

KfK 2647 UF

Juni 1978

# **Methoden zur Erstellung eines Abwärmekatasters und ihre Anwendung auf die Kreise Rastatt, Baden-Baden und Karlsruhe-Stadt**

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

**Kernforschungszentrum Karlsruhe**

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

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE GMBH

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Laboratorium für Aerosolphysik und Filtertechnik

KfK 2647 UF

Methoden zur Erstellung eines Abwärmekatasters  
und ihre Anwendung auf die Kreise Rastatt,  
Baden-Baden und Karlsruhe-Stadt

von

G. Bartholomäi

W. Kinzelbach

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

Mai 1978

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Umweltbundesamtes gefördert. Das Umweltbundesamt übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und die Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter.

## Kurzfassung

Es wurden Methoden zur Erstellung eines Abwärmekatasters auf einem Raster von 2x2 km<sup>2</sup> entwickelt, die in der Bundesrepublik allgemein verwendbar aber auch auf Nachbarstaaten übertragbar sind. Ein Abwärmekataster stellt die räumliche und zeitliche Verteilung der anthropogenen Abwärmeemissionen dar und dient im Fall des Oberrheingebiets als Grundlage für modelltheoretische Untersuchungen anthropogener Einflüsse auf das Klima.

In erster Näherung entspricht die Verteilung der anthropogenen Abwärme der Verteilung des anthropogenen Energieumsatzes. Deshalb ist der erste Schritt die Erstellung eines Katasters des Energieumsatzes. Daten über den Verbrauch der wichtigsten Energieträger Kohle, Öl, Gas, Strom und Fernwärme sind jedoch nur zum Teil und nur entsprechend der räumlichen Verwaltungseinteilung erhältlich. Daher wurden Modelle entwickelt, um von Strukturdaten wie Einwohnerzahl, Wohnungsbestand, Verkehrsmengen usw. auf den lokalen Energieumsatz zu schließen und auf ein Raster von 2x2 km<sup>2</sup> herunterzurechnen. Der zweite Schritt ist der Schluß vom Energieumsatz auf die Abwärmekomponenten Konvektion, Strahlung, latente und an das Wasser abgegebene Wärme.

Energieumsatz und Abwärme wurden für die verschiedenen Wirtschaftssektoren getrennt bestimmt, Großemittenten aus Umwandlungssektor und Industrie durch Befragung einzeln analysiert.

Die mit diesen Methoden für die Kreise Rastatt, Baden-Baden und Karlsruhe-Stadt gewonnenen Ergebnisse werden vorgestellt.

## Abstract

Methods for registration and mapping of waste heat emissions and their application to the regions of Rastatt, Baden-Baden and Karlsruhe-City (Federal Republic of Germany)

Methods are developed that allow the registration and mapping of waste heat emissions on a grid of 2x2 km<sup>2</sup>. They are directly applicable in the Federal Republic of Germany and may be extended to neighbouring countries.

Such a mapping provides the distribution of anthropogeneous waste heat emissions in space and time and serves in the case of the upper Rhine Valley as a basis for the numerical evaluation of climate modification by man.

In a close approximation the distribution of waste heat is equal to the distribution of energy consumption. Therefore, the first step is the registration and mapping of energy consumption. Data about the consumption of the most important types of energy such as coal, fuel oil, gas, electricity etc. are available only partially and on the level of administrative units which are considerably larger than the grid size. Therefore, models were developed which allow to determine energy consumption on the commune and grid level with the help of local structural data like the distribution of population, households, traffic etc.

The second step to be taken is the transformation of energy consumption into waste heat emissions categorized in terms of the components convection, radiation, latent heat and discharge of heated water.

Energy consumption and waste heat were determined separately for the various sectors of economy. Large sources in the industrial and energy supply sectors were analyzed individually by questionnaires.

The results obtained with foresaid methods in the districts of Rastatt and Baden-Baden and in the township of Karlsruhe are presented.

<u>Inhalt</u>	Seite
1. Einleitung	1
2. Definition des Begriffs Abwärme und Einteilung der Abwärme in Komponenten	2
2.1 Der Begriff Abwärme	2
2.2 Die Komponenten der Abwärme	3
3. Die Abwärmeemittenten	4
3.1 Allgemeines Klassifizierungsschema	4
3.2 Die Emittentengruppen	7
3.3 Die Abwärme aus repräsentativen Anlagen verschiedener Sektoren	8
3.4 Verteilungsverluste und Abwärme aus Zwischenträgern	22
3.5 Vergleich typischer Emittenten und Abwärmebilanz der Bundes- republik Deutschland 1973	23
4. Katastermäßige Erfassung der Abwärme	26
4.1 Beschreibung des Abwärmekatasters	26
4.2 Bestimmung des Energiekatasters auf niedrigster Ebene	28
4.3 Transformation auf Rasterebene	45
4.4 Rechenschema	46
5. Ergebnisse in den Kreisen Rastatt, Baden-Baden und Karlsruhe-Stadt	48
5.1 Gebietskarten	48
5.2 Kataster der Gesamtabwärme für die Kreise Rastatt, Baden-Baden und Karlsruhe-Stadt	48
5.3 Die Abwärme durch den Straßenverkehr in den Kreisen Rastatt, Baden-Baden und Karlsruhe-Stadt	56
Quellenverzeichnis	63
 <u>Anhang</u>	
1. Datenbank und Meßprogramm	67
2. Spezifischer Energieverbrauch und spezifischer Kühlwasserbedarf pro Beschäftigten in der Industrie (1973)	68
3. Verzeichnis mehrfach benutzter Abkürzungen	75

## 1. Einleitung

Die Wirtschaftstätigkeit jeder Industriegesellschaft ist mit Belastungen der Umwelt verbunden. Dazu gehören in erster Linie stoffliche Belastungen und Belastungen durch Abwärme. Die Abgabe von Schadstoffen kann im Prinzip auch bei wachsender Wirtschaftstätigkeit durch verstärkte Rückhaltemaßnahmen noch reduziert werden. Dagegen kann die Emission von Abwärme grundsätzlich nicht verhindert werden. Sie ist im wesentlichen dem Primärenergieeinsatz gleich. Unter Abwärme ist dabei nicht nur die bei der Wandlung von Primärenergie in Sekundärenergie entstehende Verlustwärme zu verstehen sondern auch die gesamte in den Verbrauchersektoren eingesetzte Nutzenergie, die letztendlich zu Abwärme wird.

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/. Im globalen Maßstab wird angenommen, daß eine Abwärmeemission in der Größenordnung von 1% der weltweiten mittleren Sonneneinstrahlung am Boden Klimaänderungen bewirken kann (vergl. /3/). Die heutige weltweite Wärmeabgabe durch den Menschen beträgt mit etwa  $8 \text{ TW ca. } 10^{-6}$  der Sonneneinstrahlung. Regional wird die 1%-Marke allerdings schon überschritten. Zudem ist regional das Wärmeabfuhrvermögen von Gewässern bereits ausgeschöpft, so daß die Abwärme von Kraftwerken in zunehmendem Maße direkt und punktuell über Kühltürme an die Atmosphäre abgegeben werden muß. Es stellt sich deshalb die Frage, ob durch Abwärmeeinleitungen regionale Wetter- bzw. Klimaänderungen heute oder in der nahen Zukunft zu erwarten sind und welche plänerischen Maßnahmen ergriffen werden können, um unerwünschte Auswirkungen zu vermeiden.

Auf Vorschlag der Abwärmekommission wurde vom Bundesinnenministerium (über das Umweltbundesamt) das Abwärmeprojekt Oberrheingebiet ins Leben gerufen, um am Beispiel des Oberrheingrabens diese Fragen zu untersuchen. Das Modellgebiet erstreckt sich zwischen Frankfurt und Basel und wird im Osten und Westen durch die Käme der Randgebirge begrenzt. Das gehäufte Auftreten austauscharmer Wetterlagen - nur sie lassen derzeit meßbare Auswirkungen erwarten - sowie die geplante Industrialisierung waren für die Wahl des Oberrheingebietes entscheidend.

Kernstück des Gesamtprojektes 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. Da das Abwärmekataster auf einem Kataster des Energieverbrauches basiert, kann es auch für die Beantwortung anderer Fragestellungen z.B. nach der Wärmeversorgung bzw. Energieversorgung einer Region sowie als Grundlage von Emissionskatastern für Schadstoffe verwendet werden. Im folgenden werden Methoden zur Erstellung eines Abwärmekatasters vorgestellt zusammen mit konkreten Ergebnissen in einem Teilgebiet des Oberrheintals. Dabei werden in dieser Arbeit zunächst Abwärmeemissionen summiert über das Jahr 1973 auf einem Quadratraster der Maschenweite 2 km dargestellt.

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

### 2.1 Der Begriff Abwärme

Jegliche vom Menschen an die Umgebung abgeführte Wärme wird als Abwärme bezeichnet. Man unterscheidet zwischen primärer und sekundärer Abwärme. Bei der Umwandlung von Primärenergie in Sekundärenergie oder in Nutzenergie treten Verluste in Form von Wärme auf. Diese bezeichnet man als primäre Abwärme. Beispiele dafür sind die Kondensatorabwärme eines Wärmekraftwerkes oder die Schornsteinabwärme eines Heizungskessels.

Die Wärmeenergie, die indirekt, d.h. nach einer Nutzung an die Umgebung abgegeben wird, bezeichnet man als sekundäre Abwärme. Ein Beispiel dafür ist die Raumheizungswärme, die letztlich durch die Wände, Fenster etc. an die Umgebung verlorenght. Primäre Abwärme tritt im wesentlichen im Umwandlungssektor auf, wo Primärenergie in Sekundärenergie umgewandelt wird. Sekundäre Abwärme tritt in der Hauptsache im Endenergieverbrauch auf. Vernachlässigt man die in Endprodukten gebundenen Energien, die aus Rohstoffen und Zwischenprodukten bei der Verarbeitung freiwerdenden Energien sowie die Energie in unverbrannten Ascherückständen und bezieht man sich auf die oberen Heizwerte der fossilen Energieträger, so gilt:

die insgesamt emittierte Abwärme ist gleich der eingesetzten Primärenergie.

## 2.2 Die Komponenten der Abwärme

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. Im weiteren Sinne können auch Industrieprodukte als Zwischenträger von Abwärme bezeichnet werden, wenn die in ihnen beim industriellen Prozeß gespeicherte Energie bei der Verwendung der Produkte oder letztlich bei der Müllverbrennung, Verrottung oder Auskristallisation wieder frei wird (Beispiele: Zement, Plastikerzeugnisse, Glas).

Die Wärmeabgabe aus den Emittenten erfolgt im wesentlichen auf vier Arten

- in Form von langwelliger Strahlung
- als latente Wärme enthalten in emittiertem Wasserdampf,  
unverbrannten Anteilen im Rauchgas (wie CO und  $C_m H_n$ )  
und in der Asche,  
hergestellten Produkten
- durch Wärmeleitung an den Boden
- durch Konvektion an die Luft,  
an das Wasser,  
in Form von Produkten, die in heißem Zustand aus dem Produktionsgelände transportiert werden.

Der Wärmeübergang durch Strahlung wird näherungsweise bestimmt als Differenz aus der Ausstrahlung des erwärmten Körpers und der Einstrahlung der umgebenden Luft.

Die wesentlichen 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, wird ein erheblicher Anteil der eingesetzten Energie als Bindungsenergie oder durch Phasenübergänge in Produkten gespeichert und nicht auf dem Produktions-

gelände 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.

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.

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

Der konvektive Wärmeübergang 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. Der Wärmetransport durch Abwasser ist ein weiterer Beitrag zur konvektiven Wärmeabgabe. Bei manchen Industriezweigen spielt auch der Wärmeinhalt von Produkten eine Rolle, die in heißem Zustand transportiert werden.

Der Anteil der Strahlung bei der Wärmeabgabe erhöht sich erst bei Oberflächentemperaturen von mehr als  $100^{\circ}\text{C}$  ( $4 T \geq 100 \text{ K}$ ) merklich. Im allgemeinen kann man annehmen, daß die Wärmeabgabe von einer Außenfläche mit einer Temperatur von weniger als  $100^{\circ}\text{C}$  bei der im Oberrheintal herrschenden mittleren Windgeschwindigkeit von 2 m/sec zu 50 % durch Konvektion und zu 50 % durch Strahlung erfolgt [ 4 ]. Bei Oberflächentemperaturen von  $400^{\circ}\text{C}$  (Öfen) werden bereits ca. 80 % der Wärme über Strahlung und nur ca. 20 % über Konvektion abgegeben [ 5 ].

### 3. Die Abwärmeemittenten

#### 3.1 Allgemeines Klassifizierungsschema

Jeder Abwärmeemittent ist charakterisiert durch seine Abwärmeleistung und ihre Verteilung auf die verschiedenen Abwärmekomponenten.

Es werden folgende Abwärmekomponenten unterschieden (Abb. 3.1), gegliedert nach der Art der Wärmeabgabe:

### 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

Die Gesamtabwärme, einschließlich der latenten Anteile, ergibt sich damit zu:

$$a = a_S + a_{L1} + a_{L2} + a_{L3} + E_E + E_A + a_B + a_{K1} + a_{K2} + a_{K3} + a_{K4} + a_{K5}$$

Bezeichnet man den um den nichtenergetischen Anteil korrigierten Gesamtenergieeinsatz mit EG (bezogen auf  $H_u$ ), so gilt:

$$a \approx EG + a_{L1}$$

In dieses Schema läßt sich jeder Abwärmeemittent einordnen, jedoch treten nicht in jeder Emittentengruppe alle genannten Abwärmekomponenten auf; außerdem können meistens nicht alle einzeln erfaßt werden.

Im Abwärmekataster werden die beschriebenen Abwärmeströme weiter zusammengefaßt. Den direkt an die Luft emittierten Anteilen

Strahlung  $a_S$

latente Wärme  $a_L = a_{L2} + a_{L3}$

Konvektion  $a_K = a_{K1} + a_{K2} + a_{K3}$

werden nach räumlicher Verteilung die Beiträge aus  $a_B$ ,  $a_{K4}$ ,  $a_{K5}$  und  $E_E$  hinzugerechnet.

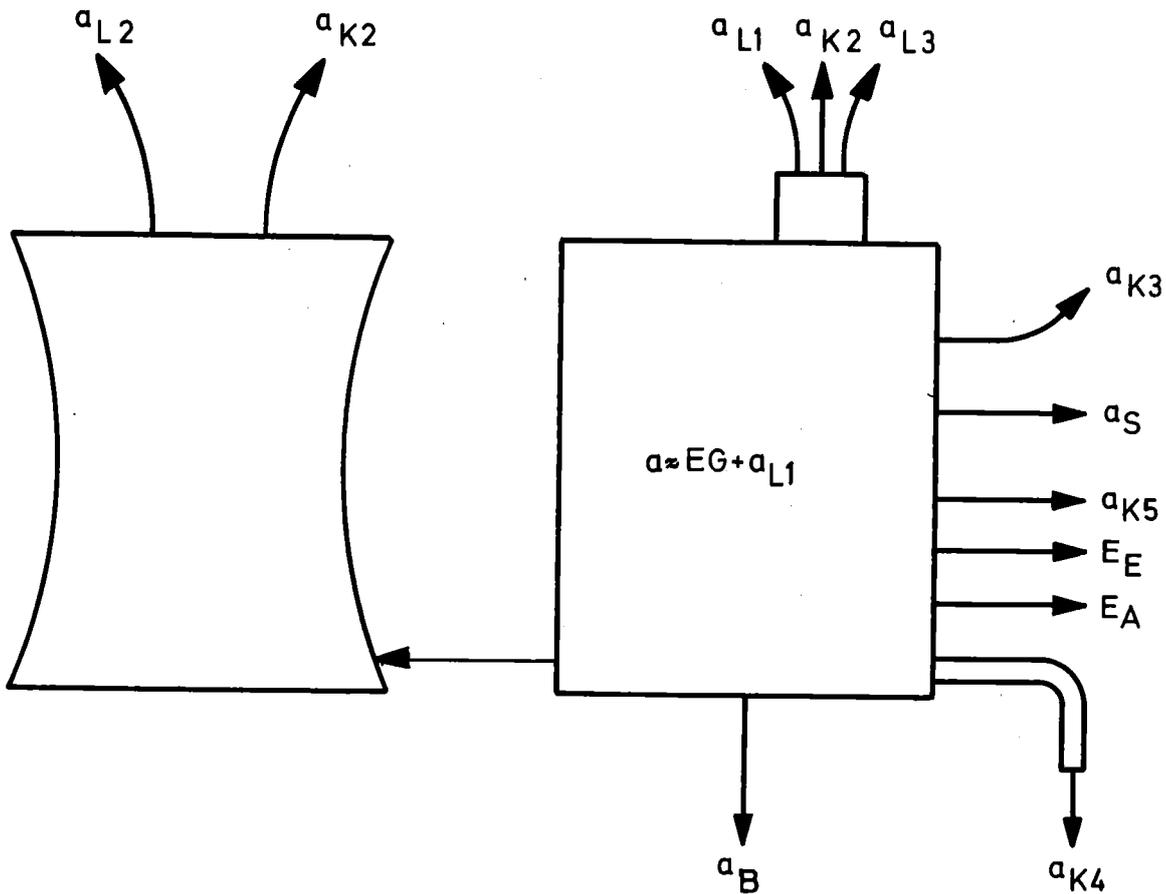


Abb. 3.1: Der Abwärmeemittent

$E_A$  beträgt im Mittel weniger als 1% von  $EG$  und kann daher vernachlässigt werden. Im allgemeinen werden nur die Komponenten

- |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|
| $a_S$ - Strahlung     | $a_K$ - Konvektion    |
| $a_L$ - latente Wärme | $a_{K4}$ - Warmwasser |

bestimmt und die Näherung

$$a = a_S + a_L + a_K + a_{K4}$$

verwandt, wobei  $a_B$ ,  $a_{K5}$  und  $E_E$  von vornherein den Komponenten  $a_S$ ,  $a_L$  und  $a_K$  zugeschlagen wurden. Man kann annehmen, daß ca. 6% von der den Komponenten Strahlung und Konvektion zugerechneten Abwärme aus Gebäuden diese über den Zwischenträger Boden verläßt [6,7].

### 3.2 Die Emittentengruppen

Bei der Klassifizierung von Emittenten muß man der in der Energiewirtschaft üblichen Einteilung in Sektoren folgen. Denn nur für diese Einteilung liegen Daten vor. Eine für Abwärmeprobleme sinnvollere Einteilung der Energieverbraucher und Verbräuche nach Verwendungszweck (z.B. Raumwärme, Prozeßwärme) scheitert am Mangel an Dokumentation. Die folgende Einteilung wird verwandt [7]:

Umwandlungssektor: Zechen- und Hüttenkokereien

Ortsgaswerke

Steinkohlebrikettfabriken

Braunkohlebrikettfabriken, Schwelanlagen

Öffentliche Wärmekraftwerke (einschl. Kernkraftwerke)

Wasserkraftwerke

Fernheizwerke

Hochöfen

Raffinerien

Sonstige Energieerzeuger

Verbrauchssektoren: Industrie: Grundstoffindustrie

Investitionsgüterindustrie

Nahrungs- u. Genußmittelindustrie

(weitere Aufteilung nach Bedarf)

Verkehr: Bahnen

Straßenverkehr

Luftverkehr

Binnenschifffahrt

Haushalt und Kleinverbrauch (Landwirtschaft, Handel

und Kleingewerbe, öffentliche Einrichtungen, nicht-

industrielle Betriebe (mit weniger als 10 Beschäftigten))

Der Energieeinsatz für Kraftwerke und sonstige Anlagen (Hochöfen etc.), die zu einem Industriebetrieb gehören und die dabei entstehende Abwärme wird nicht in der Rubrik "Umwandlungssektor" geführt, sondern entsprechend der Dokumentation des Energieverbrauchs im Industriebericht [8] dem Industriezweig zugeschlagen, zu dem der Betrieb gehört. Im Falle von Wärmekraftkopplung, die bei Industriekraftwerken häufig zur Anwendung kommt, ist es vom Abwärmegesichtspunkt her ohnehin nicht sinnvoll, die

Wandlung von der industriellen Verwertung der Energie zu trennen.

### 3.3 Die Abwärme aus repräsentativen Anlagen verschiedener Sektoren

Es soll nun gezeigt werden, wie sich typische Vertreter aus Umwandlungs- und Verbrauchssektoren in das Emittentenschema (Abb. 3.1) eingliedern. Für die Aufteilung der Abwärme in Komponenten ist es wesentlich, ob die Prozesse, bei denen die Energieträger energetisch umgesetzt werden, in Gebäuden ablaufen oder ob sich die Prozeßanlagen im Freien befinden. In Gebäuden trägt alle Wärme, die nicht mit Rauchgas, Wasserdampf, Warmwasser oder über Kühleinrichtungen das Gebäude verläßt oder in Produkten gespeichert wird, zur Raumheizung bei und wird zusammen mit der Heizwärme über die Wände, das Dach, die Fenster, die Lüftung und den Boden abgeführt. Es ist dabei unerheblich, ob die Energie in einem Rasierapparat oder in einem Fernsehgerät, in einer Schmelze oder in einem Trockner eingesetzt wurde. Befinden sich die Prozeßanlagen im Freien, so ist bei Anlagen mit einer Oberflächentemperatur von mehr als  $100^{\circ}\text{C}$ , z.B. Drehrohröfen bei der Zementherstellung, mit einem erhöhten Strahlungsanteil zu rechnen (vgl. Kap. 2.2). Unter einer solchen Prozeßanlage kann man auch eine Maschine in einem Fahrzeug verstehen, d.h. es ist auch noch zu unterscheiden, ob es sich um eine ruhende oder in einem Fahrzeug eingebaute Anlage handelt. Im Sektor Verkehr ist durch die hohe Luftgeschwindigkeit ein größerer Konvektionsanteil zu berücksichtigen. Im Sektor Haushalt und Kleinverbrauch kann angenommen werden, daß jeglicher Energieumsatz in Gebäuden stattfindet. Im Umwandlungssektor und der Industrie wird die Abwärme zu einem nicht unerheblichen Teil über Anlagen abgegeben, die sich im Freien befinden.

In einem Abwärmekataster interessiert lediglich die Aufteilung der Abwärme in der Form, wie sie sich außerhalb von Anlagen und Gebäuden ergibt. Auf der Basis von Untersuchungen über repräsentative energetische Prozesse, wie sie z.B. für Kraftwerke, im Haushalt oder bei Kfz-Motoren durchgeführt wurden, läßt sich daher die Vielfalt der energetischen Prozesse, die identifiziert werden müssen, reduzieren auf

- (I) Wärmeabgabe an das Abgas bei der Verbrennung fossiler Energieträger  
( $a_{K1}$  - fühlbarer,  $a_{L1}$  - latenter Anteil)
- (II) Wärmeabgabe an das Abwasser (Kühlwasser etc. -  $a_{K4}$ )

- (III) Einsatz von Rückkühleinrichtungen und Produktkühlern ( $a_{L2}, a_{K2}$ )
- (IV) Dissipation der Raumheizwärme, einschließlich der im Raum abgegebenen Prozeßwärme, über Wände, Boden, Lüftung etc. ( $a_S, a_B, a_{K3}$ )
- (V) Emission latenter Wärme ( $a_{L3}$ ) aus industriellen Prozessen (ohne (I))
- (VI) Einsatz von Energie, die mit Produkten den Emittenten verläßt ( $E_E, a_{K5}$ )

Zu (I):

Bei der Verbrennung von fossilen Energieträgern werden im folgenden alle Teilbeträge auf den unteren Heizwert  $H_u$  bezogen ( $H_u = 100 \%$ ).

