

Hochaufgelöste Emissionskataster für Luftschadstoffe in Baden-Württemberg

Th.Müller, B.Boysen, R.Friedrich, A.Obermeier, A.Voß

Institut für Kernenergetik und Energiesysteme (IKE)
Universität Stuttgart

Zusammenfassung

Aufbauend auf das im Laufe des TULLA-Experimentes erstellte stündliche Emissionskataster für die Stoffe SO₂ und NO_x wird am IKE ein Modell erarbeitet, das es erlaubt, Szenarien stündlicher Emissionen für beliebige zukünftige Perioden unter Berücksichtigung von meteorologischen und sonstigen Parametern zu berechnen. In diesem Zwischenbericht wird vorwiegend auf die Methoden eingegangen, mit denen für die öffentlichen Kraftwerke und für den Verkehrssektor Aussagen gemacht werden können.

Des weiteren wurde eine Pilotstudie erarbeitet, in der untersucht wurde mit welchen Methoden ein in Raum und Zeit hoch aufgelöstes Emissionskataster für gasförmige organische Verbindungen erstellt werden kann. Einige Ergebnisse dieser Studie werden kurz dargestellt. Für die Verursachergruppen Feuerungen, Prozesse in Industrie, bei Kleinverbrauchern und Haushalten, sowie natürliche Quellen (Wälder) wird dabei anhand einiger Beispiele die jeweils mögliche Vorgehensweise erläutert.

Emission Inventories for Air-Pollutants with a High Temporal and Spatial Resolution for the State of Baden-Württemberg

Th.Müller, B.Boysen, R.Friedrich, A.Obermeier, A.Voß

Summary

Based on the emission inventory the IKE has elaborated for the State of Baden-Württemberg during the TULLA-measuring-period, the IKE is working on a model which will be able to calculate hourly emissions for future time periods and for given boundary conditions. In this interim report mainly the aspects of modelling spatial and temporal allocation of emissions from power plants and the transportation sector will be discussed.

Another project the IKE was concerned with is a pilot study which develops methods to evaluate an emission inventory for volatile organic compounds (VOC) in a high temporal and spatial resolution. Some results of this study will be presented briefly in this paper by illustrating methods for some cases.

Einführung

Im Rahmen der Untersuchung der Schadstoffkette von der Emission über die Ausbreitung und die chemischen Umwandlung in der Atmosphäre bis hin zur Deposition sind Quellhöhe der Emissionen, deren zeitlicher Verlauf und die exakte geographische Bestimmung der Quellpunkte von außerordentlicher Bedeutung.

Diese Informationen dienen zur Verifizierung und Anwendung von Modellen, die entwickelt wurden, um den Transport und die chemische Umsetzung der Schadstoffe simulieren. Außerdem kann mit Methoden, die geeignet sind, die unter bestimmten Randbedingungen zu erwartenden Emissionen in einer hohen räumlichen und zeitlichen Auflösung zu bestimmen, beurteilt werden, wie sich Umweltschutzmaßnahmen in der Zukunft auswirken.

In dem hier vorliegenden Zwischenbericht werden zwei verschiedene Projekte beschrieben, die sich mit dem Problem der Emissionsdatenerhebung befassen.

Im Projekt "Ermittlung und Analyse des zeitlichen Verlaufs und der räumlichen Verteilung der derzeitigen und zukünftigen SO₂- und NO_x-Emissionen in Baden-Württemberg" soll ein Instrumentarium entwickelt werden, das es erlaubt, unabhängig von bestimmten Untersuchungszeiträumen für beliebige Perioden in der Vergangenheit sowie unter Zugrundelegung verschiedener Annahmen wie Wetterbedingungen, Wirtschaftsentwicklung der verschiedenen Branchen, Bevölkerungsentwicklung etc. auch für zukünftige Perioden (z.B. 1990 oder 1995) stündliche Emissionsmengen zu berechnen.

Die Pilotstudie "Emissionskataster für gasförmige organische Verbindungen" /1/ wurde im Laufe des Jahres 1987 abgeschlossen. Darin wurde untersucht, welche Vorgehensweise bei der Erstellung eines Emissionskatasters für flüchtige organische Verbindungen zu wählen ist und woher die hierfür benötigten Daten im Einzelfall stammen können.

Emissionen gasförmiger organischer Verbindungen werden als mögliche Ursachen auftretender Umweltschädigungen diskutiert. Beispielfhaft seien hier die Schäden durch die verstärkte Bildung von Photooxidantien aus Kohlenwasserstoffen und Stickoxiden in der Troposphäre sowie durch die Reduzierung des Ozongehaltes der Stratosphäre durch halogenierte Kohlenwasserstoffe genannt.

Ermittlung und Analyse des zeitlichen Verlaufs und der räumlichen Verteilung der derzeitigen und zukünftigen SO₂- und NO_x-Emissionen in Baden-Württemberg

Dieses Vorhaben erweitert und verbessert die Methoden, die im Rahmen des Projekts "Erfassung stündlicher SO₂- und NO_x-Emissionen in Baden-Württemberg in einer räumlichen Auflösung von 1 x 1 km² für die Zeit der TULLA-Meßkampagne" /2/, das im März 1987 abgeschlossen wurde, entwickelt wurden.

Im Rahmen dieser Arbeiten wurden sämtliche Betreiber von Feuerungsanlagen mit einer Gesamtfeuerungsleistung über 10 MW über ihre stündlichen Emissionen, bzw., wenn diese nicht bekannt waren, über ihre stündlichen Brennstoffverbräuche während der Meßkampagne befragt. Aus den Brennstoffverbräuchen konnten dann unter Verwendung von anlagenspezifischen Emissionsfaktoren die jeweiligen Emissionen berechnet werden.

Zur Bestimmung der Emissionen aus anderen Quellen wurden Modelle entwickelt, die die Emissionen aufgrund von Daten, die auf Gemeindeebene verfügbar sind (Gebäudedaten der privaten Haushalte, Beschäftigtendaten in Industrie und bei den Kleinverbrauchern, Schülerzahlen einer Gemeinde, Straßenabschnittsdaten etc.) berechnen. Die zeitliche Zuordnung wurde - für jede Gemeinde getrennt - mit Hilfe von Größen wie Temperatur, Gradtagszahl, Produktionsindex, aber auch unter Verwendung von Daten kontinuierlich aufzeichnender Verkehrszählstellen etc. ermittelt.

