

LIS - Berichte

Nr. 58

Untersuchung über die Eignung
des Korrelationspektrometers
Cospec V zur Bestimmung des
Transportes von Schwefeldioxid
bzw. Stickstoffdioxid

Herausgeber:

Landesanstalt für Immissionsschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen
Wallneyer Straße 6

D-4300 Essen 1

1986

ISSN 0720-8499

Untersuchung über die Eignung
des Korrelationsspektrometers Cospec V
zur Bestimmung des Transportes
von Schwefeldioxid bzw. Stickstoffdioxid

Josef Giebel und Werner Strampl

UNTERSUCHUNG ÜBER DIE EIGNUNG DES KORRELATIONSSPEKTROMETERS COSPEC V ZUR
BESTIMMUNG DES TRANSPORTES VON SCHWEFELDIOXID BZW. STICKSTOFFDIOXID

Josef Giebel und Werner Stramplat

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

In diesem Bericht werden Funktion und Meßergebnisse des im mobilen Einsatz betriebenen Cospec-Meßsystems und des zugehörigen Datenverarbeitungssystems beschrieben bzw. aufgezeigt. Mit dem Korrelationsspektrometer Cospec V wurde der Gesamtgehalt der Atmosphäre an SO_2 in der Vertikalen bestimmt sowie gleichzeitig die SO_2 -Bodenkonzentration mit dem SO_2 -Analysator Thermo Electron, Modell 43, gemessen. Die anfallenden Meßdaten, die über einen Weggeber mit der Meßstrecke verknüpft sind, werden im Meßwagen von einem Mikroprozessor vorverarbeitet, der gleichzeitig auch die Messungen steuert. Durch ortsfeste Messungen über den Tag hinweg wurde die Abhängigkeit des Meßsignals von der Lichtintensität untersucht. Meßfahrten entlang größerer Strecken können nur für Zeiten geplant werden, in denen die baseline von Cospec in etwa konstant bleibt (im Sommer etwa zwischen 10 und 14 Uhr und im Winter etwa zwischen 11 und 13 Uhr gegeben). Andernfalls sind die Meßwerte nicht mehr untereinander vergleichbar. Der Lichteinfall darf dabei durch die Wolkenbedeckung nicht zu sehr geschwächt werden oder zu stark schwanken.

Es wurde mit Meßfahrten im Ruhrgebiet begonnen. Der mit Cospec ermittelte SO_2 -Fluß im Lee eines Großemittenten stimmte mit einer Abweichung von weniger als 10 % mit dem vom Betreiber angegebenen SO_2 -Emissionsmassenstrom überein.

STUDY OF THE SUITABILITY OF THE CORRELATION SPECTROMETER COSPEC V FOR DETERMINING THE FLUX OF SULFUR DIOXIDE AND NITROGEN DIOXIDE

S u m m a r y

The report describes the operation of the Cospec measurement system, which is in mobile use, and of its data processing system and discusses the measurement results obtained with the equipment. The correlation spectrometer Cospec V was used to determine the vertical profile of the total atmospheric SO_2 concentration. The SO_2 ground concentration was measured simultaneously with the SO_2 analyzer Thermo Electron, Model 43. The measured concentrations are combined with a route transmitter and preprocessed by a micro-processor in the measurement van which also controls the measurements. Through stationary measurements throughout the day the dependence of the measured signal from the light intensity was studied. Mobile measurements over longer distances can be scheduled

only at times at which the baseline of Cospec remains roughly constant (i.e. in summer between approx. 10 a.m. and 2 p.m. and in winter between approx. 11 a.m. and 1 p.m.). If taken at other times the measured data would no longer be comparable with each other. The incident light may not be weakened too much by cloud cover or vary too strongly.

The mobile measurements were begun in the Ruhr area. The SO_2 -flux determined with the Cospec on the leeward side of a large emission source deviated by less than 10 % from the emitted SO_2 mass flow reported by the operator.

1. Einleitung

Zur Untersuchung des weiträumigen Transportes von SO_2 und NO_2 wurde von der LIS das Korrelationspektrometer Cospec V beschafft. Mit diesem Gerät läßt sich der in der Vertikalen über dem Cospec-Teleskop befindliche Gesamtgehalt der Atmosphäre an SO_2 bzw. NO_2 bestimmen. Es sind entweder SO_2 - oder NO_2 -Messungen möglich. Derzeit ist das Gerät für SO_2 -Messungen eingerichtet. Cospec wird im mobilen Einsatz verwendet. Um ortsabhängige Messungen durchführen zu können, wurde das mobile Datenverarbeitungssystem über einen Weggeber mit der Geschwindigkeit des Fahrzeugs verknüpft. Mit dem Gerät lassen sich sowohl zeitliche als auch örtliche Differenzen in der vertikalen "Gaslast" bestimmen. Ein Nullpunkt, der notwendig wäre, um Absolutmessungen der Gaslast durchführen zu können, ist vom Meßprinzip her nicht vorhanden. Die Meßwerte werden in der Dimension ppm m (ppm mal Meter) angegeben; über den Umrechnungsfaktor von 2,86 (Molmasse SO_2 : Molvolumen) ergeben sich die Meßwerte in mg/m^2 . Wenn die Gaslast gleichmäßig über die Mischungsschicht verteilt ist, erhält man bei Division durch die Mischungsschichthöhe die Konzentration in mg/m^3 . Die Meßwerte in mg/m^2 , integriert über die Länge der Meßstrecke und multipliziert mit dem Sinus des Winkels, den die Meßstrecke mit der Transportrichtung des Windes bildet, ergeben den Schadstofffluß über die Meßstrecke in mg/m . Wenn man diesen Wert mit der Transportgeschwindigkeit multipliziert, erhält man den auf die Transportgeschwindigkeit von 1 m/s normierten Schadstofffluß in mg/s .

Wenn Windgeschwindigkeit und Windrichtung in der Höhe der Abgasfahne, bzw. bei großräumigem Transport innerhalb der Mischungsschicht, bekannt sind, dann läßt sich mit Cospec die abfließende SO_2 - bzw. NO_2 -Menge als Differenz zur Vorbelastung messen.

Parallel zu den Cospec-Messungen wird die SO_2 -Bodenkonzentration mit dem SO_2 -Analysator Thermo Electron Modell 43 erfaßt. Alle anfallenden Meßdaten werden zunächst in einem mobilen, danach in einem stationären Mikrocomputer weiterverarbeitet.

2. Meßwagen

Als Meßwagen dient ein VW-Transporter. In ihm befinden sich folgende Geräte:

- Cospec-Gerät
- SO_2 -Bodenmonitor nebst Eichgenerator
- Mikrocomputer nebst Peripherie
- 3-Kanal-Analog-Schreiber
- Analogverstärker-Einschub
- Rangierverteiler-Einschub
- Stromversorgung bestehend aus 6 Kfz-Batterien 12 V, 135 Ah, nebst Wechselrichter

- Weggeber, bestehend aus einem Tachogenerator nebst elektronischem Steuergert, das die Sinusimpulse des Tachogenerators in Rechteckimpulse umformt.

Im Laderaum sorgen 5 Fenster für natürliche, eine Leuchtstoffröhre für künstliche Beleuchtung. Die Fenster sind zum Teil, zum Schutz gegen Sonneneinstrahlung, abgedeckt.

Das Dach des VW-Transporters ist von einem abdeckbaren Schacht durchbrochen, durch den das für die Messung notwendige Himmelslicht auf das Cospec-Teleskop fällt. Neben dem Schacht befindet sich eine Sonde, durch welche die Außenluft für den Bodenmonitor angesaugt wird.

Vorbereitende Arbeiten wie Eichung und Vorgabe der Startparameter werden im Laderaum durchgeführt, der vom Führerhaus nicht abgetrennt ist. Die eigentliche Messung wird vom Führerhaus aus gestartet. Das Meßsystem ist so konzipiert, daß es von einem Mann bedient werden kann.

3. A u f b a u d e s K o r r e l a t i o n s s p e k t r o m e t e r s C o s p e c V

3.1. Das Korrelationsspektrometer Cospec V

Das Korrelationsspektrometer Cospec ist ein optoelektronisches Gerät zur Messung der vertikal integrierten Konzentration von SO_2 und NO_2 . Für die Messung wird das Streulicht der Sonne benutzt. Das Meßprinzip beruht auf dem BOUGUER-BEER'schen Absorptionsgesetz. Durch Messung der Strahldichte des Lichtes bei verschiedenen Wellenlängen, für die die Absorptionskoeffizienten des zu untersuchenden Gases bekannt sind, läßt sich dessen Konzentration bestimmen. Bei SO_2 liegt der Cospec Messung die charakteristische Molekularabsorption im UV-Bereich 300 - 315 nm und bei NO_2 die Molekularabsorption im sichtbaren Teil des Spektrums 410 - 460 nm zugrunde.

Die Arbeitsweise ist passiv. Als Ausgangssignal liefert die Auswerteelektronik integrierte und verstärkte Spannungen, welche mit Hilfe von Eichgrößen in Meßwerte umzurechnen sind. Die Meßwerte werden in der Dimension mg/m^3 oder ppm m (ppm mal Meter) angegeben. Die technischen Daten von Cospec V sind in Tabelle 1 angegeben.

Das Cospec-Gerät enthält für SO_2 und NO_2 je zwei Kalibrierungszellen mit unterschiedlichen Eichgasmengen. Während der Messung sollen sie periodisch (etwa jede halbe Stunde für einige Minuten) eingeschaltet werden. Eichungen sind darüber hinaus bei einer stärkeren Schwankung des Tageslichtes aufgrund einer Veränderung in der Wolkenbedeckung durchzuführen.

Neben dem SO_2 - bzw. NO_2 -Meßsignal liefert Cospec V noch andere Ausgangssignale, eines davon ist die automatische Verstärkerkontrolle AGC.

Tabelle 1: Technische Daten des Korrelationspektrometers Cospec V (Angaben des Herstellers)

Komponente	SO ₂ /NO ₂	wahlweise
mittlere Rauschbreite	SO ₂ NO ₂	10 ppm m } Messungen bei 4 ppm m } Tageslicht
Drift der baseline durch Temperatur	SO ₂ NO ₂	1 ppm m/°C künstliches Licht
Drift der baseline aufgrund des Tagesganges der Sonneneinstrahlung	SO ₂ NO ₂	besser als 40 ppm m von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang
Empfindlichkeitsänderung im Tages- verlauf	SO ₂ NO ₂	± 6 % } abhängig von der ± 14 % } Lichtintensität
Temperaturbereich		0 - 50°C
Meßbereich		0 - 1000 ppm m
Integrationszeit		1 - 32 s in 5 Stufen (Eingestellt ist 1 s)

3.2. Ausgangssignal AGC

Das AGC-Signal setzt den Arbeitsbereich von Cospec fest und kompensiert Intensitätsänderungen des Lichtes während eines Arbeitszyklusses (eine Umdrehung der Korrelationsscheibe). Es ist umgekehrt proportional zum Energieeinfall auf der Photokathode des Photomultipliers. Der Maximalausschlag tritt infolgedessen dann auf, wenn kein Lichteinfall da ist. Große Ausschläge des AGC-Signals treten auch unter Büschen und Bäumen auf; sie kennzeichnen die dann ungültigen Cospec-Meßwerte. Einzelne Wolken über dem Gerät oder vor der Sonne führen nicht zu einem feststellbaren Ausschlag der Meßwertanzeige.

Größere Schwankungen in der Lichtintensität, wie sie bei einer stärkeren Quellbewölkung auftreten, bewirken allerdings, daß die Cospec-Messungen kaum verwertbar sind.

