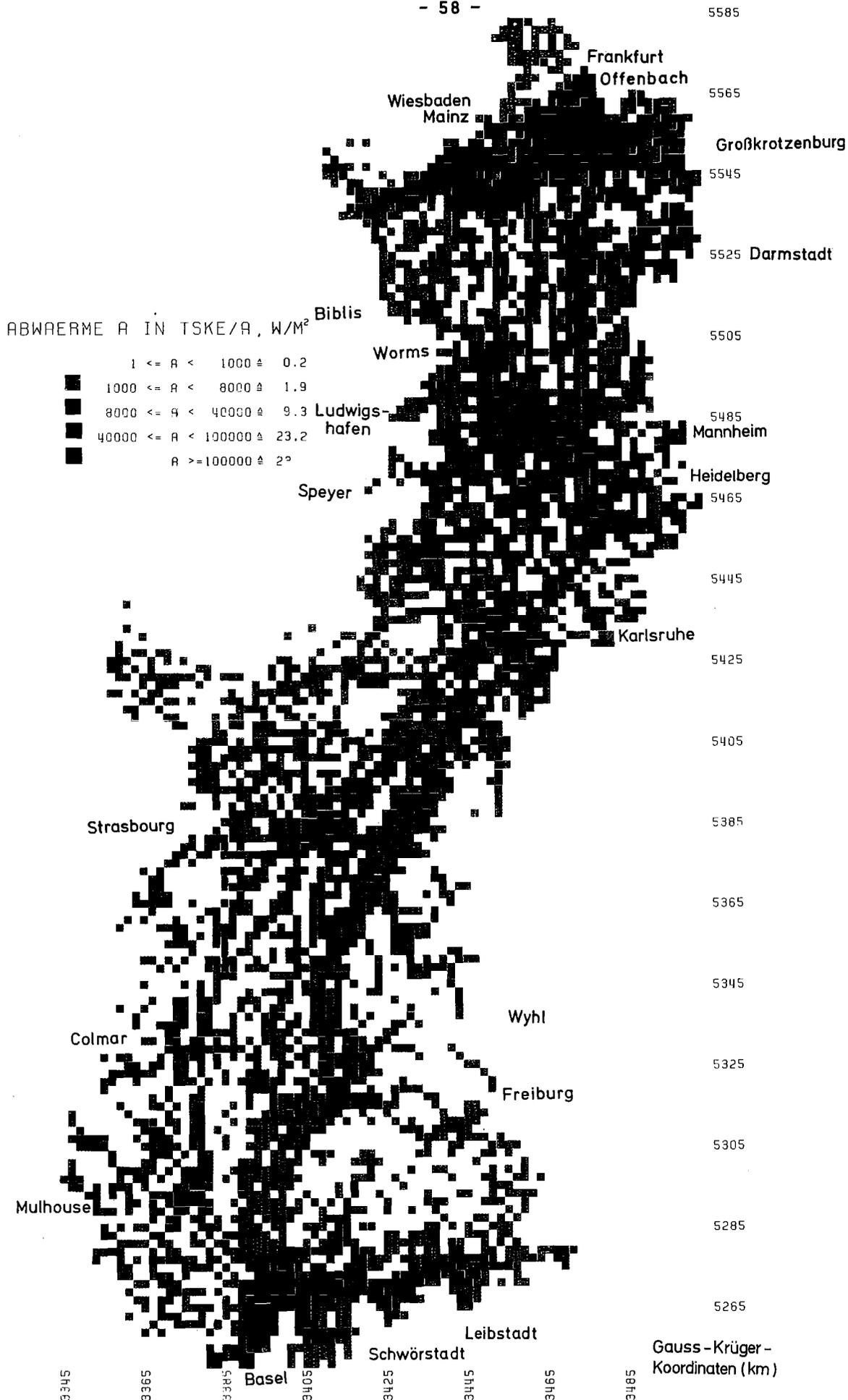


Abb. 22 Abwärmekataster für das Oberrheingebiet 2000 mit Einzelquellen (großen Emittenten aus dem Umwandlungssektor und der Industrie) - Maximalwerte (Januar 7° - 11°)
Untere Variante,

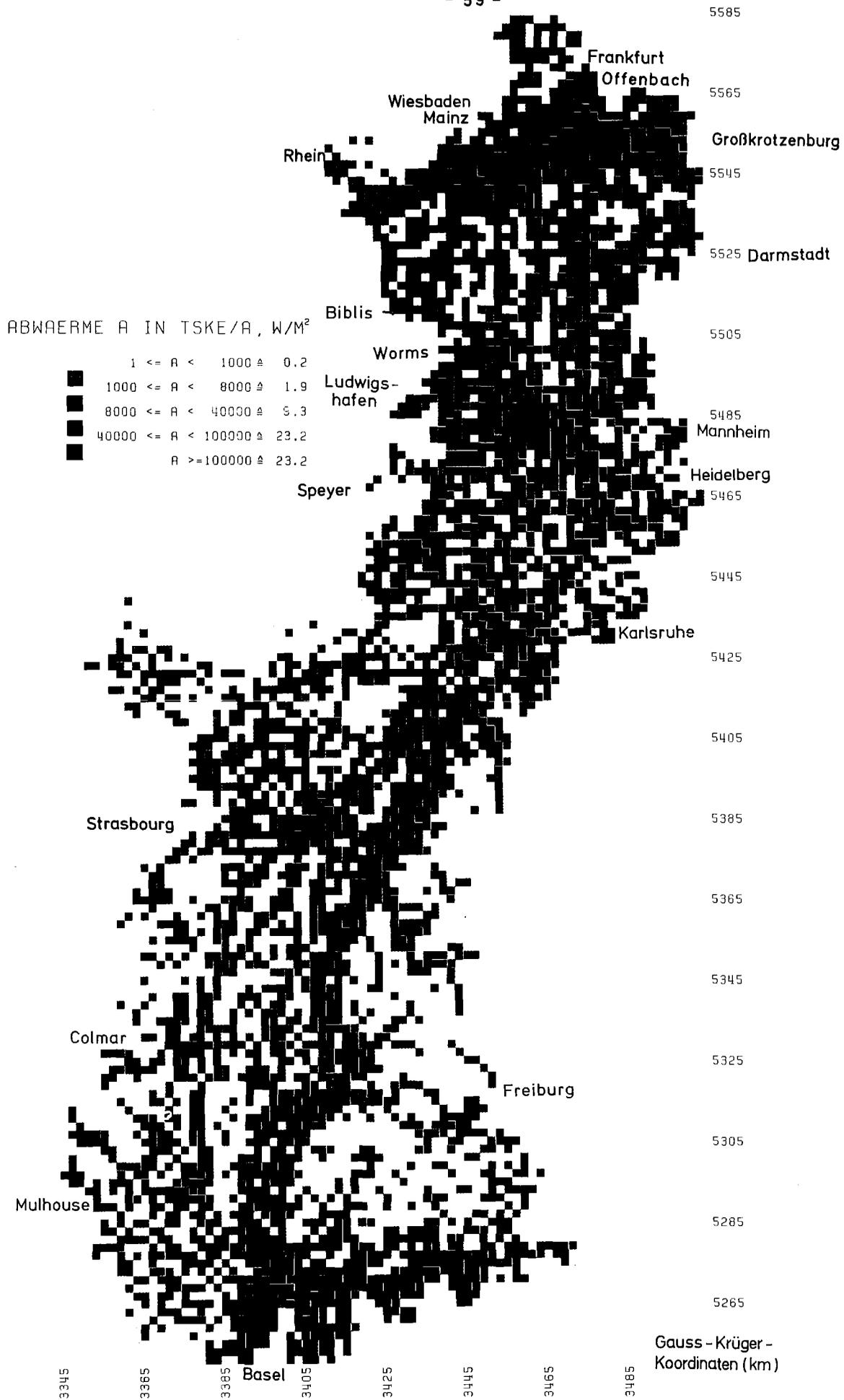


Abb. 23 Abwärmekataster für das Oberrheingebiet 2000 mit Einzelquellen (großen Emittenten aus dem Umwandlungssektor und der Industrie) - Maximalwerte (Januar 7⁰⁰ - 11⁰⁰)
Obere Variante