Die in diesem ersten Projekt erarbeiteten SO_2 - und NO_x -Emissionsdaten dienen als Eingabegrößen für ein am Institut für Meteorologie und Klimaforschung der Universität Karlsruhe entwickeltes Ausbreitungsmodell /3/, das mit diesen Daten und den im Untersuchungszeitraum gewonnenen Immissions-Meßdaten verifiziert wurde.

In dem Vorhaben "Ermittlung und Analyse des zeitlichen Verlaufs und der räumlichen Verteilung der derzeitigen und zukünftigen SO_2 - und NO_x -Emissionen in Baden-Württemberg" soll dieses Kataster nun so erweitert werden, daß es möglich ist, für quasi beliebige Zeiträume die Emissionen aufgrund bestimmter Annahmen zu berechnen. Damit können dann in Verbindung mit dem erwähnten Ausbreitungsmodell Schadstoffkonzentrationsverteilungen für beliebige Wetterlagen, Jahreszeiten und Tageszeiten abgeschätzt werden.

Dabei sind entsprechend der jeweiligen Zielsetzung unterschiedliche Anforderungen an die Vorgehensweise vorhanden :

Für die TULLA-Meßkampagne mußten möglichst exakte aktuelle Daten ermittelt werden, um einen Vergleich mit gemessenen Immissionsdaten und damit eine Verifizierung des Ausbreitungsmodells zu ermöglichen; daher war eine Befragung der Großemittenten erforderlich. Für die Anwendung des Modellsystems sind dagegen typische Emissionen für bestimmte, auch zukünftige Zeitperioden und Wetterlagen zu bestimmen. Daher sind die Emissionen der Großemittenten hier durch Modellrechnungen zu ermitteln.

Es sind folgende Arbeitsschritte durchzuführen :

- Erweiterung und Anpassung der erarbeiteten Modelle der Sektoren Haushalte, Kleinverbraucher und Industrie (kleine Feuerungen) an zusätzliche Zeitperioden
- Entwicklung eines Modells zur Bestimmung der Emissionen aus industriellen Großfeuerungen
- Erstellung eines Kraftwerkeinsatzmodells zur Berechnung der stündlichen Emissionen der einzelnen Kraftwerke Baden-Württembergs

- Erstellung eines Modells zur Bestimmung der zeitabhängigen Emissionen des Verkehrssektors
- Entwicklung eines Szenarios für den Energieverbrauch und die Energieversorgung in Baden-Württemberg für das Jahr 1995
- Berechnung eines Referenzszenarios der stündlichen Emissionen während einer ausgewählte Periode im Jahr 1995 und Vergleich der so ermittelten Emissionen mit den Emissionen einer entsprechenden Periode im Jahr 1985

Für den Bereich der Haushalte und Kleinverbraucher wurden die Methoden aus dem TULLA-Projekt weiterentwickelt. Die Dateien wurden so angelegt, daß eine kontinuierliche Fortschreibung der Gebäude- und Wohnungsdaten möglich ist, wobei zusätzliche Energieeinsparmaßnahmen und Renovierungsraten in den Szenarienrechnungen mitberücksichtigt werden können.

In diesem Zwischenbericht soll im folgenden auf die Untersuchungen zur zeitlichen Auflösung der Emissionen aus öffentlichen Kraftwerken und auf den Sektor Verkehr eingegangen werden.

Bestimmung der stündlichen Emissionen der öffentlichen Kraftwerke Baden Württembergs

Infolge der in der Regel hohen Feuerungswärmeleistung von bis zu 4000 MW pro Standort stellen die öffentlichen Kraftwerke in Baden-Württemberg die größten Punktquellen für SO₂ und NO_x dar.

Im Rahmen dieses Projektes wurde ein Modell entwickelt, das den stündlichen Strombedarf in Baden-Württemberg in Abhängigkeit von Parametern wie Jahreszeit, Wochentag, Außentemperatur, wirtschaftliche Nettoproduktion (als wichtige Bestimmungsgröße für den Energiebedarf der Industrie) und weiteren Faktoren bestimmt.

Von diesem stündlichen Strombedarf wird - unter Ausnutzung von Informationen über den Kraftwerkspark Baden-Württembergs, die in einer gesonderten Kraftwerksdatenbank gespeichert sind - auf die zu der jeweiligen Stunde in Betrieb befindlichen Kraftwerksblöcke geschlossen. Daraus können dann - wiederum unter Berücksichtigung der spezifischen Daten der Kraftwerksdatenbank (verwendete Brennstoffe, Feuerungstechnologien, Emissionsfaktoren etc.) - die stündlichen Emissionen an den verschiedenen Kraftwerksstandorten in Baden-Württemberg berechnet werden.

Auf die hierbei gewählte Vorgehensweise soll im folgenden etwas genauer eingegangen werden.

Der stündliche Strombedarf in Baden-Württemberg wird in zwei Stufen ermittelt :

Zunächst wird anhand von Einflußgrößen wie mittlerer Außentemperatur und Nettoproduktion des Verarbeitenden Gewerbes der Strombedarf eines Tages berechnet. Für diese Berechnungen werden Regressionskoeffizienten herangezogen, die mit Hilfe einer multiplen Regressionsanalyse ermittelt wurden.

Im nächsten Schritt wird der Tagesstromverbrauch dann auf die einzelnen Stunden des Tages aufgeteilt. Dazu wurden Lastgänge herangezogen, die im Rahmen der Arbeiten für das Gutachten "Perspektiven der Energieversorgung" /5/ für Baden-Württemberg für verschiedene Jahre getrennt für die industriellen und sonstigen Stromverbraucher erstellt wurden. Diese Lastverläufe geben die stündliche Stromnachfrage in Baden-Württemberg an neun typischen Tagen des Jahres wieder, und zwar für drei typische Wintertage, drei typische Sommertage und drei typische Tage während der Übergangszeit, wobei jeweils der Verlauf an einem Werktag, an einem Samstag und einem Sonntag dargestellt ist. Außerdem ist der Lastverlauf am Tag der höchsten Last bekannt.

Um die Einflüsse der Außentemperatur auf den jeweiligen Tagesgang zu berücksichtigen, wird im Modell zwischen den für die einzelnen Jahreszeiten verschiedenen Tagesgängen in Abhängigkeit von der Tagesmitteltemperatur interpoliert.