3.3. Abhängigkeit des Meßsignals von der Lichtintensität

Die Empfindlichkeit des Korrelationsspektrometers hängt von der Intensität des natürlichen Himmelslichtes ab. Sowohl für SO_2 als auch für NO_2 weist sie einen Tagesgang auf, der bei wolkenlosem Himmel am größten ist. Bei niedrigem Sonnenstand reicht der Lichtpegel für Cospec-Messungen nicht aus. Diese Einschränkung der möglichen Einsatzzeiten ist für SO_2 größer als für NO_2 .

Auf dem Gelände der LIS wurden an mehreren Tagen Cospec-Messungen zur Prüfung der Empfindlichkeitsänderung aufgrund des Tagesgangs der Sonneneinstrahlung durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden jede halbe Stunde für je eine Minute die beiden Eichzellen mit der SO_2 -Gaslast von 95 bzw. 367 ppm m in den Strahlengang des Cospec eingeschaltet. Diese 95 bzw. 367 ppm m werden zu der in der Atmosphäre vorhandenen Gaslast hinzugefügt.

Für den 03.09.1984 ist das Ergebnis der Messungen in Abb. 1a dargestellt. Der Bewölkungsgrad lag an diesem Tag zwischen 9.00 und 15.00 Uhr MEZ im Bereich von $\frac{6}{8}$ bis $\frac{7}{8}$ und wechselte - wie sich aus dem AGC-Signal ergibt - stark. Der am Wetteramt Essen gemessene Bodenwind kam aus 240 bis 250° (Norden $\hat{=} 0^\circ$). Insgesamt ergeben sich in Abhängigkeit von der Tageszeit mehrere Kurven: Die Kurve E_0 entspricht dem Meßsignal aufgrund der in der Atmosphäre vorhandenen Gaslast, über deren Höhe nichts ausgesagt werden kann, da Absolutmessungen vom Meßprinzip her nicht möglich sind. Sie zeigt einen Tagesgang und liegt um 12.00 Uhr MEZ um etwa 200 ppm m höher als um 9.00 Uhr. In diesem Tagesgang ist die Drift der baseline aufgrund des Tagesgangs der Sonneneinstrahlung enthalten, der nach Angaben des Herstellers bei Cospec V unterhalb von 40 ppm m liegen soll. Ebenfalls darin enthalten ist die Drift der baseline aufgrund des Tagesgangs der Temperatur. Dieser Anteil beträgt allerdings nur wenige ppm m. Ob die Drift der baseline größer ist als 40 ppm m oder ob ein Tagesgang der SO_2 -Gaslast vorlag, darüber sind keine Aussagen möglich. Zwischen 11.00 und 14.00 Uhr blieb die Anzeige in etwa konstant. Die Kurven E_1 und E_2 ergeben sich nach Hinzufügen der beiden Eichgase von 95 bzw. 367 ppm zu der in der Atmosphäre vorhandenen Gas-

last. Die Differenz $E_1 - E_0$ bzw. $E_2 - E_0$ ist die Empfindlichkeit des Cospec-Meßsignals. Sie zeigte an diesem Tag zwischen 9.00 und 15.00 Uhr praktisch keinen Tagesgang. Nach Angaben des Herstellers beträgt die Empfindlichkeitsänderung im Tagesverlauf bei $SO_2 \pm 6 \%$ und hängt von der Lichtintensität ab.

In Abb. 1b sind die Meßergebnisse vom 16.10.1984 dargestellt. Während die Messungen am 03.09. zwischen 9.00 und 15.00 Uhr stattfanden, wurden sie am 16.10. zwischen 8.30 und 16.00 Uhr durchgeführt. Der Himmel war während dieser Zeit mit einem Bewölkungsgrad von $1/8$ nahezu unbedeckt. Der Wind kam aus südlichen Richtungen und dürfte nur eine relativ geringe SO_2 -Vorbelastung herantransportiert haben. Bei den Kurven E_0 , E_1 und E_2 ist der Tagesgang diesmal stärker ausgeprägt als $1\ 1/2$ Monate früher. Dies hängt mit der fortgeschrittenen Jahreszeit zusammen. Beim Vergleich mit dem 03.09. fällt vor allem auf, daß am 16.10. die genannten Kurven nach 13.00 Uhr stärker abfallen. Vorausgesetzt, daß kein Tagesgang der SO_2 -Last vorlag, ergibt sich hieraus folgende Einschränkung der Cospec-Messungen: Die Bildung von Differenzen zwischen Werten der SO_2 -Gaslast, welche zu verschiedenen Zeiten am Nachmittag oder auch am Morgen gemessen wurden, ist bei niedrigem Sonnenstand solange nicht möglich, wie nicht der durch das Meßverfahren bedingte jahreszeitliche Verlauf des Tagesganges von E_0 bekannt ist.

Einen leichten Tagesgang zeigt am 16.10. auch die als Empfindlichkeit des Cospec-Gerätes bezeichnete Differenz von $E_1 - E_0$ bzw. $E_2 - E_0$.

Etwa zwischen 10.00 und 14.00 Uhr bleibt die baseline für Cospec V im Sommerhalbjahr nahezu konstant. Im Winterhalbjahr ist das etwa zwischen 11.00 und 13.00 Uhr der Fall. Der Zeitraum, in dem die Empfindlichkeit von Cospec V konstant bleibt, beginnt ca. 1 Std. früher und endet 1 Std. später. Eine konstante Empfindlichkeit des Cospec-Meßsignals ist die Voraussetzung für die Ausmessung einzelner Emittenten.

Meßfahrten längs größerer Strecken wie z.B. längs der deutsch-niederländischen Grenze oder im Lee des Ruhrgebietes können nur während der Zeit durchgeführt werden, in der die baseline in etwa konstant bleibt. Andernfalls sind die Cospec-Meßwerte nicht mehr untereinander vergleichbar. Dieser Umstand limitiert die Einsatzzeiten, die kleiner sind als bei anderen Immissionsmeßgeräten. Außerdem sind bei Nebel, Dunst und meist auch bei winterlichem Smog, bei dem der Ferntransport von Schadstoffen von besonderer Bedeutung ist, keine Cospec-Messungen möglich.

3.4. Die Temperaturabhängigkeit des Meßsignals

Das Cospec V-Gerät hat nach den Angaben des Herstellers eine baseline-Temperatur-Stabilität von $1\text{ ppm m}/^\circ\text{C}$. Wenn die Temperatur im Meßgerät aufgrund der Sonneneinstrahlung oder auch der Heizung im Meßwagen nach einer Eichung um 5° ansteigt und vor der nächsten Eichung um einen ähnlichen Betrag wieder absinkt,

so täuscht die Temperaturschwankung eine Änderung der Gaslast um 5 ppm m vor. Das ist der halbe Wert der mittleren Rauschbreite. Gegenüber den möglichen Maximalwerten von etwa 1000 ppm m SO₂ oder auch gegenüber den im Lee des Ruhrgebietes im Mittel zu messenden Werten ist diese Veränderung der Meßwertanzeige vernachlässigbar. Zu Meßwertverfälschungen können Temperaturschwankungen im Meßgerät jedoch führen, wenn die Gaslast niedriger liegt, wie das z.B. bei Schadstoffflüssen aus anderen Emissionsgebieten in das Ruhrgebiet hinein meist der Fall sein wird.

Um den Temperatureinfluß gering zu halten, wird beim Einsatz des Meßwagens auf ausreichende Ventilation geachtet. Außerdem wird der Wagen vor Beginn einer Meßfahrt möglichst keiner starken Sonneneinstrahlung ausgesetzt. Andernfalls wird erst später geeicht, wenn die Temperatur im Meßgerät wieder abgesunken ist. Kurzfristige Temperaturschwankungen im Meßwagen wirken sich im übrigen nur abgeschwächt auf die Temperatur im Meßgerät aus.

4. S O₂ - B o d e n m o n i t o r

Die SO₂-Bodenkonzentration wird mit dem SO₂-Analysator Thermo Electron, Modell 43, gemessen. Es handelt sich um ein Fluoreszenzmeßgerät, das die SO₂-Konzentration anzeigt. Betriebsgase sind nicht notwendig. Die Nachweisgrenze für Kurzzeitmessungen ist laut Testbericht besser als 5 µg/m³. Die Einstellzeit (T₉₀-Zeit) betrug für die beiden getesteten Geräte 4 Minuten. Bei dem Meßgerät, das zusammen mit Cospec eingesetzt wird, wurde der Meßgasdurchsatz erhöht, so daß hier eine 90 %-Zeit von ca. 1 1/2 Minuten erreicht wird. Das Meßgerät ist mit drei Empfindlichkeitshauptstufen von 500 ppb (1,43 mg/m³), 1000 ppb (2,86 mg/m³) und 5000 ppb (14,3 mg/m³) ausgestattet. Bei dem hier verwendeten Gerät wurde der Meßbereichs-Endwert von 1,43 mg/m³ gewählt. Insgesamt handelt es sich laut Testbericht um ein leicht bedienbares, wartungsarmes Gerät, das für mobile und semimobile Messungen geeignet ist.

5. C o s p e c - D a t e n v e r a r b e i t u n g s s y s t e m (s i e h e A b b . 2)

5.1. Das Meßsystem im Meßwagen

5.1.1. Einleitung

Im Meßwagen findet eine vorläufige Verarbeitung der bei den Cospec-Messungen anfallenden Meßdaten statt. Die vorverarbeiteten Daten werden auf ein Band übertragen und von diesem Band nach Beendigung der Meßfahrt in einen stationären Mikrocomputer eingelesen, in dem die Weiterverarbeitung erfolgt. Die erforderlichen Programme wurden in Assembler und Basic programmiert.

5.1.2. Aufbau des im Meßwagen vorhandenen Datenverarbeitungssystems

Das Datenverarbeitungssystem im Meßwagen besteht aus einem Mikrocomputer Apple, an den die nachstehend aufgeführten Geräte mit den angegebenen Schnittstellen und Abtastraten angeschlossen sind:

- KSR-Eingabe- und Ausgabeschreibmaschinen, die auch als Monitor dienen sollen
Schnittstelle: V 24 In und Out
- Bandeinheit als Datenspeicher
Schnittstelle: V 24 In und Out
- Cospec-Meßgerät
Schnittstelle: 4 x 10 Volt In
3 x TTL In
1 x Relais Out
Abtastrate maximal 20 ms
- Bodenmonitor-Meßgerät
Schnittstelle: 3 x 10 Volt In
5 x TTL In
5 x Relais Out
Abtastrate maximal 20 ms
- Schreiber
Schnittstelle: 3 x 10 Volt Out
5 x TTL Out
Abtastrate maximal 100 ms
- Weggeber
Schnittstelle: 1 x TTL In
Abtastrate maximal 5 ms
Interrupt Betrieb
- Start- und Stoptaste
Schnittstelle: 2 x TTL In

Die Uhrzeit liefert eine in den Mikrocomputer eingebaute Uhr.

5.1.3. Programmablauf

- Startprogramm -

Die Startparameter Ort, Kurs und Sammelintervall werden auf der Konsole in den Mikrocomputer eingegeben. Anschließend erfolgt die Übergabe dieses Parameter-

blockes an eine Magnetbandeinheit. Es ist zwischen zeitabhängigen und ortsabhängigen Messungen zu wählen. Dabei können folgende Sammelintervalle vorgegeben werden:

- Zeitabhängige Messung: Sammelintervalle
1/10, 1, 10, 60, 600 s
- Ortsabhängige Messung: Sammelintervalle
10 ... 1000 m (ungerade Zahlen werden gerundet).