Die spezifische Wasserdampfemission durch Verbrennung ergibt sich aus der Differenz aus dem oberen und dem unteren Heizwert  $H_o - H_u$ . In der folgenden Tabelle sind Heizwerte und Umrechnungsfaktoren angegeben ( $\overline{7}$ ,  $\overline{9}$ ,  $\overline{10}$ ,  $\overline{11}$  - die Angaben schwanken z.T. erheblich durch Qualitätsunterschiede der Energieträger):

Tabelle 3.1

Maß- einheit	Energieträger	$H_u$	$H_o$	$\Delta H$ in % (gerundet)	Faktor zur Umrechnung von Massen- bzw. Volumen- einheiten in SKE ( $H_u$ )
$\frac{KJ}{kg}$	Kohle	29300			1
	Rohbraunkohle	8000			0.27
	Koks	28500			0.97
		28900	30200	4	0.99
	Steinkohlen- briketts	31400	32600	4	1.07
	Heizöl EL	42700	44800	5	1.46
	Heizöl S	40600	43200	6	1.4
	Benzin	44000	46500	6	1.5
	Diesel	42900	45300	5	1.46
	$\frac{KJ}{Nm^3}$	Erdgas	35000	38500	10
		31700			1.08
Stadtgas		16100	18000	12	0.55
Koksofengas		17400	19700	13	0.59
Ölgas		42300	45300	10	1.41
(elektr. Strom		3600 KJ/KWh			

Für Dieselkraftstoff und Benzin seien noch folgende Werte angegeben:

	Dichte	$H_u \cdot 10^{-3}$ tSKE/ltr
Diesel	$0,84 \pm 0,025$	1,23
Benzin	$0,74 \pm 0,02$	1,11

Bei Kohle wird generell mit einem Wert für  $\Delta H$  von 4% gerechnet.

Der Beitrag der mit Rauchgasen emittierten unverbrannten Anteile wie Ruß, CO und  $C_m H_n$  zur latenten Wärme ist gering im Vergleich zur latenten Wärme aus  $H_o - H_u$ : im Verkehr 2 - 10%, in den anderen Sektoren im Durchschnitt unter 1% von  $\Delta H$ .

Fossile Energie ist nach der Verbrennung von Fernwärme und Elektrizität nicht mehr zu unterscheiden und kann wie diese behandelt werden.

### 3.3.1 Umwandlungssektor

#### 3.3.1.1 Konventionelles Kondensationswärmekraftwerk

Je nach dem Alter einer Anlage und dem benutzten Brennstoff können die Kesselverluste 7 - 20% betragen. Sie setzen sich zusammen aus der Abgaswärme mit etwa 7 bis über 10% des Energieeinsatzes, den Verlusten durch Unverbranntes zwischen 0,1 und 6% sowie den Verlusten durch Strahlung und Konvektion von der Kesseloberfläche, die unter 1% liegen. Der Wirkungsgrad der Stromerzeugung wird hier zu 38% angenommen, der Wirkungsgrad der Feuerung zu 91% /12/. Die 9% Kesselverluste werden nur als Abgaswärme berücksichtigt. Für Strahlung und Konvektion über Außenfläche und Lüftung des Kraftwerkes werden je 0,5% angenommen.

Die Aufteilung des Kühlwasserwärmestromes in Abwärmekomponenten richtet sich danach, ob Frischwasser-, Naß- oder Trockenkühlung vorliegt. Bei Frischwasserkühlung verläßt dieser Anteil der Abwärme den Emittenten vollständig in Form von erwärmtem Wasser ( $a_{K4}$ ), bei Trockenkühlung praktisch vollständig auf konvektivem Weg ( $a_{K2}$ ); im Fall der nassen Rückkühlung geht er im Mittel zu 70% als Wasserdampf ( $a_{L2}$ ) und zu 30% als Konvektion ( $a_{K2}$ ) an die Atmosphäre /13/. In der BRD teilten sich Ende 1974 die Kühlarten Frischwasserkühlung, Ablaufkühlung, nasse Rückkühlung und Trockenkühlung die Kühllast der Kondensator-kühlung im Verhältnis 43:5:51:1 /14/. Die Art der Kühlung hat auch eine Rückwirkung auf Eigenverbrauch und Wirkungsgrad. Die latente Rauchgasabwärme  $a_{L1}$

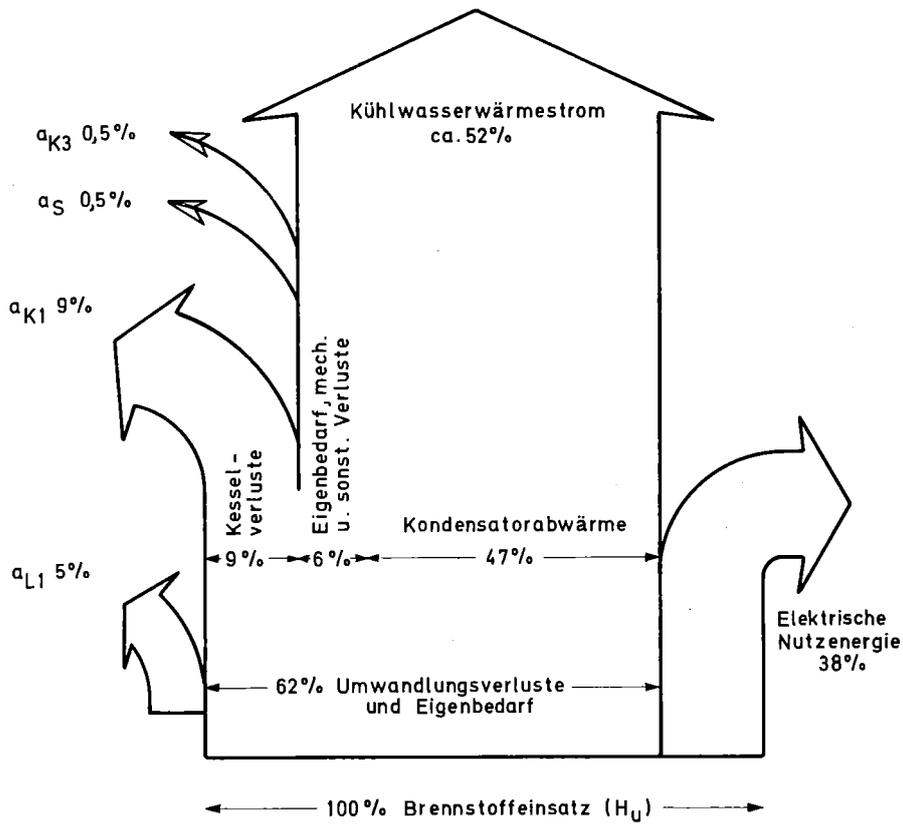


Abb. 3.2 : Abwärmeflußschema für ein konventionelles Wärmekraftwerk

hängt vom eingesetzten Brennstoff ab und kann aus Tab. 3.1 entnommen werden. In Abb. 3.2 wurde ein Mittelwert benutzt entsprechend den Anteilen der im Jahre 1973 im Umwandlungssektor eingesetzten Energieträger.

### 3.3.1.2 Nukleares Kondensationswärmekraftwerk

Im Kernkraftwerk entfallen Rauchgas- und latente Wärmeverluste. Dafür sind die Kondensatorverluste wesentlich höher. Der Wirkungsgrad der Stromerzeugung wurde zu 32% angenommen (vergl. /15/ und /16/). Das in 3.3.1.1 über den Kühlwasserwärmestrom Gesagte gilt auch hier.

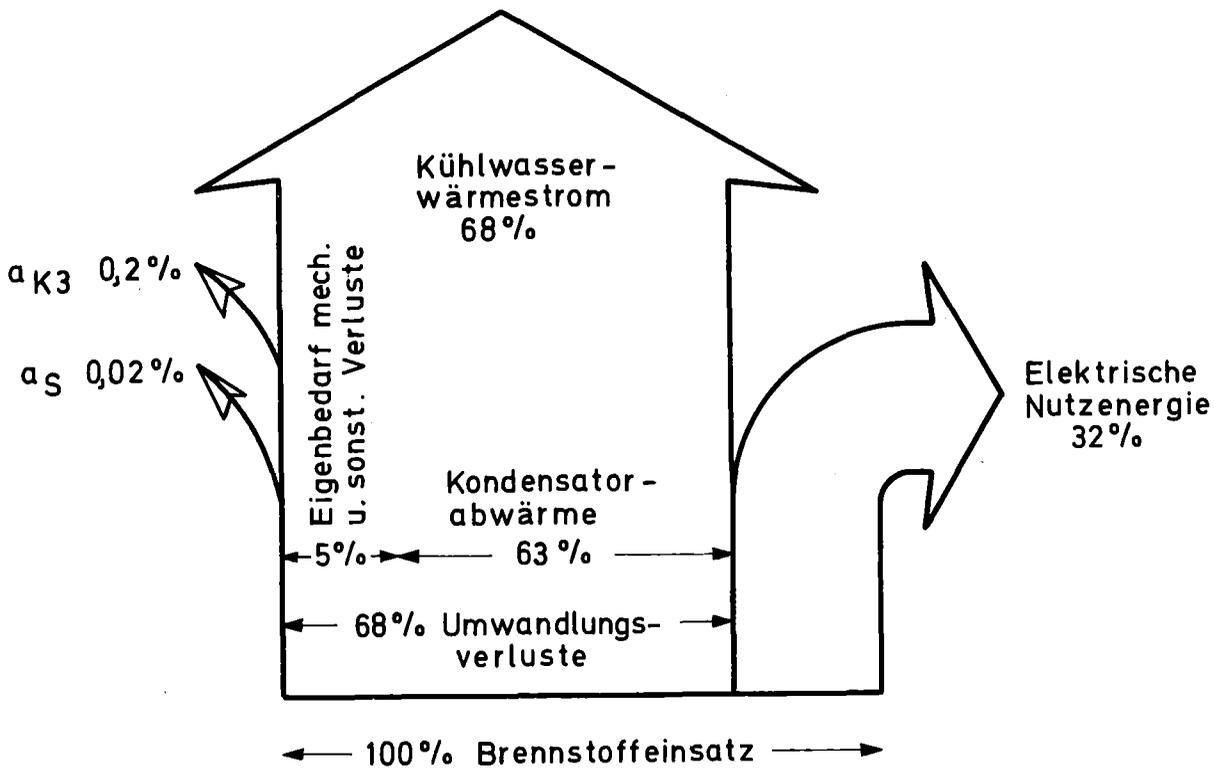


Abb. 3.3: Abwärmeflußschema für ein nukleares Wärmekraftwerk

### 3.3.1.3 Raffinerien

Der Energieverbrauch von Raffinerien schwankt erheblich in Abhängigkeit vom Produktspektrum; ein größerer Anteil petrochemischer Erzeugnisse am Produktspektrum bedeutet dabei einen höheren spezifischen Energieverbrauch. Der spezifische Energieverbrauch der Raffinerien /17/ im Oberrheintal schwankt zwischen 0,05 und 0,26 tSKE pro t Rohöleinsatz, d.h. der Eigenverbrauch liegt zwischen 3 und 20% des Rohöleinsatzes. Davon werden als Abwärme je nach Anlage emittiert: durch Konvektion und Wärmeleitung 50-90%, im Mittel ca. 70%, durch Strahlung 5-20%, im Mittel ca. 10% und in Form von latenter Wärme 5-35%, im Mittel ca. 20%. In Rauchgasen werden als fühlbare Wärme 10-20%, im Mittel 15%, als latente Wärme 1-8%, im Mittel 5% abgegeben, an Abwasser bis zu 11%, im

Mittel 3% und an Produkte im Mittel ca. 4%, vor allem zur Aufheizung schwerer Öle, die nur in heißem Zustand pumpfähig sind. In der Literatur wird für die spezifische Wärmeabgabe an Wasser in der BRD ein Wert von ca. 0.034 tSKE/t Rohöl angegeben /18/; für die Raffinerien im Oberrheintal findet man wesentlich niedrigere Werte (höchstens 1/3 davon). Da infolge des unterschiedlichen Produktspektrums und verschiedener Anlagenkonzeptionen (z.B. Kühlart) die Verteilung der Abwärmekomponenten verschieden ist, muß jede Raffinerie für das Abwärmekataster individuell betrachtet werden. Trotzdem sollen hier Mittelwerte aus den für das Oberrheingebiet vorliegenden Daten angegeben werden, die für einen groben Überblick ausreichen: im Mittel werden etwa 7% des mit dem Rohöl in die Raffinerie strömenden Energieflusses für den Eigenbedarf benötigt; die restlichen 93% sind nichtenergetischer Verbrauch und werden als Raffinerieprodukte weitergegeben. Die Energie, die zusätzlich in Form von Strom aus dem öffentlichen Netz bezogen wird, kann in dieser Betrachtung vernachlässigt werden; sie beträgt im Mittel nur 0,6% des Eigenbedarfs. Für eine "durchschnittliche" Raffinerie ergibt sich folgende Aufteilung des Eigenbedarfs in Abwärmekomponenten:

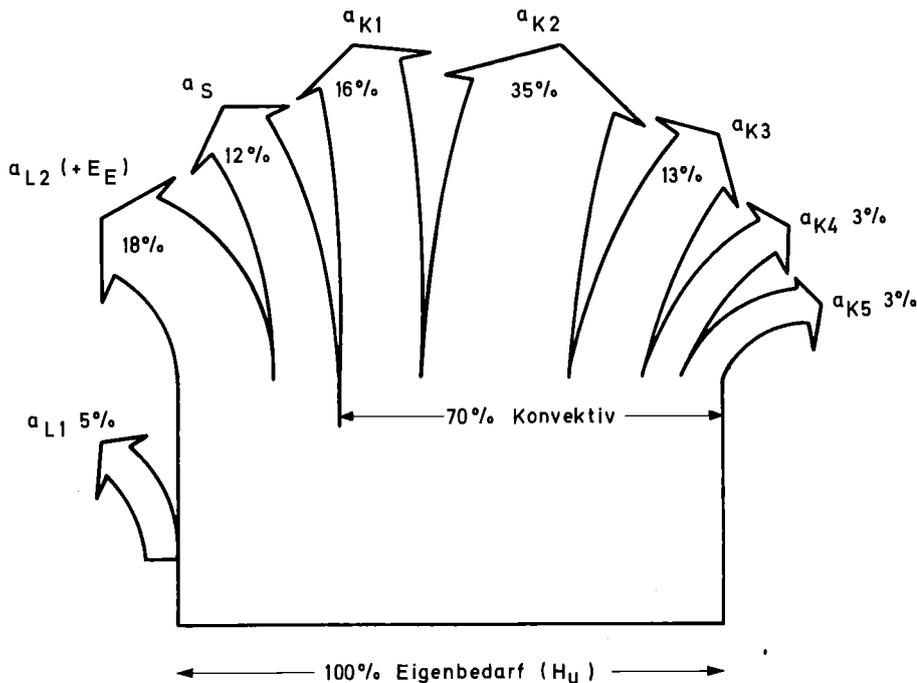


Abb. 3.4 : Abwärmeflußschema für eine Raffinerie

### 3.3.2 Industrie

Die Industriezweige unterscheiden sich stark in der Verwendung der Energie und demzufolge in der Aufteilung der von ihnen emittierten Abwärme nach Komponenten (vergl. Tab. 3.3). Selbst zwischen den Betrieben eines Industriezweiges können erhebliche Unterschiede auftreten dadurch, daß Produktspektren, Verfahren oder Kühlarten verschieden sind. Für einige Großemittenten wird die Wandlung der eingesetzten Energie in die einzelnen Abwärmekomponenten einschließlich der im Produkt gespeicherten Energie untersucht. Die so bestimmten Faktoren zur Umrechnung vom Einsatz an Energieträgern auf Abwärmekomponenten werden auf solche Einzelquellen derselben Branche übertragen, für die bei einer Befragung nur der Energieverbrauch ermittelt werden konnte.

Für alle anderen Industriebetriebe wird - ausgehend vom Energieverbrauch der Industrie auf Gemeindeebene - die Aufteilung in Abwärmekomponenten pauschal durchgeführt:

Für jede Gemeinde  $i$  werden zunächst aus dem Energieverbrauch  $EI_{ij}$  ( $j = 1$  Kohle,  $j = 2$  Strom,  $j = 3$  Öl,  $j = 4$  Gas) die Beiträge  $a_{K1}$ ,  $a_{L1}$ ,  $a_{K4}$ ,  $a_{K2}$ ,  $a_S$ ,  $a_{K3}$  (Abb. 3.1) bestimmt. Mit einem Verbrennungswirkungsgrad von 90% für Öl und Gas und 80% für Kohle /19/ ist

$$a_{K1} = (EI_{i3} + EI_{i4}) \cdot 0.1 + EI_{i1} \cdot 0.2$$

Mit den Werten für  $\Delta H$  aus Tab. 3.1 erhält man

$$a_{L1} = EI_{i1} \cdot 0.04 + EI_{i3} \cdot 0.05 + EI_{i4} \cdot 0.1$$

Die Kühlwassermengen der Industrie  $KW_i$  werden aus den für die BRD branchenweise bestimmten spezifischen Kühlwasserverbräuchen pro Beschäftigten berechnet /8/ (Anhang 2). Gemittelt über das Land Baden-Württemberg wurde aus Daten einer Landesumfrage (Quelle: Landesanstalt für Umweltschutz, B.W.) eine Aufwärmspanne von 8 K für Kühlwasser ohne Rückkühlung bestimmt. Da der größte Teil des Kühlwassers ohne Rückkühlung benutzt wird, ist schätzungsweise:

$$a_{K4} = (\rho \cdot C_p \cdot KW_i \cdot 8) / 7000 \quad (\text{t SKE/a}) \quad (KW_i \text{ in } 1000 \text{ m}^3/\text{a})$$

Die Aufteilung von  $a_{K4}$  in latente Wärme, Konvektion und Strahlung erfolgt wie in Kap. 3.4.2 beschrieben, Einzeluntersuchungen zufolge wird bei größeren

Firmen mit Naßkühleinrichtungen mehr Energie als latente Wärme an die Luft abgegeben als durch Konvektion an das Wasser; bei kleinen Firmen, bei denen solche Einrichtungen seltener sind, ist es umgekehrt - für Großfirmen der chemischen Industrie und der Papierindustrie ist allerdings auch die Wärmeabgabe an das Wasser größer. Für den Mittelwert der Anteile  $a_{L2}$  und  $a_{L3}$  ergeben sich wie für die Abwärme im Wasser ca. 10% der Gesamtenergie (Abb. 3.5). Da den Strukturdaten keine Hinweise auf  $a_{L2}$  und  $a_{L3}$  zu entnehmen sind, wird dieser Wert für die Abschätzung beibehalten:

$$a_{L2} + a_{L3} = EI_i \cdot 0.1$$

mit

$$EI_i = \sum_{j=1}^4 EI_{ij}$$

Die verbleibenden Anteile  $a_S$  und  $a_{K3}$  teilen sich den Rest  $a_R$  der Abwärme

$$a_R = EI_i - a_{K1} - a_{K4} - a_{L2} - a_{L3}$$

$$a_S = a_R \cdot \alpha$$

$$a_{K3} = a_R \cdot (1 - \alpha)$$

Zur Bestimmung von  $\alpha$  wird zunächst der Anteil des Restbetrages  $a_R$  geschätzt, der das Fabrikgebäude in Form von Konvektion durch Lüftung verläßt. Bei Gebäuden mit Umluftanlagen beträgt er etwa 60%, bei Gebäuden ohne Umluftanlagen etwa 80% /20/. Die verbleibenden 40% bzw. 20% (Transmission) werden je zur Hälfte der Strahlung und der Konvektion zugerechnet, da bei mittleren Umgebungstemperaturen und Windstärken (2 m/s) die Wärmeübergangskoeffizienten für Strahlung und Konvektion an der Außenwand etwa gleich sind / 4/. Ein mittlerer Wert für den Strahlungsanteil ist damit 15%; demzufolge wird  $\alpha = 0,15$  gesetzt.

Im folgenden Schema wurde die Abwärme aus dem Sektor Industrie für die BRD nach der beschriebenen Methode bestimmt. Dabei wird als Energieverbrauch die um den nichtenergetischen Verbrauch und die Eigenstromerzeugung aus Wasserkraft bereinigte Zahl verwendet. Die mit dem Produkt abtransportierte Energie ( $E_E$  und  $a_{K5}$ ) ist in diesem Schema nicht berücksichtigt.

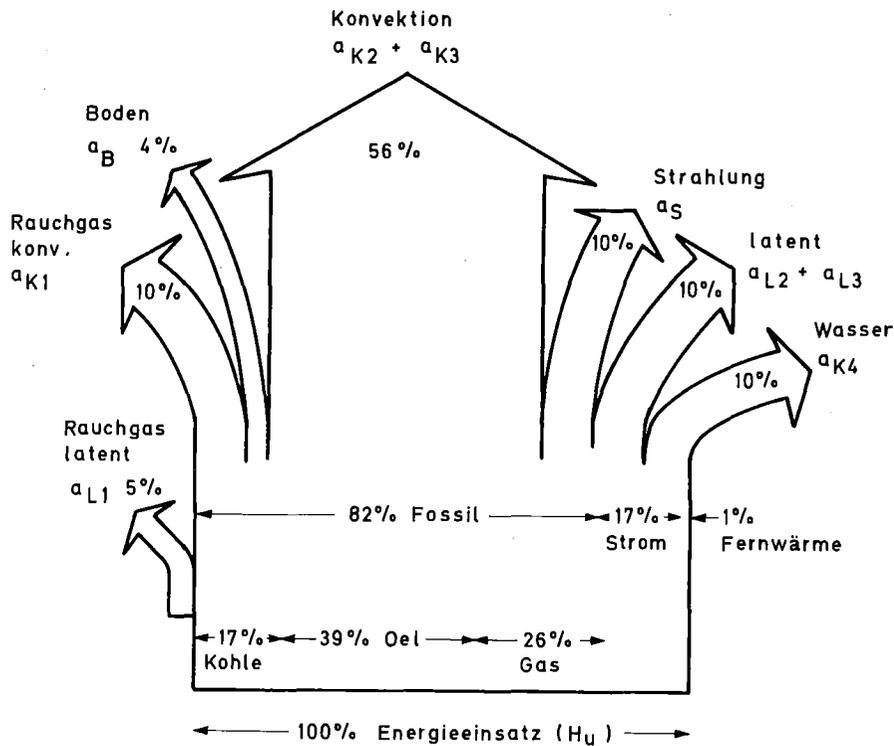


Abb. 3.5: Abwärmeflußschema für die Industrie insgesamt

### 3.3.3 Haushalt und Kleinverbrauch

Der Energieverbrauch in diesem Sektor kann auf Länderebene pauschal getrennt werden in einen Anteil für Haushalt und einen für Kleinverbrauch wie in Kap. 4.2.2 beschrieben. Der Kleinverbrauch ist sehr inhomogen bezüglich der Verwendungszwecke der Energie; daher kann hier eine detaillierte Analyse der Abwärme nicht durchgeführt werden. Da wie beim Haushalt der größte Anteil des Energiebedarfs auf Raumheizung und ein weiterer wesentlicher Anteil auf Warmwasserbereitung und Kochen (Prozeßwärme) entfällt, wird für den Kleinverbrauch dieselbe Aufteilung in Abwärmekomponenten benutzt wie für den mittleren Haushalt (Abb.3.6).