Abb. 1 stellt die Ergebnisse dieser Berechnungen für den März 1983 dar, Abb. 2 für einen einwöchigen Zeitraum im November 1983.

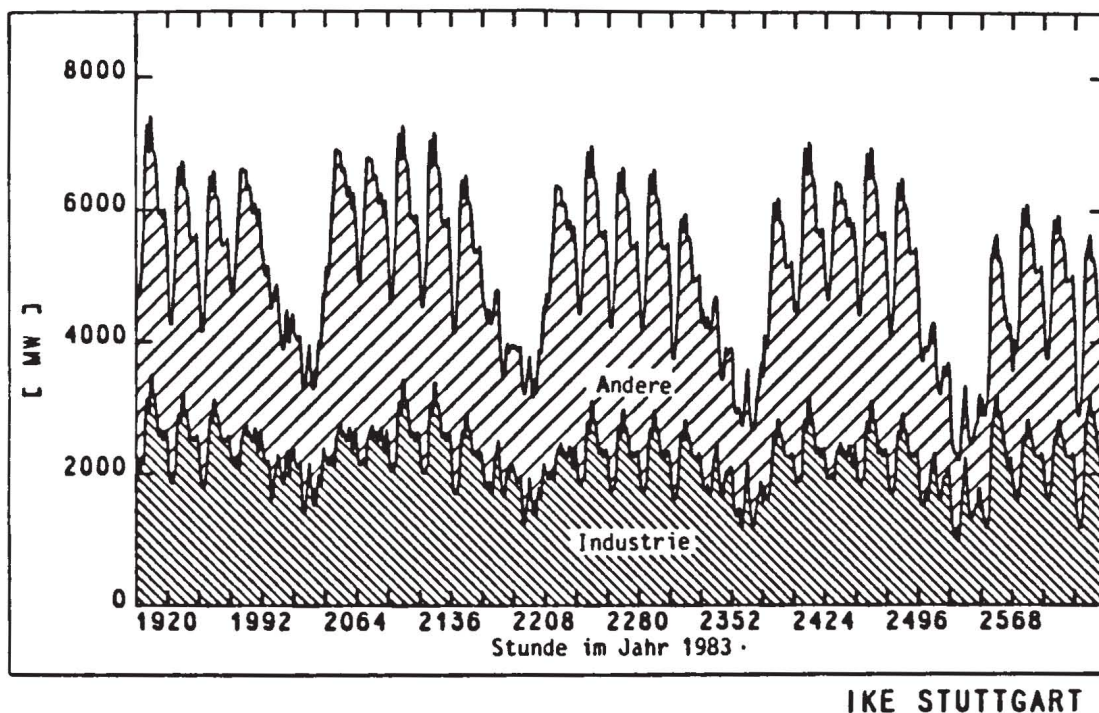
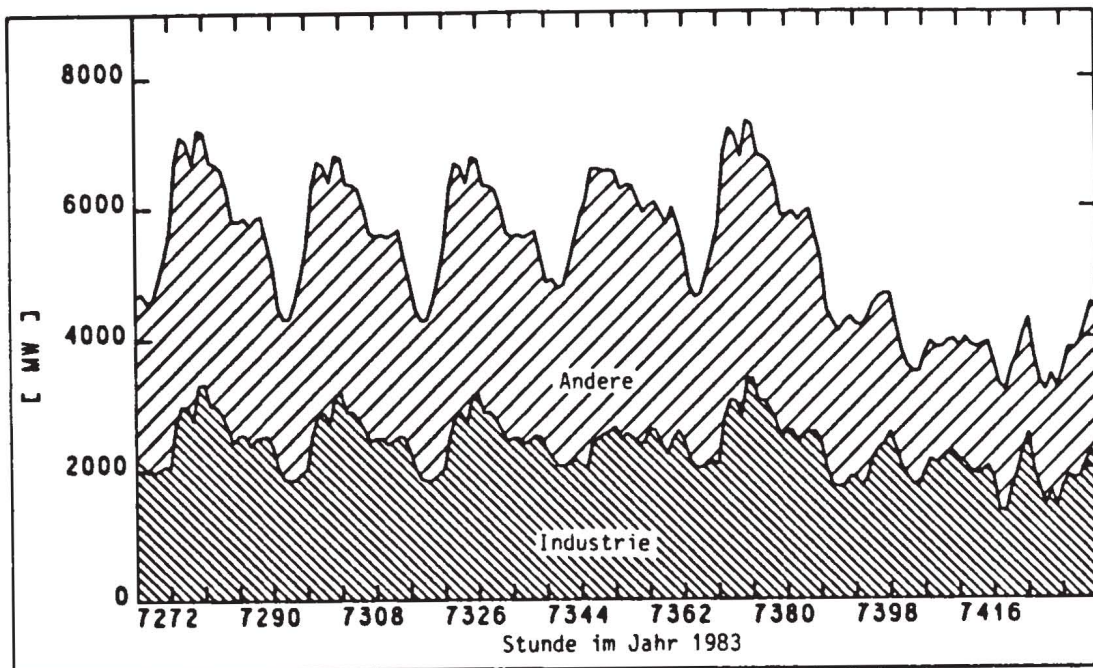