Zu Beginn und Ende der Messungen erfolgt eine Eichung des Cospec-Meßgerätes sowie des Bodenmonitors. Bei Cospec ist diese Eichung insbesondere wegen der Abhängigkeit des Meßsignals von Lichtintensität und Temperatur notwendig. Mit Hilfe der ermittelten Eichgrößen werden die von Cospec gemessenen Rohdaten im stationären Datenverarbeitungssystem auf Meßdaten umgerechnet.

- Meßprogramm -

Der Start erfolgt durch Betätigen einer Taste. Die anfallenden Meßdaten werden von dem Mikrocomputer im Interrupt-Betrieb abgerufen. Im Verlauf des eingestellten Sammelintervalls ruft der Mikrocomputer wenigstens zehnmal (bei großen Intervallen mehr als zehnmal) die Daten aller ihm angeschlossenen Geräte ab. Abgerufen werden:

- Cospec V mit insgesamt 4 Datenkanälen
(SO₂-Gaslast, SO₂-AGC, Supply I, Supply II)
- Weggeber
(Kilometerstand nach Ablauf des Sammelintervalls)
- Uhrzeit
(nach Ablauf des Sammelintervalls)
- 3 Bodenmeßgeräte
(davon ist derzeit ein Kanal belegt).

Anschließend erfolgt eine Vorverarbeitung der Gaslast- und Bodenmonitordaten. Tritt innerhalb eines Sammelintervalls eine Überschreitung des AGC-Meßbereiches auf, z.B. bei der Durchfahrt unter Brücken oder Bäumen, so wird der anfallende Meßwert der Gaslast durch den letzten gültigen ersetzt. Nach jedem Abruf werden die bereinigten Gaslast- sowie die Bodenmonitordaten aufsummiert und nach Ablauf des Sammelintervalls gemittelt. Die bereinigten und gemittelten Meßdaten werden nach Ablauf des Sammelintervalls auf Band gespeichert.

Gaslast, AGC und Bodenkonzentration werden außerdem nach Prüfung auf dem Analog-Schreiber graphisch dargestellt. Anschließend beginnt ein neuer Meßzyklus. Jeder zehnte Mittelwert der Gaslast sowie der Bodenkonzentration wird zur Kontrolle auf dem Printer ausgedruckt.

5.2. Das stationäre Cospec-Datenverarbeitungssystem

5.2.1. Einleitung

Die im mobilen Einsatz gewonnenen Rohdaten (Spannungswerte) werden in dem Cospec-Datenverarbeitungssystem der LIS validiert und weiterverarbeitet.

5.2.2. Aufbau des stationären Datenverarbeitungssystems

Das Cospec-Datenverarbeitungssystem in der LIS besteht aus einem Mikrocomputer Apple, 3 Diskettenlaufwerken, einem Printer und einer Bandstation.

5.2.3. Arbeitsablauf

Nach Hinzufügen der Eichgrößen werden die im mobilen Einsatz gewonnenen Rohdaten von Band auf Diskette übertragen. Anschließend erfolgt ein Ausdruck der Werte und eine Überprüfung auf Plausibilität. Nach der eventuellen Korrektur von Fehlwerten werden die Rohdaten (Spannungswerte) mit Hilfe der Eichgrößen auf Meßwerte umgerechnet und die Meßwerte ausgedruckt. Anschließend werden in interessierenden Fällen die meteorologischen Daten wie Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Mischungsschichthöhe hinzugefügt und ein Massenstrom berechnet.

6. Berechnung des SO_2 - bzw. NO_2 - Massenflusses

Um aus den Cospec-Daten den Massenfluß an SO_2 bzw. NO_2 berechnen zu können, benötigt man folgende meteorologische Daten:

a) Windgeschwindigkeit und Windrichtung der Luftschicht, in welcher der Massentransport erfolgt.

b) Wenn es sich um weiträumige Ausbreitung oder um den Massenfluß aus einem Ballungsraum handelt, so müssen Windgeschwindigkeit und Windrichtung innerhalb der Mischungs- bzw. Ausbreitungsschicht bekannt sein und damit auch die Höhe der Mischungs- bzw. Ausbreitungsschicht. Um die Ausbreitungsschicht - anstelle der Mischungsschicht - handelt es sich, wenn sich bei niedrigen Mischungsschichthöhen die Abgase aus hohen Kaminen oberhalb der Mischungsschicht ausbreiten.

Zur Ermittlung von Windrichtung und -geschwindigkeit stehen im Rhein-Ruhrgebiet einschließlich Eggegebirge und Eifel die Bodenwinddaten von 16 TEMES-Meßstationen sowie der vom Wetteramt Essen gemessene Boden- und Höhenwind zur Verfügung. Bei entsprechender Meßroute werden auch noch die Winddaten anderer Meßstationen herangezogen. Der Höhenwind wird vom Wetteramt Essen durch Radiosondenaufstieg

um 6.00, 12.00, 18.00 und 24.00 Uhr gemessen. Bei Cospec-Messungen zwischen diesen Terminen werden Mittelwerte zwischen den Werten gebildet, wie sie zu den verschiedenen Terminen gemessen wurden.

Die Höhe der Mischungs- bzw. Ausbreitungsschicht wird mit Hilfe des Radiosondenaufstiegs um 12.00 Uhr mittags sowie aus dem Tagesverlauf für die Höhe der Hauptschicht bestimmt, der aufgrund von Lidarmessungen [1] getrennt für die einzelnen Monate mit gleichem Abstand vom Sonnenstandsminimum ermittelt wurde.

7. M e ß f a h r t e n i m B e l a s t u n g s g e b i e t R u h r g e - b i e t - W e s t

7.1. Meßfahrt am 14.08. von Grenze Essen/Mülheim nach Moers und zurück (Meßfahrten Nr. 33: s. Abb. 3a und 3b; Nr. 34: s. Abb. 4a und 4b)

Eine der Meßstrecken, auf der Messungen durchgeführt wurden, ist die Autobahn 430 zwischen Grenze Essen/Mülheim und Moers. Sie verläuft fast gradlinig in der Mitte des Belastungsgebietes Ruhrgebiet-West in westöstlicher Richtung und hat eine Länge von 24,8 km. Bei der Meßfahrt am 14.08. zwischen 9.41 und 9.59 Uhr MEZ lag hier die SO_2 -Bodenkonzentration mit 0,2 bis 0,3 mg/m^3 auf einem relativ hohen Niveau. Die von dem Cospec-Gerät gemessene SO_2 -Last stieg von der Grenze Essen/Mülheim bis Duisburg um 100 ppm m an und fiel dann bis Moers wieder um 50 ppm m ab. Bei einer Mischungsschichthöhe von 800 m entsprechen 100 ppm m einer mittleren SO_2 -Konzentration von 0,125 ppm bzw. 0,36 mg/m^3 . Die tatsächliche SO_2 -Last bzw. SO_2 -Konzentration in der Mischungsschicht liegt natürlich höher, da hier mit Cospec ja nur die Differenz in der SO_2 -Last zwischen Essen/Mülheim und Duisburg bzw. Moers gemessen wurde.

Die SO_2 -Bodenkonzentration liegt niedriger als die Konzentration, die sich aus der Differenz in der SO_2 -Last zwischen Essen und Duisburg für die Mischungsschicht berechnet. Das hängt damit zusammen, daß die SO_2 -Emissionen im Ruhrgebiet zum überwiegenden Teil aus hohen Kraftwerksschornsteinen emittiert werden, und sich infolgedessen in höheren Luftschichten mehr SO_2 befindet als am Boden. Bei der Cospec-Meßkurve traten eine Reihe von Maxima auf, welche offensichtlich durch einzelne Emittenten (nur aus dem Belastungsgebiet Ruhrgebiet-West; sie sind in den entsprechenden Abbildungen durch Rauten dargestellt) oder Emittentengruppen verursacht wurden. Bei einem mehrgipfligen Maximum stieg die SO_2 -Last bei der höchsten Spitze von dem vorher - und nachher - gemessenen Level um 80 ppm m an. Von dem SO_2 -Bodenmonitor wurden entsprechende Maxima nicht registriert, wobei nicht unterschieden werden kann, ob sie am Boden nicht vorhanden waren oder ob sie aufgrund der größeren Trägheit des Meßgerätes nicht getrennt dargestellt wurden.

Die hohen Meßwerte bei der SO_2 -Bodenkonzentration waren zu erwarten, da der Wind innerhalb der Mischungsschicht aus Ost-Nordost kam und die in den Belastungsgebieten Ruhrgebiet Ost und Ruhrgebiet Mitte emittierten SO_2 -Mengen

mit der relativ niedrigen Windgeschwindigkeit von 2 m/s innerhalb der Mischungsschicht nach Westen transportiert wurden. In bezug auf die von Cospec gemessene SO₂-Last war - aufgrund des Ost-Nordostwindes mit der relativ niedrigen Geschwindigkeit von 2 m/s innerhalb der Mischungsschicht - der beobachtete starke Anstieg der SO₂-Last von Ost nach West im Belastungsgebiet Ruhrgebiet West zu erwarten.

Die Rückfahrt wurde 20 Minuten nach der Ankunft in Moers angetreten und dauerte von 10.22 bis 10.41 Uhr. Bei der Durchfahrt durch den Duisburger Raum wurde eine SO₂-Bodenkonzentration von 0,4 mg/m³ gemessen. Der Anstieg kann im Zusammenhang mit dem Rückgang der Windgeschwindigkeit gesehen werden. Die höchste SO₂-Last wurde jetzt an der Grenze Duisburg/Moers, also weiter westlich als auf der Hinfahrt, gemessen. Sie lag wieder um etwa 100 ppm m höher als das Minimum an der Grenze Essen/Mülheim. Auf der Hinfahrt trat zwischen km 18,4 und 19,6 der Meßstrecke das bereits erwähnte mehrgipflige Maximum auf. Dieses Maximum hatte sich bei der Rückfahrt um etwa eineinhalb Kilometer nach Osten verschoben. Dem entspricht eine Drehung des Windes von Ost-Nordost auf eine mehr nördliche Richtung, welche auch von den Windmeßstationen registriert wurde.

Gleichzeitig war das Maximum stärker strukturiert und hatte sich in der Breite von 1,2 auf 1 km verringert. Die höchste Spitze des mehrgipfligen Maximums lag außerdem um etwa 30 ppm höher als auf der Hinfahrt. Diese Veränderungen sprechen dafür, daß das Maximum jetzt in etwas größerer Emittentennähe gemessen wurde, wie das aufgrund der Drehung des Windes auch zu erwarten war. Der Anstieg des Maximums dürfte darüber hinaus auch mit dem Rückgang der Windgeschwindigkeit zusammenhängen. Das dreigipflige Maximum auf der Rückfahrt wurde wahrscheinlich durch drei Emittenten verursacht, welche in dem infrage kommenden Bereich nahe beieinander ihren Standort haben. Ihr Abstand von dem gemessenen Maximum betrug etwa 2,5 km.

7.2. Meßfahrt am 20.08.1984 von Grenze Essen/Mülheim nach Moers und zurück (Meßfahrten Nr. 37: s. Abb. 5a und 5b; Nr. 38: s. Abb. 6a und 6b)

Am 20.08.1984, einem sonnigen und trockenen Tag, drehte der Wind zwischen Hin- und Rückfahrt wahrscheinlich von Südsüdost auf Ost. Das geht aus den Windmessungen in Verbindung mit dem Maximum in der SO₂-Last hervor, welches einem Großemittenten in der Nähe der Fahrstrecke zuzuordnen sein dürfte. Die Windmessungen zeigen zwischen 7.00 und 13.00 Uhr eine Drehung des Boden- sowie Höhenwindes von Südsüdost über Ost auf Nord, allerdings kann der Windmessung nicht entnommen werden, wann diese Drehung entlang der Meßstrecke genau stattgefunden hat. Wahrscheinlich kam der Wind auf der Hinfahrt mehr aus einer südlichen Richtung. Der Bodenwind in Buchholz zeigte Südsüdost an. Darüber hinaus hat der erwähnte Großemittent auch südlich der mit Cospec gemessenen maximalen SO₂-Last seinen Standort. Auf der Rückfahrt war dieses Maximum nach Westen verschoben und außerdem der SO₂-Fluß deutlich geringer, wie das bei Ostwind zu erwarten ist, wenn nur noch ein Teil der SO₂-Emissionen dieses Kraftwerkes von Cospec gemessen wird.