Bei der Bestimmung der Abwärmekomponenten wird analog vorgegangen wie im Sektor Industrie. Bezeichnet man mit  $EHK_{ij}$  den Energieverbrauch in diesem Sektor auf Gemeindeebene ( $i$ ) nach Energieträgern ( $j$ ), so erhält man mit Verbrennungswirkungsgraden von 70% für Kohle und 80% für Öl und Gas /21/:

$$a_{K1} = (EHK_{i3} + EHK_{i4}) \cdot 0.2 + EHK_{i1} \cdot 0.3$$

Analog zu 3.3.2 ist

$$a_{L1} = EHK_{i1} \cdot 0.04 + EHK_{i3} \cdot 0.05 + EHK_{i4} \cdot 0.1$$

Für die Warmwasserbereitung werden 9-11%, zum Kochen 2-3% des Gesamtenergiebedarfs

$$EHK_i = \sum_{j=1}^4 EHK_{ij}$$

eingesetzt /22/, /23/. Man kann annehmen, daß 30-40% der für Warmwasserbereitung aufgewendeten Energie im Haus abgegeben werden und der Rest mit dem Abwasser in die Kanalisation gelangt (vergl. /24/ und /2/). Als obere Grenze werden für die mit dem gesamten Abwasser in die Kanalisation abgeführte Energie 8% angenommen:

$$a_{K4} = EHK_i \cdot 0,08$$

Die Aufteilung von  $a_{K4}$  erfolgt entsprechend Kap. 3.4.2.

Der Beitrag zur latenten Wärme durch den bei Warmwasserbereitung und Kochen entstehenden Wasserdampf wird zu ca. 1% des Gesamtenergiebedarfs abgeschätzt. Dieser Anteil wird nicht berücksichtigt. Die restliche bei Warmwasserbereitung und Kochen entstehende Wärme sowie die Wärme aus allen weiteren Energieumsetzungen tragen zur Raumwärme bei.

Die Raumwärme wird über Strahlung und Konvektion an die Atmosphäre abgegeben:

$$a_S = (EHK_i - a_{K1} - a_{K4}) \cdot \alpha$$
$$a_{K3} = (EHK_i - a_{K1} - a_{K4}) \cdot (1 - \alpha)$$

Im Sektor Haushalt und Kleinverbrauch wird zur Berechnung des Strahlungsanteils  $\alpha = \frac{1}{3}$  verwandt (vergl. Kap. 3.3.2), da bei Wohngebäuden davon ausgegangen werden kann, daß je ein Drittel der Raumwärme das Haus in Form von Strahlung über die Außenwände sowie in Form von Konvektion über Lüftung und Außenwände verläßt /6/, /25/, /26/.

Der Strahlungsanteil der Ballungszentren wird bei dieser Abschätzung sicher überbewertet, da die zwischen Gebäuden ausgetauschte Strahlung nicht berücksichtigt wird.

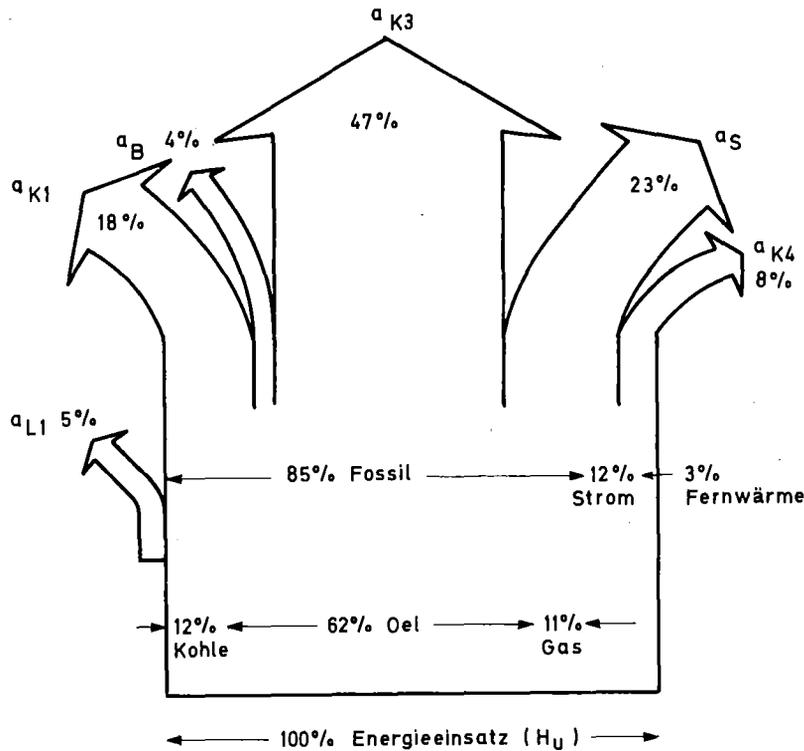


Abb. 3.6 : Abwärmeflußschema für den Haushalt

### 3.3.4 Verkehr

In diesem Sektor ist zu berücksichtigen, daß vor allem das Verhältnis von Strahlung zu Konvektion (ohne Abgaswärme) sehr stark von der Geschwindigkeit der Fahrzeuge beeinflusst wird. Eine grobe Abschätzung der Wärmeübergangszahlen für ein Rohr von 1,5 m  $\phi$  (nach [27]) ergibt für den Geschwindigkeitsbereich von 60-100 km/h einen Anteil von 8% für die Strahlung und 92% für den konvektiven Übergang an die Luft.

Den größten Beitrag in diesem Sektor liefert der Straßenverkehr. Deshalb seien Kraftwagen mit Otto- und Dieselmotor als Repräsentanten für diese Emittentengruppe ausgewählt. Mit Hilfe von Sankeydiagrammen u.ä. für Fahrzeuge mit Otto- und Dieselmotor [26], [29], [30] (vgl. Abb. 3.7), die sich

auf eine Geschwindigkeit von ca. 100 km/h beziehen und entsprechend neuerer Angaben /11/,/31/ modifiziert wurden, kann folgende Aufteilung vorgenommen werden:

Die mit den Abgasen und über den Kühler emittierte fühlbare Wärme wird ganz der Konvektion zugerechnet. Die von der Oberfläche des Fahrzeugs abgegebene Wärme wird im Verhältnis 8:92, die über den Boden (Radreibung) abgegebene Wärme im Verhältnis 50:50 in die Komponenten Strahlung und Konvektion aufgeteilt.

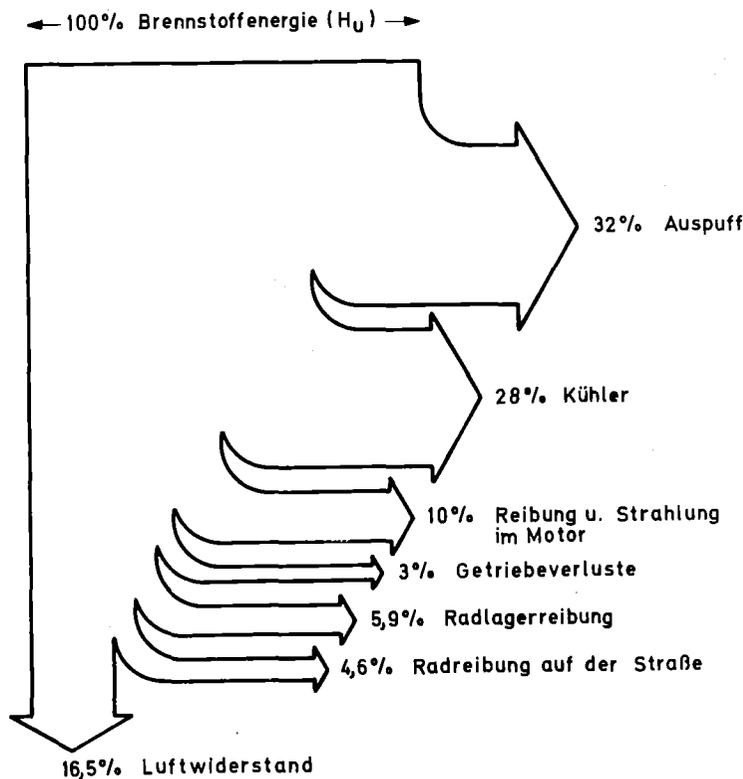


Abb. 3.7: Sankeydiagramm für einen Kraftwagen mit Ottomotor bei ca. 100 km/h

Tab. 3.2 gibt die Aufteilung in Abwärmekomponenten für zwei Fahrzeugtypen und zwei Straßentypen wieder.

Die Aufteilung der Abwärme eines Kraftwagens mit Ottomotor bei einer mittleren Geschwindigkeit von 60 km/h ist in dem nachfolgenden Schema (Abb. 3.8) dargestellt.

Mit abnehmender Geschwindigkeit wird der Anteil der Niedertemperatur-Konvektion (Konvektion minus Abgas) geringer und demzufolge der Anteil der anderen Komponenten höher.

	A u t o b a h n		Bundes-, Landstraßen usw.	
	PKW 100 km/h	LKW 85 km/h	PKW 60 km/h	LKW 60 km/h
(Abgas)	(32)	(27)	(34)	(29)
Konvektion	96	94	95	93
Strahlung	4	6	5	7
latente Wärme	6	5	6	5

Tab. 3.2: Aufteilung in Abwärmekomponenten (Angaben in %)

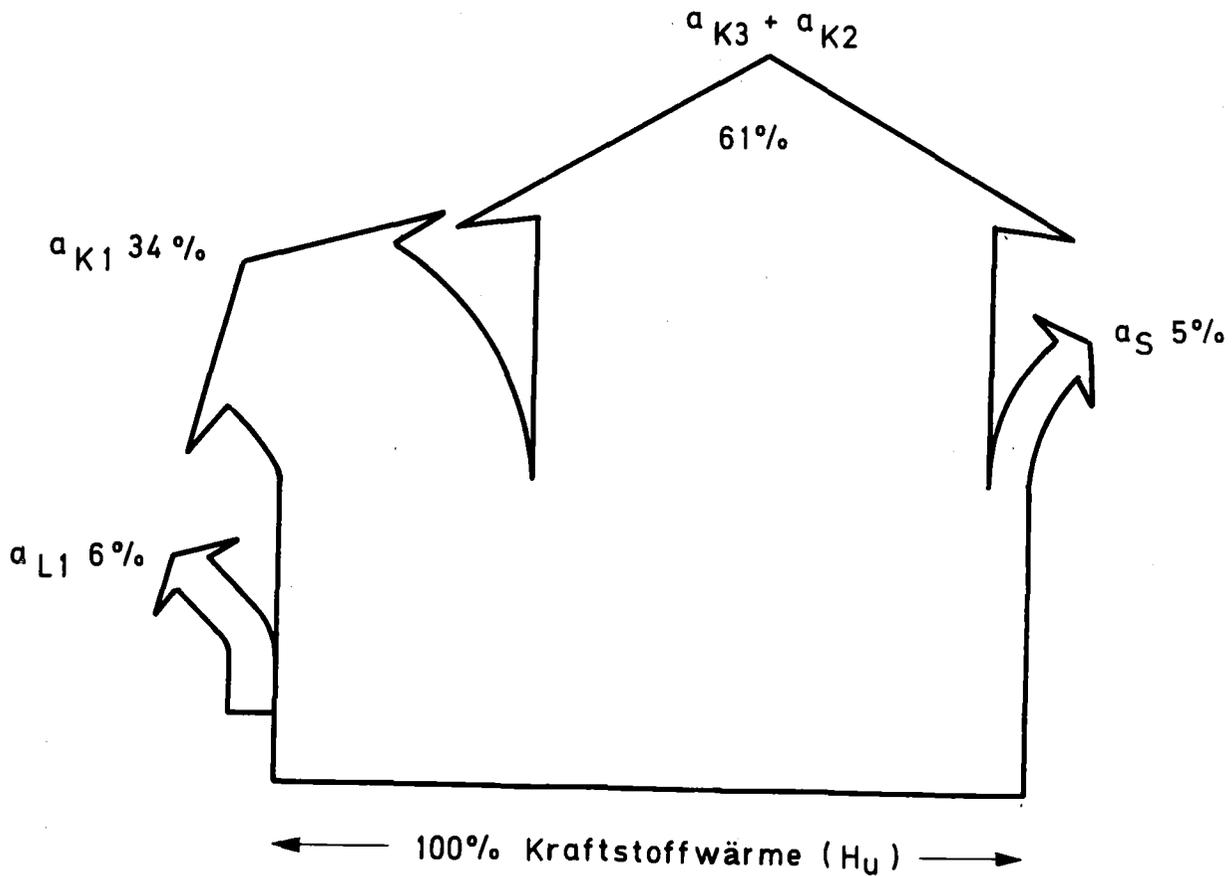


Abb. 3.8 : Abwärmeflußschema für den Verkehr mit Ottomotoren

Durch Beschleunigungs- und vor allem Abbremsvorgänge wird in Wirklichkeit mehr Energie auf die Straße gebracht als bei obiger Abschätzung angenommen

wurde, d.h. der unter Luftwiderstand (kinetische Energie) geführte Anteil wird zugunsten der Radreibung verringert und damit im Endeffekt der Anteil der Strahlung erhöht. Bei der Betrachtung dieser Aufteilung sollte man berücksichtigen, daß die Prozentangaben in Sankeydiagrammen von Fahrzeug zu Fahrzeug durchaus um mehrere Prozent schwanken können. Aus diesem Grunde und da sich die Werte in Tabelle 3.2 nicht wesentlich unterscheiden, wird für den Straßenverkehr zur Bestimmung der Abwärmekomponenten generell die Aufteilung

Konvektion: 95%  
Strahlung: 5%  
latente Wärme: 6%

verwandt.

Für den Schienenverkehr wurde dieselbe Aufteilung benutzt wie im Straßenverkehr, jedoch für Züge mit elektrischem Antrieb ohne Berücksichtigung von Abgas und latenter Wärme. Damit ergibt sich für die E-Traktion folgende Aufteilung: Strahlung: 8%, Konvektion: 92%.

Der Schiffsverkehr gibt den überwiegenden Teil seiner Abwärme an das Wasser /32/.

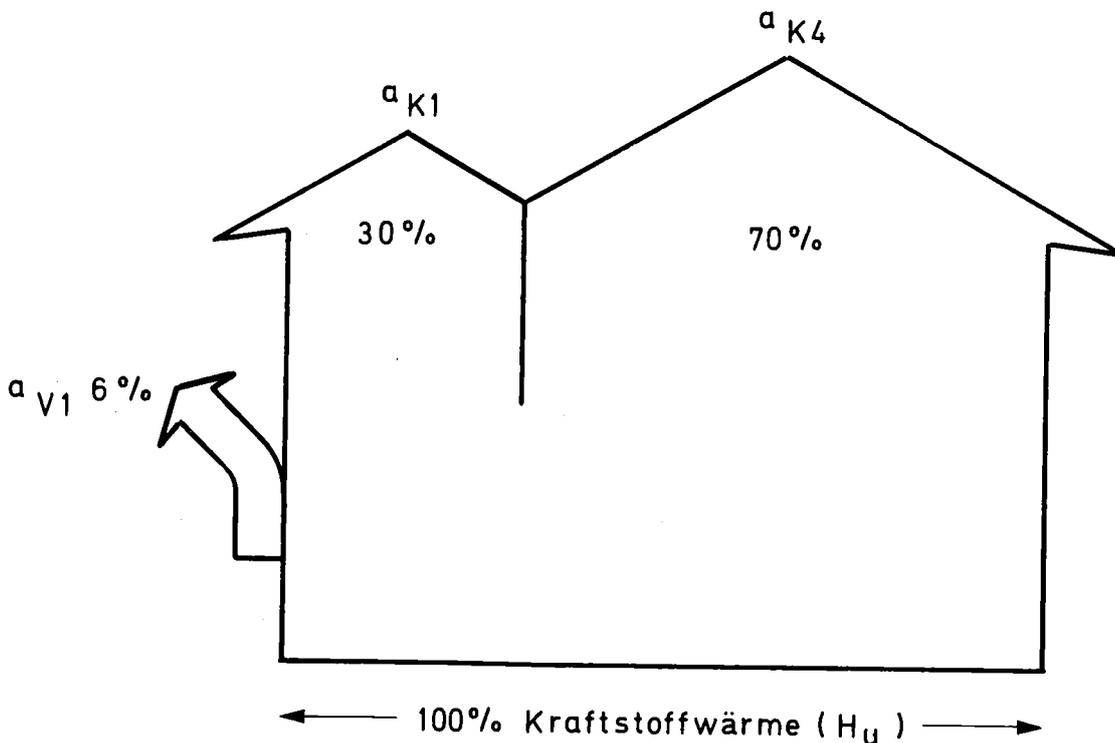


Abb. 3.9 : Abwärmeflußschema für den Schiffsverkehr

### 3.4 Verteilungsverluste und Abwärme aus Zwischenträgern

#### 3.4.1 Leitungs- und Transportverluste

Die Leitungs- und Transformationsverluste beim elektrischen Strom werden 1973 mit 6% angegeben /33/. Sie werden je zur Hälfte  $a_{K3}$  und  $a_S$  zugerechnet. Ca. 15% der für die Fernwärmeversorgung bereitzustellenden Energie müssen als Pumpenenergie und für die Verluste im Verteilungsnetz aufgebracht werden /34/. Ein großer Teil dieser Energie wird vom Zwischenträger Boden aufgenommen. Auch bei den Mineralölprodukten treten Verteilungsverluste von etwa 3% des Raffinerieeigenbedarfs auf, da sie zum Teil in aufgeheiztem Zustand transportiert werden müssen. Sie werden wie beim Strom in Form von Strahlung und Konvektion abgegeben.

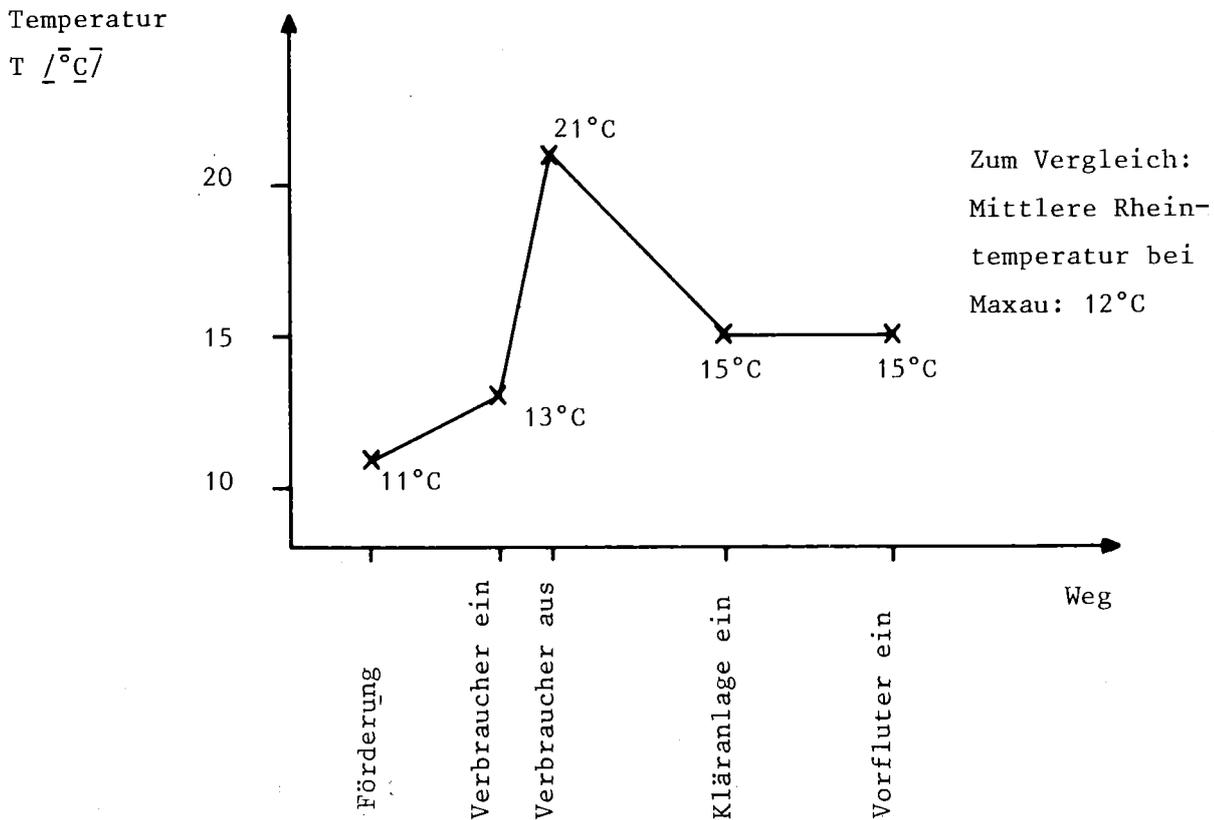
#### 3.4.2 Abwärmeemission aus Zwischenträgern

Wasser und Boden stellen Zwischenstationen auf dem Weg der Abwärme vom Emittenten zur Atmosphäre dar. Für den Wärmeübergang von Fließgewässern an die Atmosphäre kann über das Jahr gemittelt eine Übergangszahl von  $25 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$  angenommen werden /35/. Dieser Wärmeübergang wird im Mittel im Verhältnis 50:30:20 von Verdunstung, Konvektion und Strahlung getragen. Beim Wärmeübergang vom Boden müssen Freilandböden und Böden mit Straßendecke unterschieden werden. Über Freilandböden wurde das Verhältnis der Komponenten Verdunstung, Strahlung und Konvektion über das Jahr gemittelt zu 33:24:43 bestimmt /36/. Über Straßendecken kann Wärmeaustausch wie an Gebäudewänden angenommen werden, d.h. Strahlung und Konvektion tragen jeweils zur Hälfte bei.