Abb. 1 : Stündlicher Strombedarf in Baden-Württemberg im März 1983



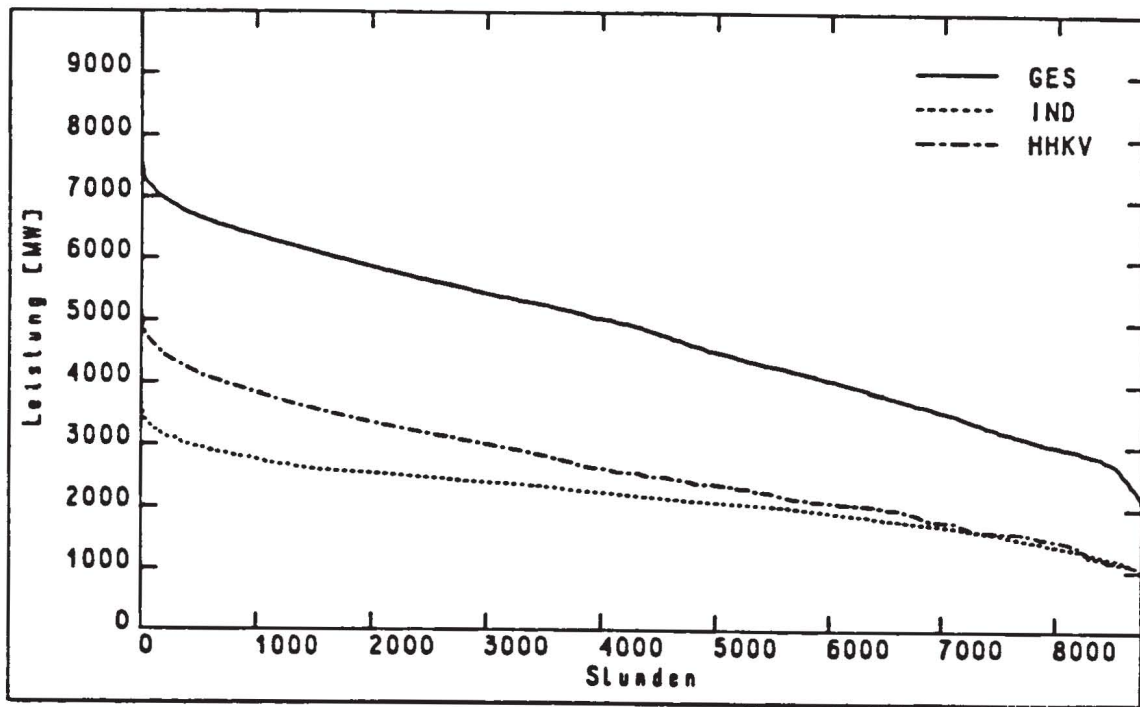
IKE STUTT GART

Abb. 2 : Stündlicher Strombedarf in Baden-Württemberg über eine Woche im November 1983

Um nun aus diesen Lastgängen auf die tatsächlich zu der jeweiligen Stunde in Betrieb befindlichen Kraftwerke bzw. Kraftwerksblöcke schließen zu können, muß als nächstes ein Kriterium dafür gefunden werden, bei welchen Lastzuständen in Baden-Württemberg welches Kraftwerk der öffentlichen Stromversorgung am Netz ist.

In einem ersten Schritt wird dazu die in einem bestimmten Zeitraum zu erzeugende Menge an Strom (elektrische Arbeit) auf die einzelnen Kraftwerksblöcke verteilt. Zu diesem Zweck wird auf die aus der Berechnung der stündlichen Lastganglinie eines ganzen Jahres ermittelten Jahresdauerlinie bzw. Halbjahresdauerlinien (um seasonspezifische Dinge wie z.B. Revisionszeiten, die insbesondere bei Kernkraftwerken im Regelfall im Sommer anfallen, zu berücksichtigen) zurückgegriffen. Die Jahresdauerlinie stellt die nach der Größe der auftretenden Last geordneten stündlichen Lastzustände eines Jahres dar. Die Fläche unter der Kurve entspricht dabei der von den Kraftwerken zu erbringenden elektrischen Arbeit.

Drei solche Jahresdauerlinien sind in Abb. 3 dargestellt. Der Beginn jeder Kurve, bzw. der Wert der Leistung am linken Rand zeigt die Jahreshöchstlast, der am rechten Rand die Jahrestiefstlast. Dazwischen sind sämtliche Lastzustände, wie sie über das Jahr auftreten, mit der Länge ihres Auftretens angegeben. Die drei Jahresdauerlinien in Abb. 3 geben die Lastverläufe für den gesamten, für den industriellen Strombedarf und für den Bedarf der Haushalte und Kleinverbraucher wieder. Deutlich ist der relativ gleichmäßige Bedarfsverlauf der Industrie auszumachen, während bei den Haushalten und Kleinverbrauchern die Höchstlast im Verhältnis zum gesamten Stromverbrauch höher ist.



IKE Stuttgart

Abb. 3 : Geordnete Jahresdauerlinie des Lastgangs der öffentlichen Kraftwerke Baden-Württembergs für das Jahr 1983. GES = Gesamtlast, IND = Durch die Industrie verursachte Last, HHKV = Durch die Sektoren Haushalte und Kleinverbraucher verursachte Last.

Die Aufteilung der aufzubringenden elektrischen Arbeit auf die einzelnen Kraftwerke erfolgt nun derart, daß im unteren Leistungsbereich, der Grundlast, die Laufwasser- und Kernkraftwerke den benötigten Strom erzeugen. Den darüber liegenden Mittellastbereich decken meist Kohlekraftwerke ab, der Spitzenlastbereich wird von Gasturbinen, Pumpspeichern etc. abgedeckt.

Aus dieser Aufteilung ergeben sich (für Sommer- und Winterhalbjahr unterschiedliche) Lastgrenzen für jeden einzelnen Kraftwerksblock. Überschreitet die über das öffentliche Netz nachgefragte Leistung diese Grenze, so geht der jeweilige Block ans Netz. Seine - dem jeweiligen Lastzustand entsprechenden - Emissionen werden dann über die für den einzelnen Block spezifischen Emissionsfaktoren ermittelt. Dieses Modell wird anhand von vorliegenden tatsächlichen Kraftwerkseinsatzdaten verifiziert.

Straßenverkehr

Aufbauend auf den Modellansätzen, die für die Ermittlung der räumlichen und zeitlichen Verteilung der NO_x- und SO₂-Emissionen des Straßenverkehrs in Baden-Württemberg im Rahmen des TULLA-Projektes /2/ entwickelt wurden, werden im Sektor Verkehr folgende Punkte zusätzlich bearbeitet.

- Berücksichtigung der Daten der Verkehrszählung 1985, deren Daten seit Mitte 1987 zur Verfügung stehen.

- Zusätzliche Detaillierung der Emissionsfaktoren nach Hubraumklassen, um den Einfluß von Schadstoffminderungsmaßnahmen, die aufgrund der neuen EG-Grenzwerte für PKW eingeführt werden, erfassen zu können.
- Ermittlung zukünftiger, örtlich und zeitlich unterschiedlicher Veränderungen der Verkehrsstärke durch Auswertungen der Daten der kontinuierlichen Zählstellen.
- Ermittlung von Korrelationen, die den Zusammenhang von Gemeindegröße und Höhe der Emissionen wiedergeben.