Die von Cospec gemessene SO_2 -Last lag am niedrigsten an der Grenze Essen/Mülheim und stieg dann im Raum Duisburg im Maximum um ca. 280 ppm m an. In Verbindung mit der hohen SO_2 -Last im Duisburger Raum wurden auch hohe SO_2 -Bodenkonzentrationen gemessen, welche zwischen 0,3 und 0,4 mg/m³ lagen. Die Verteilung der SO_2 -Last sowie der SO_2 -Bodenkonzentration ist im Zusammenhang damit zu sehen, daß bei Südsüdwestwind ein Schadstofftransport aus den Belastungsgebieten Rheinschiene Mitte und Rheinschiene Süd in den Duisburger Raum hinein stattfindet. Auf der Rückfahrt betragen die Unterschiede in der SO_2 -Last nur etwas über 200 ppm m. Die SO_2 -Bodenkonzentration stieg jedoch im Raum Duisburg/Moers auf etwa 0,47 mg/m³ an. Die hohen SO_2 -Bodenkonzentrationen dürften ihre Ursache auch darin haben, daß der Bodenwind im Raum Duisburg teils aus Süden (Station Buchholz), teils aber aus Norden bzw. Osten kam (Station Walsum), während in der Höhe östliche Winde vorherrschten.

7.3. Meßfahrt am 21.08.1984 von Grenze Essen/Mülheim nach Moers und zurück, Messung der Emissionen eines Großemittenten (Meßfahrten Nr. 41: s. Abb. 7a und 7b; Nr. 42: s. Abb. 8a und 8b)

Am 21.08. war der Himmel teils wolkenlos, teils leicht bewölkt. Die Temperaturen erreichten Höchstwerte von 28°C. Es herrschte überwiegend Südostwind. Insbesondere der am Wetteramt Essen um 7.00 und 13.00 Uhr (MEZ) gemessene Höhenwind kam aus dieser Richtung. An der TEMES-Station Buchholz war infolge der Kanalisierungswirkung des Rheintales die Südkomponente des Bodenwindes etwas stärker ausgeprägt.

Im Südosten des Ruhrgebietes sind, abgesehen von Remscheid, Solingen und Wuppertal, über eine Entfernung von mehreren 100 km keine größeren Industriegebiete vorhanden. Der Windrichtung entsprechend lag die SO_2 -Bodenkonzentration trotz der niedrigen Windgeschwindigkeit von etwa 2,5 m/s innerhalb der Mischungsschicht relativ niedrig. Im Mittel wurden in der Meßzeit zwischen 11.59 und 13.12 Uhr MEZ zwischen Grenze Essen/Mülheim und Moers längs der Autobahn 430 etwa 0,1 mg/m³ gemessen. Die niedrigsten Werte traten mit 0,05 mg/m³ SO_2 in Moers auf, die höchsten Werte - auf der Hinfahrt 0,4, auf der Rückfahrt 0,3 mg/m³ - im Zusammenhang mit einem ausgeprägtem Maximum der SO_2 -Last im Duisburger Raum. Abgesehen von diesem Maximum sowie einigen kleineren Peaks blieb die SO_2 -Last sowohl auf der Hin- als auch auf der Rückfahrt auf der gesamten Meßstrecke in etwa konstant.

Das Maximum der SO_2 -Last lag mit dem höchsten Wert auf der Hinfahrt um 160, auf der Rückfahrt um 200 ppm über der vor und hinter dem Maximum gemessenen SO_2 -Last. Auf der Hinfahrt war das Maximum etwas breiter auseinander gezogen. Für das Maximum der SO_2 -Last auf der Rückfahrt, das senkrecht zur Windrichtung eine Breite von etwa 400 m aufwies, kommt mit großer Wahrscheinlichkeit nur ein einziger Emittent infrage, der in einem Abstand von etwa 1300 m in südöstlicher Richtung liegt. Es ist der Emittent mit der zweithöchsten SO_2 -Emission im Belastungsgebiet Ruhrgebiet West. Der mit Cospec gemessene SO_2 -Fluß betrug 130.640 mg/m. Aufgrund der vom Betreiber erfragten aktuellen Emissionsdaten

für diesen Emittenten wurde ein SO_2 -Fluß berechnet, der bei einer Windgeschwindigkeit von 2 m/s, wie sie in Rauchfahnenhöhe etwa vorlag, um weniger als 10 % von dem mit Cospec gemessenen SO_2 -Fluß abwich.

Das SO_2 -Bodenmaximum dürfte zumindest zum Teil ebenfalls durch den Emittenten verursacht worden sein, da aufgrund der hohen Sonneneinstrahlung und der niedrigen Windgeschwindigkeit die Atmosphäre in starkem Maße labil geschichtet war. Bei einer solchen Wetterlage erfolgt eine rasche vertikale Durchmischung, durch welche auch die Abgase von Emittenten mit großer effektiver Quellhöhe bereits in geringen Quellentfernungen in Bodennähe gelangen.

7.4. Ausmessung von im Ruhrgebiet liegenden kleineren Emissionsgebieten

Am 31.10.1984 wurde zwischen 10.27 und 13.07 Uhr eine etwa 150 km² große, fast quadratische Fläche innerhalb der Belastungsgebiete Ruhrgebiet West und Ruhrgebiet Mitte mit Cospec zweimal umfahren (Meßfahrten Nr. 51: s. Abb. 9a und 9b; Nr. 52: s. Abb. 10a und 10b. In den Abb. 9a bis 11a stimmt die Strichrichtung auch mit der Windrichtung überein).

Der Himmel war wolkenlos, und der Wind kam mit einer Geschwindigkeit von etwas über 2 m/s in Anemometerniveau aus Südwest. Um 12.00 Uhr mittags wurde vom Wetteramt Essen durch Radiosondenaufstieg in 300 m Höhe eine Windgeschwindigkeit von 3 m/s und in 600 m Höhe eine Windgeschwindigkeit von 5 m/s gemessen.

Die Cospec-Messungen ergaben folgendes: Der mit Cospec gemessene SO_2 -Transport aus dem Gebiet heraus lag um etwa den Faktor 5 höher als nach dem Emissionskataster und dem gemessenen SO_2 -Fluß in das Gebiet hinein zu erwarten gewesen wäre. Was war die Ursache für diesen beträchtlichen Unterschied? Eine Antwort hierauf ergibt sich bei Betrachtung der Meßergebnisse der 2. Meßfahrt. Gegenüber der ersten Meßfahrt war jetzt der SO_2 -Fluß in das Gebiet hinein auf einer Strecke von 18 km um etwa 80 ppm m erhöht.

Die Auswertung ergab, daß mehr SO_2 in das Gebiet hineintransportiert wurde als daraus abfloß. Die Ursache für den jetzt hohen SO_2 -Fluß in das Gebiet hinein dürfte damit zusammenhängen, daß zu Beginn der 2. Meßfahrt der Wind aus einer etwas mehr westlichen Richtung kam und SO_2 aus dem Belastungsgebiet Ruhrgebiet West herantransportiert wurde. Es ist anzunehmen, daß ein ähnlich hoher SO_2 -Transport auch vor der 1. Meßfahrt in das Gebiet hinein stattfand und danach der Wind etwas in Richtung Südost drehte. Das würde den Unterschied zwischen erwartetem und gemessenem SO_2 -Fluß im Lee des Gebietes erklären.

Die Messung zeigt, daß es wahrscheinlich kaum möglich sein wird, die SO_2 -Emissionen kleinerer im Ruhrgebiet liegender Emissionsgebiete mit Cospec abzuschätzen, es sei denn, sie nehmen eine ausgesprochene Randlage ein. Die Ursache liegt darin, daß die Messungen eine gewisse Zeit beanspruchen und die Windrichtung während dieser und einiger Zeit davor nicht konstant ist.

Über einem Stadtgebiet geht die Windgeschwindigkeit infolge der größeren Rauigkeit der Erdoberfläche leicht zurück, während die Mischungsschicht etwas in die Höhe wächst. Da der Transport der Schadstoffe hauptsächlich in der Mischungsschicht stattfindet, hat das zur Folge, daß die im Luv des Stadtgebietes gemessene Gaslast der Vorbelastung im Stadtgebiet selber und unmittelbar dahinter mit einem etwas höheren Wert in die Cospec-Messungen eingeht. Die Abweichungen sind wahrscheinlich jedoch zu vernachlässigen.

Am 27.11.1984 wurde zwischen 11.47 und 12.10 Uhr im Belastungsgebiet Ruhrgebiet West eine etwa 15 km² große Fläche umfahren (Meßfahrt Nr. 53: s. Abb. 11a und 11b). In den Abb. 11a und 11b sind die Ergebnisse der Messungen dargestellt. Die dem Meßweg aufgesetzten Striche zeigen in die Richtung, in welcher der Wind wehte und sind proportional zur Höhe der gemessenen SO₂-Last. Die Windrichtung war Südsüdwest. Die Windgeschwindigkeit in Anemometerniveau betrug 3 m/s. In 300 m Höhe wurde vom Wetteramt Essen um 12.00 Uhr eine Windgeschwindigkeit von 5 m/s gemessen. Die Cospec Messungen ergaben folgendes: Am höchsten war die über die südliche Grenze in das umfahrene Gebiet hineintransportierte SO₂-Last. Zum Zeitpunkt der Cospec-Messungen wurde mehr SO₂ in das Gebiet hineintransportiert als daraus abfloß. Die Ursache hierfür dürfte ebenso wie bei den unter 7.4.1 beschriebenen Messungen in Schwankungen der Windrichtung zu suchen sein, aufgrund derer einmal mehr, einmal weniger SO₂ in das Gebiet hineinfloß.

Der relativ hohen Grundlast an der Südgrenze des Gebietes ist ein dreigipfliges Maximum aufgesetzt (die drei Gipfel sind in einer etwas stärker auseinander gezogenen Darstellung besser zu erkennen). Es wurde verursacht durch einen 1,2 km entfernten Großemittenten im Südsüdosten (in Abb. 11a als Dreieck eingezeichnet), dessen Emissionen durch drei nebeneinander liegende Kaminzüge freigesetzt werden. Die parallel zu dem Maximum in der SO₂-Last gemessene SO₂-Bodenkonzentration stieg auf 0,23 mg/m³ an, lag also niedriger als am 21.08., wo parallel zu dem Maximum in der SO₂-Last eine Bodenkonzentration von 0,3 bzw. 0,4 mg/m³ gemessen wurde. Die Ursache hierfür liegt darin, daß die Atmosphäre am 21.08. in stärkerem Maße labil geschichtet war und der turbulente Transport aus der Höhe der Rauchfahne zum Erdboden hin rascher erfolgte.

Der mit Cospec gemessene SO₂-Fluß entspricht in etwa dem aufgrund der Emissionen des Kraftwerkes zu erwartenden SO₂-Fluß. Um genau angeben zu können, wie groß die Abweichungen sind, muß die Windgeschwindigkeit in der Höhe der Abgasfahne bekannt sein.