Bei der Wärmeabgabe über den Zwischenträger Wasser wird unterschieden zwischen Großemittenten (Umwandlungsbereich und Industrie), die direkt in die großen Flüsse wie Rhein, Main und Neckar einleiten und anderen Emittenten (Industrie, Haushalt und Kleinverbrauch), deren Abwässer vor allem über die Kanalisation von Gemeinden abfließen. Die in einen Fluß eingeleitete Wärme wird von diesem entsprechend obigen Angaben zum Teil längs der Fließstrecke an die Atmosphäre abgegeben, zum Teil ins Meer eingetragen. Es wird angenommen, daß die Wärme in den Abwässern von Gemeinden, die nicht an einem der genannten großen Flüsse liegen, auf dem Gemeindegebiet vollständig an die Atmosphäre abgegeben wird (auch der in den Vorfluter gelangte Anteil). Durch eine Umfrage bei den Wasserversorgungsunternehmen bzw. Stadtwerken von 15 großen Gemeinden des Oberrheintals wurde der Temperaturgang des Trinkwassers zwischen Förderung und Abgabe aus der Kläranlage verfolgt (Abb. 3.10). 60-70% der zur Warmwasserbereitung aufgewendeten Energie werden in die Kanalisation abgegeben ( $a_{K4}$ ) /24/ /37/, entsprechend einer Aufwärmspanne von ca. 8 K (vergl. Abb. 3.10).

Davon werden etwa 75% (entsprechend 6 K) je zur Hälfte in Form von Strahlung und Konvektion über den Boden emittiert und etwa 25% (entsprechend 2 K) in den Vorfluter abgegeben (vgl. Abb. 3.10), d.h. knapp 20% der zur Warmwasserbereitung aufgewandten Energie geht in den Vorfluter. Von der im Sektor Haushalt und Kleinverbrauch aufgewandten Gesamtenergie wärmen demnach höchstens 2% den Vorfluter auf (vgl. Kap. 3.3.3); auch diejenigen Industriebetriebe, die ihre Abwässer in die Gemeindekanalisation einleiten (im allgemeinen kleinere Betriebe), tragen im Mittel mit etwa 2-3% ihres Energieverbrauchs zur Belastung des Vorfluters bei (vergl. Kap. 3.3.2).

Abb. 3.10 Temperaturverlauf des Trinkwassers zwischen Förderung und Abgabe in den Vorfluter



### 3.5 Vergleich typischer Emittenten und Abwärmebilanz der Bundesrepublik Deutschland 1973

Bei der Betrachtung von Leistungsdichten bietet sich eine Unterscheidung von Punkt-, Linien- und Flächenquellen an. Der größte Teil der gesamten Abwärme wird von den Gemeinden, d.h. von Flächenquellen mit 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 /38/.

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 punktuell z.B. in Form von Warmwasser in einen Fluß oder über einen Kühlturm in Form von Wasserdampf und Warmluft an die Atmosphäre abgeben. Einen geringeren Beitrag zur Gesamtabwärme liefern die Linienquellen, die bei niedrigen Leistungsdichten emittieren. Dazu gehören die Straßen des Außerortsverkehrs, vor allem die Autobahnen, Flüsse, wie der Rhein und mit einem sehr geringen Beitrag die Bundesbahnstrecken.

Tabelle 3.3 zeigt einen Vergleich zwischen verschiedenen Emittenten. 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 bei Raffinerien etwa 4% und bei Zementwerken 75% zusätzlich zu der freigesetzten Abwärme.

Beim Rhein beträgt der im Untersuchungsgebiet an die Luft abgegebene Anteil nur etwa 1/4 der eingeleiteten anthropogenen Abwärme von ca.  $9 \cdot 10^6$  tSKE/a auf 350 km Länge (1973).

In einer größeren Stadt wie Karlsruhe werden im Jahresmittel  $30 \text{ W/m}^2$  erreicht, was etwa einem Viertel der mittleren Sonneneinstrahlung am Erdboden entspricht. Bei einer Bestimmung der Aufteilung in Abwärmekomponenten für ein Stadtviertel wurde eine mittlere Verteilung des Energieverbrauches 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; die Abwärme aus dem Umwandlungssektor kann für eine größere Stadt u.U. größer sein als die Abwärme aus den anderen Sektoren zusammengenommen; z.B. gilt für Karlsruhe: Abwärme aus dem Umwandlungssektor (einschließlich Raffinerien)  $1,7 \cdot 10^6$  tSKE/a, aus den Verbrauchersektoren ca.  $1,3 \cdot 10^6$  tSKE/a und zwar Industrie  $0,4 \cdot 10^6$  tSKE/a, Haushalte und Kleinverbrauch  $0,7 \cdot 10^6$  tSKE/a, Verkehr (einschließlich Autobahn)  $0,2 \cdot 10^6$  tSKE/a (bei den Angaben ist die latente Wärme berücksichtigt).

Die Verteilung der Abwärmekomponenten für ein Einfamilienhaus ist je nach Heizung sehr verschieden. Es wurde daher die mittlere Aufteilung nach Kap.3.3.3 übernommen.

Wie sich die Beiträge der einzelnen Sektoren zur Abwärmebilanz der BRD für das Jahr 1973 zusammensetzen, kann der Abb. 3.11 entnommen werden. Grundlage ist die Energiebilanz der BRD von 1973 /7/.

Tabelle 3.3: Vergleich der Abwärmeleistung und Leistungsdichte typischer Emittenten einschließlich der Aufteilung in Abwärmekomponenten.

Emittent	gesamte Abwärme-abgabe pro Jahr tSKE/a	Aufteilung der Abwärme in Komponenten (%)				Hauptemissions- fläche (m <sup>2</sup> )	Leistungsdichte der von der Hauptemissionsfläche an die Luft abgegebenen Wärme W/m <sup>2</sup>
		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 Er- wärmung über die Gleich- gewichtstemperatur	5.000	20	50	30		200.000	23
Autobahnabschnitt von 1 km Länge bei einer durch- schnittlichen 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 <sup>2</sup> )	32.000	22	5	67	7	1.000.000	30
Einfamilienhaus (4-Personen-Haushalt)	6	24	5	64	8	400	14

\*) Warmwasserabwärme nicht berücksichtigt.

Alle %-Angaben sind Mittelwerte; die Summe kann durch Rundungsfehler um  $\pm 1$  von 100 abweichen.

Außer den bereits diskutierten Annahmen wurden noch einige weitere gemacht;

- a) es wird keine Abwärme durch Flüsse importiert,
- b) die durch Flüsse exportierte Abwärme wird nach /39/ abgeschätzt,
- c) für alle Kraft- und Heizwerke wurden die Umwandlungsverluste wie im konventionellen Wärmekraftwerk aufgeteilt. Alle anderen Anlagen des Umwandlungsbereiches wurden wie Raffinerien behandelt.

Die in den Verbrauchersektoren Industrie, Haushalt und Kleinverbrauch eingesetzte Energie wurde aufgeteilt nach Raumheizung, Prozeßwärme sowie Licht und Kraft /37/, /40/. Industriekraftwerke wurden hier zum Umwandlungssektor gerechnet, da sie in der Energiebilanz /7/ auch dort aufgeführt werden.

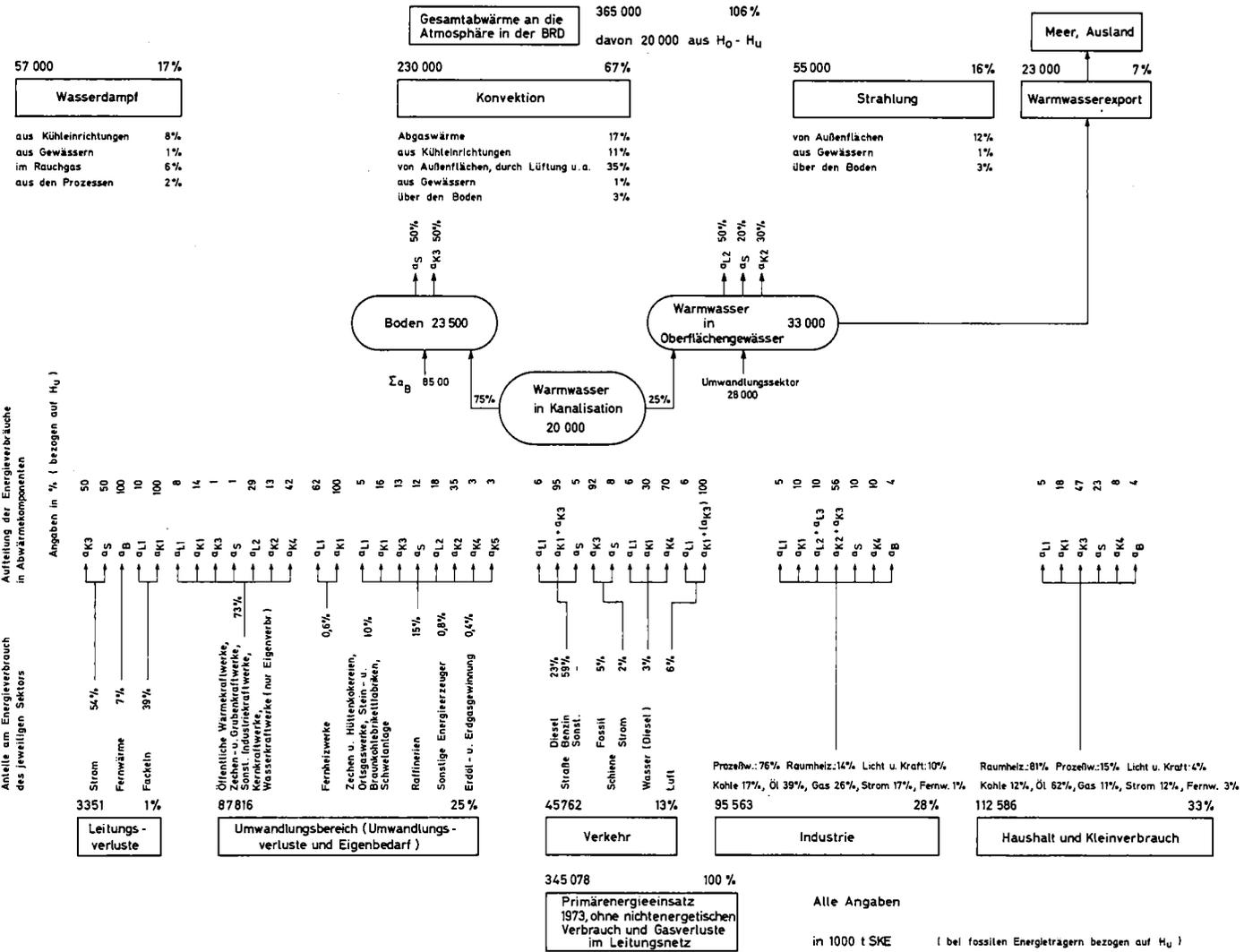
Ein solches Flußschema kann aufzeigen, welche Beiträge wesentlich sind und daher stärker berücksichtigt werden müssen. Das Schema liefert auch einen Anhaltspunkt für die Zusammensetzung der Abwärme in kleineren räumlichen Einheiten. Auf Gemeindeebene kann jedoch ein Grobteinleiter das Bild erheblich verschieben. Deshalb ist es sinnvoll, in einem Kataster auf Gemeindebasis alle Einzelemittenten mit einer Leistung  $\geq 10$  MW bzw. 15.000 tSKE/a aus der pauschalen Betrachtung herauszulösen, einzeln zu analysieren und im Kataster genauer zu lokalisieren.

#### 4. Katastermäßige Erfassung der Abwärme

##### 4.1 Beschreibung des Abwärmekatasters

Das Abwärmekataster soll die räumliche und zeitliche Verteilung der anthropogenen Wärmeemissionen im Untersuchungsgebiet darstellen, aufgeteilt nach den Komponenten latente Wärme, Strahlung und Konvektion. Die räumliche Auflösung soll einem Raster von  $2 \times 2 \text{ km}^2$  entsprechen. Diese Auflösung läßt sich vor allem bei größeren Gemeinden für die Verbrauchersektoren nur unter Annahme einer Gleichverteilung über die bebaute Fläche realisieren, da der Energieverbrauch in diesen Sektoren nur gemeindeweise bestimmt werden kann. Ausnahmen stellen der Außerortsverkehr sowie Großemittenten von Industrie und Umwandlungssektor dar, die einzeln untersucht und daher genau lokalisiert werden können. Die zeitliche Auflösung soll sich auf typische Tages- und Jahresgänge für die beschriebenen Emittentengruppen beschränken. Im folgenden wird jedoch nur die Bestimmung des Jahresenergieverbrauchs auf Katasterebene beschrieben.

Abb. 3.11 Abwärmebilanz der BRD für das Jahr 1973



Bei der Bestimmung des Energieverbrauchs der Industrie ist darauf zu achten, daß die zur Eigenstromerzeugung eingesetzte Primärenergie im Endverbrauch nicht noch einmal berücksichtigt wird. Ähnlich muß der Verbrauch in Raffinerien und der chemischen Industrie um den nichtenergetischen Anteil bereinigt werden. Die räumliche und zeitliche Verteilung des Energieverbrauchs, gegliedert nach Energiearten und Emittentengruppen, stellt ein Energiekataster dar. Ist dieses aufgestellt, so muß noch die in 3.3 beschriebene Transformation angewendet werden, die das Energiekataster in ein Abwärmekataster überführt.

Bei der Untersuchung der Wärmeströme sollen nur stationäre Situationen betrachtet werden, d.h. Wärmeflüsse in Speicher (Grundwasser, Boden, Gebäude) stehen im Gleichgewicht mit Wärmeflüssen aus Speichern.

#### 4.2 Bestimmung des Energiekatasters auf niedrigster Ebene

Während der Energieverbrauch von Großemittenten und im Außerortsverkehr auf Rasterquadratabene bestimmt wird, ist in den Sektoren Industrie, Haushalt und Kleinverbrauch sowie Innerortsverkehr die Gemeinde die kleinste Einheit, für die entweder Energiedaten oder zumindest Strukturdaten zur Abschätzung des Energieverbrauches vorliegen.

##### 4.2.1 Industrie

Von den statistischen Ämtern / 8 / stehen folgende Daten zur Verfügung:

- a) Mittelwerte  $ESP_i$  für den jährlichen Energieverbrauch pro Beschäftigten für jeden Industriezweig<sub>i</sub>.

Diese sind in Anhang 2 zusammengestellt.

Im Folgenden wird nur der spezifische Gesamtenergieverbrauch benutzt. Prinzipiell könnte der spezifische Energieverbrauch pro Beschäftigten noch nach Energieträgern aufgeschlüsselt verwendet werden. Dies ist aber nicht sinnvoll, da die spezifischen Gesamtenergieverbräuche bereits recht große Schwankungsbreiten zwischen einzelnen Betrieben aufweisen, die größenordnungsmäßig die Unterschiede in der relativen Zusammensetzung des Energieverbrauchs in verschiedenen Industriezweigen übersteigen können.

- b) Die Anzahl der Beschäftigten  $BI_{ij}$  in jeder Gemeinde  $i$  gegliedert nach hauptbeteiligten Industriegruppen  $j$  (HIG).
- c) Der jährliche Energieverbrauch  $EIG_{ij}$  nach Energieträgern  $j$  für Gemeinden bzw. mehrere Gemeinden umfassende Gebiete bis zu Kreisen (Geheimhaltungsbereich  $G_i$ ). - Auf Kreisebene liegt der Energieverbrauch z.T. nach Industriezweigen aufgeschlüsselt vor. Letzteres bedeutet, daß entsprechend den gesetzlichen Geheimhaltungsvorschriften Daten so zusammengefaßt sind, daß nicht auf den Einzelbetrieb zurückgeschlossen werden kann.

Die nach Energieträgern aufgegliederten Verbrauchsdaten werden für jede Gemeinde  $i$  zu 4 Gruppen  $EI_{ij}$  zusammengefaßt:

$j = 1$  Kohle

$j = 2$  Stromverbrauch (minus Stromeigenerzeugung aus fossilen Energieträgern)

$j = 3$  Öl

$j = 4$  Gas

Vom Stromverbrauch wird die Stromeigenerzeugung aus fossilen Energieträgern abgezogen, um Doppelzählungen zu vermeiden, da die entsprechende Energie bereits bei den fossilen Energieträgern berücksichtigt ist.

Ein Schätzwert für den Energieverbrauch der Industrie in der Gemeinde  $i$  ist durch

$$EB_i = \sum_j BI_{ij} \cdot ESP_j$$

gegeben.

In einem Geheimhaltungsbereich  $G_k$  wird der Energieverbrauch der Industrie  $EIG_{kj}$  proportional zu den Schätzwerten  $EB_i$  auf die Gemeinden verteilt:

$$EI_{ij} = EIG_{kj} \frac{EB_i}{\sum_{n \in G_k} EB_n} \quad (4.2 - 1)$$

Mit dieser Methode berechnete Ergebnisse für die Kreise Rastatt, Baden-Baden und Karlsruhe-Stadt sind in Tab. 4.1 zusammengestellt.

Ein einfacherer, aber wesentlich ungenauerer Weg, den Energieverbrauch der Industrie abzuschätzen, geht über die Gesamtzahl der Beschäftigten und einen spezifischen Energieverbrauch pro Beschäftigten der Gesamtindustrie im Jahr. Dieser beträgt für die BRD 1973

$$15,4 \frac{\text{t SKE}}{\text{a}}$$

Damit gewonnene Schätzwerte sind in der letzten Spalte von Tab. 4.1 unter EBG zum Vergleich angegeben.

Der Energieverbrauch aller Einzelquellen der Industrie einer Gemeinde muß vor der Verteilung auf Abwärmekomponenten vom Energieverbrauch der Industrie in dieser Gemeinde abgezogen werden, da für Einzelquellen nicht die pauschale Aufteilung nach Kap. 3.3.2 verwandt wird. Sind Gemeinden zu einem Geheimhaltungsbereich zusammengefaßt, so gilt das Entsprechende für den Geheimhaltungsbereich. In diesem Fall muß zudem von den Beschäftigten der Branche und der Gemeinde, zu der eine Einzelquelle gehört, deren Beschäftigtenzahl abgezogen werden. Erst dann erfolgt die Verteilung des restlichen Energieverbrauchs nach Formel 4.2 - 1.

Schätzt man den Energieverbrauch über die Beschäftigten ab, so wird die relative Verteilung der Energie auf die Energieträger in der Einzelgemeinde so angenommen, wie im Geheimhaltungsbereich. Der dadurch begangene Fehler wirkt sich auf die Verteilung der Abwärmekomponenten aus, ist jedoch unbedeutend im Vergleich zum Fehler bei der Abschätzung des Energieverbrauchs.

Letzterer ergibt sich daraus, daß der spezifische Energieverbrauch pro Beschäftigtem von Betrieb zu Betrieb innerhalb eines Industriezweiges erheblich schwankt. Ein Maß für diesen Fehler läßt sich definieren, indem man für alle Gemeinden  $i$  eines Kreises (oder eines größeren Teils des Modellgebiets), für die der Energieverbrauch der Industrie vorliegt, den entsprechend obiger Formel geschätzten mit dem tatsächlichen Energieverbrauch vergleicht.

Tab. 4.1 Verbrauch an Energieträgern auf Gemeindeebene im Umwandlungssektor und der Industrie für die Kreise Rastatt, Baden-Baden, Karlsruhe-Stadt 1974

Gemeinde	Kohle	Strom	Öl	Gas	Insgesamt $\sum_j EI_{ij}$	Schätzwert	Schätzwert
	$EI_{i1}$	$EI_{i2}$	$EI_{i3}$	$EI_{i4}$		$EB_i$	EBG
	Angaben in %				Angaben in tSKE/a		
Au am Rhein <sup>+</sup>	0,6	25,3	74,1	-	194	116	
Bietigheim <sup>+</sup>	-	26,8	73,2	-	293	930	
Bischweier <sup>+</sup>	0,6	25,3	74,1	-	8884	5322	
Bühl, Stadt	0,1	37,7	54,8	7,4	5133	45608	62462
Bühlertal	-	38,6	61,4	-	3464	2394	19265
Durmersheim	6,6	28,9	64,6	-	2591	3574	7715
Elchesheim-Illingen <sup>+</sup>	0,6	25,3	74,1	-	1364	817	
Forbach	18,0	3,6	78,4	-	82625	70873	20005
Gaggenau, Stadt	-	33,7	47,3	19,0	47506	53814	173804
Gernsbach, Stadt	4,0	7,2	88,2	0,6	83973	120639	33403
Hügelsheim	-	-	-	-	-	-	-
Iffezheim	-	64,2	35,8	-	778	3329	3049
Kuppenheim, Stadt	-	35,5	64,5	-	3976	7449	13198
Lichtenau, Stadt	-	39,8	60,2	-	870	2704	10041
Loffenau <sup>+</sup>	0,6	25,3	74,1	-	107	64	-
Muggensturm <sup>+</sup>	0,6	25,3	74,1	-	784	469	2341
Ötigheim	-	7,7	92,3	-	2256	1121	4173
Ottersweier	-	12,2	87,8	-	1154	1324	4635
Rastatt, Stadt	16,6	18,0	44,7	20,7	46718	67225	137938
Sinzheim <sup>+</sup>	-	11,4	87,6	1,0	973	4870	7762
Steinmauern <sup>+</sup>	0,6	25,3	74,1	-	2068	1239	785
Weisenbach	0,6	25,3	74,1	-	1433	859	-
Rheinmünster	0,01	11,4	88,6	-	21940	9566	4913
Landkreis Rastatt	8,3	14,5	71,0	6,1	319084	404306	515515
Baden-Baden	2,6	12,6	44,6	40,1	13077	47634	59921
Karlsruhe <sub>1)</sub>	1,7	6,0	91,0	1,3	370000	270484	614045
Karlsruhe	10,7	1,1	87,9	0,2	1940000		

1) einschließlich Umwandlungssektor

bei Kraftwerken wurde der der primären Abwärme (einschließl. Stromeigenbedarf) entsprechende Anteil der Energieträger Kohle, Öl, Gas gezählt ( $H_u$ ).

+ ) Gemeindedaten unterliegen der Geheimhaltung. Angaben sind Schätzwerte nach 4.2-1, wobei  $G_k$  die Vereinigung der mit + bezeichneten Gemeinden ist.

Sei  $ETI_i$  der tatsächliche Energieverbrauch der  $i$ -ten Gemeinde, die nicht unter die Geheimhaltung fällt,  $N$  die Anzahl dieser Gemeinden und

$$EGES = \sum_{i=1}^N ETI_i,$$

dann ist

$$D = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left( \frac{EGES \cdot \sum_{l=1}^N \sum_{j=1}^N BI_{lj} \cdot ESP_j}{\sum_{l=1}^N \sum_{j=1}^N BI_{lj} \cdot ESP_j} - ETI_i \right)^2 / N}$$

bzw.

$$D_{rel} = \frac{D}{EGES/N}$$

ein Maß für den begangenen mittleren Fehler.

Die größten Abweichungen ergeben sich in Gemeinden, in denen sich die Industriezweige Kohlenwertstoffindustrie, Industrien der Steine und Erden und chemische Industrie befinden, da diese Branchen sehr inhomogen bezüglich ihres spezifischen Energieverbrauches sind.