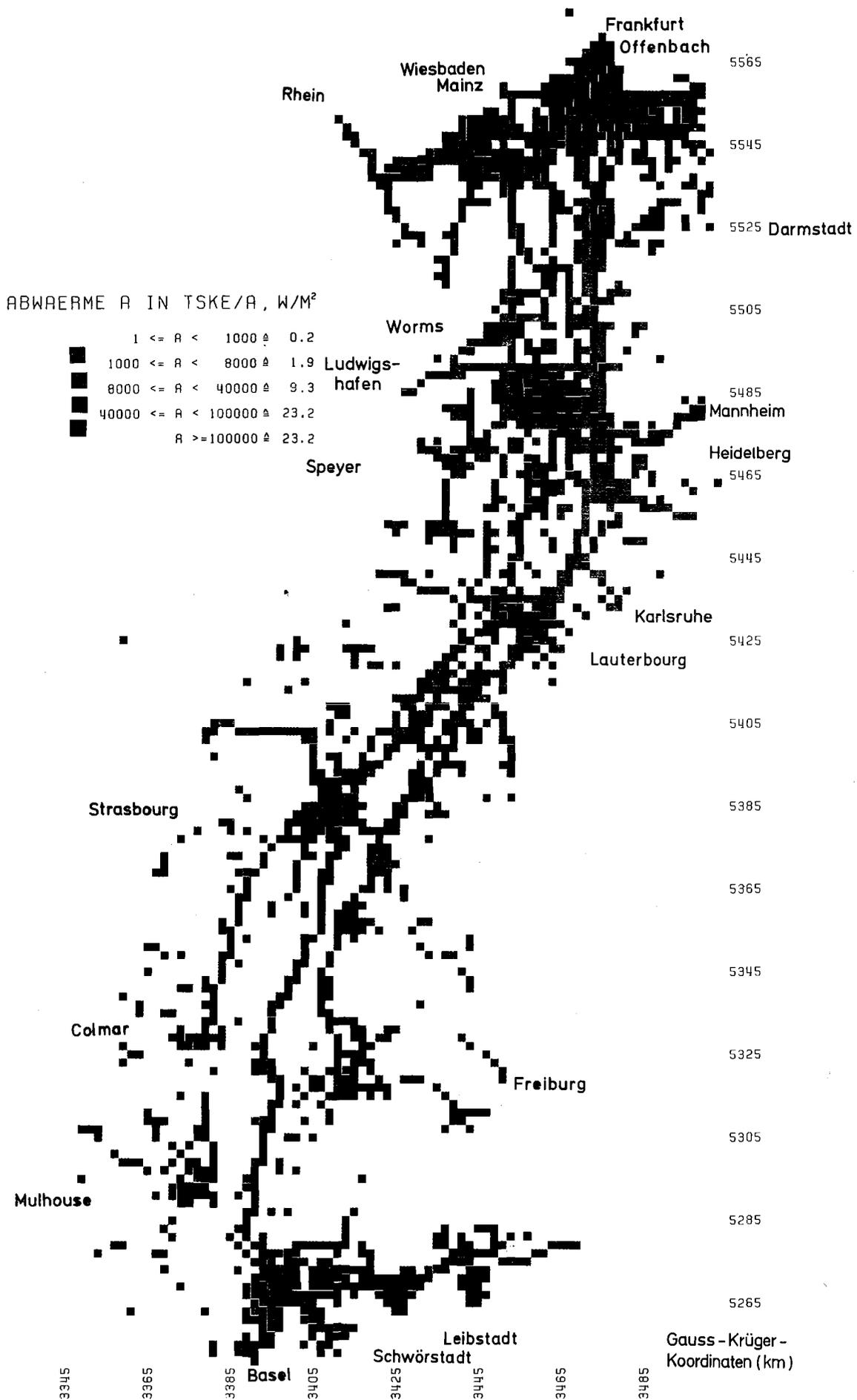


Abb. 24 Abwärmekataster für das Oberrheingebiet 2000 mit Einzelquellen (großen Emittenten aus dem Umwandlungssektor und der Industrie) - Minimalwerte (Sommer 1° - 5°)
Untere Variante

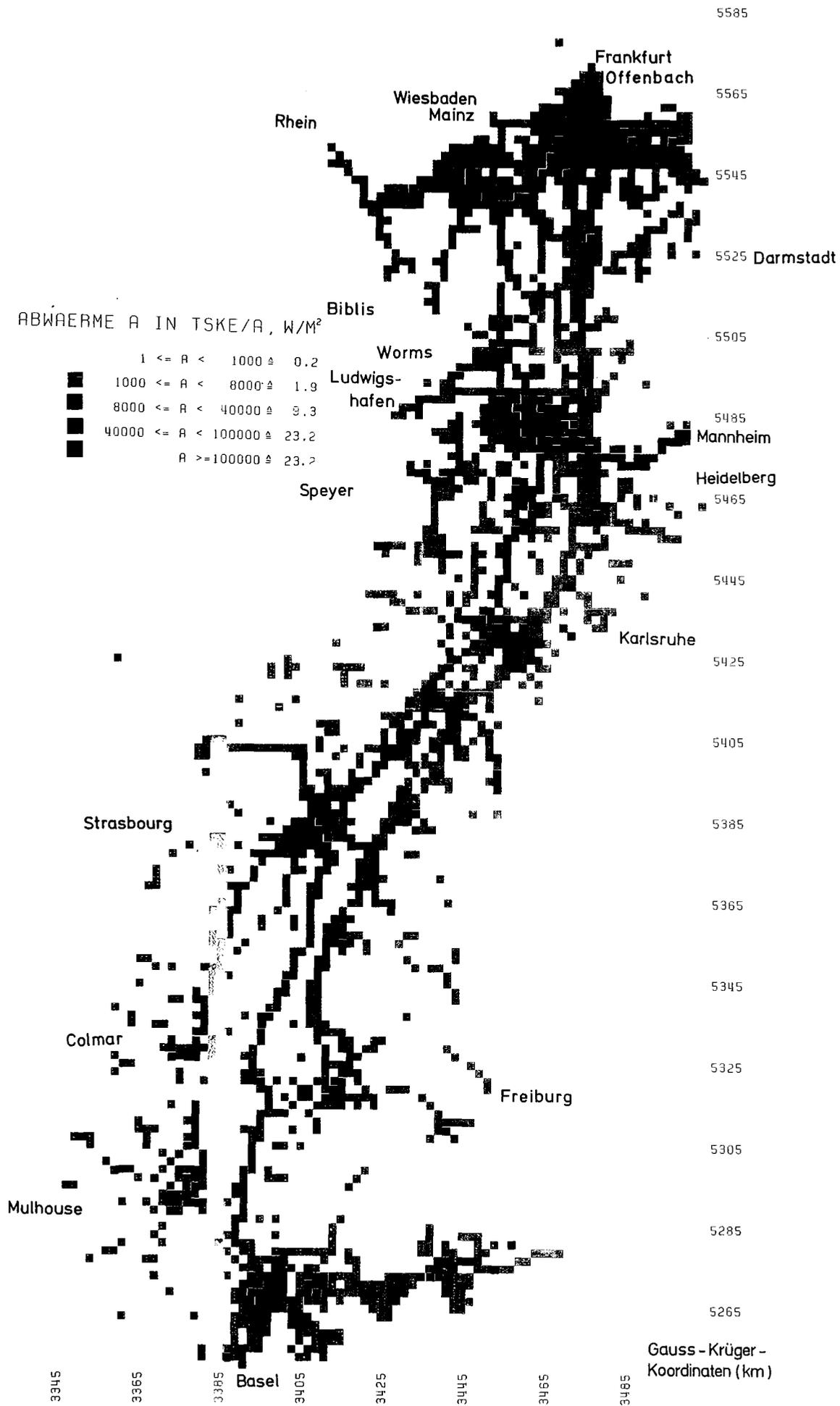


Abb. 25 Abwärmekataster für das Oberrheingebiet 2000 mit Einzelquellen (großen Emittenten aus dem Umwandlungssektor und der Industrie) - Minimalwerte (Sommer 1° - 5°)
Obere Variante

Das ergibt über die vom Rhein durchflossenen Rasterquadrate gemittelt, weniger als 5 bzw. 11 W/m^2 , so daß sich das Band des Rheins in den Abbildungen nur in den Rasterquadraten aus dem Untergrund heraushebt, in denen noch andere Wärmequellen dazukommen. Bei den verschiedenen Szenarien wurde weder Kühlregie betrachtet noch Rücksicht auf eine Aufwärmspanne von $\Delta t = 3$ Grad genommen. Deshalb entsprechen die für manche Flußabschnitte im Kataster eingetragenen Wärmeemissionen Aufwärmspannen von mehr als 3 Grad. Entsprechend den untersuchten Szenarien können im Jahr 2000 nördlich von Biblis anthropogen verursachte Wärmeemissionen aus dem Rhein von ca. 100 W/m^2 auftreten (über die durchflossenen Rasterquadrate verteilt ergeben sich weniger als 15 W/m^2); in den meisten Rastern entlang des Rheins befinden sich in diesem Gebiet allerdings noch weitere Emittenten.

6. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Es wurden Untersuchungen durchgeführt und Methoden entwickelt, die es erlauben aus relevanten Strukturdaten auf den lokalen Energieverbrauch in einem Raster von 2 x 2 km² zu schließen oder den auf Landes-, Kreis- oder Gemeindeebene gegebenen Energieumsatz verschiedener Wirtschaftssektoren auf Rasterebene herunterzurechnen und die in Form von Strahlung, Konvektion und latenter Wärme sowie die mit dem Abwasser emittierte Wärme zu bestimmen. Relevante Strukturdaten sind z.B. Einwohnerzahl, Zahl der Wohnungen, Zahl der Industriebetriebe verschiedener Branchen, Verkehrsmengen, Straßenlängen und bebaute Flächen. Diese Methoden sind auf die gesamte Bundesrepublik sowie Nachbarstaaten übertragbar. Damit wurden die Voraussetzungen geschaffen, um Abwärmekataster für diese Gebiete zu erstellen.

Das Abwärmekataster für das Oberrheingebiet, d.h. die räumliche und zeitliche Verteilung der anthropogenen Abwärme auf einem Raster von 2x2 km², wurde aus den Energieumsatz- und Strukturdaten für das Jahr 1973 ermittelt. Da der Energieumsatz des Jahres 1973 in der Bundesrepublik erst im Jahr 1978 übertroffen wurde, kann das vorliegende Kataster noch als relativ aktuell angesehen werden. Auf der Basis von zwei Szenarien, eines mit starker und eines mit geringer Zunahme des Energieeinsatzes, wurde das Kataster bis zum Jahr 2000 fortgeschrieben. Im Jahr 1973 betrug der Energieumsatz im Untersuchungsgebiet rund 48 Mio tSKE, für das Jahr 2000 werden aufgrund der Fortschreibung zwischen 60 und 90 Mio tSKE erwartet. Das entspricht einer Steigerung um 30 bis 90%, die vor allem dem Umwandlungssektor zuzuschreiben ist.

Es zeigt sich, daß der größte Teil der Abwärme in Ballungsgebieten abgegeben wird, zumeist mit Leistungen zwischen 2 und 40 W/m². Vom größten Ballungsgebiet um Frankfurt werden etwa 17% der gesamten anthropogenen Abwärme des Oberrheintals im Jahr 1973 emittiert, der Raum um Mannheim-Ludwigshafen trägt 14% zur Gesamtabwärme bei. Im Jahr 2000 wird der relative Beitrag der Ballungsgebiete zur gesamten Abwärme etwas geringer, da die Kernkraftwerke in größerer Entfernung von Städten gebaut werden. Im Jahr 1973 liefert der Sektor Haushalt und Kleinverbrauch noch den größten Beitrag zu Energieumsatz (ca. 38%) und Abwärme, im Jahr 2000 übernimmt der Umwandlungssektor die Spitze (29-37%), wenn man die in Gewässer eingeleitete Wärme mitberücksichtigt. Durch die Kraftwerke entlang des Rheins werden im Jahr 2000 große Wärmemengen annähernd punktförmig emittiert. Der Anteil der Großemittenten am Energieumsatz steigt von 31% im Jahr 1973 auf 45-53% im Jahr 2000.

Eine einfache Abschätzung (S.49) zeigte, daß sich die durch anthropogenen Einfluß (Kühltürme etc.) zusätzlich aus Gewässern verdunsteten Wassermengen bei mittlerem Wasserstand kaum bemerkbar machen. Auswirkungen bei extremem Niedrigwasser müßten genauer untersucht werden.

Im Jahre 1973 betrug die mittlere Abwärmeemission im Oberrheintal ca. 1,5% vom Jahresmittel der Globalstrahlung. Bei dieser Größenordnung der Belastung ist regional kaum mit Klimaänderungen zu rechnen. Auch die im Jahre 2000 erreichte thermische Belastung des Oberrheingebietes dürfte kaum so gravierende Folgen haben, daß sich eine darüberhinausgehende Steigerung des Energieumsatzes verbietet. Eine solche Grenzbelastung könnte größenordnungsmäßig abgeschätzt werden durch Multiplikation der Katasterwerte des Jahres 2000 (obere Variante) mit einem Faktor (z.B. 10) und anschließender Untersuchung der Auswirkungen mit dem im Rahmen des Abwärmeprojekts entwickelten Simulationsmodell. Dieses Extrapolationsverfahren würde die Errichtung von Kraftwerksparks im Oberrheintal implizieren. Man kann Kraftwerksparks jedoch von der Betrachtung ausschließen, indem man die Abwärme der entsprechenden Einzelquellen (die Daten liegen getrennt vor) nicht mit dem Faktor multipliziert.

Macht man bestimmte Annahmen über das Wachstum des Energieumsatzes im Oberrheintal im 21. Jahrhundert, so kann der Zeitraum bis zum Erreichen der genannten Grenzbelastung ermittelt werden. Dabei ist zu bedenken, daß eine Grenze durch andere anthropogene Faktoren wie z.B. Luftschadstoffe oder den kombinierten Einfluß aller anthropogenen Veränderungen viel eher erreicht wird als durch Abwärme allein.

Wie die Untersuchung ergab, werden sich die Flächenquellen noch weiter ausdehnen. Außerdem wird die Intensität der von ihnen emittierten Abwärme weiter ansteigen. Wie sich schon im Jahre 1973 zeigte, ist die Abwärmeemission in Ballungsgebieten besonders im Winter nicht mehr gegenüber der Sonneneinstrahlung vernachlässigbar (Kapitel 4.3). Mit fühlbaren Auswirkungen der Wärmeabgabe ist daher in Ballungsgebieten zu rechnen. Deshalb sollte ein besonderes Schwergewicht darauf gelegt werden, die Auswirkungen der Abwärmeemission auf das Klima in Städten des Oberrheintals genauer zu untersuchen. Das Stadtklima wird jedoch nicht nur durch die Abwärme beeinflusst; z.B. tragen auch Abgase und Aerosole zu einer Veränderung der Lufttemperatur bei, da sie den Strahlungshaushalt in

der Atmosphäre verändern. Da nur der kombinierte Effekt aller anthropogenen Einflüsse gemessen werden kann, müssen alle relevanten Faktoren (vgl. Kapitel 4.3) in die Untersuchung einbezogen werden.

Auch von Maßnahmen, die geeignet erscheinen, schwerwiegende Folgen zu verhindern oder bereits sichtbare Auswirkungen wieder einzudämmen, sind neben der Abwärme andere Faktoren betroffen. Energiesparmaßnahmen, z.B., tragen sowohl zur Minderung der Abwärme- als auch der Schadstoffemissionen bei. Möglichkeiten zur Energieeinsparung bestehen in allen Wirtschaftssektoren: im Umwandlungssektor vor allem durch verstärkte Wärmekraftkopplung, in der Industrie durch Veränderung der Prozesse und durch Abwärmenutzung (z.B. zur Stromerzeugung), im Sektor Haushalt und Kleinverbrauch besonders durch bessere Isolation der Gebäude und in geringerem Maße im Sektor Verkehr, indem man die Motoren verändert, die Höchstgeschwindigkeit begrenzt, den Schienenverkehr attraktiver macht u.a.. Solche Maßnahmen sind nicht nur im Hinblick auf den Umweltschutz von Interesse, sondern auch bezüglich der schrumpfenden Vorräte an fossilen Energieträgern.

Durch Einsetzen oder Weglassen von Punkt- und Flächenquellen im Abwärmekataster sind aus den Ergebnissen der Modellrechnungen Hinweise für Standort- und Regionalplanung bezüglich der Abwärmeemissionen zu erwarten. Einige Informationen dazu sollte auch ein Vergleich der Rechenergebnisse für die Jahre 1973 und 2000 liefern. Wie bereits in der Einleitung erwähnt, kann das vorliegende Kataster Hinweise zur Untersuchung und Planung der Energieversorgung der Region geben, auch im Hinblick auf eine Fernwärmeversorgung.

Sowohl für das Jahr 2000 als auch für die genannte Grenzbelastung sollten die Ergebnisse der Modellrechnung zu einer über meteorologische Veränderungen hinausgehenden Folgenabschätzung benutzt werden. Dabei wäre eine Untersuchung der Auswirkungen der Abwärme auf Wasserhaushalt und Ökosystem - speziell anhand empfindlicher Kulturen - von Interesse. In Städten sollte vor allem die Wirkung von Temperaturerhöhung und Änderung der Feuchte (Schwüle) auf den Menschen ermittelt werden. Allerdings kann auch bei einer solchen Folgenabschätzung nur unter ganz bestimmten Aspekten die Abwärme allein betrachtet werden; im allgemeinen wird man die Auswirkungen der gesamten anthropogenen Veränderungen untersuchen müssen.