Die Aufteilung der Pkw-Flotte in einzelne Hubraumklassen ist notwendig, weil abhängig von der Größe des Hubraums unterschiedliche Grenzwerte vom Gesetzgeber vorgeschrieben sind. Diese Grenzwerte können mit unterschiedlichen technischen Maßnahmen erreicht werden. Die Emissionsfaktoren der einzelnen Hubraumklassen werden im wesentlichen aus /6/ entnommen.

Die Auswertung der Daten der automatischen Zählstellen erlaubt es, die Veränderung der Verkehrsstärke nicht nur -wie bisher- nach verschiedenen Straßentypen, sondern auch in Abhängigkeit von der geographischen Lage mit in die Modellrechnungen einzubeziehen. Dadurch werden die Unterschiede zwischen strukturschwächeren Regionen und Ballungsräumen mit berücksichtigt.

Erweiterungen innerhalb der Modelle werden insbesondere auch im Zusammenhang mit der Berechnung des innerörtlichen Verkehrsaufkommens durchgeführt. In den in /2/ verwendeten Modellen wurden die Emissionen als Funktion der Anzahl der Einwohner, deren (aus der KONTIV '82 /7/ bekannten) Mobilitätsverhalten und dem Radius der als kreisförmig angenommenen Siedlungsfläche angenommen.

Als weitere Parameter für den innerörtlichen Verkehr werden gemeindespezifische Kenngrößen wie Anzahl der Beschäftigten, tatsächliche innerörtlich vorhandene Straßenlänge, Zulassung von Kraftfahrzeugen etc. in das Innerorts-Modell integriert. Die Verifizierung dieses Modells ist anhand von Daten, die für einen Teil der Region Mittlerer Neckar bzw. aus /8,9,10,11/ vorliegen, möglich.

Emissionskataster für flüchtige organische Verbindungen (VOC)

Das Auftreten hoher Konzentrationen von Ozon und anderen Photooxidantien in der Troposphäre wird als Mitursache für das Auftreten neuartiger Waldschäden angesehen. Neben einem möglichen Eintrag von Photooxidantien aus höheren Luftschichten in die Troposphäre werden diese insbesondere durch Reaktion der bekannten Vorläufer NO_x und flüchtigen organischen Verbindungen (abgekürzt VOC, engl: Volatile Organic Compounds) in bodennahen Luftschichten gebildet. Zur exakten Beurteilung der VOC-Emissionen ist, da dieser Sammelbegriff zahlreiche verschiedene Substanzen mit z.T. sehr unterschiedlichen chemischen und physikalischen Eigenschaften umfaßt, auch die stoffliche Zusammensetzung der Emissionen zu berücksichtigen.

In einer Pilotstudie wurden Grundlagen zur Erstellung eines VOC-Emissionskatasters für Baden-Württemberg erarbeitet /1/. Dazu wurde zunächst eine Literaturstudie über Emissionen und Umwandlungsmechanismen von VOC durchgeführt, welche in Zusammenhang mit den angesprochenen Waldschäden von Bedeutung sein könnten. Weiterhin wurden die zur Ermittlung der zeitlichen und räumlichen Verteilung der Emissionen dieser Stoffe anzuwendenden Methoden erläutert, die im folgenden kurz skizziert werden. Dabei wird eine problemorientierte Unterteilung nach Verursachergruppen gewählt.

VOC-Emissionen aus stationären Feuerungen

VOC-Emissionen aus Anlagen mit hoher Feuerungswärmeleistung, die in öffentlichen Kraftwerken, Heizkraftwerken sowie in der Industrie eingesetzt werden, tragen nur in beschränktem Umfang zu den Gesamtemissionen an VOC bei. Kleinere Feuerungen von Haushalten und Kleinverbrauchern stellen in diesem Zusammenhang die wichtigeren Quellen dar. Emissionsfaktoren für die verschiedenen Anlagengrößen und Brennstoffe stehen zur Verfügung /12/. Abschätzungen über die brennstoffspezifische Zusammensetzung der VOC-Emissionen liegen bisher nur für Anlagen mit kleiner Feuerungswärmeleistung vor /13/.

Die Ermittlung der räumlichen und zeitlichen Verteilung der VOC-Emissionen aus Feuerungen kann in Anlehnung an die für SO₂ und NO_x bereits entwickelten bzw. sich in der Entwicklung befindenden Methoden (siehe /2/ sowie die Aussagen im ersten Teil dieses Berichts) erfolgen.

VOC-Emissionen aus dem Sektor Verkehr

Die mit Abstand wichtigsten VOC-Quellen im Verkehrssektor stellen die Abgasemissionen von Kraftfahrzeugen (Pkw und LKW) sowie die Verdunstung von Benzin aus den Kraftstofftanks der Fahrzeuge dar. Die Emissionen von Binnenschiffen, Diesel-Loks und Flugzeugen sind insgesamt gesehen nur von untergeordneter Bedeutung. Lediglich die räumliche Konzentration der Emissionen bei Starts und Landungen auf Flugplätzen ist davon ausgenommen. Emissionsfaktoren für die VOC-Emissionen aller Typen von mobilen Quellen sind verfügbar /14,15,16,17/. Mit Ausnahme von LKW mit Dieselmotoren stehen zudem auch Abschätzungen der Anteile verschiedener VOC an den Gesamtemissionen zur Verfügung /17,18/. Im folgenden sei die Vorgehensweise zur Ermittlung der VOC-Emissionen aus dem Straßenverkehr kurz erläutert.

Bezüglich der zeitlichen und räumlichen Verteilung der VOC-Abgasemissionen kann wiederum auf die methodischen Ansätze des SO₂- bzw. NO_x-Katasters /2/ zurückgegriffen werden, wobei insbesondere der Innerortsverkehr detailliert zu betrachten ist. Die katastermäßige Erfassung der Benzinverdunstung aus den Kraftstofftanks der Fahrzeuge erfordert dagegen die Erstellung neuer Modelle. Die zeitliche Auflösung soll dabei im wesentlichen auf die Temperaturabhängigkeit des Verdunstungs-Prozesses zurückgeführt werden /19,20/. Für die räumliche Verteilung der Verdunstungsemissionen, welche unabhängig vom Betriebszustand der Fahr-

zeuge ist, muß berücksichtigt werden, daß das Verhältnis von Fahrzeit zu Parkzeit im Mittel sehr klein ist. Das bedeutet, daß die Verdunstungsemissionen am Tage vorwiegend auf Parkplätzen in Industriegebieten und innerstädtischen Bereichen auftreten, während die Fahrzeuge in den Nachtstunden in der Regel in Wohngebieten abgestellt werden. Zulassungszahlen für Kraftfahrzeuge, Einwohnerstatistiken und wirtschaftsstatistische Daten der Gemeinden stehen zur räumlichen Zuordnung der Verdunstungsemissionen zur Verfügung /21,22/.