Für die nicht geheimgehaltenen Gemeinden ergibt sich  $D_{rel} = 58\%$ . Allerdings muß berücksichtigt werden, daß nur in verhältnismäßig wenigen Gemeinden der Energieverbrauch im Industriesektor geschätzt werden muß. In diesen Gemeinden ist zudem nur wenig Industrie vorhanden, so daß der absolute Fehler klein bleibt. Die Abschätzung über die Gesamtzahl der Beschäftigten und einen pauschalen spezifischen Energieverbrauch pro Beschäftigten für die Gesamtindustrie führt zu einem beträchtlich größeren Fehler:

$$D_{rel} = 84\%.$$

#### 4.2.2 Haushalt und Kleinverbrauch

Haushalt und Kleinverbrauch ist der bei weitem am schlechtesten dokumentierte Verbrauchersektor ( /7/, /8/, /41/ ). Der Kleinverbrauch umfaßt Industriebetriebe mit weniger als 10 Beschäftigten, Handel und Gewerbe, öffentliche Einrichtungen und Landwirtschaft. Es werden vier verschiedenen Zugänge zu einem Energiekataster diskutiert. Deren Ergebnisse für ein kleineres Gebiet sind zum Vergleich in Tab.4.2 aufgeführt.

- a) Die für Baden-Württemberg (BW) bzw. die Bundesrepublik (BRD) bekannte Energieverbrauchsanzahl im Sektor Haushalt und Kleinverbrauch wird proportional zur Anzahl der Wohnungen bzw. wahlweise der Anzahl der Einwohner verteilt.

Es seien

SPW      Spezifischer Gesamtenergieverbrauch pro Wohnung und Jahr im Sektor Haushalt und Kleinverbrauch

$$\text{BW} \quad (1973) \quad 4.27 \frac{\text{t SKE}}{\text{a W}}$$

$$\text{BRD} \quad (1973) \quad 4.97 \frac{\text{t SKE}}{\text{a W}}$$

SPE      Spezifischer Gesamtenergieverbrauch pro Einwohner und Jahr im Sektor Haushalt und Kleinverbrauch

$$\text{BW} \quad (1973) \quad 1.48 \frac{\text{t SKE}}{\text{a E}}$$

$$\text{BRD} \quad (1973) \quad 1.81 \frac{\text{t SKE}}{\text{a E}}$$

$W_i$       Anzahl der Wohnungen in Gemeinde i

$E_i$       Anzahl der Einwohner in Gemeinde i

Damit ergibt sich der Gesamtenergieverbrauch im Sektor Haushalt und Kleinverbrauch in Gemeinde i zu

$$\text{EHK}_i = \text{SPW} \cdot W_i$$

oder

$$\text{EHK}_i = \text{SPE} \cdot E_i$$

Die beiden Varianten werden in Tab.4.2 als HKV 1 und HKV 2 geführt.

Die Aufteilung nach Energieträgern wird im gesamten Gebiet homogen angenommen.

Sei  $\beta_j$  der Anteil des Energieträgers  $j$  ( $j = 1, \dots, 4$ ) am Gesamtverbrauch in Haushalt und Kleinverbrauch; damit ist der Verbrauch nach Energieträgern

$$EHK_{ij} = EHK_i \cdot \beta_j$$

Auf Gemeindeebene wurde die gleiche Aufteilung benutzt wie in übergeordneten Bereichen

1973	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$
BW	0,076	0,128	0,700	0,083
BRD	0,116	0,120	0,654	0,109

Dabei wurde der Fernwärmeanteil zum Ölanteil addiert.

Zwei Verbesserungen regionaler Werte können vorgenommen werden. 80% des Verbrauches im Sektor Haushalt und Kleinverbrauch entfallen auf Energie für Raumheizung; deren Betrag ist proportional zur Anzahl der Heizgradtage.

Seien

$GT_i$  die Anzahl der Heizgradtage in Gemeinde  $i$

$GTM$  die mittlere Anzahl an Heizgradtagen, gemittelt mit Wichtung durch die Bevölkerungsdichte über das Gebiet, aus dem SPW bzw. SPE bestimmt wurden.

Der korrigierte Verbrauch ist:

$$EHK_{ij} = EHK_i \cdot \beta_j \cdot \left( 0.80 \frac{GT_i}{GTM} + 0.20 \right)$$

Diese Korrektur ist in Tab.4.2 nicht berücksichtigt.

Schließlich kann eine Korrektur vorgenommen werden, indem man das Verhältnis des Energieverbrauches im Haushalt zum Energieverbrauch im Kleinverbrauch nicht über das gesamte Gebiet konstant annimmt.

Auf Landesebene ist das Verhältnis der Energieverbrauchszahlen der beiden Teilsektoren 60:40 (Haushalt:Kleinverbrauch). In Verwaltungszentren und Großstädten kehrt sich dieses Verhältnis jedoch zu 60:90 um /42/, /43/, d.h. die spezifischen Verbrauchswerte erhöhen sich auf 150% gegenüber den Mittelwerten. Dem kann durch einen Korrekturfaktor  $\gamma_i$  Rechnung getragen werden.

In Baden-Württemberg werden Städte mit  $E_i > 100.000$  als solche Zentren angesehen und damit

$$\gamma_i = 1.5$$

gesetzt; bei der Einwohnerverteilung in Baden-Württemberg muß dann für alle anderen Gemeinden

$$\gamma_i = 0.9$$

sein, um auf den Gesamtenergieverbrauch des Landes zu kommen. Die Korrektur wird an HKV 1 durchgeführt.

$$EHK_{ij} = SPW \cdot W_i \cdot \beta_i \cdot \gamma_i$$

Diese Variante wird in den Ergebnissen als HKV 3 geführt.

- b) Die zweite Methode besteht darin, auf übergeordneter Ebene (Land bzw. Bund) Haushalt und Kleinverbrauch im Verhältnis 60:40 zu trennen, den Haushaltsanteil proportional zur Anzahl der Wohnungen und den Kleinverbrauchsanteil proportional zur Anzahl der Beschäftigten in diesem Sektor zu verteilen.

Zusätzliche Definitionen:

$BKV_i$  Anzahl der Beschäftigten im Kleinverbrauch in Gemeinde  $i$   
Sie wird bestimmt aus der Gesamtzahl der Beschäftigten  $B_i$  und den Beschäftigten der Industrie in Gemeinde  $i$  :

$$BKV_i = B_i - \sum_j BI_{ij}$$

$SPH$  Spezifischer Gesamtenergieverbrauch im Haushalt pro Wohnung und Jahr

$$BW \quad (1973): \quad 2.56 \frac{t \text{ SKE}}{a \text{ W}}$$

$$BRD \quad (1973): \quad 2.98 \frac{t \text{ SKE}}{a \text{ W}}$$

$SPKV$  Spezifischer Gesamtenergieverbrauch im Kleinverbrauch pro Beschäftigten und Jahr

$$BW \quad (1973): \quad 3.00 \frac{t \text{ SKE}}{a \text{ B}}$$

$$BRD \quad (1973): \quad 3.47 \frac{t \text{ SKE}}{a \text{ B}}$$

Damit ist

$$EHK_i = SPH \cdot W_i + SPKV \cdot BKV_i$$

Die Verteilung auf Energieträger wird wie unter a) vorgenommen.

$$EHK_{ij} = EHK_i \cdot \beta_j$$

Wie unter a) kann auch eine Korrektur auf Heizgradtage vorgenommen werden. Diese Variante heißt in den Ergebnissen HKV 4.

- c) Eine dritte Methode geht von den Energieträgern aus. Mit dem i.a. bekannten Stromverbrauch der Tarifabnehmer einer Gemeinde ist in guter Näherung der Stromverbrauch des Sektors Haushalt und Kleinverbrauch in dieser Gemeinde gegeben. Sollte er nicht bekannt sein, wird er über die Einwohnerzahl und einen spezifischen pro-Kopf-Verbrauch von  $0.20 \frac{t \text{ SKE}}{a}$  abgeschätzt.

In den über Leitungen gasversorgten Gemeinden kann auch der Gasverbrauch in diesem Sektor festgestellt werden. Sollte er nicht bekannt sein, wird er über die Anzahl der Haushalte und einen spezifischen Verbrauch pro Haushalt von  $0.74 t \text{ SKE}/a$  abgeschätzt und in nicht gasversorgten Gemeinden dem Ölverbrauch zugeschlagen.

Also besteht nur noch ein Verteilungsproblem für Kohle und Öl. Die Kohle wird proportional zur Anzahl der Wohnungen mit Kohle- und Holzöfen, das Öl proportional zur Anzahl der restlichen Wohnungen (Wohnungen mit Öl-, Gas- oder Elektroöfen und Wohnungen mit Sammelheizung) verteilt.

Da die Wohnungszahlen aus der Wohnungszählung 1968 stammen, werden die spezifischen Verbräuche 1973 bezogen auf die Zahl der Wohnungen 1968. Das bedeutet, daß eine räumlich homogene Veränderung des Wohnungsbestandes mit verschiedenen Heizsystemen zwischen 1968 und 1973 angenommen wird.

Seien

- $WKH_i$  Anzahl der Wohnungen mit Kohle- oder Holzöfen in Gemeinde i 1968
- SPK Spezifischer Kohleverbrauch im Sektor Haushalt und Kleinverbrauch pro Jahr und pro Wohnung mit Kohle- oder Holzöfen 1968.
- BW (1973):  $0.89 \frac{t \text{ SKE}}{a W (1968)}$
- $WOG_i$  Anzahl der Wohnungen mit Strom-, Öl- oder Gasöfen bzw. Sammelheizung in Gemeinde i 1968

SPO Spezifischer Ölverbrauch im Sektor Haushalt und Kleinverbrauch pro Jahr und pro Wohnung der vorgenannten Kategorie

$$BW (1973): 6.09 \frac{t \text{ SKE}}{a \cdot W (1968)}$$

$EHK_{i2}$  und  $EHK_{i4}$  sind entweder bekannt oder werden zu

$$EHK_{i2} = 0.2 \frac{t \text{ SKE}}{a} \cdot E_i$$

$$EHK_{i4} = 0.74 \frac{t \text{ SKE}}{a} \cdot W_i$$

abgeschätzt.

$$EHK_{i1} = SPK \cdot WKH_i$$

$$EHK_{i3} = SPO \cdot WOG_i$$

Diese Variante heißt HKV 5 in den Ergebnissen.

- d) Bei der letzten Methodé schließlich wird der Raumheizbedarf als größter Beitrag zum Energieverbrauch im Haushalt über die Brutto-Wohnfläche abgeschätzt und auf den Gesamtverbrauch im Sektor Haushalt und Kleinverbrauch hochgerechnet.

Seien

$GWFL_i$  Brutto-Wohnfläche der Gemeinde  $i$  in  $m^2$

$SPQM$  Spezifischer Heizverbrauch pro  $m^2$  und Jahr  
 $SPQM$  wird bei 1 700 Benutzungsstunden (Vollast) zu

$$0.029 \frac{t \text{ SKE}}{a \cdot m^2} \text{ angenommen /44/.$$

Es wird weiter angenommen, daß der Raumheizbedarf 80% des Gesamtenergiebedarfs im Haushalt ausmacht. Das Verhältnis zwischen Haushalt und Kleinverbrauch wird wie in a) angesetzt, ebenso die Verteilung auf Energieträger.

Dann ist

$$EHK_{ij} = \frac{GWFL_i \cdot SPQM}{0,8 \cdot 0,6} \cdot \gamma_i \cdot \beta_j$$

Diese Variante wird in Tab.4.2 unter HKV 6 geführt.

Tab. 4.2 Verbrauch an Energieträgern im Sektor Haushalt und Kleinverbrauch sowie im Innerortsverkehr für die Kreise Rastatt, Baden-Baden und Karlsruhe-Stadt 1973 - Angaben in tSKE/a

Gemeinde-Name	HKV 1	HKV 2	HKV 3	HKV 4	HKV 5					HKV 6	Δ in %	IOV
					Öl	Kohle	Gas	Strom	Gesamt			
Au am Rhein	3711	4003	3340	2882	2527	340	321	344	3532	3645	12	0
Bietigheim	8019	7940	7217	7034	6863	517	483	790	8653	7595	8	0
Bischweier	3134	3453	2821	2221	2174	181	272	316	2943	3269	15	0
Bühl, Stadt	30266	31138	29239	38035	21833	2174	1903	4208	30118	31571	11	3156
Bühlertal	11700	12522	10530	11811	7497	1165	1014	1683	11359	11261	6	0
Durmersheim	14347	14772	12912	12949	10810	951	1330	1357	14448	14006	6	0
Elchesheim-Illingen	3442	3847	3098	3068	2844	208	298	382	3732	3543	9	0
Forbach	9027	9920	8124	9162	3678	1260	782	801	6521	8861	14	0
Gaggenau, Stadt	42106	42853	37895	38960	31741	3345	5345	5266	45699	39132	7	4343
Gernsbach, Stadt	20095	20239	18086	19016	14634	1585	1741	2026	19986	20478	5	0
Hügelsheim	2899	2076	2609	2353	2454	170	251	281	3156	2906	15	0
Iffezheim	5209	5300	4688	4662	3423	459	451	531	4864	5181	6	0
Kuppenheim, Stadt	9031	9330	8128	8940	6699	724	782	777	8982	8855	5	0
Lichtenau, Stadt	5397	5868	4857	5183	3362	552	468	793	5175	5639	7	0
Loffenau	3548	3474	3193	3027	1851	386	307	469	3013	3450	7	0
Muggensturm	7007	7057	6306	6640	4397	656	607	997	6657	6896	4	0
Ötigheim	5348	5144	4846	4317	4038	406	467	471	5382	5273	8	0
Ottersweier	6367	8044	5730	5058	3477	684	552	1087	5800	6698	16	0
Rastatt, Stadt	59720	56832	53748	67046	52039	3613	9174	14532	79358	57140	15	5760
Sinzheim	10308	10825	9277	9405	7521	867	176	1463	10017	10274	6	0
Steinmauern	2887	3064	2598	2331	1632	291	250	300	2473	2838	10	0
Weisenbach	3732	4221	3359	2969	2643	337	323	225	3528	3659	12	0
Rheinmünster	6823	6805	6141	5816	5170	489	591	920	7170	7271	9	0
Baden-Baden	86758	75612	78082	114000	71247	6172	9357	13277	100053	85517	16	7663
Karlsruhe	458585	406717	687878	636916	382884	31899	107705	54962	577450	719512	22	140000

Mittel: 10

Δ = Standardabweichung

IOV = Innerortsverkehr

HKV 1-6 bezeichnet die verschiedenen Methoden der Berechnung des Energieverbrauchs im Sektor Haushalt und Kleinverbrauch

### Schlußfolgerungen:

Die mit verschiedenen Methoden abgeschätzten Werte (Tab.4.2) liegen dicht zusammen. Die mittlere Standardabweichung der 6 Werte beträgt 10%. Wir halten HKV 3, HKV 4 und HKV 6 für die zuverlässigsten Schätzwerte.

Große Abweichungen bei Gemeinden mit mehr als 100.000 Einwohnern erklären sich daraus, daß HKV 1 und HKV 2 nicht die korrekten Verhältnisse von Haushalt zu Kleinverbrauch in diesen Gemeinden widerspiegeln.

Der Weg über die einzelnen Energieträger (HKV 5) kann trotz höheren Aufwands keine besseren Ergebnisse liefern, da nur etwa 20% des Gesamtenergieverbrauches genauer bekannt sind und die Ungenauigkeit der restlichen 80% in derselben Größenordnung liegt wie der Fehler in allen anderen Methoden. Es ergibt sich aus demselben Grund im wesentlichen auch dieselbe Zusammensetzung der Gesamtenergie aus den Energieträgern wie auf Landesebene.

Die in Kap. 5 vorgelegten Ergebnisse basieren auf Rechnungen mit dem zentral gelegenen HKV 3, wobei die Aufteilung nach Energieträgern mit den Faktoren  $\beta_j$  von Baden-Württemberg erfolgte.

### 4.2.3 Innerortsverkehr

Der Energieverbrauch im Innerortsverkehr wird auf Gemeindeebene über die Einwohnerzahl und einen spezifischen Verbrauch, der für 3 Ortsgrößenklassen verschieden angenommen wird, bestimmt.

Sei

$EIOV_{ij}$  Energieverbrauch im Innerortsverkehr pro Jahr für Gemeinde  $i$  und Energieträger  $j$  ( $j = 1$  Dieselkraftstoff,  $j = 2$  Benzin)

$SPV_i$  Spezifischer Energieverbrauch (unterer Heizwert) pro Einwohner und Jahr im Innerortsverkehr der Gemeinde  $i$  und zwar ist

$$SPV_i = \begin{cases} 0 & \text{falls } E_i < 20\ 000 \\ 0.15 \frac{t \text{ SKE}}{aE} & \text{falls } 20\ 000 \leq E_i < 100\ 000 \\ 0.5 \frac{t \text{ SKE}}{aE} & \text{falls } E_i \geq 100\ 000 \end{cases}$$

für das Jahr 1973.

Der Wert für Gemeinden mit  $E_i < 20\ 000$  erklärt sich daraus, daß Durchgangsstraßen in dieser Ortsgrößenklasse bereits beim Außerortsverkehr mit berücksichtigt werden und der restliche Innerortsverkehr wegen seines geringen Beitrages nicht sinnvoll abgeschätzt werden kann.

Die übrigen Werte wurden aus einer Untersuchung des Verkehrs im Stadtkreis Karlsruhe (Kap. 5.3.2) bestimmt. Die damit in den Kreisen Rastatt und Baden-Baden ermittelten Werte für den Innerortsverkehr (Tab.4.2) führen zusammen mit dem Energieverbrauch im Außerortsverkehr zu Ergebnissen, die gut mit aus Landesdaten geschätzten Werten übereinstimmen. Letztere Abschätzung ist im Kap. 5.3.1 beschrieben.

Bundesautobahnen werden überall unter Außerortsverkehr erfaßt. Der Beitrag ist deshalb in  $SPV_i$  nicht berücksichtigt.

$\epsilon_j$  Anteil des Energieträgers  $j$  am Gesamtenergieverbrauch

$j = 1$  Dieselkraftstoff

$j = 2$  Benzin

Für die Stadtkreise Baden-Württembergs wurden Diesel- und Benzinverbrauch getrennt über den Kraftfahrzeugbestand geschätzt.

Daraus ergibt sich:

$$\epsilon_1 = 0.20$$

$$\epsilon_2 = 0.80$$

Damit ist

$$EIOV_{ij} = E_i \cdot SPV_i \cdot \epsilon_j$$

#### 4.2.4 Außerortsverkehr

##### 4.2.4.1 Straßenverkehr

Der Energieverbrauch des Außerortsverkehrs wird direkt auf dem  $2 \times 2 \text{ km}^2$  Raster bestimmt.

Die Berechnungen werden mit folgenden Werten durchgeführt:

(Dichten und Heizwerte für Kraftstoffe ergeben sich aus Tab.3.1)

a) Spezifischer Kraftstoffverbrauch (KVB) /45/, /46/, /47/:

Fahrten

auf der Autobahn LKW 0,40 ltr. Diesel/km

PKW 0,11 ltr. Benzin/km

auf sonstigen Straßen LKW 0,25 ltr. Diesel/km

PKW 0,10 ltr. Benzin/km

b) Die Straßenlängen L wurden auf der Karte rasterweise ausgemessen und in km umgerechnet

c) Die durchschnittlichen täglichen Verkehrsmengen (DTV) wurden den Landesverkehrsplänen (z.B. /48/) entnommen - Umrechnung auf Jahreswerte: Faktor 365.

Für Straßen des überörtlichen Verkehrs, für die keine DTV angegeben waren, wurden folgende mittlere DTV durch Vergleich mit Straßen bekannter DTV in den Kreisen Rastatt und Baden-Baden abgeschätzt:

$$\text{DTV PKW} = 680$$

$$\text{DTV LKW} = 120.$$

Für den Energieverbrauch (in t SKE/a) durch den Verkehr im Rasterquadrat m,n gilt damit:

Rasterquadrat m, n

$$\text{EV} (m,n) = 365 \cdot \sum_j H_{uj} \cdot \sum_k \text{KVB}_{jk} \cdot \sum_i L_{ki} \cdot \text{DTV}_{jki}$$

Dabei bedeutet

- j = 1 Diesel (LKW) (unterer Heizwert  $H_{u1}$ )
- j = 2 Benzin (PKW) (unterer Heizwert  $H_{u2}$ )
- k = 1 Autobahn
- k = 2 Sonstige Straßen des überörtlichen Verkehrs mit DTV-Angabe
- k = 3 Sonstige Straßen des überörtlichen Verkehrs ohne DTV-Angabe

Mit dem Index i werden in einem Rasterquadrat verschiedene Straßen des gleichen Straßentyps k unterschieden.

Für den Verbrauch auf dem Straßentyp k im Rasterquadrat m,n erhält man:

$$\begin{aligned}
 EVT_{jk}(m,n) &= 365 \cdot H_{uj} \cdot KVB_{jk} \cdot \sum_i L_{ki} \cdot DTV_{jki} \quad \text{Rasterquadrat m,n} \\
 &= g_{jk} \cdot \sum_i L_{ki} \cdot DTV_{jki} \quad \text{Rasterquadrat m,n}
 \end{aligned}$$

$g_{jk}$  ergibt sich aus folgendem Schema:

j \ k	1	2	3
1	0,18	0,112	13,5
2	0,0446	0,0405	27,6

Für k = 3 muß  $DTV_{jki} = 1$  gesetzt werden, da die in diesem Fall festen DTV-Werte (LKW 120, PKW 680) bereits in die Faktoren  $g_{jk}$  einmultipliziert wurden.

Im Rasterquadrat m,n erhält man damit für den Energieverbrauch durch den überörtlichen Verkehr

$$EV(m,n) = \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^3 EVT_{jk}$$

Dabei kann mit einem Fehler von ca. 15% gerechnet werden.

Der Energieverbrauch im Straßenverkehr kann auf Kreisebene auch aus dem Kraftstoffverbrauch des Landes über den KFZ-Bestand abgeschätzt werden. Verteilt man den Energieverbrauch nur über den KFZ-Bestand, so ordnet man jedoch Kreisen mit Autobahn einen zu niedrigen, Kreisen ohne Autobahn einen zu hohen Energieverbrauch zu, da hochfrequentierte Autobahnen und Bundesstraßen einen erheblichen Beitrag zum Verkehr der Kreise liefern, durch die sie führen. Deshalb wird der Energieverbrauch auf allen Autobahnen und sonstigen Straßen des Landes mit DTV  $\geq$  8000, wie oben beschrieben, bestimmt und vom Gesamtlandesverbrauch abgezogen. Der Rest wird dann über den KFZ-Bestand auf die Kreise verteilt und der entsprechende Anteil für Autobahnen und sonstige Straßen mit DTV  $\geq$  8000 hinzuaddiert. Zur Überprüfung des Energiekatasters kann man diesen Wert mit dem Energieverbrauch summiert über alle Rasterquadrate und den Innerortsverkehr des entsprechenden Kreises vergleichen.

Für das Land Baden-Württemberg ergab sich folgende Verteilung des Energieverbrauchs auf Autobahnen, Straßen mit DTV  $\geq$  8000 und den restlichen Straßen :

Tab.4.3 Energieverbrauch durch den Verkehr in Baden-Württemberg (1973)

Benzin - 4 114 000 t SKE/a 100%  
Diesel - 2 116 000 t SKE/a 100%

	Benzin t SKE/a	%	Diesel t SKE/a	%
Autobahnen	630 090	15,3	610 897	28,9
sonstige Straßen mit DTV $\geq$ 8000	328 357	8,0	144 808	6,8
Summe	958 447	23,3	755 705	35,7
Rest	3 155 553	76,7	1 360 295	64,3

Der entsprechende Vergleich wird in Kap.5.3 am Beispiel der Kreise Rastatt, Baden-Baden und Karlsruhe-Stadt durchgeführt.