Quellenverzeichnis

- [1] Torrance, K.E. and Shum, J.S.W., Time-varying energy consumption as a factor in urban climate, Atmospheric Environment 10 (1977), S. 329-337
- [2] Viskanta, R., Bergstrom, R.W. and Johnson, K.O., Effects of Air Pollution on Thermal Structure and Dispersion in an Urban Planetary Boundary Layer, Beiträge zur Physik der Atmosphäre 50 (1977), S. 419-440
- [3] Flohn, H., Großräumige Beeinflussung des Klimas durch menschlichen Eingriff? - Historischer Überblick und künftige Aussichten in: Vorträge des Internationalen Kongresses "Energie und Umwelt" vom 8.2.-10.2.1977 in Düsseldorf (ENVITEC 77), Vulkan-Verlag, Essen
- [4] Bartholomäi, G., Kinzelbach, W., Methoden zur Erstellung eines Abwärmekatasters und ihre Anwendung auf die Kreise Rastatt, Baden-Baden und Karlsruhe-Stadt, Bericht des Kernforschungszentrums Karlsruhe, KfK 2647 UF, 1978
- [5] Cammerer, J.S., Wärme- und Kälteschutz in der Industrie, Springer-Verlag, Berlin, 1951
- [6] Bouillon, H., Ebersbach, K.F., Frister, R., Schaefer, H., Technologien zur Einsparung von Energie - im Endverbrauchssektor Industrie (Teil 2), Studie im Auftrag des BMFT, Forschungsstelle für Energiewirtschaft, München (1976), Schriftenreihe 77-05
- [7] Fortak, H., Über die thermische Belastung der Atmosphäre insbesondere durch Kraftwerksparks, in: "Ableitung von Kühlturmwärme aus Kraftwerken", Hrsg.: Min. f. Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf 1977, S. 9
- [8] Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland, Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, Frankfurt, Verlag VWEW, 1974
- [9] Liebrucks, M., Schmidt, H.W., Schmitt, D. et al., DIW, EWI, RWI, Die künftige Entwicklung der Energienachfrage in der Bundesrepublik Deutschland und deren Deckung - Perspektiven bis zum Jahr 2000, Verlag Glückauf GmbH, Essen 1978

- [10] Energieprogramm der Bundesregierung, Zweite Fortschreibung vom 14.12.1977, Hrsg. Dez. 1977 vom Bundesministerium für Wirtschaft, Referat Presse und Information, Postfach, 53 Bonn-Duisdorf
- [11] Eidgenössische Kommission Meteorologie des schweizerischen Gebietes Hochrhein/Oberrhein, Projekt CLIMOD, Bern 1977
- [12] Kinzelbach, W., Numerische Untersuchung über den optimalen Einsatz variabler Kühlsysteme einer Kraftwerkskette am Beispiel Oberrhein, Mitteilungen des Instituts für Wasserbau, Heft 44, Universität Stuttgart, 1978
- [13] Dilger, H., Nester, K., Vogt, S., Statistische Auswertungen des Wind-, Temperatur- und Feuchteprofils sowie der Strahlung und der Windrichtungsfluktuation am Kernforschungszentrum Karlsruhe, Bericht des Kernforschungszentrums Karlsruhe, KfK 2164, 1975
- [14] Berz, G., Untersuchungen zum Wärmehaushalt der Erdoberfläche und zum bodennahen atmosphärischen Transport, Münchner Universitätschriften, wissenschaftliche Mitteilungen des Meteorologischen Instituts, Nr. 16, 1969
- [15] Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, Fachserie D, Reihe 1/I, Beschäftigung und Umsatz, Brennstoff und Energieversorgung, monatlich, Mainz 1973
- [16] Statistisches Landesamt Baden Württemberg, Die Industrie, Monatlicher Industriebericht, 1973
Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz, Die Industrie, Monatlicher Industriebericht, 1973
Hessisches Statistisches Landesamt, Die Industrie, Monatlicher Industriebericht, 1973
- [17] Bundesministerium für Verkehr, Abt. Straßenbau, Verkehr auf den Bundesautobahnen 1973, STB4-20.40.60/4024 H 73
- [18] Ergebnisse der Dauerzählstellen in Baden-Württemberg 1973, überlassen vom Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Verkehr, Baden-Württemberg, Stuttgart

- [19] Hessisches Landesamt für Straßenbau, Verkehrsuntersuchung
Rhein Main, Band 4, Wiesbaden 1975
Tagesgänge des Straßenverkehrs im Stadtgebiet Karlsruhe,
überlassen von Stadtplanungsamt Karlsruhe, Abt.Verkehr; 1976
- [20] Wahl, B., Brügel, P., Gahrman, A., Maier, W., Köster, M.,
Tienken, B., Fichtner beratende Ingenieure
Technologien zur Einsparung von Energie - Kurzfassung und
Erläuterung des technischen Teils, Stuttgart, 1977
Hrsg.: Bundesministerium für Forschung und Technologie, For-
schungsbericht T 77-36
- [21] Reents, H.
Die Entwicklung des sektoralen Nutz- und Endenergiebedarfs in
der Bundesrepublik Deutschland
Berichte der Kernforschungsanlage Jülich, Nr. 1452 (1977)
- [22] Pestel, E., Bauerschmidt, R., Gottwald, M., Hübl, L.,
Möller, P., Oest, W., Ströbele, W.,
Das Deutschlandmodell, Deutsche Verlagsanstalt, Stuttgart 1978
- [23] Trendwende im Energiemarkt
Szenarien für die Bundesrepublik bis zum Jahr 2000,
Deutsche Shell AG, Hamburg, August 1979
- [24] Kiener, E.,
Grundzüge der schweizerischen Energiepolitik,
Atomwirtschaft 1 (1979), S. 33
- [25] Neu- und Erweiterungsbauten von Kraftwerken in der Bundes-
republik Deutschland 1977-1982,
Atomwirtschaft 11, 1978, S. 547
- [26] Schnug, A.,
Elektrizitätswirtschaft, Brennstoff-Wärme-Kraft 31 (1979),
Nr. 4, S. 138

- [27] Gesetzblatt für Baden-Württemberg, E 3235 A, Nr. 17, Fachlicher Entwicklungsplan "Kraftwerksstandorte" des Landes Baden-Württemberg vom 6.7. 1976
- [28] Neue Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland 1978, Atomwirtschaft, April 1978, S. 164
- [29] Brune, D., Coenen, R., Conrad, F., Klein, S., Paschen, H., Scheer, H.,
Konsequenzen des großtechnischen Einsatzes der Kernenergie in der Bundesrepublik Deutschland, Teil III: Wirtschaftliche Fragen des großtechnischen Einsatzes der Kernenergie in der Bundesrepublik Deutschland, Kernforschungszentrum Karlsruhe, KfK 2703, ASA/ZE-12/78, 1979
- [30] Moraw, G. und Szeless, A.,
Verfügbarkeit der Kernkraftwerke der Welt im Jahre 1977, Atomwirtschaft, April 1978, S. 178
- [31] Müller-Michaelis, W.,
Mineralölwirtschaft, Brennstoff-Wärme-Kraft 30 (1978), Nr. 4, S. 140
- [32] Neuffer, H.,
Heizkraftwirtschaft-Fernwärmeversorgung, BWK 30 (1978), Nr. 4, S. 156
- [33] Labahn, K.-D.,
Die künftigen Entwicklungstendenzen der Energiewirtschaft in Baden-Württemberg bis zum Jahr 1990, Gutachten im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft, Mittelstand und Verkehr Baden-Württemberg, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Berlin 1979
- [34] Überlegungen zur künftigen Entwicklung des Stromverbrauchs privater Haushalte in der Bundesrepublik Deutschland bis 1990,
Hrsg. von der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke-VDEW e.V., Stresemann-Allee 23, Frankfurt/Main, 1977

Danksagung

Die Autoren danken Hildegard Augenstein und Elke Krümmüller für die umfangreichen Dokumentations- und Programmierarbeiten sowie den Sachbearbeitern bei Kraftwerken, Raffinerien, Industriebetrieben, statistischen Landesämtern und Ministerien, die durch die Bereitstellung von Daten und durch Diskussionen nicht unwesentlich zu den Ergebnissen beigetragen haben.