8. A u s b l i c k

Es sind Meßfahrten im Lee des Ruhrgebietes sowie entlang der deutsch-niederländischen Grenze geplant. Aus den Meßdaten soll der SO₂-Fluß aus dem Ruhrgebiet sowie der SO₂-Fluß über die deutsch-niederländische Grenze bestimmt werden. Des weiteren sind Meßfahrten quer durch das Ruhrgebiet geplant, um Informationen über die SO₂-Emissionen aus den einzelnen Belastungsgebieten zu erhalten. Meßfahrten in verschiedenen Abständen im Lee großer Emittenten sollen

Aufschluß über das Ausbreitungsverhalten von Abgasfahnen geben. Durch die gleichzeitige Messung der SO_2 -Bodenkonzentration läßt sich ersehen, wie rasch die Abgase in Abhängigkeit von der Ausbreitungsklasse in Bodennähe gelangen. Darüber hinaus sollen auch die SO_2 -Emissionen bestimmt werden.

S c h r i f t t u m

- [1] GIEBEL, J.:
Verhalten und Eigenschaften atmosphärischer Sperrschichten.
LIS-Berichte der Landesanstalt für Immissionsschutz des Landes NRW,
H. 12 (1981), S. 5 - 39.

B i l d a n h a n g

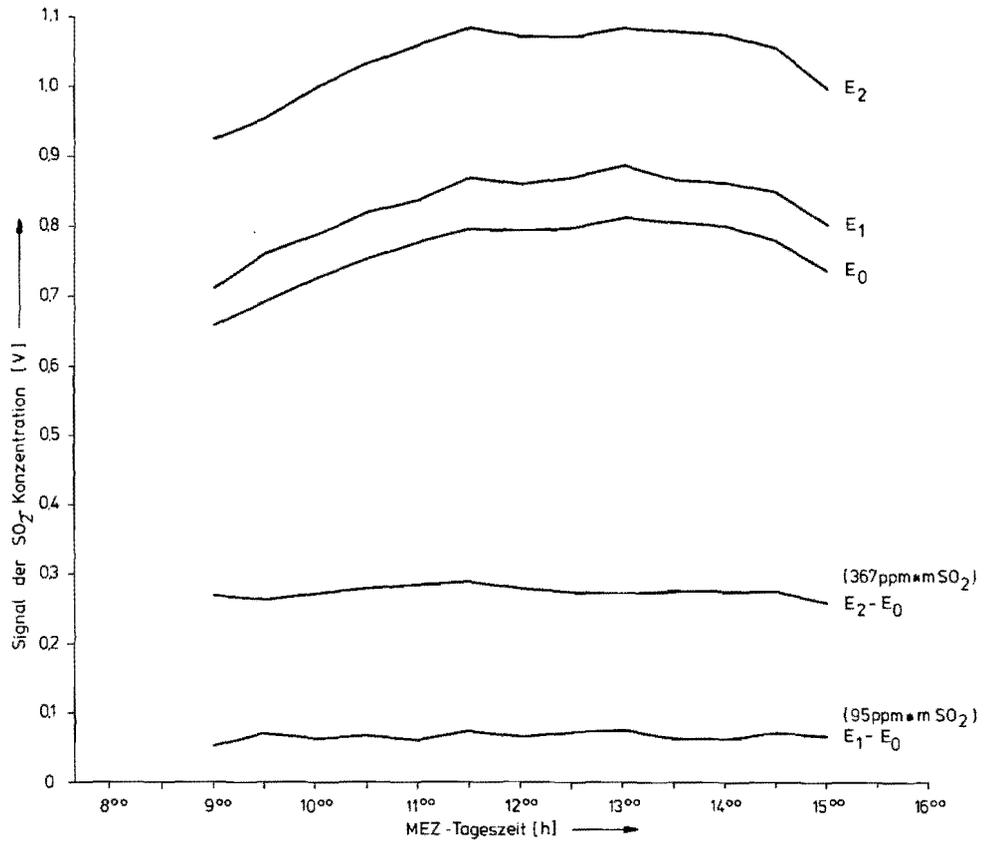


Abb. 1a: Tagesgang der Cospec-Messung vom 03.09.1984, Meßort: LIS

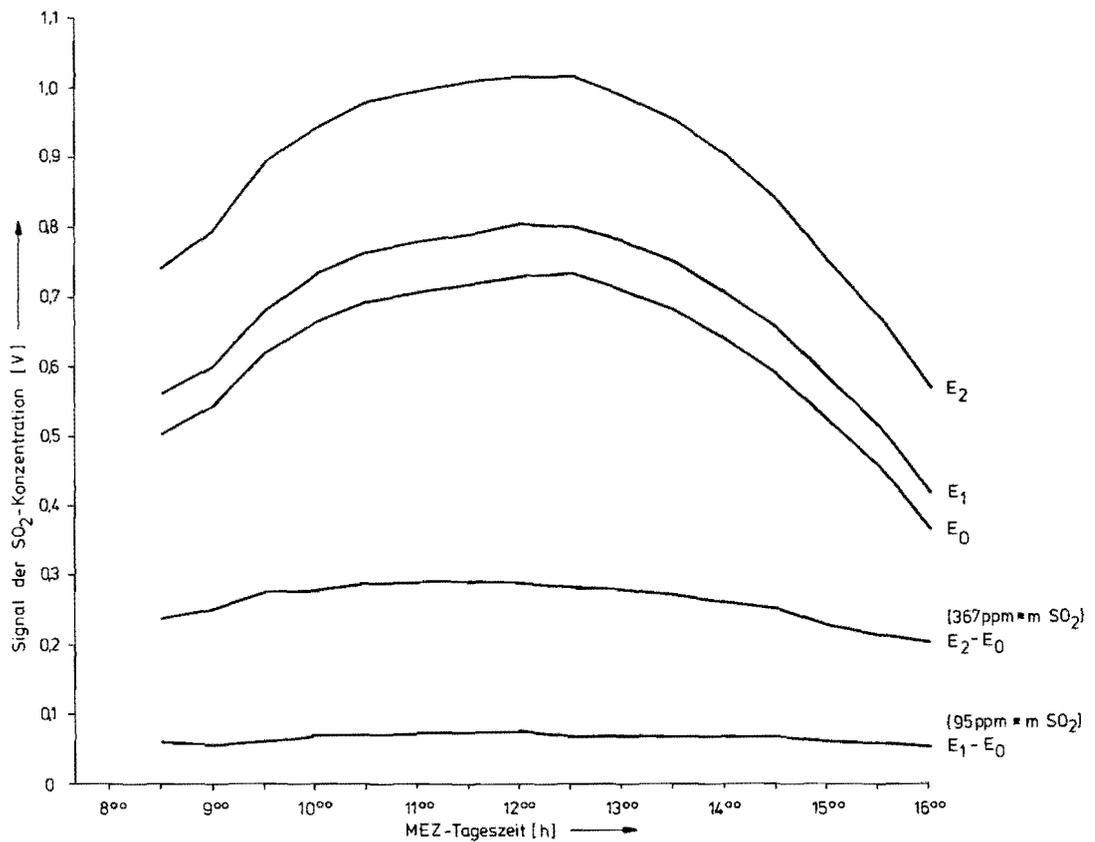


Abb. 1b: Tagesgang der Cospec-Messung vom 16.10.1984, Meßort: LIS

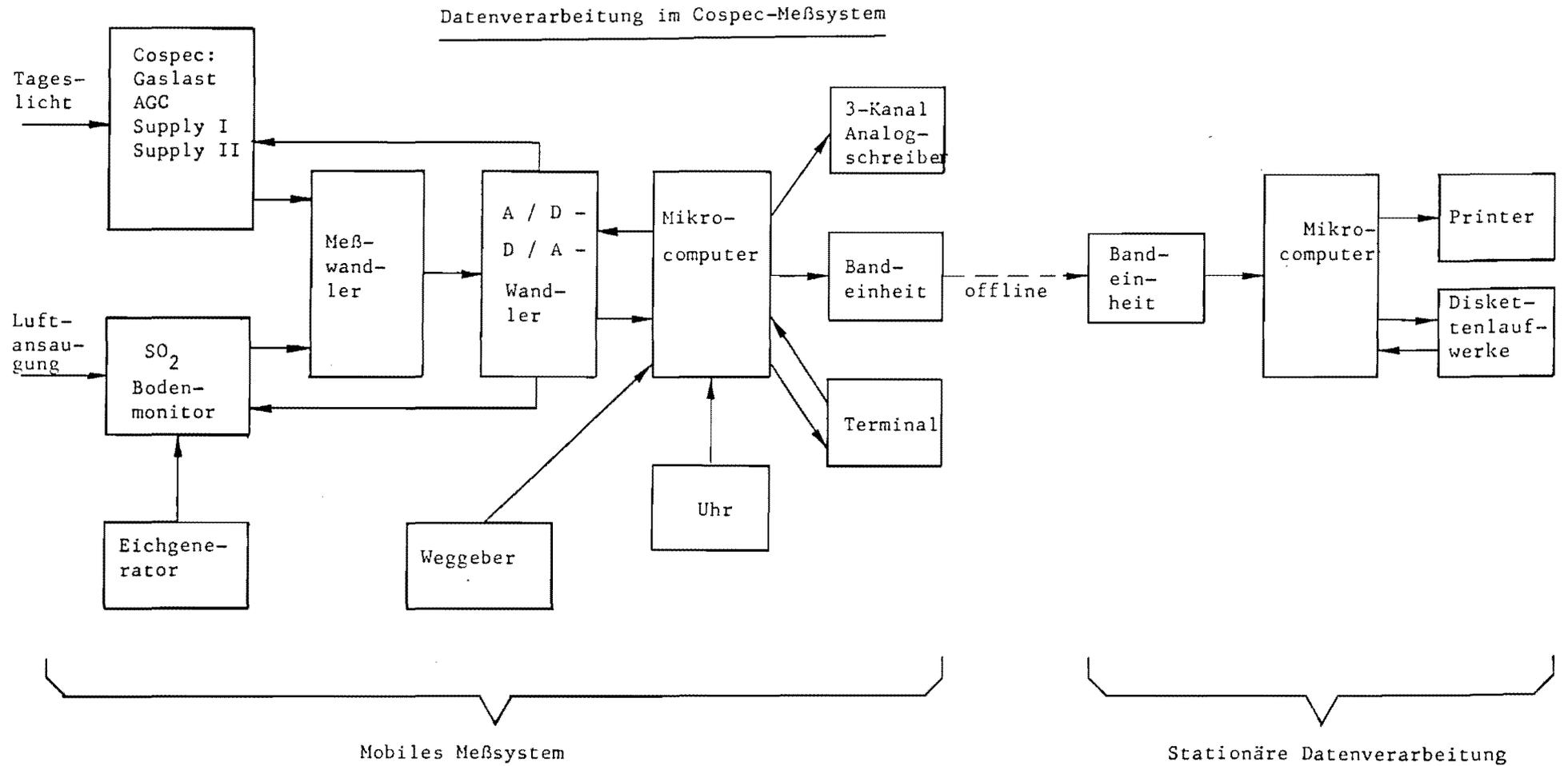


Abb. 2: Datenverarbeitung im Cospec-Meßsystem

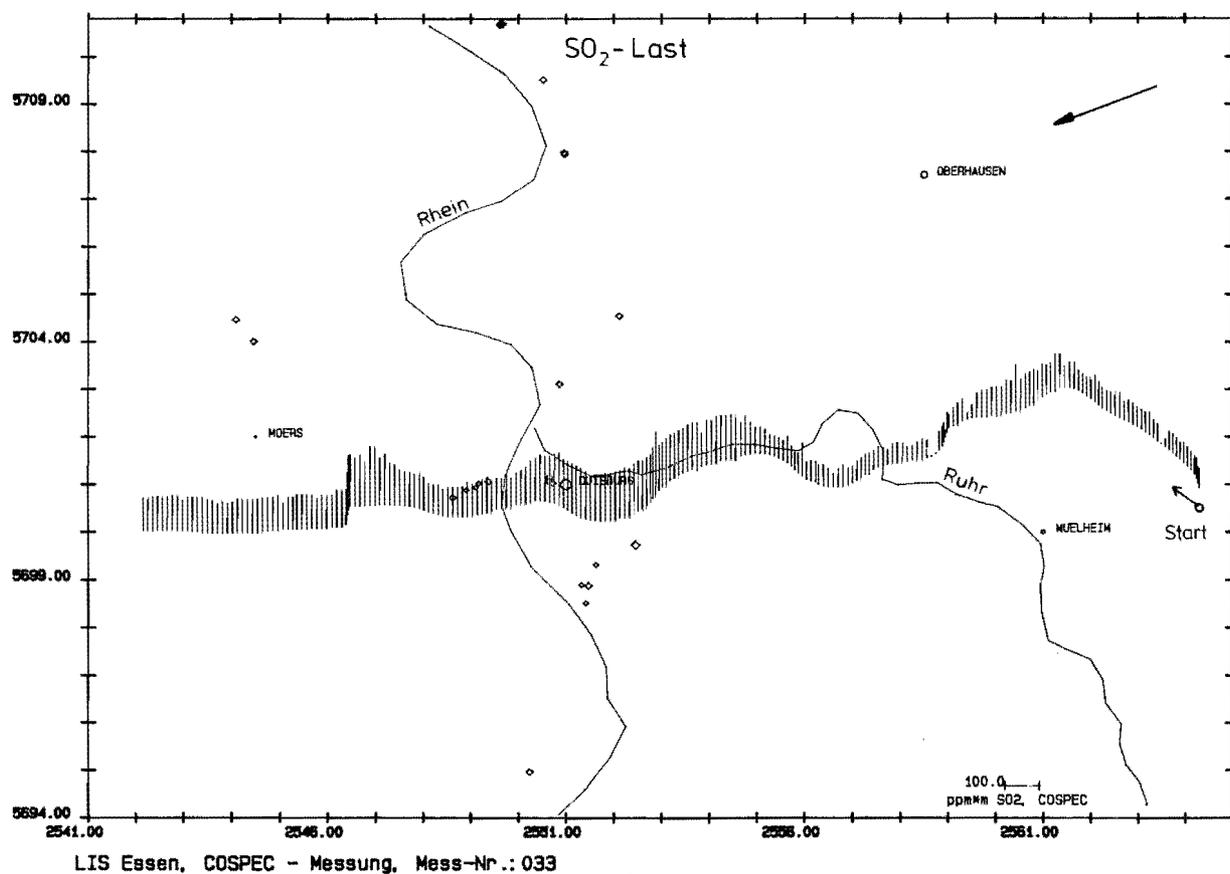
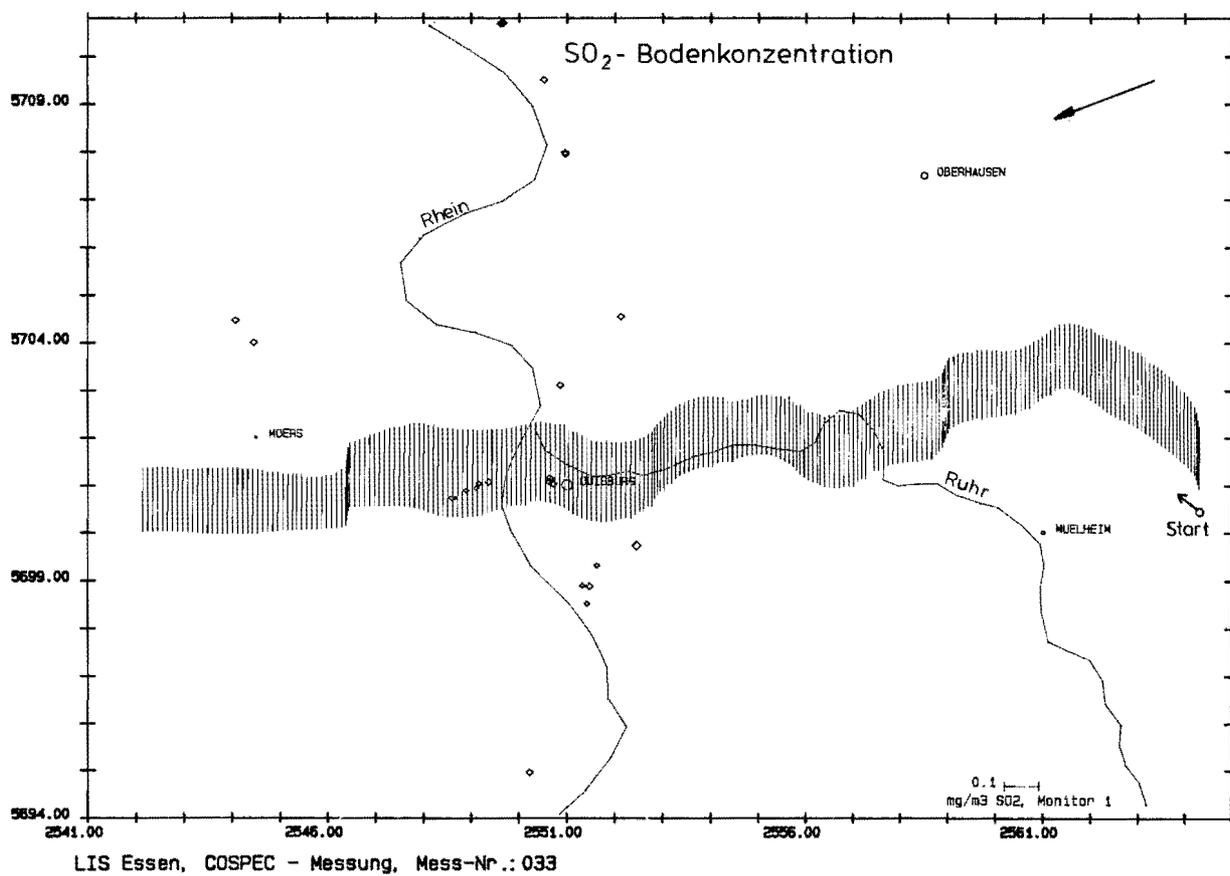
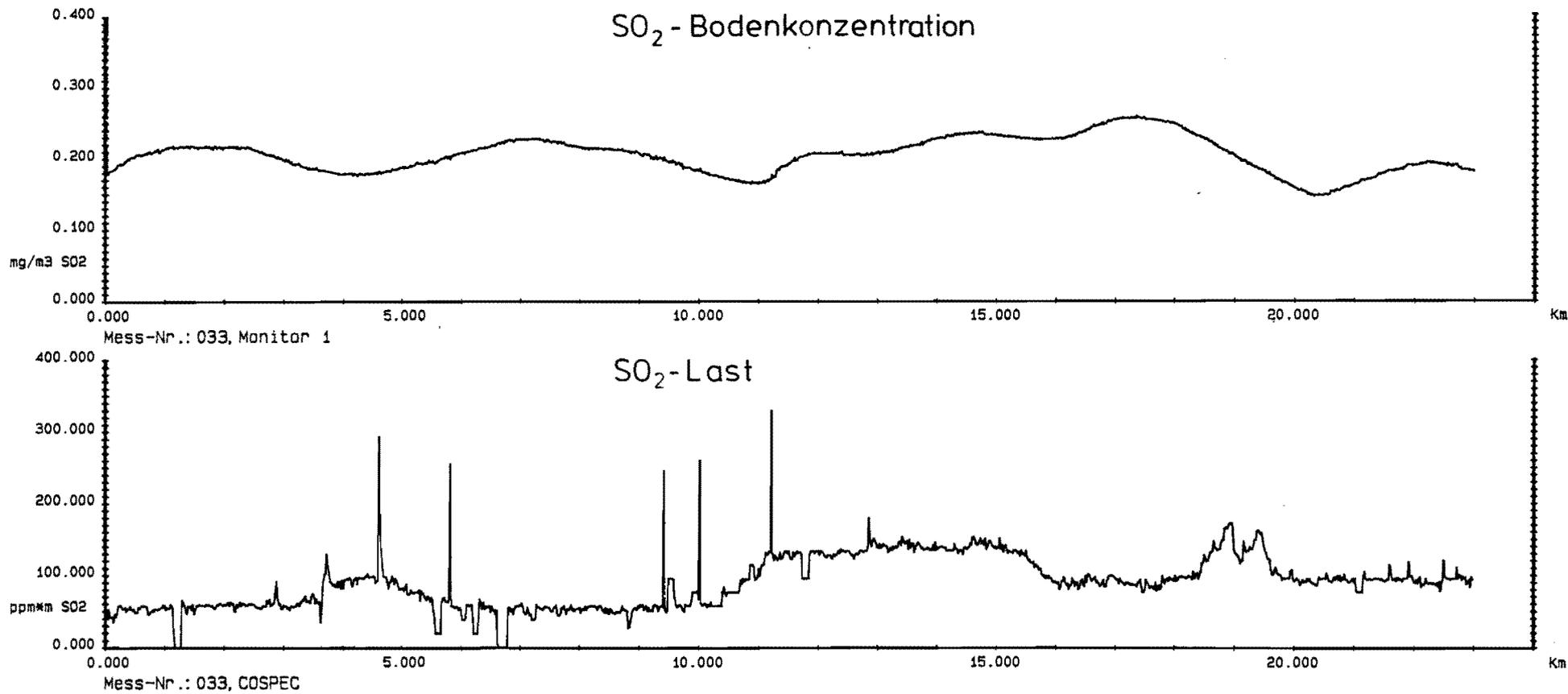
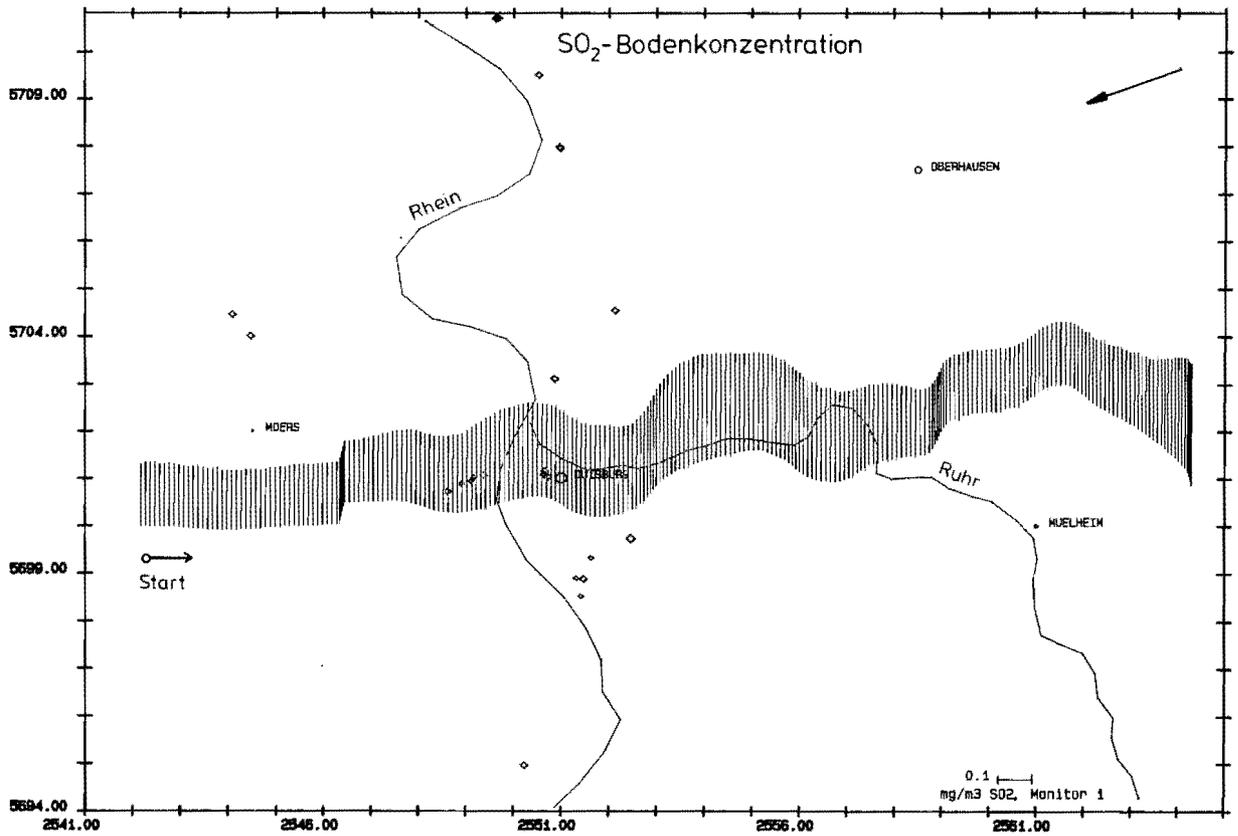


Abb. 3a: SO₂-Last in der Atmosphäre (untere Abb.) und SO₂-Bodenkonzentration (obere Abb.)