VOC-Emissionen der Industrie (ohne Feuerungen)

Zu den wichtigsten VOC-Emittenten aus dem Industriesektor zählen die Chemische Industrie (wobei hier besonders die Herstellung und Weiterverarbeitung organischer Chemikalien hervorzuheben ist), Mineralöl-Raffinerien sowie zahlreiche weitere Branchen, in denen nennenswerte Mengen an lösungsmittelhaltigen Produkten, insbesondere Lacke und sonstige Beschichtungsmittel, Entfettungsmittel etc., verarbeitet werden. Beispielhaft sei hier die Chemische Industrie zur Erläuterung der Vorgehensweise für die Emissionsberechnung herausgegriffen.

Bedeutende VOC-Emissionen können vor allem bei der großtechnischen Herstellung organischer Grundchemikalien auftreten. Die Bedeutung dieser Sparte in Baden-Württemberg ist, verglichen mit dem gesamten Bundesgebiet, zwar nur gering (der Anteil der Beschäftigten und des Umsatzes im Bereich "Herstellung von chemischen Grundstoffen" lag 1985 bei ca. 4 % /21/), große Betriebe und Anlagen finden sich jedoch in direkt angrenzenden Gebieten anderer Bundesländer und Staaten. Produktspezifische Emissionsfaktoren, teilweise nach verschiedenen Herstellungsverfahren untergliedert, stehen zur Verfügung (siehe z.B. /23,24/).

In Statistiken über Produktionsergebnisse der Chemischen Industrie in Baden-Württemberg sind einzelne Produkte zwar nur in wenigen Einzelfällen ausgewiesen, so daß auf dieser Basis bislang noch keine vollständige Abschätzung der Jahresemissionen in Baden-Württemberg möglich ist, Produktionsstatistiken für das gesamte Bundesgebiet sind dagegen wesentlich detaillierter aufgeschlüsselt, wobei für jedes Produkt unter anderem auch die Zahl der erfaßten Betriebe verzeichnet ist. Es ist denkbar, eine Zuordnung der bundesweiten Produktionsangaben nach den Betrieben in Baden-Württemberg bzw. in angrenzenden Gebiete z.B. anhand von Beschäftigten- und Umsatzstatistiken /21/, Firmen- und Produktnachweisen /25/ bzw. sonstigen Angaben über Produktionskapazitäten einzelner Betriebe, vorzunehmen.

Die exakte räumliche Verteilung der Emissionen einzelner Substanzen und Substanzklassen ist insofern aufwendig, als sich Menge und Art der emittierten VOC je nach hergestelltem Produkt und der dabei eingesetzten Technologie sehr voneinander unterscheiden können. Hier sind Kontakte mit den Anlagenbetreibern anzustreben, um mögliche Fehleinschätzungen zu vermeiden. Ausgehend von einer auf diese Weise verbesserten Datengrundlage können weitergehende Überlegungen zur Modellierung der räumlichen Verteilung der VOC-Emissionen angestellt werden. Als Verteilungsschlüssel sind nach

den bisherigen Erkenntnissen Beschäftigtenstatistiken besser geeignet als Angaben über den Energieverbrauch, da die Zahl der Beschäftigten in Teilbereichen der Chemischen Industrie bekannt ist, der Energieverbrauch jedoch nur für die Chemische Industrie insgesamt. Monatliche Produktions- bzw. Umsatzindices in Baden-Württemberg, vierteljährliche Produktionsdaten für einzelne Chemikalien in der Bundesrepublik sowie Angaben über branchenübliche Arbeitszeiten stehen zur Modellierung des zeitlichen Verlaufes der VOC-Emissionen zur Verfügung /21/.

VOC-Emissionen der Kleinverbraucher (ohne Feuerungen)

Stellvertretend für eine Vielzahl von VOC-Emissionsquellen, welche dem Sektor Kleinverbraucher zuzurechnen sind (hervorgehoben seien dabei Tankstellen, Mineralölvertriebsstellen, Chemische Reinigungen, Druckereien sowie Entfettungs- und Lackieranlagen), sei an dieser Stelle die Vorgehensweise zur Ermittlung der VOC-Emissionen aus Tankstellen kurz erläutert.

Die Berechnung jährlicher Emissionen erfolgt durch Multiplikation der im Straßenverkehr verbrauchten Menge an Benzin bzw. Dieselmotorkraftstoff, ausgewiesen in /26/, mit spezifischen Emissionsfaktoren /12/. Die Anteile der Komponenten von Benzin in der Gasphase sind bekannt. Als Parameter zur räumlichen Verteilung der Emissionen stehen kreisweise aufgeschlüsselte Zulassungsstatistiken von Fahrzeugen mit Otto- bzw. Dieselmotor /22/ sowie Angaben über Verkehrsdichten auf Autobahnen, Bundes-, Landes- und Kreisstraßen zur Verfügung /27/. Der Rahmen des zeitlichen Verlaufes der VOC-Emissionen ist zunächst durch die Öffnungszeiten der Tankstellen festgelegt, welche keineswegs einheitlich sind. Während z.B. die Öffnungszeiten kleinerer Tankstellen an Straßen bzw. in Gebieten mit wenig Durchgangsverkehr im wesentlichen den im übrigen Handel üblichen Öffnungszeiten entsprechen, sind Autobahntankstellen in der Regel durchgehend geöffnet. Weiterhin stehen aus amerikanischen Untersuchungen Angaben über den Tagesgang des Kraftstoffabsatzes zur Verfügung /28/. Es wäre zu überprüfen, inwieweit dieses Nutzerverhalten übertragbar ist, dazu sind u.U. Erhebungen bei verschiedenen Tankstellen vorzunehmen.