A N H A N G

Auf DIN A 3 vergrößerte schwarz-weiß
Reproduktionen der Katasterfarbdrucke

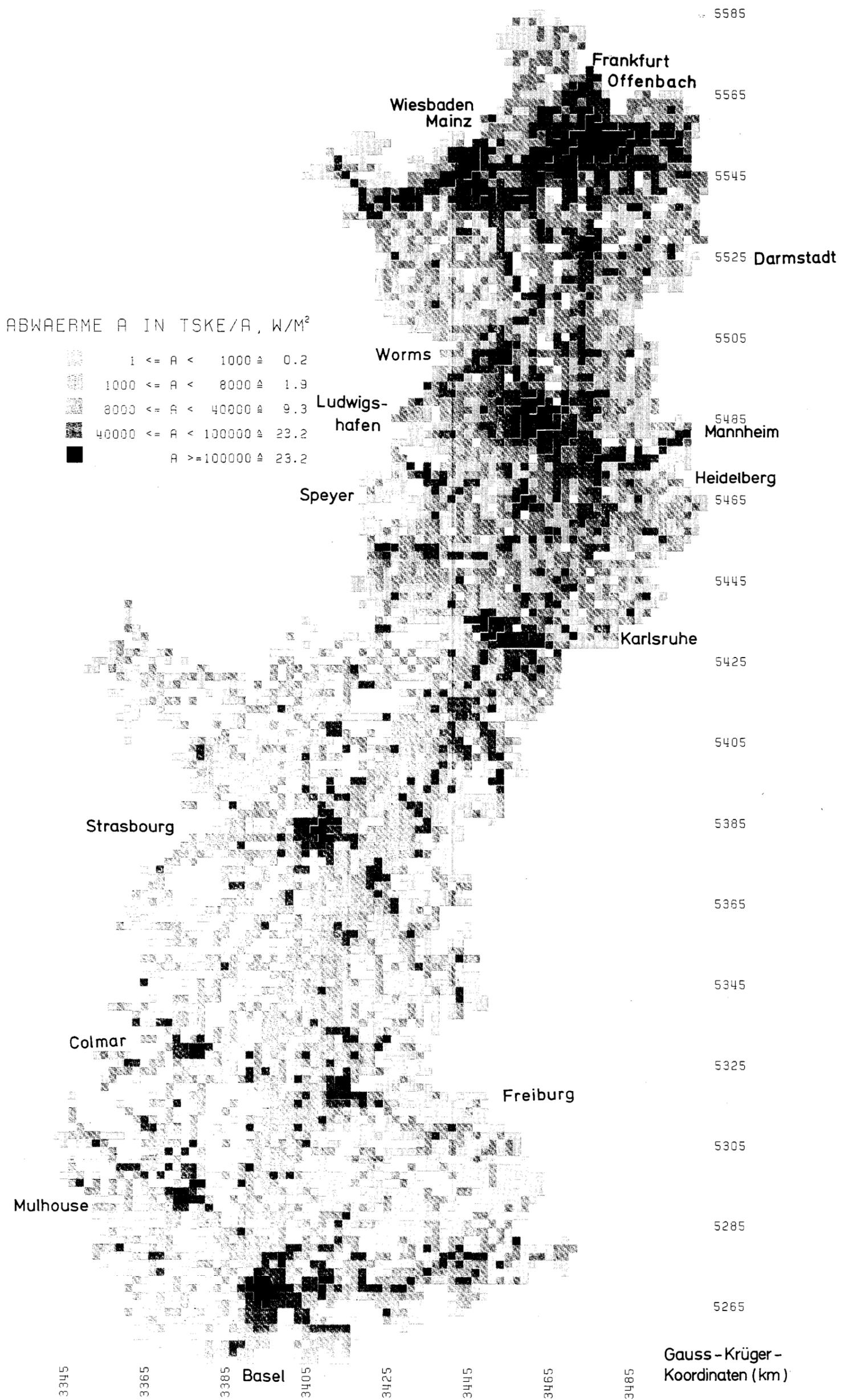


Abb. 8 Abwärmekataster für das Oberrheingebiet 1973 mit Einzelquellen (großen Emittenten aus dem Umwandlungssektor und der Industrie) - Jahresmittelwerte

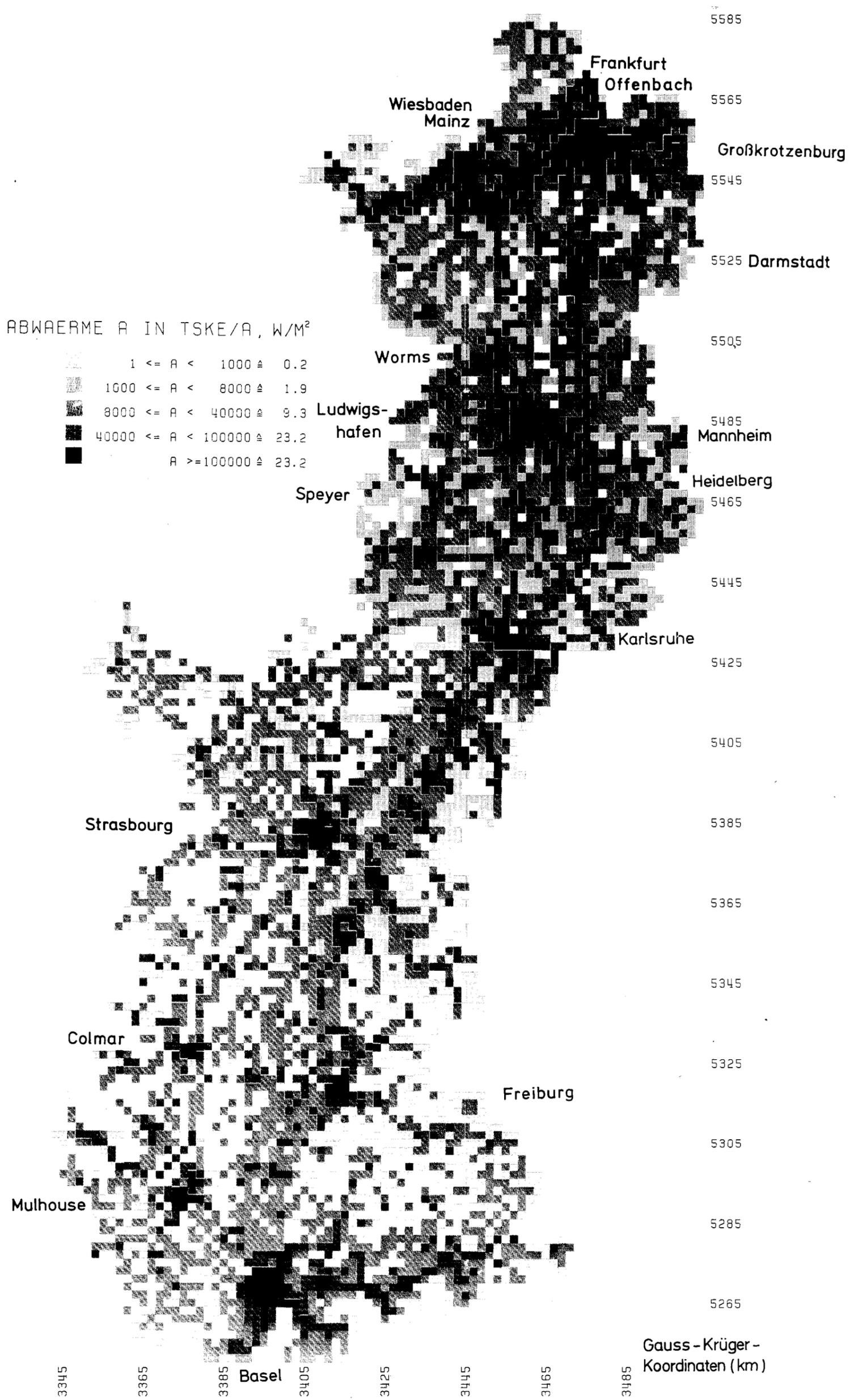


Abb. 14 Abwärmekataster für das Oberrheingebiet 1973 mit Einzelquellen (großen Emittenten aus dem Umwandlungssektor und der Industrie) - Maximalwerte (Januar 7⁰⁰ - 11⁰⁰)