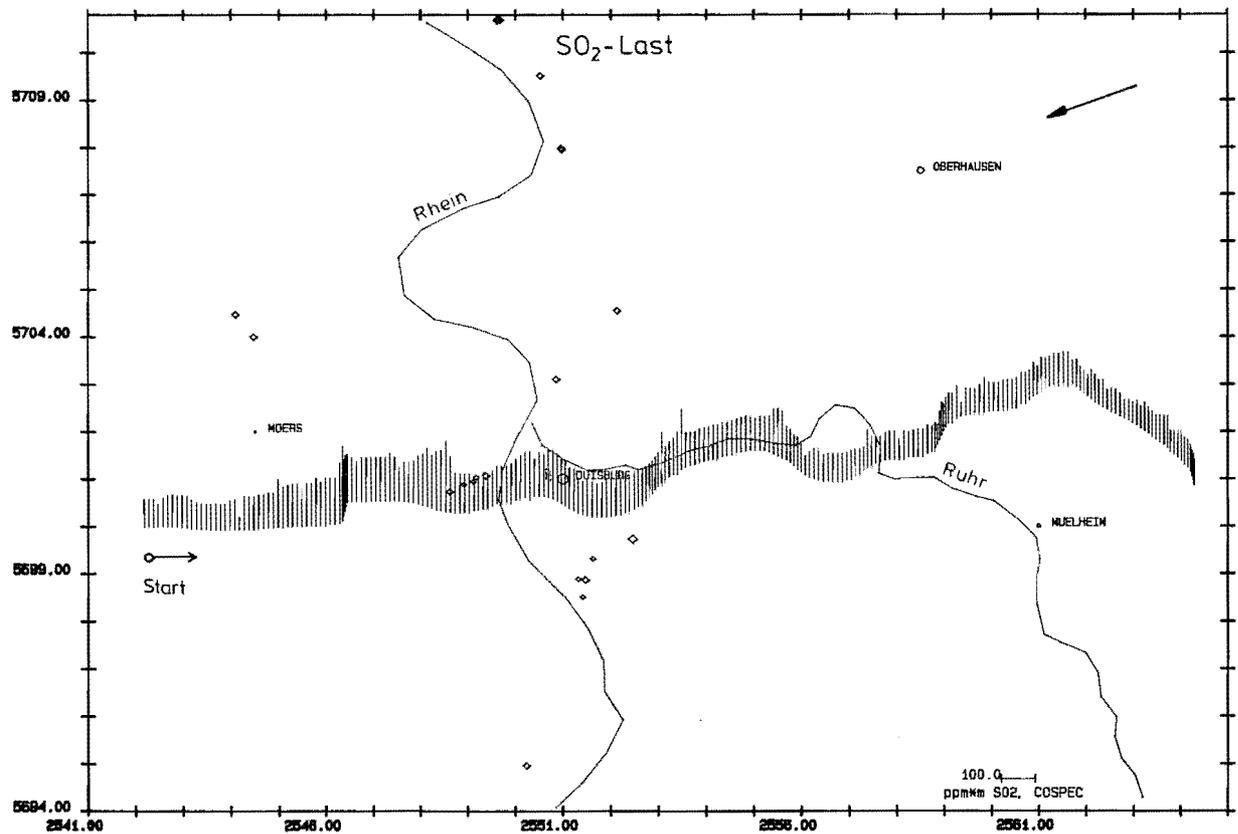


LIS Essen, COSPEC - Messung

Abb. 3b: SO₂-Last in der Atmosphäre (untere Abb.) und SO₂-Bodenkonzentration (obere Abb.)

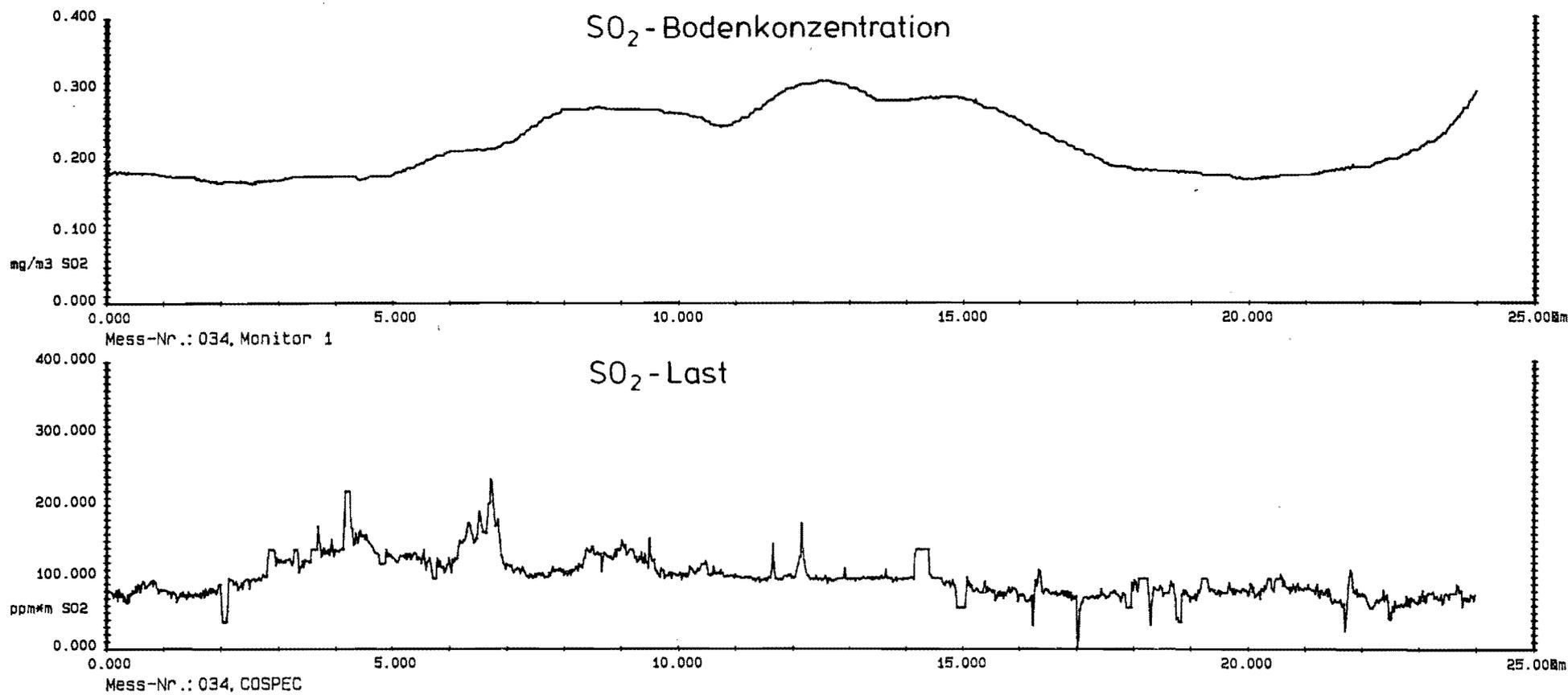


LIS Essen, COSPEC - Messung, Mess-Nr.: 034



LIS Essen, COSPEC - Messung, Mess-Nr.: 034

Abb. 4a: SO₂-Last in der Atmosphäre (untere Abb.) und SO₂-Bodenkonzentration (obere Abb.)



LIS Essen, COSPEC - Messung

Abb. 4b: SO₂-Last in der Atmosphäre (untere Abb.) und SO₂-Bodenkonzentration (obere Abb.)