VOC-Emissionen der privaten Haushalte (ohne Feuerungen)

VOC-Emissionen in Haushalten, welche nicht auf Verbrennungsprozesse zurückzuführen sind, werden durch die Anwendung lösungsmittelhaltiger Produkte wie Lacke und sonstige Anstrichmittel, Verdünnungen, Spraydosen, Reinigungsmittel, Klebstoffe etc., verursacht. Für einige dieser Produkte sind Art und Menge der Lösungsmittelanteile bekannt (siehe z.B. /12,29,30/), der Kenntnisstand sollte in dieser Beziehung allerdings noch verbessert werden. Insbesondere gilt es, den jährlichen Pro-Kopf-Verbrauch dieser Produkte abzuschätzen. Darauf aufbauend kann die räumliche Verteilung der Emissionen anhand von gemeindeweise verfügbaren Einwohnerzahlen vorgenommen werden. Zur Abschätzung des zeitlichen Verlaufes der Emissionen ist die Kenntnis des Verbraucherverhaltens notwendig. Mögliche Einflußfaktoren auf die Anwendung von Lacken und sonstigen Anstrichmitteln sind die verfügbare Freizeit (Tagtyp Werktag oder Wochenende), die Jahres-

zeit bzw. die Wetterbedingungen. Durch stichprobenartige Befragungen können Daten erhoben werden, die eine Abschätzung des Zeitganges der Emissionen ermöglichen.

Natürliche VOC-Emissionen

Die Vielfalt der Quellen natürlicher VOC-Emissionen reicht von Gräsern, Farnen und Moosen bis hin zu Laub- und Nadelbäumen. Jede Quelle emittiert dabei ein ganzes Spektrum von VOC, so z.B. Alkane, Olefine, Polyolefine und Furane. Emissionsfaktoren sind bisher lediglich für die Isopren- und Terpenemissionen von Laub- und Nadelbäumen bekannt /17/. Diese Angaben beruhen allerdings auf Untersuchungen in den USA. Es ist deshalb zu klären, ob diese Werte auf den Waldbestand in Baden-Württemberg übertragbar sind.

Als Grundlage für eine räumliche Verteilung der Emissionen können Statistiken über den Waldbestand der einzelnen Gemeinden herangezogen werden /22/. Durch die Anwendung temperatur- und tageszeitabhängiger Emissionsfaktoren ist anhand meteorologischer Daten eine zeitliche Verteilung der Emissionen möglich.

Abschätzung der VOC-Emissionen in Baden-Württemberg für 1985

Anhand des bisher vorliegenden Datenmaterials können die VOC-Emissionen in Baden-Württemberg grob abgeschätzt werden. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 1 und 2 zusammengefasst, wobei die Emissionen in Tab. 1 nach Emittentengruppen und in Tab. 2 nach wichtigen Stoffgruppen unterteilt werden.

Tab. 1: VOC-Emissionen in Baden-Württemberg für 1985 nach Emittentengruppen

Sektor	VOC-Emissionen	
	[t/a]	[%]
Stationäre Feuerungen	14082	4.8
- Kraftwerke, Müllverbrennung etc.	1324	0.5
- Industrie	2196	0.8
- Haushalte/Kleinverbraucher	10562	3.5
Verkehr	99509	34.3
- Straßenverkehr	97431	33.6
- Abgase	87277	30.1
- Tankatmung (Benzin)	10154	3.5
Schienen-, Wasser- und Luftverkehr	2078	0.7
Prozess-Emissionen (ohne Feuerung)	135940	46.7
- Lösungsmittel	113000	38.9
- Kraftstoffumschlag	16440	5.6
- Raffinerien	6200	2.1
- Herstellung von Wein u. Bier	300	0.1
Natürliche Emissionen (Wälder)	41300	14.2
Summe	290831	100.0

Tab. 2: VOC-Emissionen in Baden-Württemberg für 1985 nach Emitter-
tentengruppen

Stoffgruppe	VOC-Emissionen	
	[t/a]	[%]
Methan	7675	2.6
Alkane (ohne Methan)	95743	32.9
Alkene, Polyene	60455	20.8
Aromaten	36812	12.7
Aldehyde	6548	2.3
Sonstige VOC (CFKW, Alkohole etc.)	83598	28.7
Summe aller VOC	290831	100.0

Zusammenfassung und Ausblick

In dem Projekt "Ermittlung und Analyse des zeitlichen Verlaufs und der räumlichen Verteilung der derzeitigen und zukünftigen SO₂- und NO_x-Emissionen in Baden-Württemberg" wird ein Instrument entwickelt, das es ermöglicht, den zeitlichen und räumlichen Verlauf der SO₂- und NO_x-Emissionen in Baden-Württemberg unter Annahme von bestimmten äußeren Rahmenbedingungen zu berechnen.

Während im letzten Zwischenbericht /3/ eine allgemeine Übersicht gegeben wurde, wurde in dem vorliegenden Papier die Vorgehensweise bei den Kraftwerken und im Sektor Verkehr dargestellt.

Nach der Fertigstellung der verschiedenen Modelle zur Emissionsermittlung erfolgt nun die Erstellung von Szenarien und die Anwendung der Modelle für diese bestimmten Fälle.

Im der inzwischen abgeschlossenen Pilotstudie "Emissionskataster für gasförmige organische Verbindungen" wurde aufgezeigt, daß die Datenlage es ermöglicht, ein zeitlich und räumlich differenziertes Emissionskataster auch für gasförmige organische Stoffe zu erstellen. Die dabei einzusetzenden Methoden und Modelle wurden skizziert.

Die Anfertigung eines solchen Katasters erscheint wichtig und sinnvoll, da die zusammen mit Ausbreitungsmodellen verwendeten luftchemischen Modelle auf genaue Angaben über Quellterme der verschiedenen Spezies der gasförmigen organischen Verbindungen angewiesen sind.

Mit diesen Informationen über die räumlich und zeitliche Verteilung der SO₂-, NO_x- und VOC-Emissionen in Baden-Württemberg würde dann eine Datengrundlage bereitstehen, die nicht nur die Verifizierung und Anwendung der entwickelten Ausbreitungs- und Umwandlungsmodelle zuläßt, sondern auch als Entscheidungs- und Bewertungshilfe für umweltpolitische Maßnahmen dienen kann.

Die Auswirkungen emissionsmindernder Maßnahmen könnten sowohl in Bezug auf die Höhe der zu erwarteten Emissionsspitzen als auch - in Verbindung mit den Transport- und chemischen Umwandlungsmodellen - in Bezug auf die Höhe der zu erwarteten Immissionen ermittelt werden.