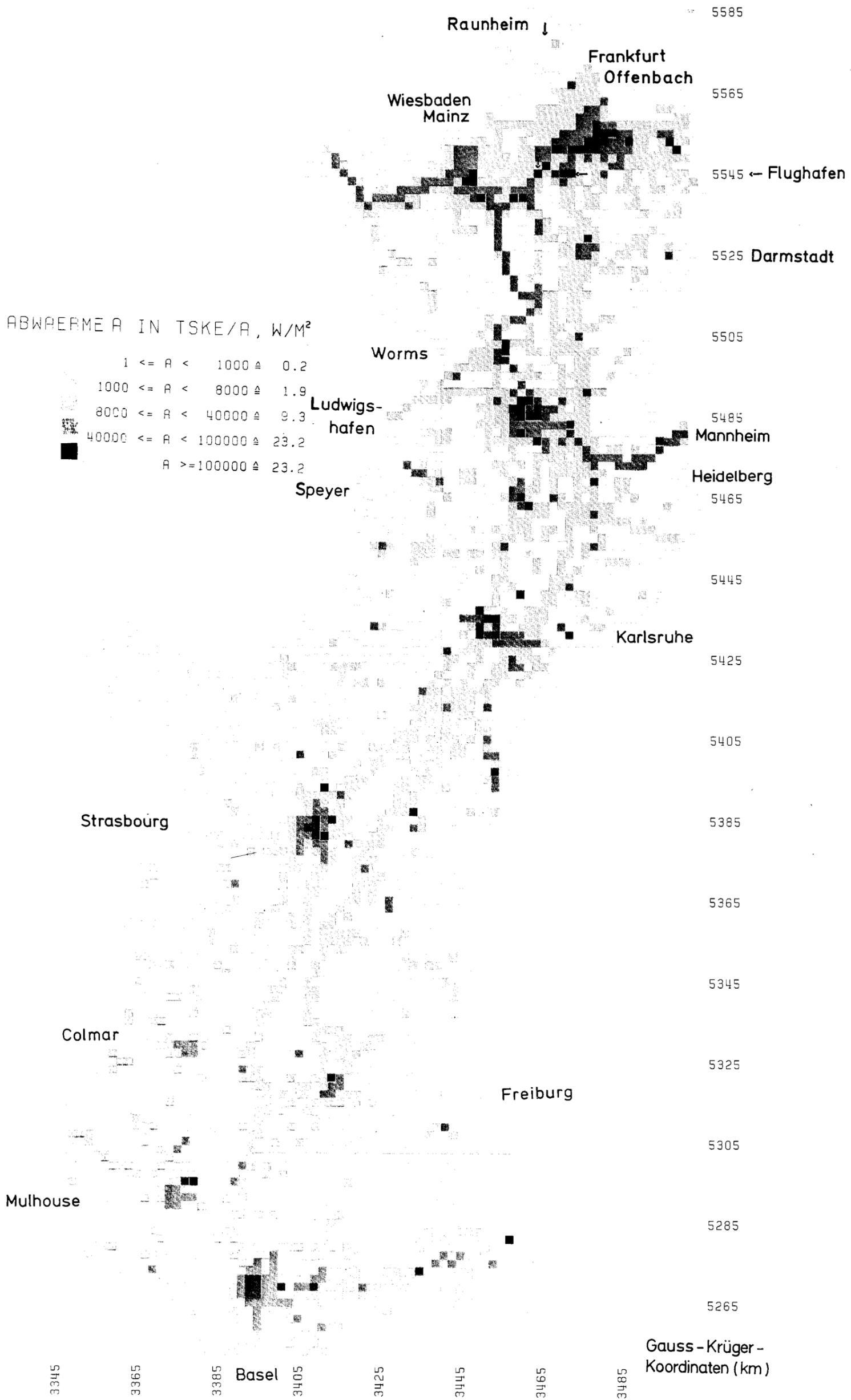


Abb. 15 Abwärmekataster für das Oberrheingebiet 1973 mit Einzelquellen (großen Emittenten aus dem Umwandlungssektor und der Industrie) - Minimalwerte (Sommer 1° - 5°)

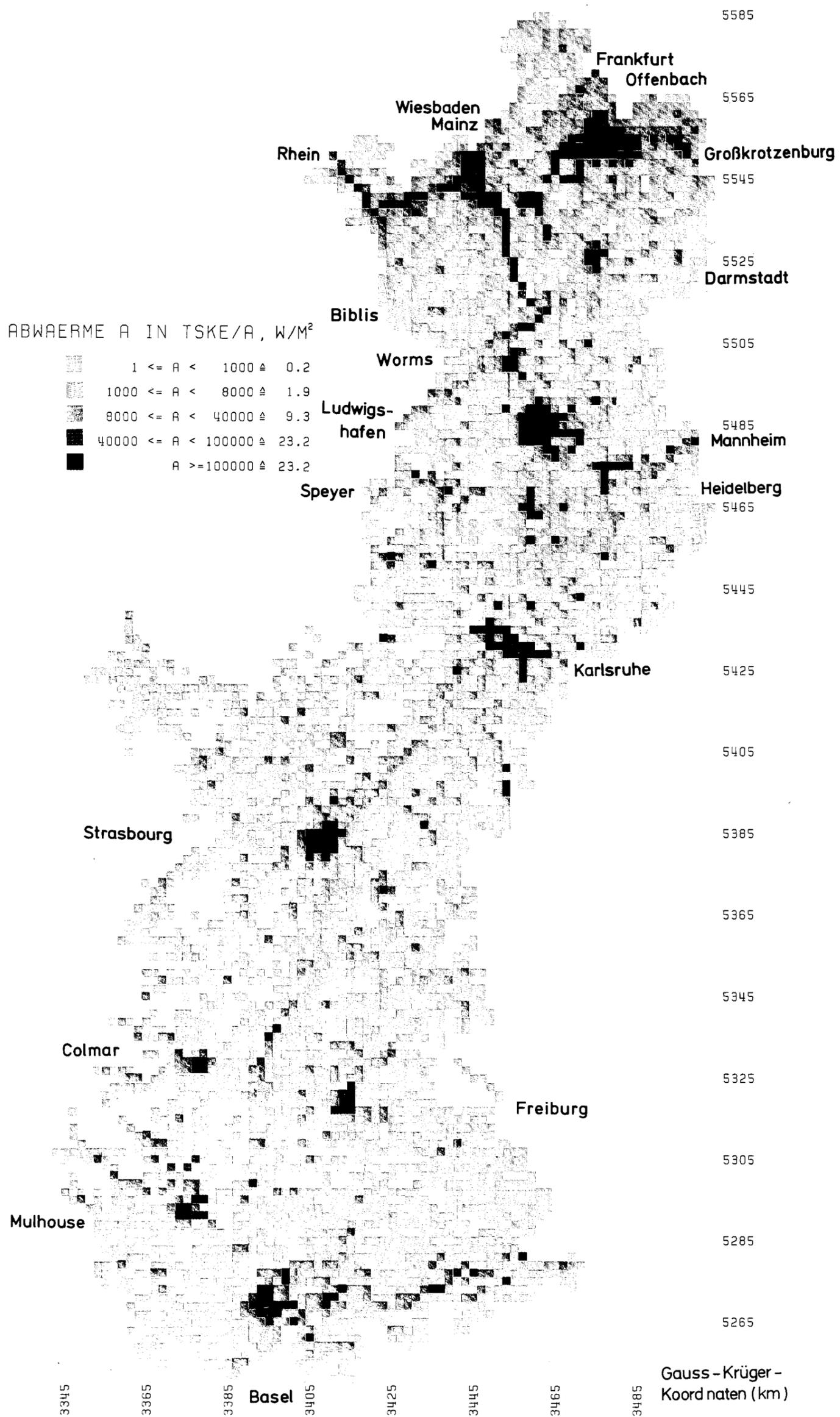


Abb. 16 Abwärmekataster für das Oberrheingebiet 2000 mit Einzelquellen (großen Emittenten aus dem Umwandlungssektor und der Industrie) - Jahresmittelwerte
Untere Variante