#### 4.2.4.2 Schienenverkehr und Schifffahrt

Analog zum Straßenverkehr liegen für das Streckennetz der Bundesbahn DTV-Werte vor (mittlere Anzahl der Züge pro Tag)/49/. Die spezifische Antriebsenergie beträgt nach Angaben der Deutschen Bundesbahn auf einer elektrifizierten Strecke (90-95% E-Traktion, 5-10% Diesel)

$$SPA_1 \approx 0,7 \frac{\text{t SKE}}{\text{a km} \frac{\text{Zug}}{\text{d}}}$$

auf einer nicht elektrifizierten Strecke

$$SPA_2 \approx 1,1 \frac{\text{t SKE}}{\text{a km} \frac{\text{Zug}}{\text{d}}}$$

Die Streckenlängen  $LS_{ij}$  pro Rasterquadrat werden für jede Strecke  $i$  analog zu den Straßenlängen durch das Kartenmeßprogramm bestimmt und nach elektrifizierten ( $j=1$ ) und nicht elektrifizierten Strecken ( $j=2$ ) unterschieden. Mit den zugehörigen durchschnittlichen täglichen Verkehrsmengen  $DTV_{ij}$  erhält man den Energieverbrauch der Bundesbahn im Raster ( $m, n$ ):

$$EVB(m,n) = \sum_j SPA_j \cdot \sum_i \overset{\text{Rasterquadrat}}{LS_{ij}} \cdot DTV_{ij}$$

Bei der höchsten im Oberrheintal vorkommenden mittleren Zugdichte von 330 Zügen/d erhält man für eine elektrifizierte Strecke einen Energieverbrauch von 231 t SKE/a km. Bei einer Streckenlänge von 2 km in einem Katasterquadrat entspricht das über das Quadrat gemittelt der vernachlässigbar kleinen Abwärmeleistung von rund  $0,1 \text{ W/m}^2$ .

Zur Bestimmung des Energieverbrauchs der Schifffahrt wurden vom Bundesverband der deutschen Binnenschifffahrt Daten zur Verfügung gestellt. Der Schiffsverkehr liefert von allen anthropogenen Wärmeeinleitungen ins Wasser den geringsten Beitrag. Er beläuft sich auf der Rheinstrecke zwischen Basel und Bingen auf rund 68 000 t SKE/a, das sind etwa 140 t SKE/a km zwischen Basel und Neuburgweier und 310 t SKE/a km zwischen Neuburgweier und Bingen im Jahresmittel (vergl. Kap.3.5).

#### 4.3 Umrechnung der Gemeindegkataster auf ein 2 x 2 km<sup>2</sup>-Raster

Die aus den Energiekatastern entsprechend Kap.3.3 berechneten Abwärmekataster auf Gemeindeebene für die Sektoren

Industrie	$AI_{ij}$
Haushalt und Kleinverbrauch	$AHK_{ij}$
und Innerortsverkehr	$AIOV_{ij}$

werden für jede Komponente j aufsummiert

$$AG_{ij} = AI_{ij} + AHK_{ij} + AIOV_{ij}$$

und homogen auf die bebaute Fläche der jeweiligen Gemeinde i verteilt. Bei Unkenntnis der detaillierten Struktur einer Gemeinde (Verteilung von Wohnungen, Industriebetrieben, Hauptverkehrsstraßen) ist diese Annahme die realistischste. Sie gestattet den Übergang zu einem Quadratraster. Die Mittelpunkte der Rasterquadrate sollen mit den Gauss-Krüger-Netzpunkten (m,n) übereinstimmen, wobei m und n die ungeraden, ganzen Kilometer sind; n sei der Rechtswert (Ost-West-Richtung) und m der Hochwert (Nord-Süd-Richtung).

Sei

$A'_j(m, n)$  Summe über die Beiträge aller  $AG_{ij}$  zur Abwärme der Komponente j im Rasterquadrat mit Zentrumskoordinaten m, n

$F_i(m, n)$  Bebaute Fläche der Gemeinde i im Katasterquadrat mit Zentrumskoordinaten m, n

$BFL_i$  Gesamte bebaute Fläche der Gemeinde i

$AG_{ij}$  wird mit der Formel

$$A'_j(m, n) = \sum_i F_i(m, n) \cdot AG_{ij} / BFL_i$$

auf das Quadratraster umgerechnet.

Um die gesamte Abwärmeemission  $A_j(m, n)$  zu erhalten, müssen zu  $A'_j(m, n)$  noch die Beiträge von Außerortsverkehr  $AAOV_j(m, n)$  und Großemittenten  $AEQ_j(m, n)$  addiert werden.

$$A_j(m, n) = A'_j(m, n) + AAOV_j(m, n) + AEQ_j(m, n)$$

Die Erfassung der bebauten Flächen ist Teil des Kartenmeßprogrammes, das in Anhang 1 beschrieben wird.

#### 4.4 Rechenschema

Im nachfolgenden Schema sind alle Schritte bis zur Erstellung des Abwärmekatasters auf Rasterebene zusammengefaßt. Dabei ist folgendes zu berücksichtigen:

Für die Beiträge zur Abwärme  $AI_{ij}$ ,  $AHK_{ij}$  und  $AAOV_j$  ( $m, n$ ) bedeuten die Indizes

$$\begin{aligned} j = 1 & \text{ Konvektiver Anteil} & a_K \\ j = 2 & \text{ Strahlungsanteil} & a_S \\ j = 3 & \text{ latenter Anteil} & a_L \end{aligned}$$

Im Sektor Haushalt und Kleinverbrauch sind zur Bestimmung der Abwärmekomponenten die Prozentzahlen aus Abb. 3.6 benutzt worden. Es ist nur eine pauschale Aufteilung möglich, da für die einzelne Gemeinde keine Daten über den Brennstoffeinsatz zur Verfügung stehen.

Leitet eine Gemeinde ihr Abwasser in einen der großen Flüsse Rhein, Main oder Neckar ein, so wird die mit dem Abwasser in den Vorfluter gelangte Wärme - Industrie: ca.  $0,3 \cdot a_{K4}$ , Haushalt und Kleinverbrauch: ca.  $0,02 \cdot EHK$  - gesondert behandelt (Rubrik Flüsse) zusammen mit der von Einzelquellen (Industrie, Umwandlungssektor) und der Schifffahrt an diese Flüsse abgegebenen Wärme. Andernfalls wird angenommen, daß auch die in den Vorfluter gelangte Wärme auf dem Gemeindegebiet an die Luft übertragen wird. In diesem Fall ändert sich die Aufteilung in Abwärmekomponenten geringfügig gegenüber derjenigen in Abb. 4.1:

für die Industrie

$$AI_1 = a_{K1} + a_{K3} + 0,45 \cdot a_{K4}$$

$$AI_2 = a_S + 0,4 \cdot a_{K4}$$

$$AI_3 = a_{L1} + a_{L2} + a_{L3} + 0,15 \cdot a_{K4}$$

für den Sektor Haushalt und Kleinverbrauch wird die an den Vorfluter abgegebene Wärme vollständig zur latenten Wärme gerechnet, da dieser Anteil in Abb. 4.1 etwas niedrig abgeschätzt worden war (vergl. Kap. 3.3.3):

$$AHK_1 = 0,7 \cdot EHK$$

$$AHK_2 = 0,28 \cdot EHK$$

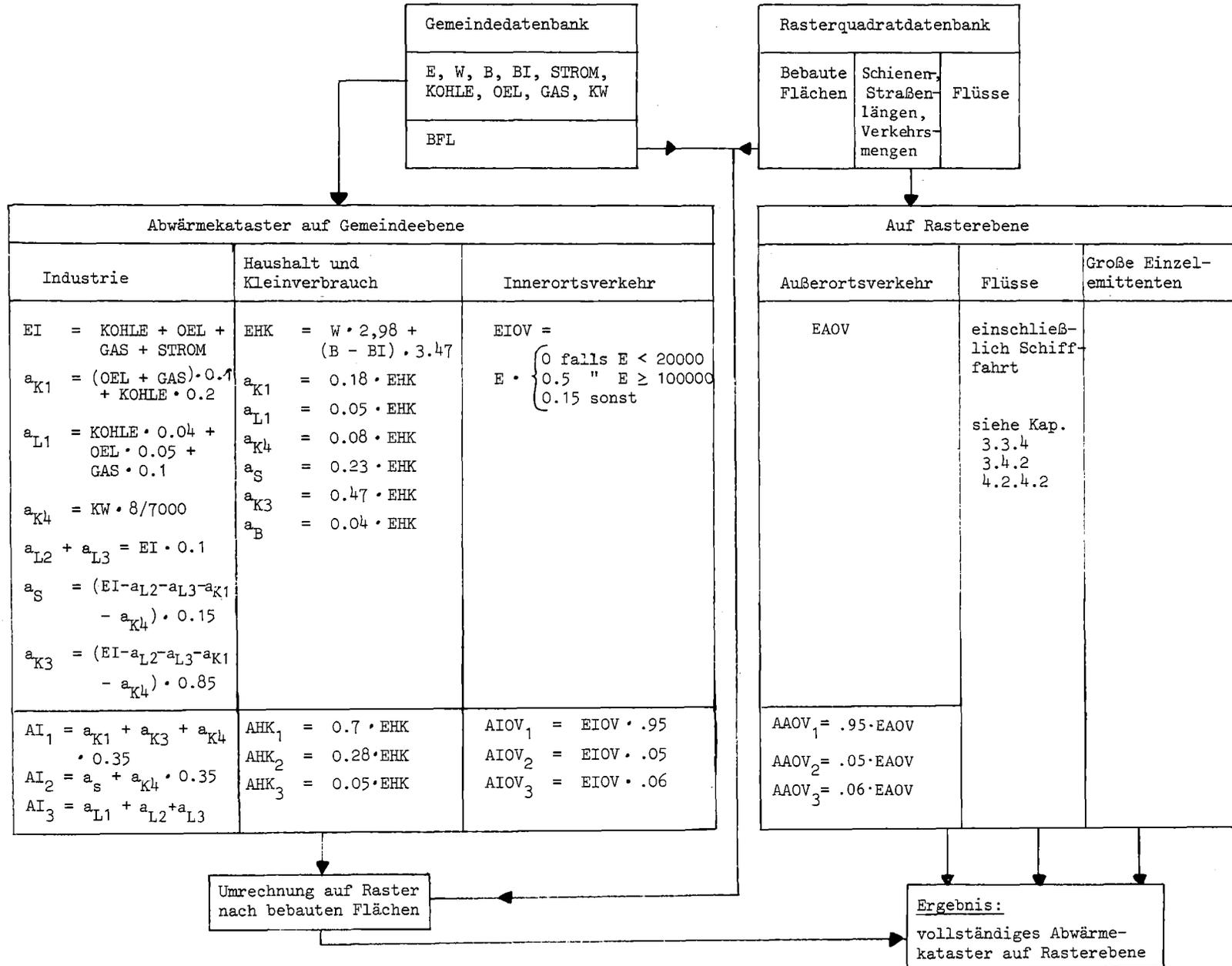
$$AHK_3 = 0,07 \cdot EHK$$

Der Gesamtenergieverbrauch im Außerortsverkehr ergibt sich als Summe über Straßen- und Schienenverkehr

$$EAOV(m, n) = EV(m, n) + EVB(m, n)$$

Der Index  $i$  für die Gemeinde sowie  $(m, n)$  für die Bezeichnung des Rasters werden im folgenden Schema der Einfachheit halber weggelassen.

Abb. 4.1 Flußschema des Katasterrechenprogramms



Alle Abwärmegrößen werden in tSKE/a angegeben.

## 5. Ergebnisse in den Kreisen Rastatt, Baden-Baden und Karlsruhe-Stadt

### 5.1 Gebietskarten

Die Karte 5.1.1 zeigt das gesamte Untersuchungsgebiet; die hier behandelten Kreise sind schraffiert.

Die Karten 5.1.2 und 5.1.3 zeigen die Rasterquadrate des Katasters, die in die Kreise Rastatt, Baden-Baden und Karlsruhe-Stadt fallen. Einzelquellen sind als Kreisflächen eingezeichnet mit Angabe des Branchenschlüssels bzw. der Bezeichnung K für Kraftwerke. Bei den im weiteren gezeigten Computerausdrucken ist die topologische Anordnung dieselbe, wie die der Quadrate auf den Karten. Die Zahlen am Rand geben die Gauss-Krüger-Koordinaten der Mittelpunkte der Rasterquadrate an.

### 5.2 Kataster der Gesamtabwärme für die Kreise Rastatt, Baden-Baden und Karlsruhe-Stadt

In Tab.5.2.1 ist die Abwärme in den Sektoren Industrie, Haushalt und Kleinverbrauch sowie Innerortsverkehr für das Jahr 1973 auf Gemeindeebene in den Kreisen Rastatt, Baden-Baden und Karlsruhe-Stadt zusammengestellt.

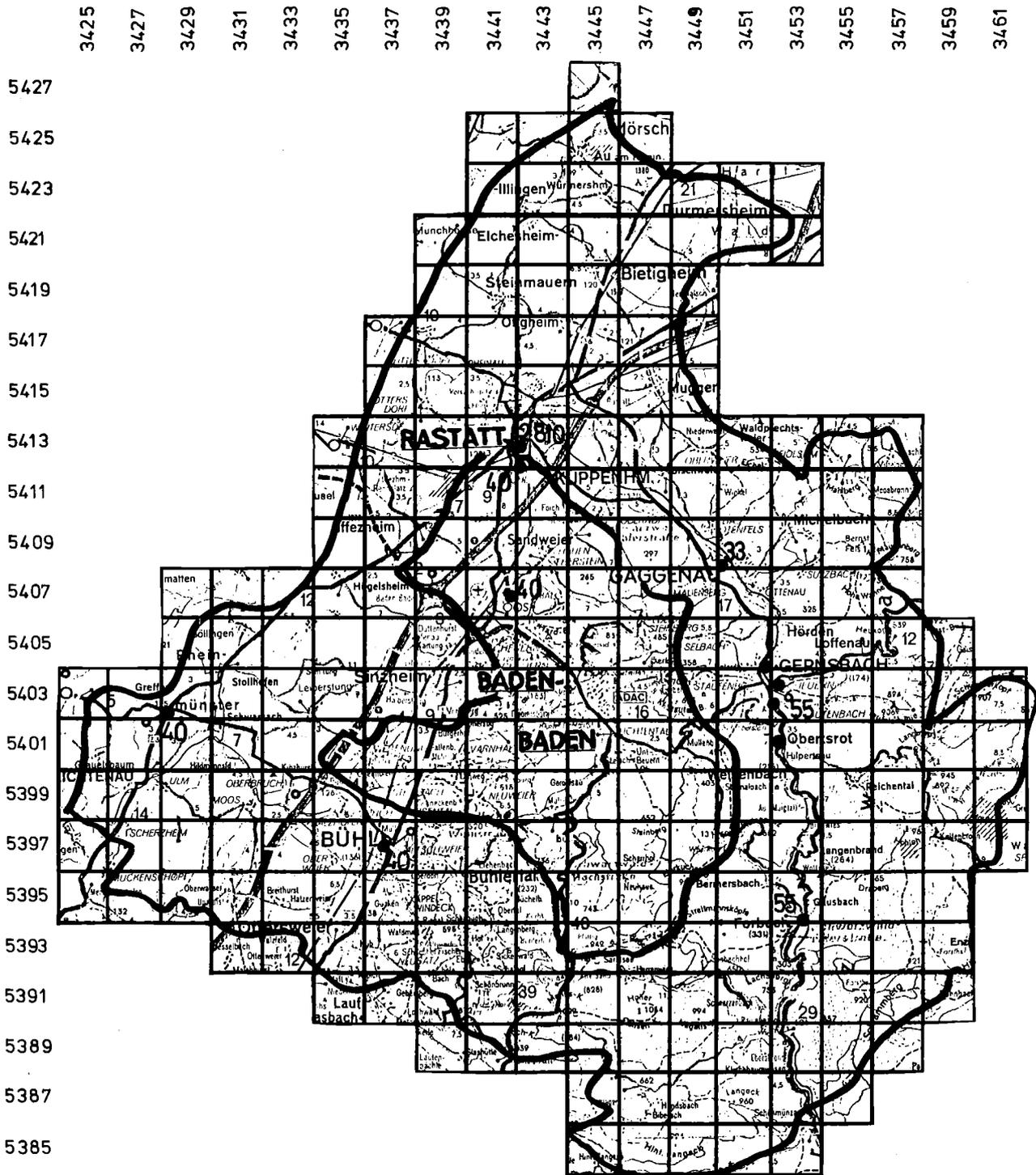
Abb. 5.2.1 zeigt eine 3-dimensionale Darstellung der Abwärme in den Kreisen Rastatt und Baden-Baden auf Rasterebene.

In den Abbildungen 5.2.2 (Rastatt und Baden-Baden) und 5.2.3 (Karlsruhe-Stadt) sind neben der Gesamtabwärme aus den Sektoren Industrie, Verkehr sowie Haushalt und Kleinverbrauch auch Einzelquellen eingetragen.

In Abb. 5.2.3 wurde die Abwärme von Einzelquellen dem jeweiligen Rasterquadrat zugeordnet, die Abwärme der restlichen Industrie gleichmäßig über die Fläche dieser Industriebetriebe und die Abwärme aus Haushalt und Kleinverbrauch gleichmäßig über die sonstige bebaute Fläche der Stadt verteilt; die Abwärme aus dem Verkehr wurde rasterweise bestimmt und zu dem jeweiligen Wert hinzuaddiert. Bestimmt man den Innerortsverkehr pauschal über die Einwohnerzahl (nach Kap.4.2.3), verteilt die Abwärme aus Verkehr, restlicher Industrie sowie Haushalt und Kleinverbrauch gleichmäßig über die gesamte bebaute Fläche und fügt anschließend die Abwärme der Einzelquellen im jeweiligen Raster hinzu, so weicht die Abwärme eines Rasterquadrats in Karlsruhe von dem entsprechenden in Abb. 5.2.3 angegebenen Wert im Mittel um 14% ab.

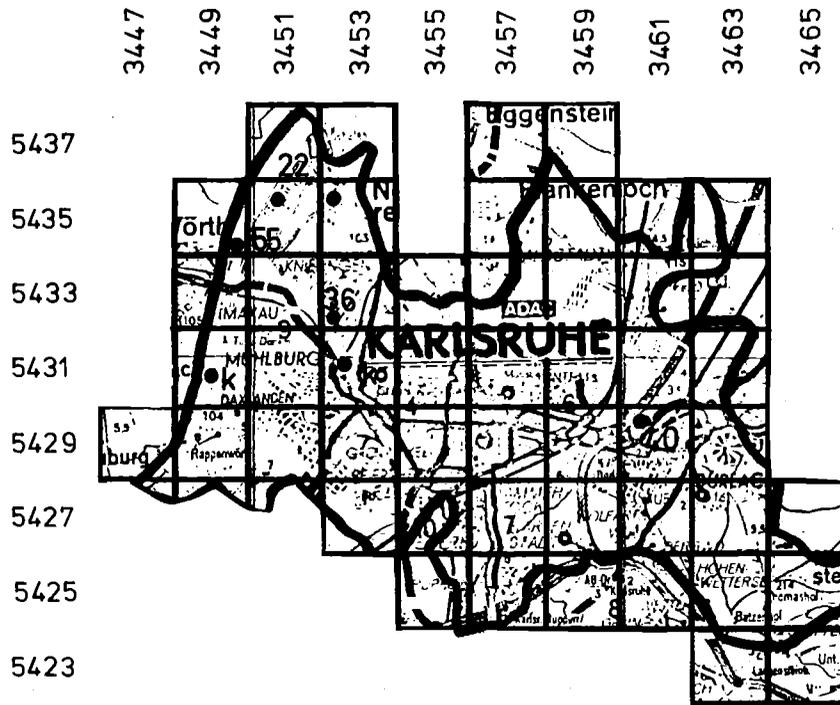


Abb. 5.1.1: Katasterggebiet



Einzelquellen: z.B. ● 40

Abb. 5.1.2 Karte der Rasterquadrate in den Kreisen Rastatt und Baden-Baden



Einzelquellen: z.B. ●40

Abb. 5.1.3 Karte der Rasterquadrate im Stadtkreis Karlsruhe

Tab. 5.2.1 Abwärmekataster auf Gemeindeebene für die Sektoren Industrie, Haushalt und Kleinverbrauch sowie Innerortsverkehr (1973)

Gemeinde	Konvektion	Strahlung	latente Wärme	warmes Wasser	Abwärme Gesamt
	in % von Gesamt <sup>2)</sup>				in tSKE/a
Au am Rhein	64	23	5	7	3696
Bietigheim	64	23	5	7	7859
Bischweier	71	16	12	2	12168
Bühl, Stadt	67	21	6	6	37174
Bühlertal	66	21	7	6	14594
Durmersheim	65	22	6	7	16199
Elchesheim-Illingen	67	21	8	5	4658
Forbach	50	9	13	28	49966
Gaggenau, Stadt	69	17	10	4	93811
Gernsbach, Stadt	63	13	12	11	106793
Hügelsheim	64	24	5	8	2732
Iffezheim	65	22	6	7	5701
Kuppenheim, Stadt	66	20	8	7	12613
Lichtenau, Stadt	65	22	6	7	5982
Loffenau	64	24	5	8	3454
Muggensturm	65	23	6	7	7415
Ötigheim	67	20	8	5	7434
Ottersweier	64	22	6	8	7203
Rastatt, Stadt	69	18	9	5	111414
Sinzheim	65	23	6	7	10729
Steinmauern	68	19	9	4	4865
Weisenbach	67	21	7	5	5003
Rheinmünster	56	12	12	19	29342
Landkreis Rastatt	63	16	10	10	605753
Baden-Baden	67	21	6	6	103775
Karlsruhe <sup>1)</sup>	63	16	10	11	1300000
Karlsruhe	49	12	13	27	3000000

1) einschließlich Umwandlungssektor

2) Die Summe der % - Angaben kann wegen Rundungsfehlern geringfügig von 100% abweichen