Literatur:

- /1/ R. Friedrich, A. Obermeier, A. Voß:
Pilotstudie "Emissionskataster für flüchtige organische Verbindungen".
Forschungsberichte KfK-PEF 22, Kernforschungszentrum Karlsruhe, März 1987
- /2/ B. Boysen, R. Friedrich, Th. Müller, N. Scheirle, A. Voß:
Erfassung stündlicher SO₂- und NO_x-Emissionen in Baden-Württemberg in einer räumlichen Auflösung von 1x1 km für die Zeit der TULLA Meßkapagne. Kernforschungszentrum Karlsruhe, KfK-PEF 21, 1987
- /3/ F. Fiedler, G. Adrian, C. P. Hugelmann
Beobachtete Phänomene während des TULLA-Experiments.
Kernforschungszentrum Karlsruhe, KfK-PEF 12, 347-365, 1987
- /4/ B. Boysen, R. Friedrich, Th. Müller, A. Obermeier, A. Voß:
Zeitlicher Verlauf und räumliche Verteilung der Emissionen von SO₂, NO_x und gasförmigen organischen Verbindungen (VOC) in Baden-Württemberg. Kernforschungszentrum Karlsruhe, KfK-PEF 12, 367-380, 1987
- /5/ A.Voß et al.:
Perspektiven der Energieversorgung, Gutachten im Auftrag der Landesregierung Baden-Württemberg, Stuttgart, November 1987
- /6/ A.Voß et al.:
Kosten-Effektivitäts-Analyse von Maßnahmen zur Reduzierung der SO₂- und NO_x-Emissionen in Ballungsräumen am Beispiel der Stadt Stuttgart, KfK-PEF 27, September 1987
- /7/ Kontinuierliche Erhebung des Verkehrsverhaltens 1982
(KONTIV 82)
Im Auftrag des Bundesministers für Verkehr
Forschungsbericht FE-Nr. 90040/01
April 1984
- /8/ Emissionskataster Stuttgart, Quellengruppe Verkehr
Hrsg. Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten, Stuttgart
EM-23-86, November 1986
- /9/ Emissionskataster Karlsruhe, Quellengruppe Verkehr
Hrsg. Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten, Stuttgart
EM-21-86, November 1986
- /10/ Emissionskataster Mannheim, Quellengruppe Verkehr
Hrsg. Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten, Stuttgart
EM-22-86, November 1986
- /11/ Statistische Berichte
Umwelt, Artikel-Nr. 3642 85001 Q IV 2 -j/85
Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 12.11.1987

- /12/ Umweltbundesamt (Hrsg.):
Luftreinhalteplan '81 - Entwicklung - Stand - Tendenzen.
Erich Schmidt Verlag GmbH, Berlin 1981
- /13/ C. Veldt:
Rekensysteem Luchtverontreiniging XLVI - Basisdocument Kool-
waterstoffen I.
TNO-Rapport CMP 85/01, s'-Gravenhage 1984
- /14/ TÜV-Rheinland (Hrsg.):
Ermittlung des Abgas-Emissionsverhaltens von Personenkraft-
wagen in der Bundesrepublik Deutschland im Bezugsjahr 1983.
Zwischenbericht März 1986
- /15/ Umweltbundesamt (Hrsg.):
Das Abgas-Emissionsverhalten von Nutzfahrzeugen in der Bun-
desrepublik Deutschland im Bezugsjahr 1980. Berichte Umwelt-
bundesamt 11/83.
Erich Schmidt Verlag, Berlin 1983
- /16/ Landesanstalt für Immissionsschutz des Landes Nordrhein-
Westfalen (Hrsg.):
Luftreinhalteplan Rheinschiene Mitte 1982-1986.
LIS-Berichte, Essen 1982
- /17/ Persönliche Mitteilung TNO (1987)
- /18/ C. Veldt:
Emissions from Road Transport
OECD-Workshop, Schauinsland Oktober 1986
- /19/ H. Schröder:
Kohlenwasserstoff-Emissionen von Kraftfahrzeugen mit Ottomo-
tor.
Umwelt 9 (1979), S. 368-371
- /20/ L. Fricker:
Anlagen zur Herabsetzung der Benzin-Verdunstungs-Emissionen
an Personenkraftwagen.
Automobiltechnische Zeitschrift 79 (1977), S. 59-63
- /21/ Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (Hrsg.):
Verarbeitendes Gewerbe 1985.
Statistik von Baden-Württemberg, Band 363, Stuttgart 1986
- /22/ Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (Hrsg.):
Struktur- und Regionaldatenbank (Stand Dezember 1986).
- /23/ Umweltbundesamt (Hrsg.):
Systematische Erfassung emissionsrelevanter Anlagen in der
Bundesrepublik Deutschland, Teilvorhaben 3.3.
Februar 1982

- /24/ W. H. Lamason, T. Lahre:
Procedures for the Preparation of Emission Inventories for
Volatile Organic Compounds - Volume I.
EPA-450/2-77-028, 2nd Edition. U.S. Environmental Protection
Agency, Office of Air Quality Planning and Standards,
Research Triangle Park, NC. September 1979
- /25/ Verband der Chemischen Industrie e.V. (Hrsg.):
Firmenhandbuch Chemische Industrie 1985-1987.
ECON-Verlag GmbH, Düsseldorf u. Wien 1985
- /26/ Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Technologie
(Hrsg.):
Energiebericht 1985/86.
- /27/ Landesamt für Straßenwesen Baden-Württemberg (Hrsg.):
Straßendatenbank Baden-Württemberg (Stand 1985).
- /28/ T. Lahre:
Procedures for the Preparation of Emission Inventories for
Volatile Organic Compounds - Volume II.
EPA-450/4-79-018, U.S. Environmental Protection Agency,
Office of Air Quality Planning and Standards, Research
Triangle Park, NC. September 1981
- /29/ R. Schaaf:
Lösemittlemissionen und ihre Auswirkungen auf die Umwelt.
Wasser, Luft und Betrieb 84, Nr. 3 (1984), S. 36-38
- /30/ N. Ostojic:
End Use of Solvents Containing Volatile Organic Compounds.
EPA-450/3-79-032, U.S. Environmental Protection Agency,
Office of Air Quality Planning and Standards, Research
Triangle Park, NC. May 1979