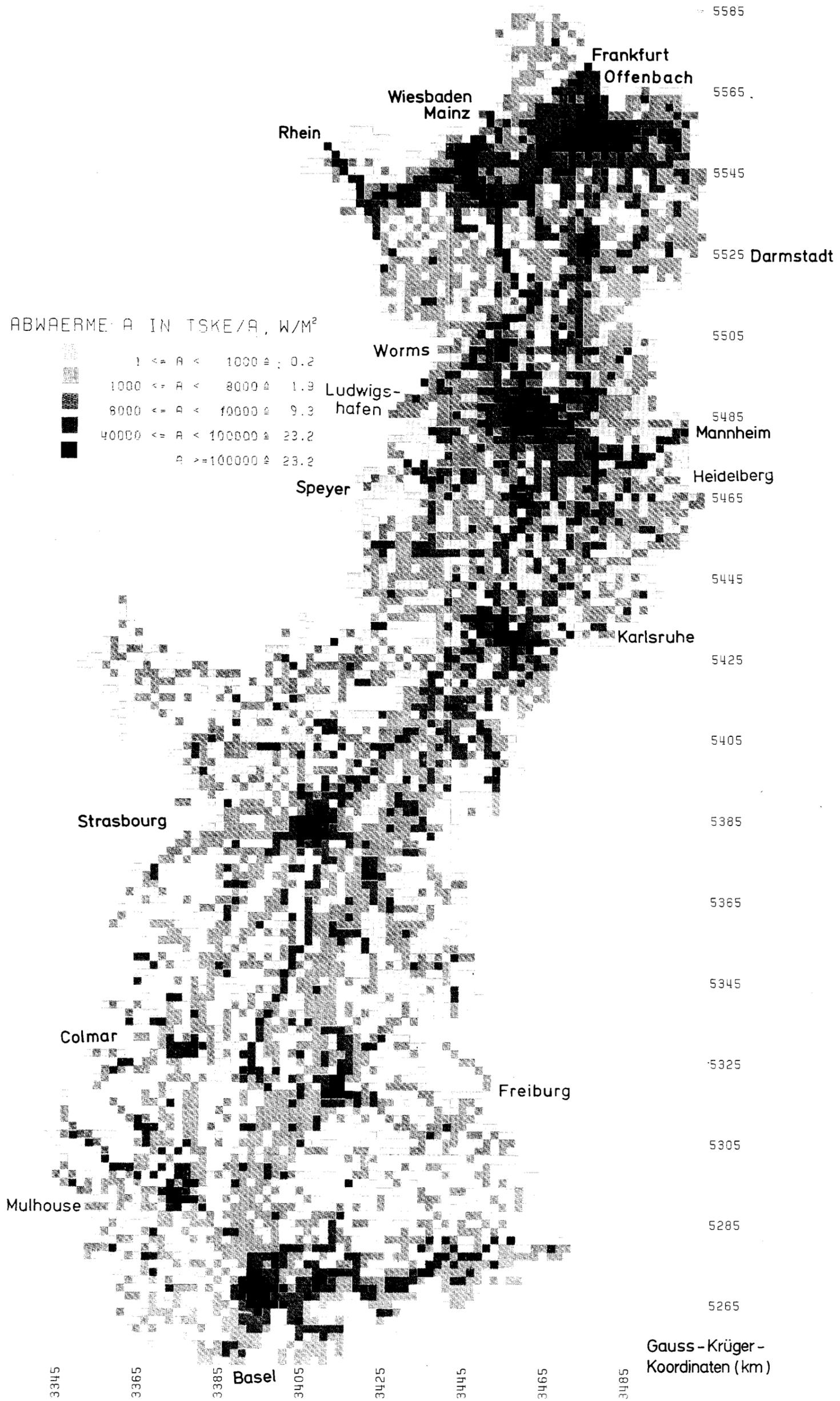


Abb. 17 Abwärmekataster für das Oberrheingebiet 2000 mit Einzelquellen (großen Emittenten aus dem Umwandlungssektor und der Industrie) - Jahresmittelwerte
Obere Variante

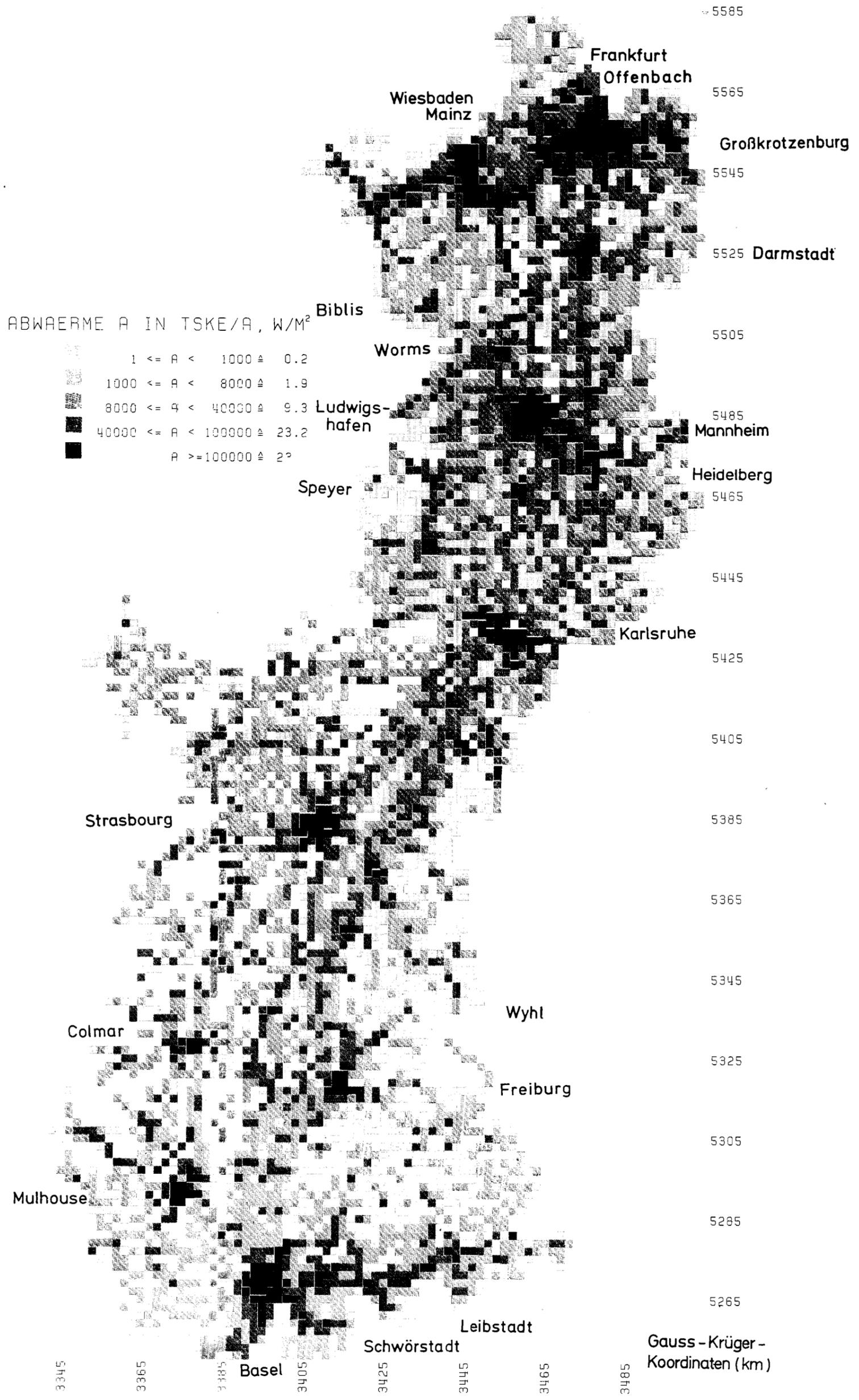


Abb. 22 Abwärmekataster für das Oberrheingebiet 2000 mit Einzelquellen (großen Emittenten aus dem Umwandlungssektor und der Industrie) - Maximalwerte (Januar 7⁰⁰ - 11⁰⁰)
Untere Variante

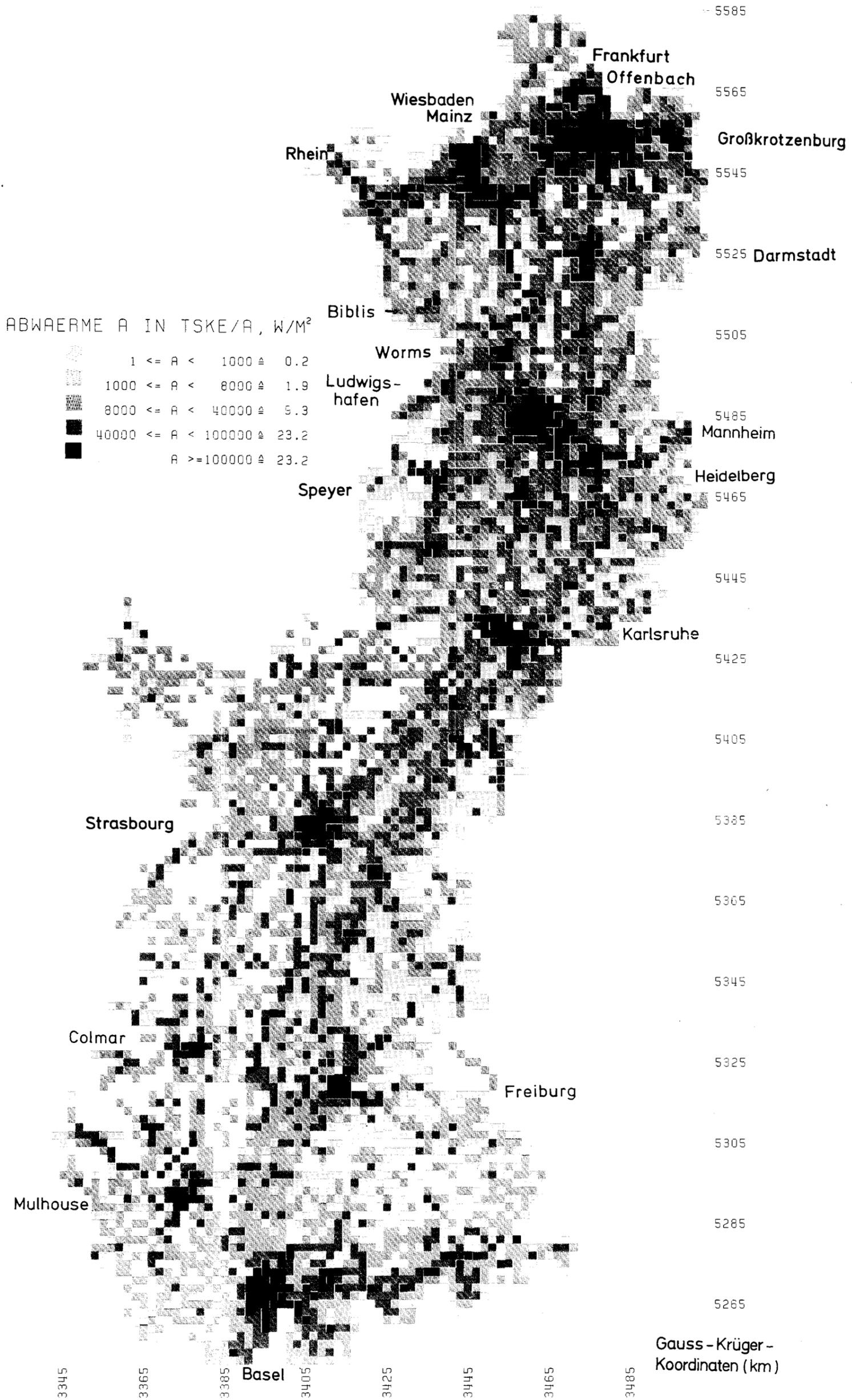


Abb. 23 Abwärmekataster für das Oberrheingebiet 2000 mit Einzelquellen (großen Emittenten aus dem Umwandlungssektor und der Industrie) - Maximalwerte (Januar 7⁰⁰ - 11⁰⁰)
Obere Variante