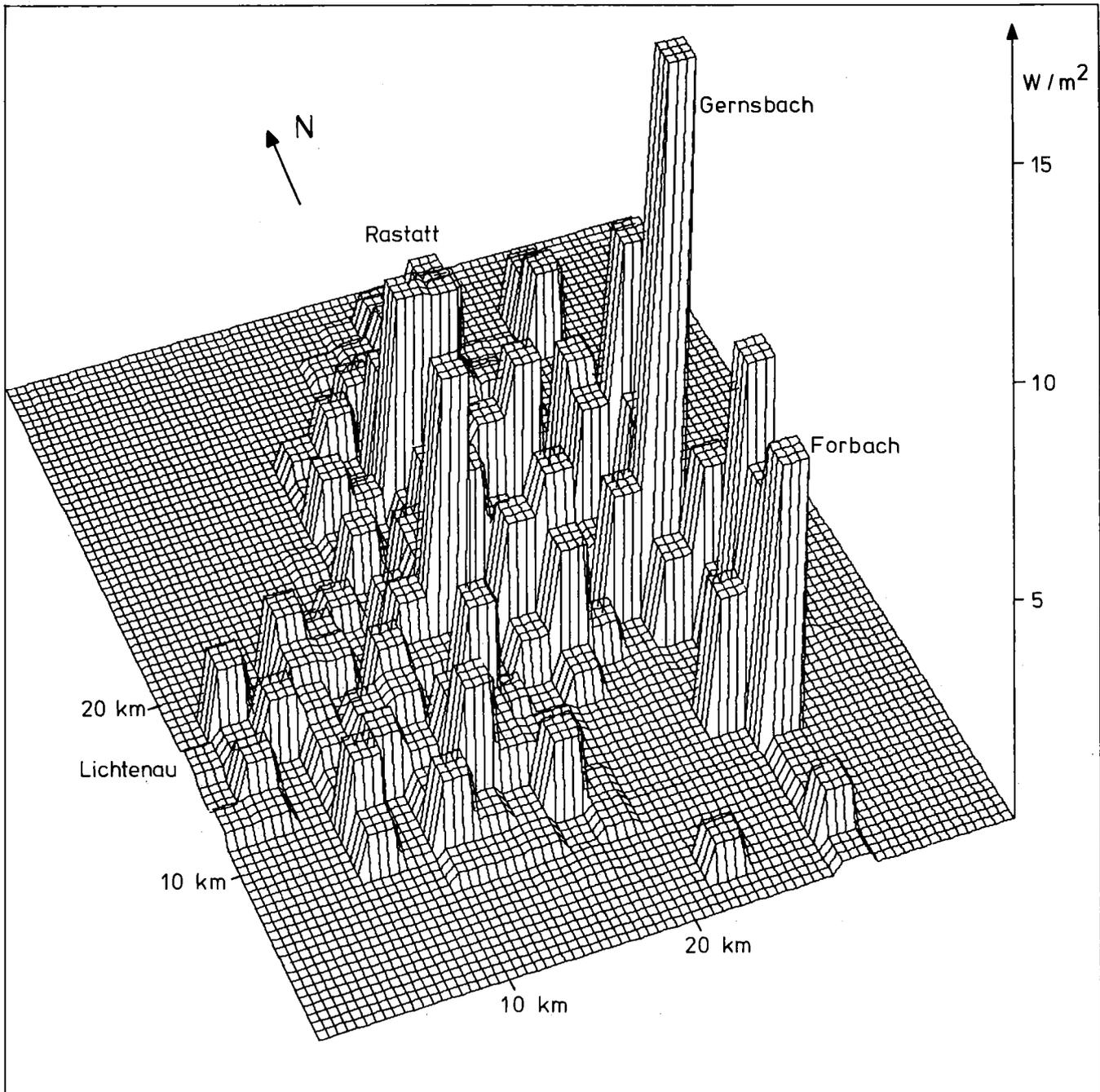


Abb. 5.2.1 Abwärmeemission 1973 in den Kreisen Rastatt und Baden-Baden auf einem Raster von  $2 \times 2 \text{ km}^2$  (Jahresmittel aller Verbrauchersektoren)

	3425	3427	3429	3431	3433	3435	3437	3439	3441	3443	3445	3447	3449	3451	3453	3455	3457	3459	3461
5427											3555								
5425										3511	2216	3701							
5423									3065	1509	6407	9103	86	91	5721				
5421								3242	71	3035	1071	10809	118	40	17821				
5419								0	5072	47	10448	98	2092						
5417							6005	9091	254	5731	4408	6884	6716						
5415							2965	2722	18977	11675	9150	10255	353						
5413					2289	9620	4295	36681	33498	9404	1730	4059	24247	168	1114	49			
5411					3887	1419	688	4767	9962	12404	15861	920	0	0	158	104			
5409					1118	6607	1711	12073	3916	1929	1456	15396	1596	5688	0	0			
5407			2418	3123	3009	874	8455	7938	5116	143	20	13441	26058	3293	0	0			
5405		2367	6223	4747	829	5542	3971	23141	13508	0	6803	3796	32654	1913	4148	431	0		
5403	3493	8445	2174	4426	1181	274	6127	8646	1230	19790	30291	0	3018	17455	3214	798	0	0	0
5401	3221	2275	5103	2989	525	7806	2369	4698	486	6452	17502	4980	340	26362	43646	0	154	0	0
5399	1314	4313	125	3194	5418	6795	2678	17216	2859	105	4280	0	340	0	5953	1796	523	0	0
5397	1828	1546	85	1586	6356	4201	9184	5725	619	708	139	0	117	230	79238	0	81	242	0
5395	0	42	8668	363	4218	14262	5894	5670	245	0	0	0	11522	48059	0	0	0		
5393			4068	410	8574	2398	539	9362	675	0	0	0	0	18491	0	0	0		
5391					3096	3032	1180	0	832	152	140	160	171	1873	0	0	0		
5389							291	266	51	54	0	38	153	1878	0	0			
5387										21	4304	22	0	3835	0				
5385										0	0	0	64	0					

Abb. 5.22 Abwärmeemissionen in den Kreisen Rastatt und Baden-Baden 1973 in tSKE/a  
 (Die Abwärme in den die Fläche begrenzenden Rastern enthält die Beiträge aus den umgebenden Kreisen)

Abb. 5.2.3 Abwärmeemissionen im Stadtkreis Karlsruhe 1973 in tSKE/a

		<u>Gauss-Krüger-Rechtswert (km)</u>									
		3447	3449	3451	3453	3455	3457	3459	3461	3463	3465
Gauss-Krüger-Hochwert (km)	5437										
	5435		57400	517000	462000		8300	4000	1000	700	
	5433		103500	19300	63800	28500	1500	27000	10700	5900	
	5431		648000	72000	167000	74900	60000	51500	20000	12000	
	5429			22800	60000	76700	52000	73000	75000	34700	
	5427				900	18000	29500	11000	26600	600	
	5425					2300	29600	1900	17600	20	2300
	5423									4200	

Der Wert in den die Fläche begrenzenden Rastern entspricht der Abwärme auf dem Teil des Rasters, der zum Stadtkreis Karlsruhe gehört.

5.3 Die Abwärme durch den Straßenverkehr

5.3.1 Energieverbrauch und Abwärme durch den Straßenverkehr im  
Stadtkreis Baden-Baden und Landkreis Rastatt

Für den Energieverbrauch durch den Verkehr in den beiden Kreisen erhält man folgende Ergebnisse:

	Baden-Baden t SKE/a	%	Rastatt t SKE/a	%
<u>Autobahn:</u>				
PKW	7 881	19	27 400	17
LKW	8 465	20	31 000	19
<u>Straßen mit DTV:</u>				
PKW	12 600	30	61 400	38
LKW	4 100	10	23 500	14
<u>Straßen ohne DTV:</u>				
PKW	725	2	4 500	3
LKW	310	1	2 200	1
<u>Innerortsverkehr (Städte mit <math>20\ 000 \leq E_1 \leq 100.000</math>):</u>				
PKW	6 130	15	10 600	7
LKW	1 533	4	2 700	2
	42 000 ± 8 000 (20%)	100	163 000 ± 27 000 (17%)	100
Gesamt PKW	27 300	66	104 000	64
Gesamt LKW	14 400	34	59 000	36
Über den Bestand abgeschätzt ergibt sich:				
<u>Autobahn:</u>				
(wie oben)	16 300		58 400	
<u>Sonstige Straßen</u>				
<u>mit DTV ≥ 8.000:</u>				
PKW	1 690		2 970	
LKW	480		890	
<u>Aus dem "Rest"(Tab.4.3) abgeschätzt:</u>				
PKW	18 090		70 300	
LKW	4 850		24 700	
	41 500		157 000	
Gesamt PKW:	27 700		101 000	
Gesamt LKW:	13 800		56 000	

Die Kreissummen aus den auf Rasterebene berechneten Werten stimmen also sehr gut mit dem über den Bestand abgeschätzten Energieverbrauch überein.

Mit 163 000 t SKE/a und 194 469 Einwohnern (E) ergibt sich für den Landkreis Rastatt ein spezifischer Verbrauch von 0,84 ( $\pm$  0,14) t SKE/aE, für den Stadtkreis Baden-Baden (42 000 t SKE/a, 51 089 E) 0,82 ( $\pm$  0,16) t SKE/aE. Ohne Autobahn erhält man für den Landkreis Rastatt 0,54 ( $\pm$  0,1) t SKE/aE, für den Stadtkreis Baden-Baden 0,50 ( $\pm$  0,12) t SKE/aE.

Zum Vergleich: der spezifische Verbrauch für das Land Baden-Württemberg (6 230 000 t SKE/a, 9 236 000 E) beträgt 0,67 t SKE/aE bzw. 0,54 t SKE/aE ohne den Energieverbrauch auf der Autobahn.

Abb. 5.3.1 zeigt die Abwärme durch den Verkehr in den Kreisen Rastatt und Baden-Baden auf Rasterebene. Deutlich sind Autobahn und Schwarzwaldhochstraße zu erkennen.

### 5.3.2 Energieverbrauch und Abwärme durch den Straßenverkehr im Stadtkreis Karlsruhe

Mit den Daten aus Straßenverkehrszählungen der Stadt Karlsruhe /50/ wird der Energieverbrauch analog zu Kap.4.2.4.1 auf Rasterebene bestimmt. Dabei ist folgendes zu berücksichtigen:

a) Kraftstoffverbrauch (KVB) (/45/, vergl./46/)

Fahrten in Großstädten (bezogen auf PKW-Einheiten)	Stadtkern	0,14 ltr. Benzin/km
	Randgebiete (Ausfallstraßen, Mischverkehr)	0,12 ltr. Benzin/km

(LKW sind bei der Angabe von PKW-Einheiten berücksichtigt; zwischen Benzin und Diesel wird dabei jedoch nicht unterschieden. Bei diesem Verfahren entspricht der berechnete Energieverbrauch bei Fernlastzügen - 3,5 PKWE - einem Verbrauch von 0,44 (0,38) ltr., bei sonstigen LKW - 2 PKWE - einem Verbrauch von 0,25 (0,22) ltr. Dieseldieselkraftstoff/km im Stadtkern (in Randgebieten)).

b) Für Straßen der Stadt Karlsruhe ohne Verkehrszählung wurde als DTV

1.000 PKWE/Tag

eingesetzt, ein Wert, wie man ihn für Nebenstraßen findet.

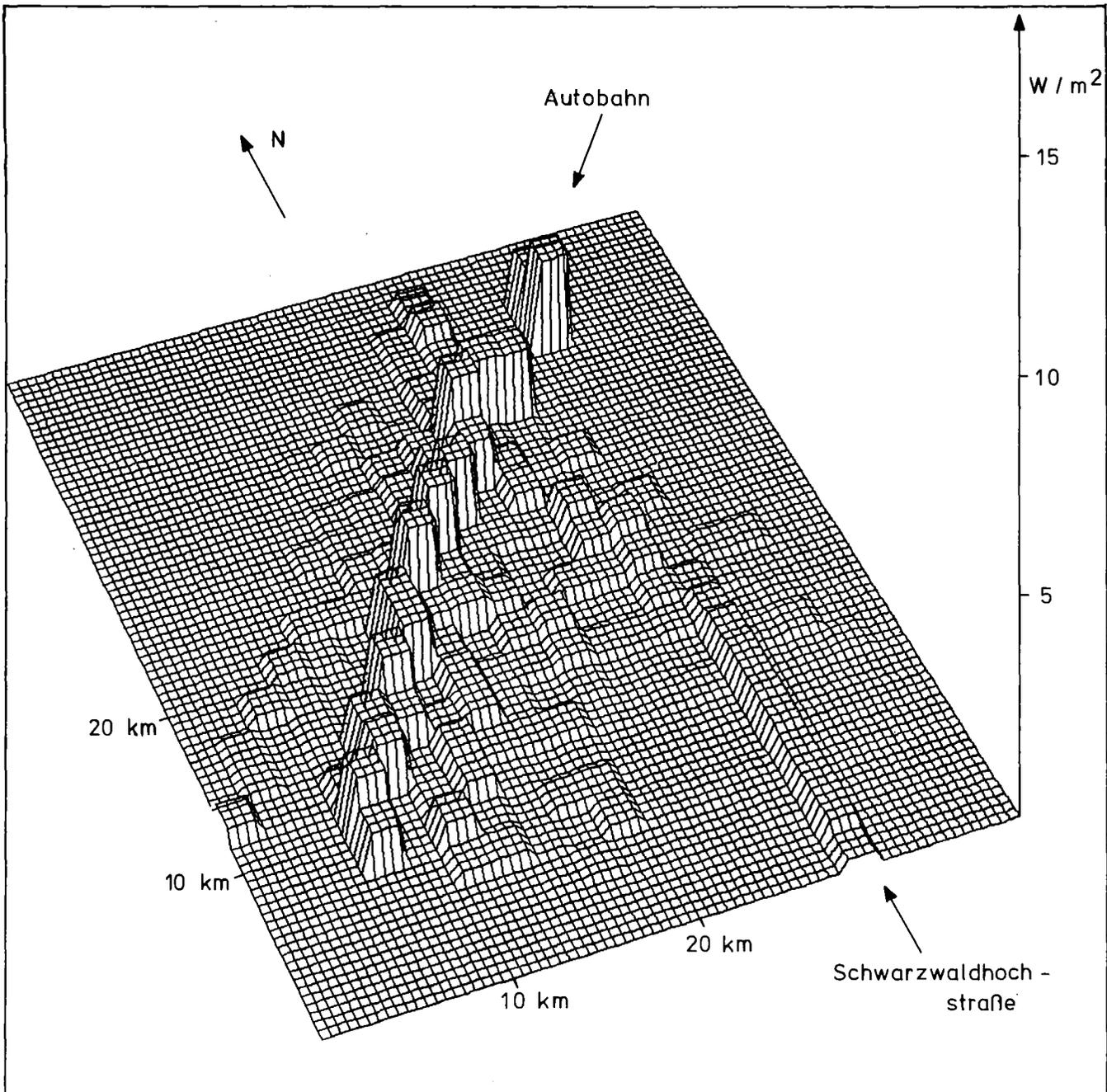


Abb. 5.3.1 Mittlere Abwärmeemission 1973 durch den Straßenverkehr  
in den Kreisen Rastatt und Baden-Baden

c) Mit dem Index k werden noch weitere Straßentypen unterschieden:

- k = 4 Straßen im Stadtkern von Karlsruhe mit DTV-Angabe
- k = 5 Straßen in Randgebieten von Karlsruhe mit DTV-Angabe
- k = 6 Straßen im Stadtkern von Karlsruhe ohne DTV-Angabe
- k = 7 Straßen in Randgebieten von Karlsruhe ohne DTV-Angabe

d) Die Faktoren  $g_{jk}$  ergeben sich aus folgendem Schema:

j \ k	4	5	6	7
1	0	0	0	0
2	0,0567	0,0438	56,7	43,8

Für k = 6 und 7 muß  $DTV_{jki} = 1$  gesetzt werden, da der in diesen Fällen feste DTV-Wert (1000 PKWE) bereits in den Faktoren  $g_{jk}$  enthalten ist.

Für den Energieverbrauch durch den Verkehr im Stadtkreis Karlsruhe ergibt sich damit

Stadtkern: 
$$EV_j(m, n) = \sum_{k=4}^5 EVT_{jk}$$

Randgebiete: 
$$EV_j(m, n) = \sum_{k=6}^7 EVT_{jk} + \sum_{k=1}^3 EVT_{jk}$$

Die Gesamtergebnisse für den Energieverbrauch durch den Verkehr im Stadtkreis Karlsruhe (Gebietsstand 1973) sind folgende:

Gesamtstraßenlänge 490 km /46/

	km	DTV · km	tsKE/a	%
<u>Stadtrandgebiet:</u>				
Straßen ohne DTV-Angaben	141,5	141 500	6 879	3,9
Straßen mit DTV-Angaben	<u>64,0</u>	772 618	<u>36 962</u>	20,7
	205,5		43 800	24,6

<u>Stadtkern:</u>	km	DTV·km	tSKE/a	%
Straßen ohne DTV-Angaben	173,5	173 500	9 841	5,5
Straßen mit DTV-Angaben	<u>111,0</u>	1 525 278	<u>86 278</u>	48,3
	284,5		<u>96 100</u>	53,8
			140 000 ± 23 000 (± 17%)	78,4
<u>Autobahn:</u>			<u>38 618</u>	21,6
			179 000 ± 27 000 (± 16%)	100

Nicht ausgemessen wurden dabei die Straßen ohne DTV-Angabe im Stadtkern. Ihre Gesamtlänge ergab sich als Differenz der gemessenen Straßen zu 490 km.

Über den Bestand abgeschätzt ergibt sich:

Sonstige Straßen mit DTV $\geq$ 8 000	t SKE/a
PKW	2 200
LKW	800
aus dem Rest (Tab.4.3) abgeschätzt	
PKW	91 511
LKW	17 684
	<u>112 000</u>
Autobahn	<u>38 600</u>
	150 000

Der spezifische Energieverbrauch (179 000 tSKE, 274 809 Einwohner (E)) ergibt sich zu 0,65 tSKE/aE bzw. ohne Autobahn 0,51 tSKE/aE. Er liegt also - nur durch den niedrigeren Beitrag der Autobahn bedingt - niedriger als im Falle von Rastatt und Baden-Baden. Ohne Berücksichtigung der Autobahn ist der spezifische Energieverbrauch durch den Verkehr in den drei hier untersuchten Kreisen etwa so groß wie im Landesdurchschnitt, d.h. die Verteilung des Energieverbrauches entspricht in etwa der Verteilung der Bevölkerung auf Kreisebene.

Für die  $32 \text{ km}^2$ , die zum Stadtkern gerechnet werden, ergab sich eine mittlere Straßenlänge von  $8,89 \text{ km/km}^2$ .

Für jeden  $\text{km}^2$  wurden die Straßen mit DTV-Angabe ausgemessen, die Differenz zu  $8,89$  wurde als Straßen ohne DTV-Angabe gezählt. Dabei wurde insgesamt berücksichtigt, daß für wenige  $\text{km}^2$  Raster die Straßen mit DTV-Angabe länger als  $8,89 \text{ km}$  sind.

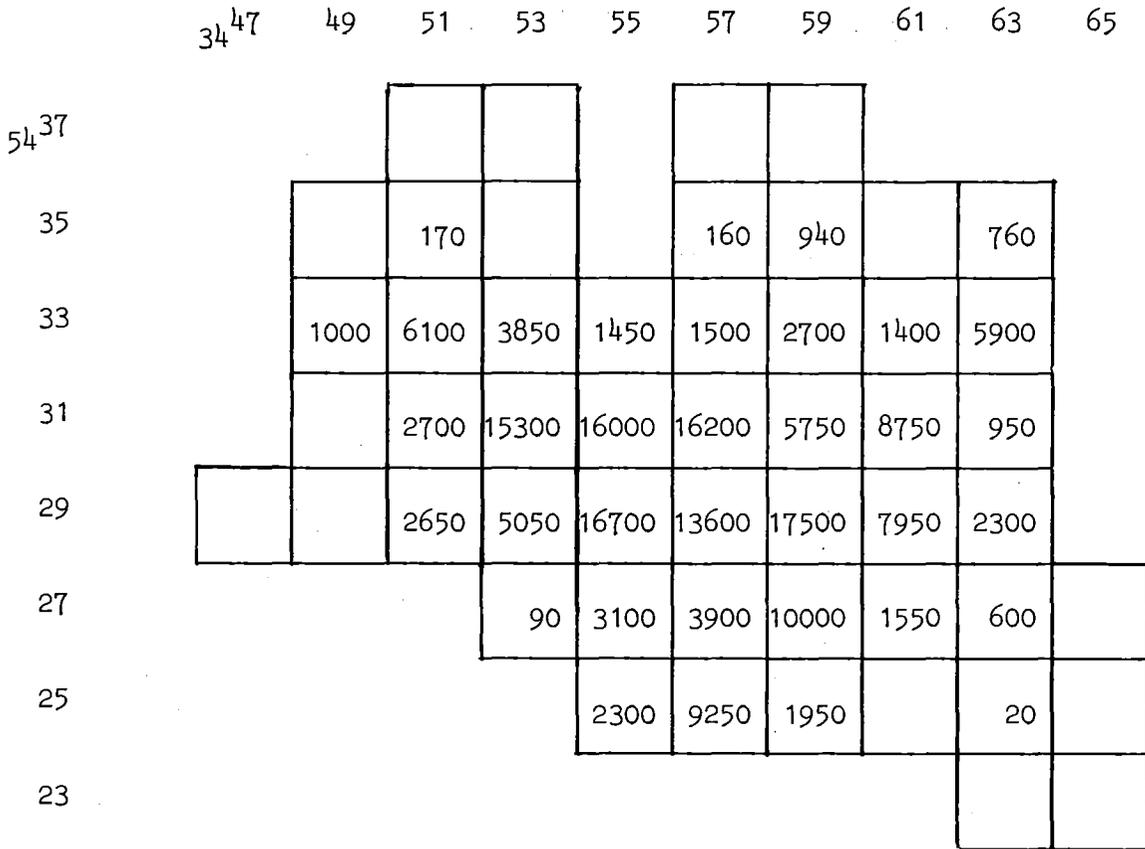
Der maximale Verbrauch im Stadtkern beträgt ca.  $7\,000 \text{ tSKE/akm}^2$ , der Mittelwert  $3\,000 \text{ tSKE/akm}^2$ . Ein spezifischer Wert pro Einwohner kann für die einzelnen Raster nicht bestimmt werden, weil die Einwohnerdichte stark schwankt: Maximum ca.  $40\,000 \text{ E/km}^2$ , Durchschnitt: ca.  $6\,000 \text{ E/km}^2$ .

Von den Stadtteilen Karlsruhes wurde ein etwas isolierter Stadtteil, die Waldstadt, genauer untersucht:  $13\,200$  Einwohner auf  $1,5 \text{ km}^2$  bebauter Fläche,  $8\,800 \text{ E/km}^2$  (Stadtplanungsamt Karlsruhe). Die Straßen auf  $2,5 \text{ km}^2$  in diesem Gebiet wurden ausgemessen. Dabei ergab sich für den Energieverbrauch einschließlich Durchgangsverkehr ca.  $1\,300 \text{ tSKE/akm}^2$  entsprechend  $0,15 \text{ tSKE/aE}$ .

Dieser Wert wird als Grundlage für die Bestimmung des Energieverbrauchs im Innerortsverkehr von Gemeinden mit  $20\,000 \leq E_i \leq 100\,000$  benutzt.

Abb. 5.3.2 zeigt die Verteilung der Abwärme durch den Verkehr im Stadtkreis Karlsruhe auf Rasterebene. Die für die einzelnen Raster geschätzten Fehler liegen bei 15-20%, am Stadtrand mitunter auch höher.

Abb. 5.3.2 Abwärme durch den Verkehr im Stadtkreis Karlsruhe 1973



Der Wert in den die Fläche begrenzenden Rastern entspricht der Abwärme auf dem Teil des Rasters, der zum Stadtkreis Karlsruhe gehört.