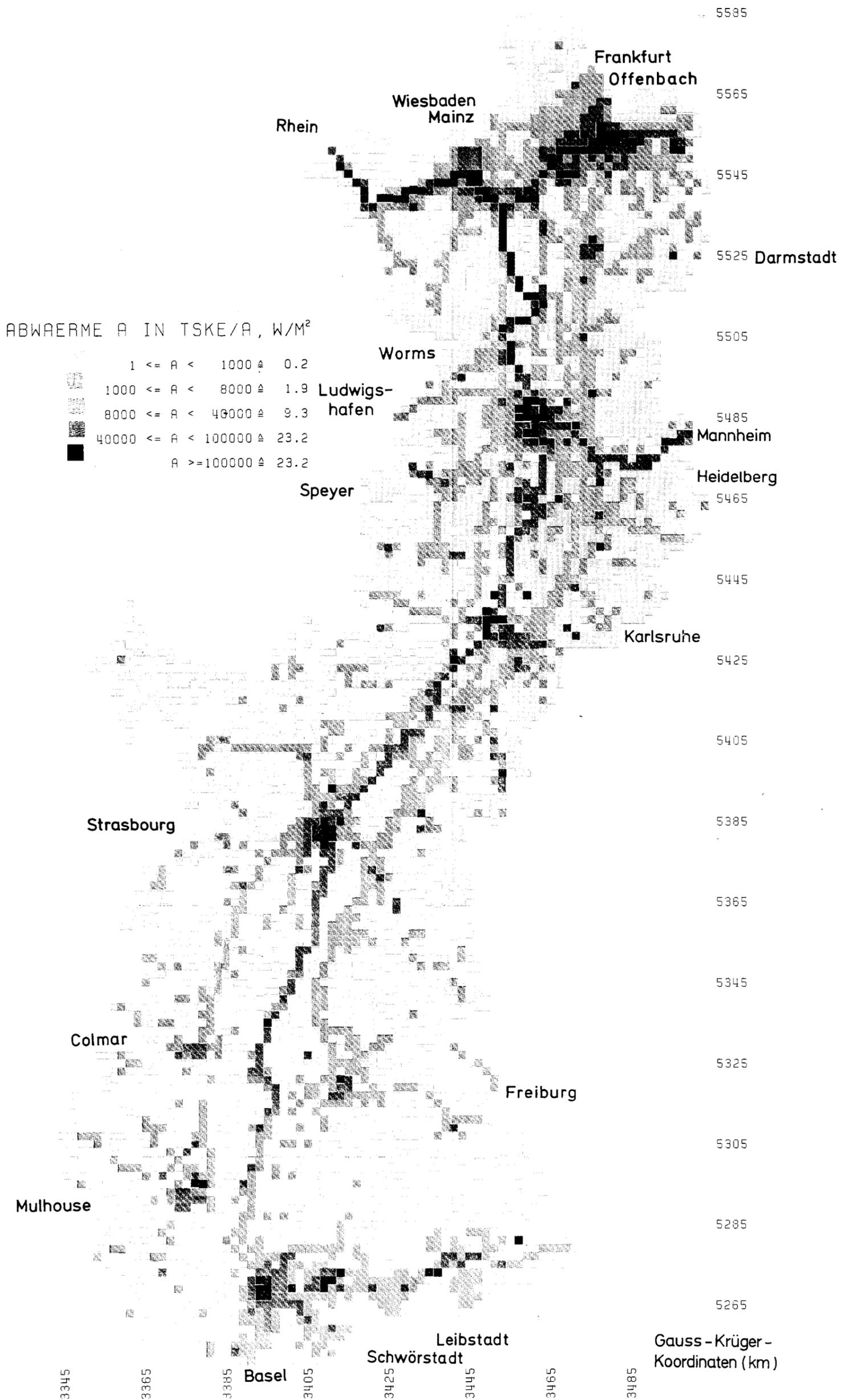


Abb. 24 Abwärmekataster für das Oberrheingebiet 2000 mit Einzelquellen (großen Emittenten aus dem Umwandlungssektor und der Industrie) - Minimalwerte (Sommer 1^{oo} - 5^{oo})
Untere Variante

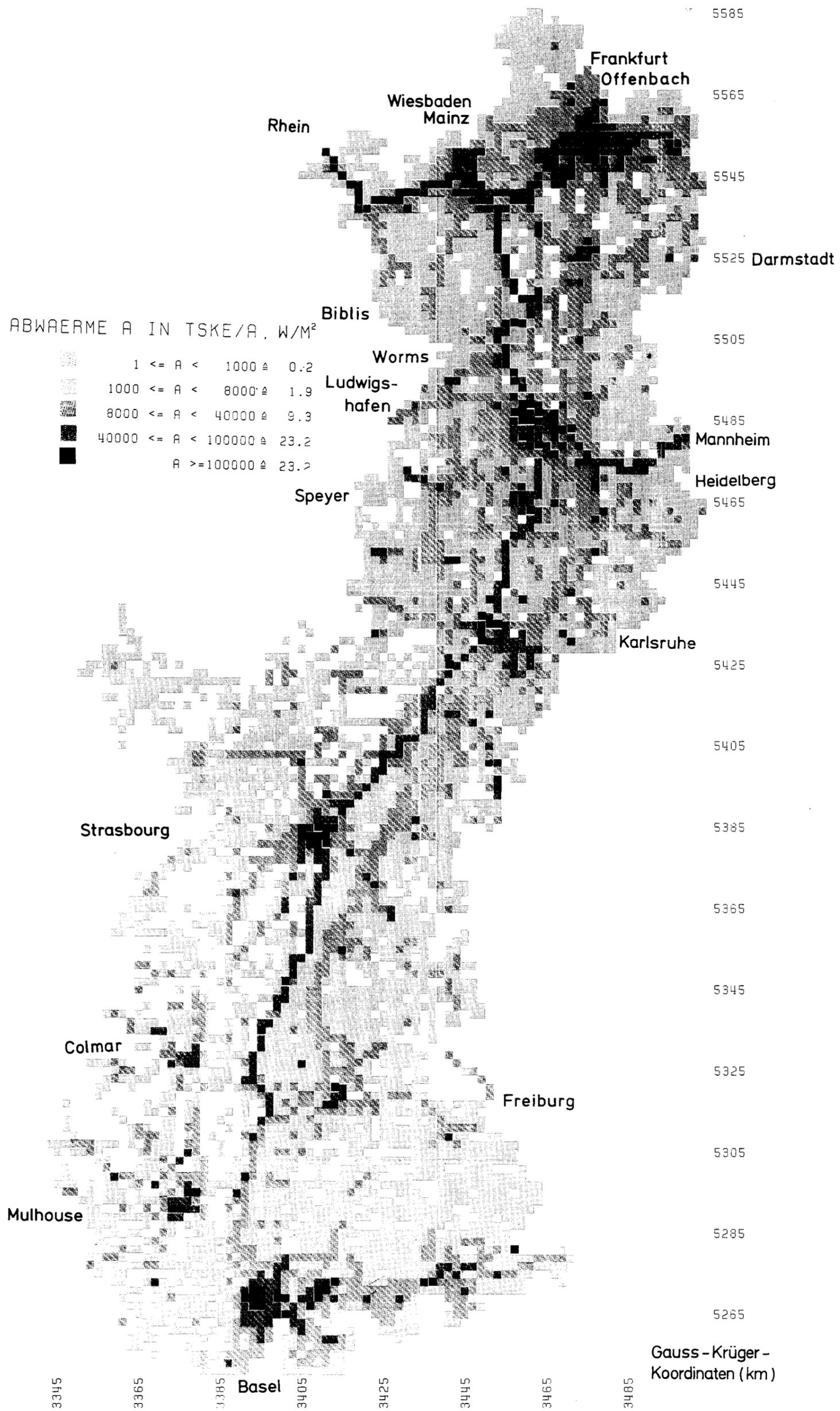


Abb. 25 Abwärmekataster für das Oberrheingebiet 2000 mit Einzelquellen (großen Emittenten aus dem Umwandlungssektor und der Industrie) - Minimalwerte (Sommer 1° - 5°)
Obere Variante.