Quellenverzeichnis:

- /1/ Torrance, K.E. and J.S.W. Shum, Time-varying energy consumption as a factor in urban climate, Atmospheric environment 10 (1977), S. 329-337
- /2/ Viskanta, R., R.W. Bergstrom and R.O. Johnson, Effects of Air Pollution on Thermal Structure and Dispersion in an Urban Planetary Boundary Layer, Beiträge z. Phys. 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.-10.2.77 in Düsseldorf (ENVITEC 77), Vulkan Verlag, Essen
- /4/ Cammerer, J.S., Wärme- und Kälteschutz in der Industrie, Springer-Verlag, Berlin (1951)
- /5/ Will, Dipl. Ing. O., Heidelberger Zement AG, Heidelberg, Private Mitteilung
- /6/ Rouvel, L., Baugestaltung als Einflußfaktor der Raumkonditionierung, BWK 27, (1975), 8, S. 328-331
- /7/ Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland "Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen", Frankfurt Verlag VVEW, 1974
- /8/ Statistische Landesämter und statistisches Bundesamt
- /9/ Recknagel, Sprenger, Taschenbuch für Heizung, Lüftung und Klimatechnik, 57. Ausgabe, Verlag Oldenbourg, München (1972)
- /10/ John, Dipl. Ing., Engler Bunte Inst. der Uni Karlsruhe, Private Mitteilung
- /11/ Fett, Dr. H., OMW Karlsruhe, Private Mitteilung
- /12/ Schröder, K., Große Dampfkraftwerke, Bd. 2, 1962, Springer Verlag
- /13/ Hübschmann, W., Nester, K., Meteorologische Auswirkungen der Abwärme aus Kühltürmen, DAtF Sonderdruck S-11 (Nov. 1973), Hrsg: Deutsches Atomforum eV, Bonn

- /14/ Sauer,E., Abwärmeprobleme bei Kraftwerken, 1975, Bericht der KFA Jülich Nr. 1255
- /15/ Energieversorgung und Umweltschutz in Baden-Württemberg, Studie der Forschungsstelle für Energiewirtschaft, München, Veröffentlichung der Forschungsstelle für Energiewirtschaft, München und des Instituts für Energiewirtschaft und Kraftwerkstechnik der TU München, 1975
- /16/ Rögener,H. u. F.Klobasa, Bestimmung des therm. Wirkungsgrades eines Kernkraftwerks, BWK 29 (1977), S.469
- /17/ Private Mitteilungen der Raffinerien: Caltex Raunheim, Erdöl-Raffinerie Mannheim, Erdöl-Raffinerie Speyer, Esso Karlsruhe, Mobil Wörth und OMW Karlsruhe
- /18/ Beck, Göttling, Energie und Abwärme, 1973, E.Schmidt Verlag, Berlin
- /19/ Statistik der Technischen Überwachungsvereine für das Betriebsjahr 1973, Essen (1975)
- /20/ Baumann,H., Systeme der Wärmerückgewinnung und Wärmepumpen, in: Baumann et al., Rationelle Energieverwendung, Stuttgart (1974)
- 21/ Davids,P., Zehn Jahre Ölfeuerungskontrolle in NRW, im Jahresbericht 1975 (2.Teil), Schriftenreihe der Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes NRW, Heft 39, Essen (1976)
- /22/ Burchard,H.J. u.H.Streicher, Analyse der Struktur und der Entwicklung des Energieverbrauchs im Sektor Haushalte in der Bundesrepublik Deutschland, BWK 23 (1971), S.274
- /23/ Reents, H., Die Entwicklung des sektoralen Nutz- und Endenergiebedarfs in der Bundesrepublik Deutschland, Berichte der Kernforschungsanlage Jülich, Nr.1452 (1977)
- /24/ Lofi,W.,H.Mehlhorn, H.Kobus, Betrachtungen zum Wärmehaushalt des Untergrundes im Raum Karlsruhe, Institut für Hydromechanik, Universität Karlsruhe, Bericht Nr. 544,1977
- /25/ Rouvel,L., FfE München, private Mitteilung
- /26/ Gertis,K., Energieverbrauch und Wärmeschutz im Hochbau, Heizung, Lüftung, Haustechnik (HLH) 26, S.105-109,(1975)

- /27/ Schack,A., Der industrielle Wärmeübergang, 7.Auflage 1969, Verlag Stahleisen, Düsseldorf
- /28/ Dubbels Taschenbuch des Maschinenbaus, 11. Auflage, Hrsg.: F. Sass und Ch. Bouché, Springer Verlag Berlin/Göttingen/Heidelberg 1956
- /29/ Kamm,W. und Schmid,C., Das Versuchs- und Meßwesen auf dem Gebiet des Kraftfahrzeugs, Springer Verlag Berlin, 1938
- /30/ Technisches Handbuch Dieselmotoren, VEB-Schwermaschinenbau, VEB-Verlag Technik, Berlin, 1971
- /31/ Rudolph,M.,Energetisches Betriebsverhalten von Verkehrsmitteln, BWK 27 (1975) Nr. 9, S.358
- /32/ Studie über die thermische Belastbarkeit des Rheins, 1971, Motor Columbus Ingenieurunternehmung AG, Baden (Schweiz), Hrsg: Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerke AG
- /33/ Die öffentliche Elektrizitätsversorgung 1973, VDEW, Frankfurt
- /34/ Schulte,H., Kombinierte Wärme- und Elektrizitätserzeugung als Weg zur Primärenergieeinsparung BWK 29 (1977),S.366
- /35/ Günneberg,F., The Total Heat-Exchange Coefficient of Surface Waters, in: Proceedings of a Symposium, Oslo 26.-30. August 1974, Environmental Effects of Cooling Systems at Nuclear Power Plants, S. 347  
Hrsg: IAEA, Wien 1975
- /36/ Keschawarzi, S., Verdunstung und Energiebedarf künstlich beheizter und beregnter Freilandböden, Bericht des Inst. für Meteorologie und Klimatologie der TU Hannover Nr. 12, 1973
- /37/ Schaefer,H., Energie und Umwelt, BWK 23 (1971), Nr.8
- /38/ Fortak,H., Über die thermische Belastung der Atmosphäre insbesondere durch Kraftwerksparks, in "Ableitung von Kühlturmwärme aus Kraftwerken"  
Hrsg.: Min. f. Arbeit, Gesundheit u. Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf 1977, S.9

- /39/ Umwelt und Energie, Umweltbrief 9, 1974, BMI
- /40/ Beckurts, Dietrich, Projekt Fernwärme, Bild der Wissenschaft 1 (1976), S. 64
- /41/ Energiebilanz des Landes Baden-Württemberg 1973  
Hrsg.: Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Verkehr  
Baden-Württemberg
- /42/ Dolinski, U., G.A. Westmeier, Projektion des Energieverbrauchs der  
Industrie und der Haushalte in den Bundesländern bis 1980, BWK 22 (1970), 1
- /43/ Dolinski, U., H.J. Ziesing, Der Energiemarkt in Bayern bis zum Jahre  
1990, DIW, Beiträge zur Strukturforchung, Heft 33, (1974)
- /44/ Fernwärmeversorgung der um das Kernkraftwerk KRB Grundremmingen liegen-  
den Ortschaften, Bericht der KFA Jülich, Jül-1283 (1976)
- /45/ Rudolph, FfE, München, Private Mitteilung
- /46/ Emissionskataster Köln, Hrsg.: Minister für Arbeit, Gesundheit und  
Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen, (1972)
- /47/ Private Mitteilung, Fa. Daimler-Benz, Stuttgart-Untertürkheim
- /48/ Generalverkehrsplan 1975 Baden-Württemberg, Ministerium für Wirtschaft,  
Mittelstand und Verkehr Baden-Württemberg
- /49/ Zentralstelle für Betriebswirtschaft und Datenverarbeitung der  
Deutschen Bundesbahn, Frankfurt
- /50/ Verkehrsplanungsamt der Stadt Karlsruhe

## Anhang

### 1. Datenbank und Meßprogramm

Die Datenbank, die dem Kataster zugrunde liegt, setzt sich aus zwei Teilen zusammen:

- a) den Daten über Gemeinden
- b) den Daten über Katasterquadrate

Die Gemeindedatenbank enthält für das deutsche Gebiet pro Gemeinde 18 Merkmale. Diese sind

Regionalschlüssel (Stand 1976)

Name

Bebaute Fläche (in  $\text{mm}^2$  auf der topographischen Karte 1:25 000)

Einwohner (1973)

Anzahl der Wohnungen (1973)

Anzahl der Wohnungen mit Sammelheizung (1968)

Anzahl der Wohnungen mit Öl-, Gas-, Stromheizung (1968)

Anzahl der Wohnungen mit Holz-, Kohle-, Torfheizung (1968)

Anzahl der Beschäftigten am Arbeitsort (1973)

Anzahl der Industriebeschäftigten am Arbeitsort (1973)

Energieverbrauch der Industrie (1973)

Kohle

Strom

Öl

Gas

} in t SKE

Kühlwassermenge in  $\text{m}^3$

sowie 2 ganzzahlige Kenngrößen, die Gemeindedaten von Kreissummen unterscheiden, bzw. angeben, ob der Energieverbrauch der Industrie direkt gegeben oder errechnet ist.

In Rheinland-Pfalz und Hessen handelt es sich bei den Kühlwasserdaten um Werte, die über den spezifischen Kühlwasserbedarf und die Beschäftigtenzahl in feinsten Branchengliederung gewonnen sind.

Die Katasterquadratdatenbank enthält für jedes Katasterquadrat des Gebiets:  
Gauss-Krüger-Koordinaten des 6<sup>o</sup>-Streifens,

Hochwert und Rechtswert in ganzen km

Bebaute Fläche mit zugehöriger Gemeindegrenznummer in mm<sup>2</sup> auf der  
Karte 1:25 000 (bis zu 4 Beiträge)

Straßenlänge in inch auf der Karte 1:25 000 mit Straßentyp und zugehöriger  
durchschnittlicher täglicher Verkehrsmenge, getrennt nach PKW  
und LKW (bis zu 7 Beiträge)

Flußkennziffer, Flußkilometer, Flußbreite (in mm auf der Karte 1:25 000)  
(bis zu 4 Beiträge)

Diese Datenbank wurde durch ein umfangreiches Meßprogramm auf der Basis der  
topographischen Karte 1:25 000 in Verbindung mit Verkehrsdichte-Karten und  
Verwaltungskarten erstellt. Straßendaten im Elsaß und Angaben über den  
Schienenverkehr sollen noch aufgenommen werden.

## 2. Spezifischer Energieverbrauch und spezifischer Kühlwasserbedarf pro Beschäftigten in der Industrie im Jahr 1973 (nach HIG)

- HIG - Kennziffer und Bezeichnung der Industriegruppe (Industriezweig)
- ESP - spezifischer Energieverbrauch pro Beschäftigten und HIG (1973)  
in t SKE/a
- KWB - spezifischer Kühlwasserverbrauch pro Beschäftigten und HIG (1973)  
in 1000 m<sup>3</sup>/a

(berechnet aus Daten des statistischen Bundesamts)

Die wichtigsten Industriezweige sind unterstrichen.

HIG		ESP tSKE/a	KWB 1000 m <sup>3</sup> /a
Insgesamt		15,4	
<u>Bergbau</u>	21	61,9	4,89
Steinkohlenbergbau	2111	59,9	
Braun- und Pechkohlenbergbau	2114	72,5	
Eisenerzbergbau	2130	156	
Metallerzbergbau	2140	12,6	
Kali- und Steinsalzbergbau sowie Salinen	2150	65,4	
Erdöl- und Erdgasgewinnung	2160	109	
Flußpat-, Schwerspat-, Graphit- und sonstiger Bergbau	2170		
Torfindustrie	2180		
<u>Grundstoff- und Produktionsgüterindustrien</u>		50	
<u>Industrie der Steine und Erden</u>	25	45,2	0,195
Natursteinindustrie	2511	10,1	
Sand- und Kiesindustrie	2521	6	
Gewinnung und Aufbereitung von Rohton, Farberden, Schiefer, Asphalt, Quarzit u.ä. Steinen und Erden	2527	30	
Zementindustrie	2531	326	
Kalkindustrie	2532	147	
Gips- und Kreide-Industrie	2533	46,6	
Ziegelindustrie	2541	67,2	
Grobsteinzeugindustrie	2542	30,9	
Herstellung von feuerfesten grobkeramischen Erzeugnissen	2543	24,7	
Betonindustrie	2550	4,28	
Kalksandsteinindustrie	2551	41,8	
Bims- und Bimssteinindustrie	2554	4,43	
Isolier- und Leichtbauplatten- industrie	2564	9,05	

HIG		ESP tSKE/a	KWB 1000 m <sup>3</sup> /a
Asbestzementindustrie	2565	6,14	
Sonstige Industrien der Steine und Erden	2590	12,9	
<u>Eisenschaffende Industrie</u>	27	116	5,207
Hochofen-, Stahl- und Warmwalz- werke	2710	118	
Schmiede-, Preß- und Hammer- werke	2740	35,7	
<u>NE-Metallindustrie</u>	28	37,8	2,73
NE-Metallhütten-, -umschmelz- werke und -scheideanstalten	2810	116	
NE-Metallhalbzeugwerke	2850	10,2	
<u>Gießereien</u>	29		0,267
<u>Eisen-, Stahl- und Temper- gießerei</u>	2910	12,2	
<u>NE-Metallgießerei</u>	2950	8,04	
<u>Ziehereien und Kaltwalzwerke</u>	3010	9,86	
<u>Mineralölverarbeitung</u>	22	314 1)	15,375
<u>Chemische Industrie (ohne Kohlenwertstoffindustrie)</u>	40	33,4	6,115
<u>Kohlenwertstoffindustrie</u>	42	71	2,305
<u>Sägewerk und holzbearbeitende Industrie</u>	53	10,2	0,166
Säge-, Hobel-, Holzimprägnier- und Furnierwerke	5310	2,58	
Sperrholz-, Holzfaserplatten- und Holzspanplattenwerke	5360	21,9	
<u>Holzschliff, Zellstoff, Papier und Pappe erzeugende Industrie</u>	55	65,6	6,451
<u>Gummi- und asbestverarbeiten- de Industrie</u>	59	7,51	0,394

1) im Oberrheintal im Mittel ca. 1000 tSKE/a  
im Industriebericht sind im allgemeinen nicht alle Verbräuche des Umwandlungs-  
sektors - Raffinerien sind dazu zu rechnen - erfaßt, daher dürfte auch der oben  
angegebene Bundesmittelwert zu niedrig liegen.

HIG		ESP tSKE/a	KWB 1000 m <sup>3</sup> /a
<u>Investitionsgüterindustrien</u>		2,79	0,253
<u>Stahl- und Leichtmetallbau</u>	31	1,69	0,019
<u>Maschinenbau</u>	32	2,54	0,057
<u>Straßenfahrzeugbau</u>	33	4,98	0,255
<u>Schiffbau</u>	34	2,73	0,169
<u>Luftfahrzeugbau</u>	35	2,88	0,482
<u>Elektrotechnische Industrie</u>	36	1,74	0,056
<u>Feinmechanische und optische Industrie sowie Uhrenindustrie</u>	37	1,22	0,025
<u>Stahlverformung</u>	3020	6,28	
<u>Eisen-, Blech- und Metallwaren- industrie</u>	38	3,03	0,065
Herstellung von Handelswaffen und deren Munition	3810	2,26	
Werkzeugindustrie	3820	3,01	
Heiz- und Kochgeräte- Industrie	3830	3,77	
Stahlblechwarenindustrie	3841	3,38	
Stahlrohrmöbelindustrie	3845	2,24	
NE-Metallblechwarenindustrie	3846	2,09	
Feinblechpackungsindustrie	3849	4,4	
Schloß- und Beschlagindustrie	3850	2,85	
Herstellung von Fahrradteilen und Kraftradeinzelteilen und -zubehör	3861	3,06	
Herstellung von Kraftwagen- zubehör	3867	2,58	
Schneidwaren- und Besteckin- dustrie	3870	2,34	
Metallwarenindustrie (ohne Füllhalter- und Kugelschreiber- industrie)	3881	3,78	
Metallkurzwarenindustrie	3887	2,33	
Füllhalter- und Kugelschrei- berindustrie	3888	1,25	

HIG		ESP tSKE/a	KWB 1000 m <sup>3</sup> /a
<u>Herstellung von Büromaschinen, Datenverarbeitungsgeräten und -einrichtungen</u>	50	1,91	0,026
Herstellung von Büromaschinen (ohne H.v.Geräten und Einrichtungen für die automatische Datenverarbeitung)	5010	1,53	
Herstellung v.Geräten u. Einrichtungen für die automatische Datenverarbeitung	5050	2,52	
<u>Verbrauchsgüterindustrien</u>		4,52	
<u>Feinkeramische Industrie</u>	51	9,15	0,028
<u>Glasindustrie</u>	52	24,6	0,217
<u>Holzverarbeitende Industrie</u>	54	1,86	0,028
<u>Musikinstrumenten-, Spiel-, Schmuckwaren- und Sportgeräte-Industrie</u>	39	1,24	0,02
Klavier-, Harmonium- und Orgelbau	3910	1,86	
Kleinmusikinstrumentenindustrie	3920	1,28	
Spielwarenindustrie (einschließl. Herstellung von Christbaumschmuck)	3930	1,42	
Turn- und Sportgeräte-Industrie	3940	1,37	
Schmuckwarenindustrie	3950	0,907	
Edelsteinindustrie	3960	0,864	
<u>Papier und Pappe verarbeitende Industrie</u>	56	5,05	0,168
<u>Druckerei- und Vervielfältigungsindustrie</u>	57	1,68	0,033
<u>Kunststoffverarbeitende Industrie</u>	58	4,34	0,232
<u>Ledererzeugende Industrie</u>	61	11,1	0,132
<u>Lederverarbeitende- und Schuhindustrie</u>	62	0,9	0,009

HIG		ESP tSKE/a	KWB 1000 m <sup>3</sup> /a
Lederverarbeitende Industrie	6210	0,962	
Schuhindustrie	6250	0,869	
<u>Textilindustrie</u>	63	6,38	0,189
<u>Bekleidungsindustrie</u>	64	0,881	0,003
<u>Nahrungs- und Genußmittel- Industrien</u>		11,3	
<u>Ernährungsindustrie</u>	68	11,7	0,568
<u>Mahl- und Schälmühlenindustrie</u>	6811	8,09	
Nährmittelindustrie	6813	5,39	
Stärke- und Kartoffelverarbeitende Industrie (ohne Brennerei)	6815	36,1	
Brotindustrie	6817	6,36	
<u>Zuckerindustrie</u>	6821	115	
<u>Obst- und Gemüseverarbeitende Industrie</u>	6824	8,45	
<u>Süßwarenindustrie</u>	6827	3,81	
<u>Molkerei und Käseerei</u>	6831	14,4	
<u>Dauermilch-, Schmelzkäse- und Kaseinwerke</u>	6835	25,5	
<u>Ölmühlenindustrie</u>	6841	43,7	
<u>Margarineindustrie</u>	6844	12,3	
Talgschmelzen und Schmalzsiedereien	6847	23,8	
Fleischverarbeitende Industrie	6851	4,7	
Fischverarbeitende Industrie	6855	2,2	
Kaffeemittelindustrie	6861		
Kaffee- und tee- verarbeitende Industrie	6865	6,39	
<u>Brauerei</u>	6871	11,2	
<u>Mälzerei</u>	6872	71,3	
Alkoholbrennereien und Spiritusreinigungsanstalten	6873		
Spirituosenindustrie	6875	5,01	
Weinverarbeitende Industrie	6877	3,08	

HIG		ESP tSKE/a	KWB 1000 m <sup>3</sup> /a
<u>Mineralbrunnen-, Mineral-</u> <u>wasser- u. Limonadenindustrie</u>	6879	4,28	
Sonstige Ernährungsindustrie	6881	3,05	
<u>Eisgewinnung</u>	6885	12,4	
Futtermittelindustrie	6889	14,7	
<u>Tabakverarbeitende Industrie</u>	69	4,12	0,137
Zigarettenindustrie	6911	4,9	
Zigarrenindustrie	6941	3,11	
Rauch-, Kau- und Schnupf- tabakindustrie	6971	2,68	

### 3. Verzeichnis mehrfach benutzter Abkürzungen

Die Abkürzungen für Abwärme und Abwärmekomponenten sind in Kap. 3.1 zusammengefaßt.

$H_u$	unterer Heizwert von fossilen Energieträgern
$H_o$	oberer Heizwert von fossilen Energieträgern
$\Delta H = H_o - H_u$	latente Wärme im Rauch (Wasserdampf)
$EI_{ij}$	Energieverbrauch der Industrie in Gemeinde i nach Energieträgern j (j=1 Kohle, j=2 Strom, j=3 Öl, j=4 Gas)
$EI_i = \sum_{j=1}^4 EI_{ij}$	Energieverbrauch der Industrie in Gemeinde i
$KW_i$	Kühlwassermenge der Industrie in 1 000 m <sup>3</sup> /a in Gemeinde i
$EHK_{ij}$	Energieverbrauch im Sektor Haushalt und Kleinverbrauch in Gemeinde i nach Energieträgern j (wie oben)
$EHK_i = \sum_{j=1}^4 EHK_{ij}$	Energieverbrauch im Sektor Haushalt und Kleinverbrauch in Gemeinde i
$BI_{ij}$	Anzahl der Beschäftigten der Industrie in Gemeinde i, gegliedert nach hauptbeteiligten Industriegruppen j (HIG)
$B_i$	Gesamtzahl der Beschäftigten in Gemeinde i ( $B_i \geq \sum_j BI_{ij}$ )
$E_i$	Anzahl der Einwohner in Gemeinde i
$W_i$	Anzahl der Wohnungen in Gemeinde i
$BFL_i$	gesamte bebaute Fläche der Gemeinde i
$EIOV_{ij}$	Energieverbrauch im Innerortsverkehr der Gemeinde i nach Energieträgern j (j=1 Diesel, j=2 Benzin)
$EV(m,n)$	Energieverbrauch durch den Straßenverkehr im Rasterquadrat mit den Gauss-Krüger-Koordinaten (m,n)
$EVT_{jk}(m,n)$	Energieverbrauch nach Energieträgern j (Diesel, Benzin) auf dem Straßentyp K (vergl. Kap. 4.2.4.1 und Kap. 5.3.2) im Rasterquadrat (m,n)
$EVB(m,n)$	Energieverbrauch durch den Schienenverkehr im Rasterquadrat mit den Gauss-Krüger-Koordinaten (m,n)

$AI_{ij}$	Abwärme der Komponente j durch die Industrie in Gemeinde i
$AHK_{ij}$	Abwärme der Komponente j durch Haushalt und Kleinverbrauch in Gemeinde i
$AIOV_{ij}$	Abwärme der Komponente j durch den Innerortsverkehr in Gemeinde i
$AAOV_j(m,n)$	Abwärme der Komponente j durch den Außerortsverkehr im Rasterquadrat mit den Gauss-Krüger-Koordinaten (m,n)