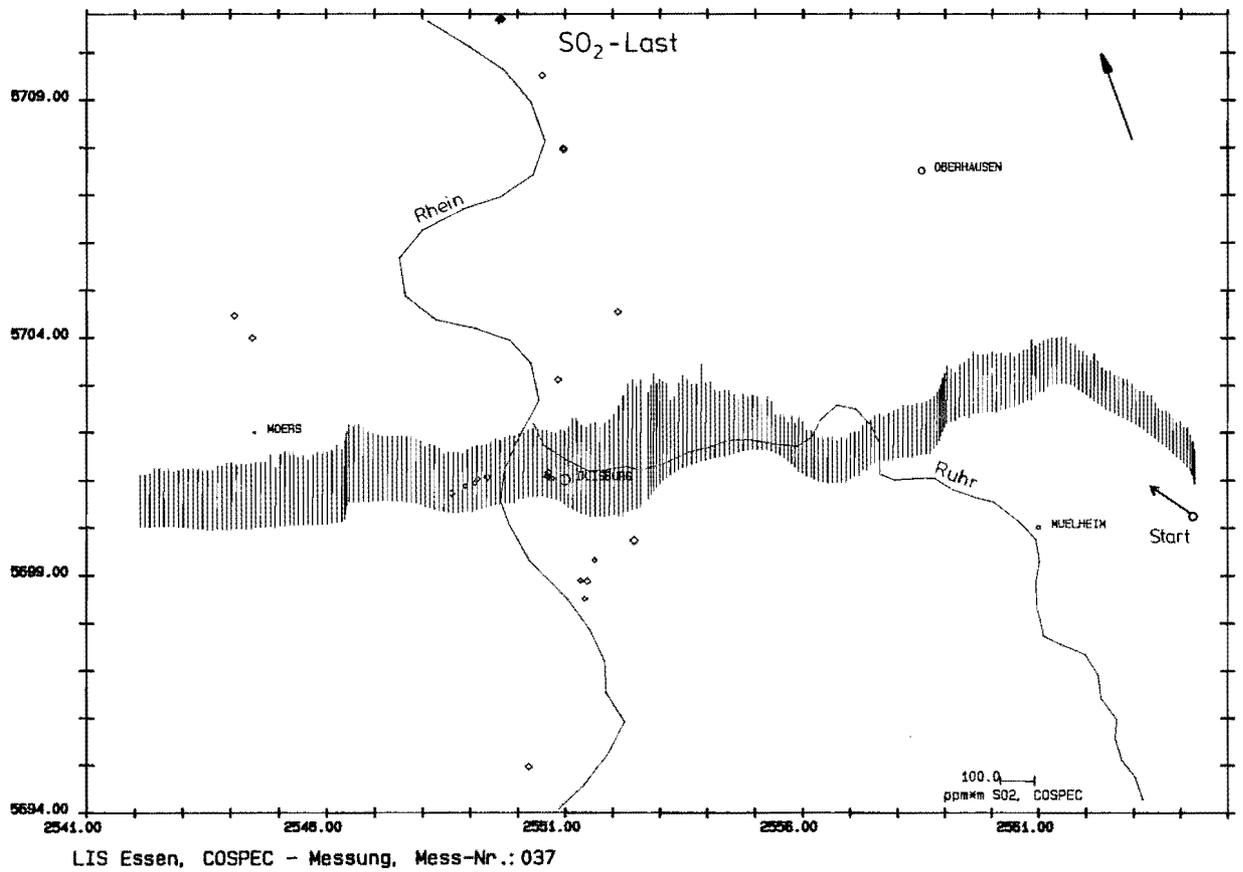
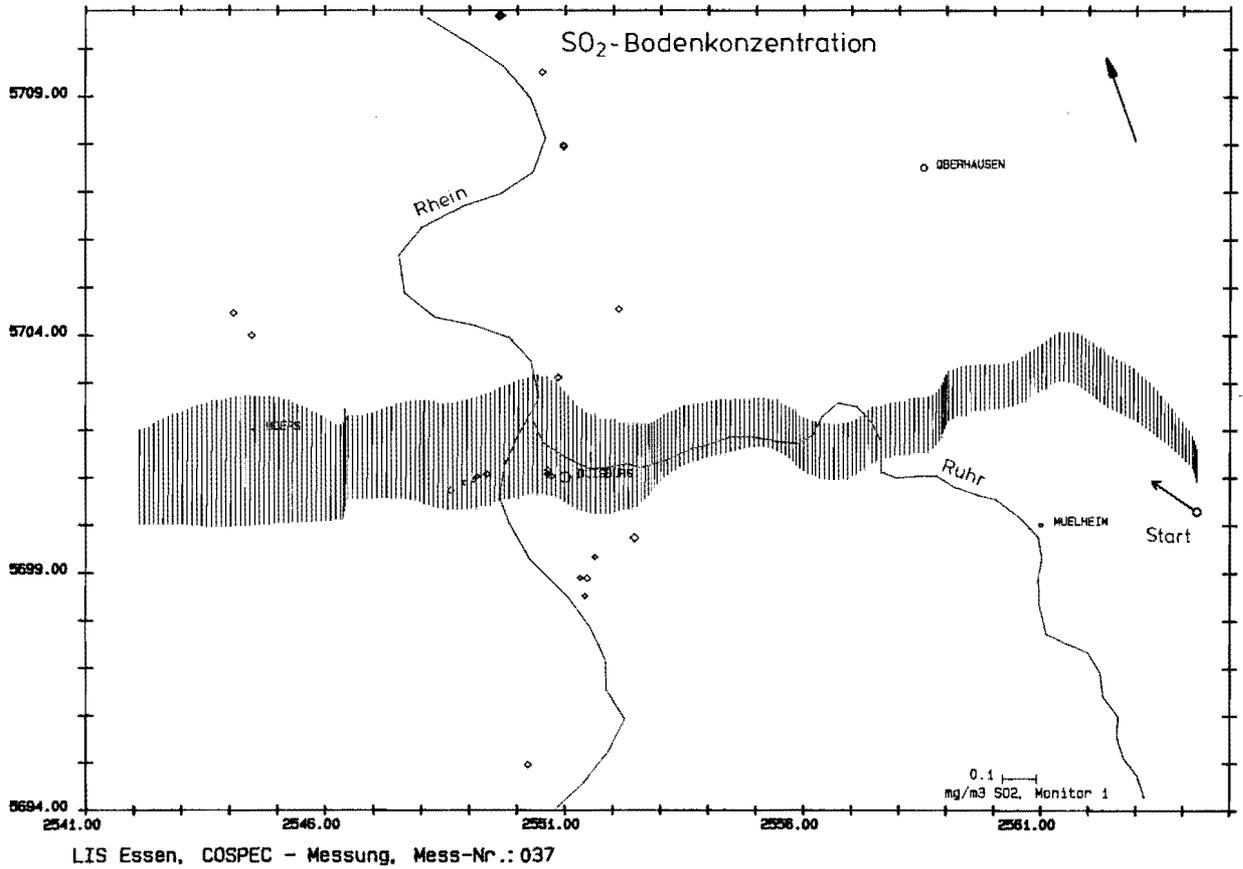
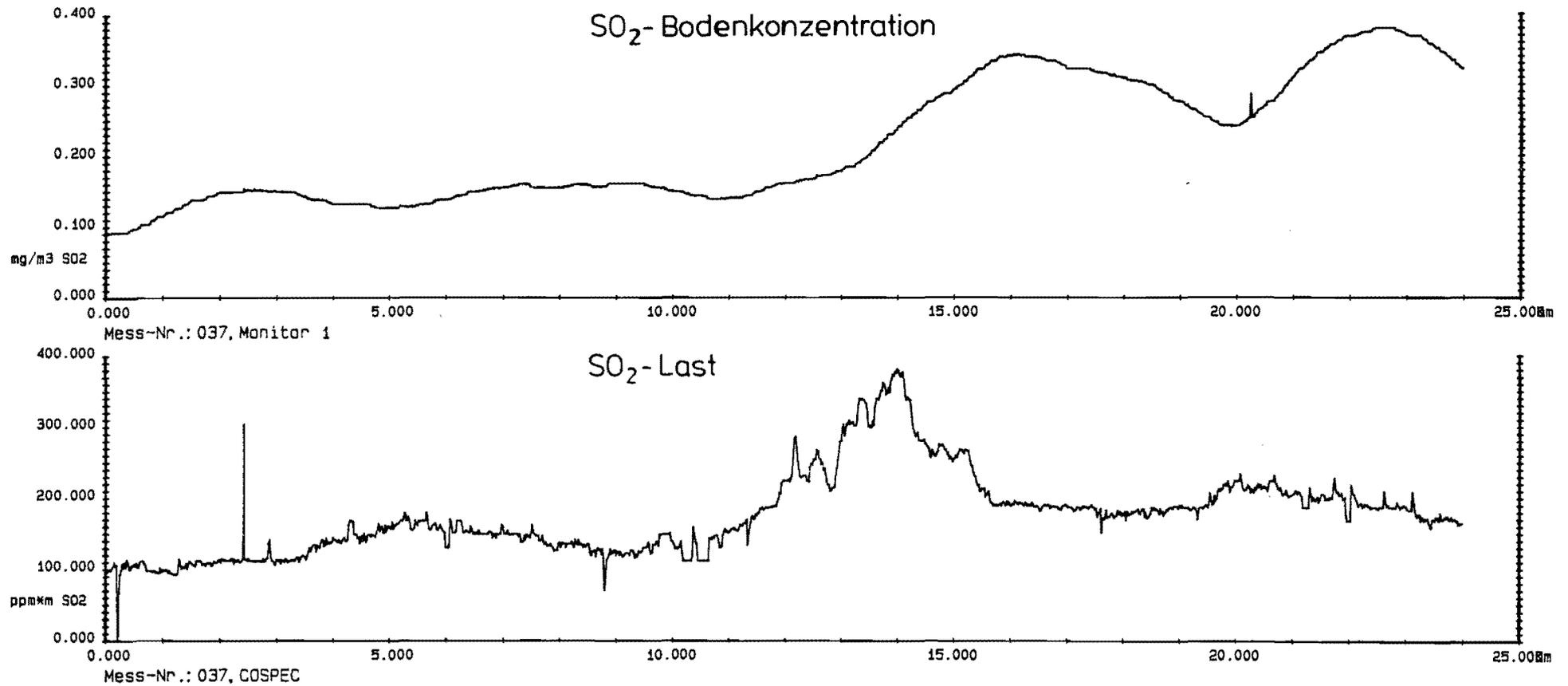


Abb. 5a: SO₂-Last in der Atmosphäre (untere Abb.) und SO₂-Bodenkonzentration (obere Abb.)



LIS Essen, COSPEC - Messung

Abb. 5b: SO₂-Last in der Atmosphäre (untere Abb.) und SO₂-Bodenkonzentration (obere Abb.)

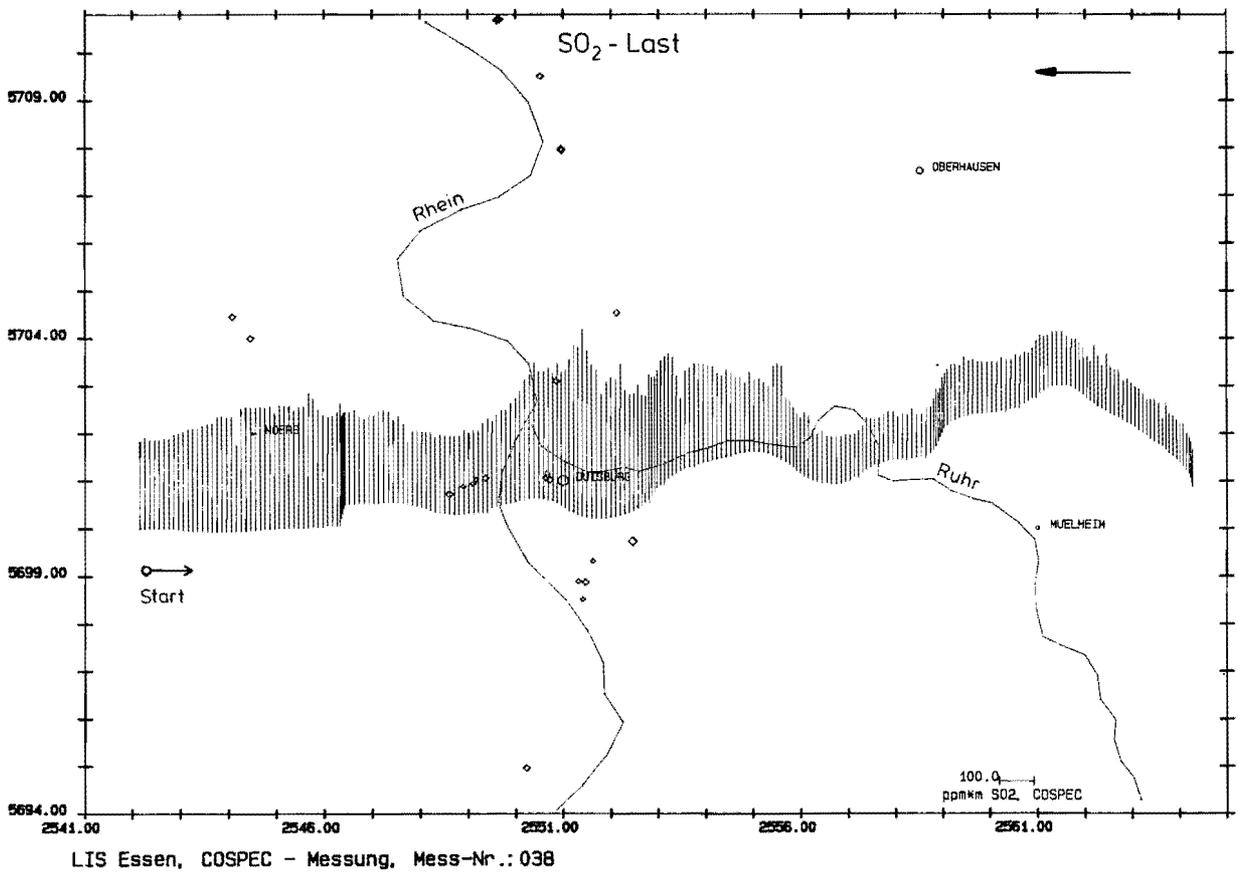
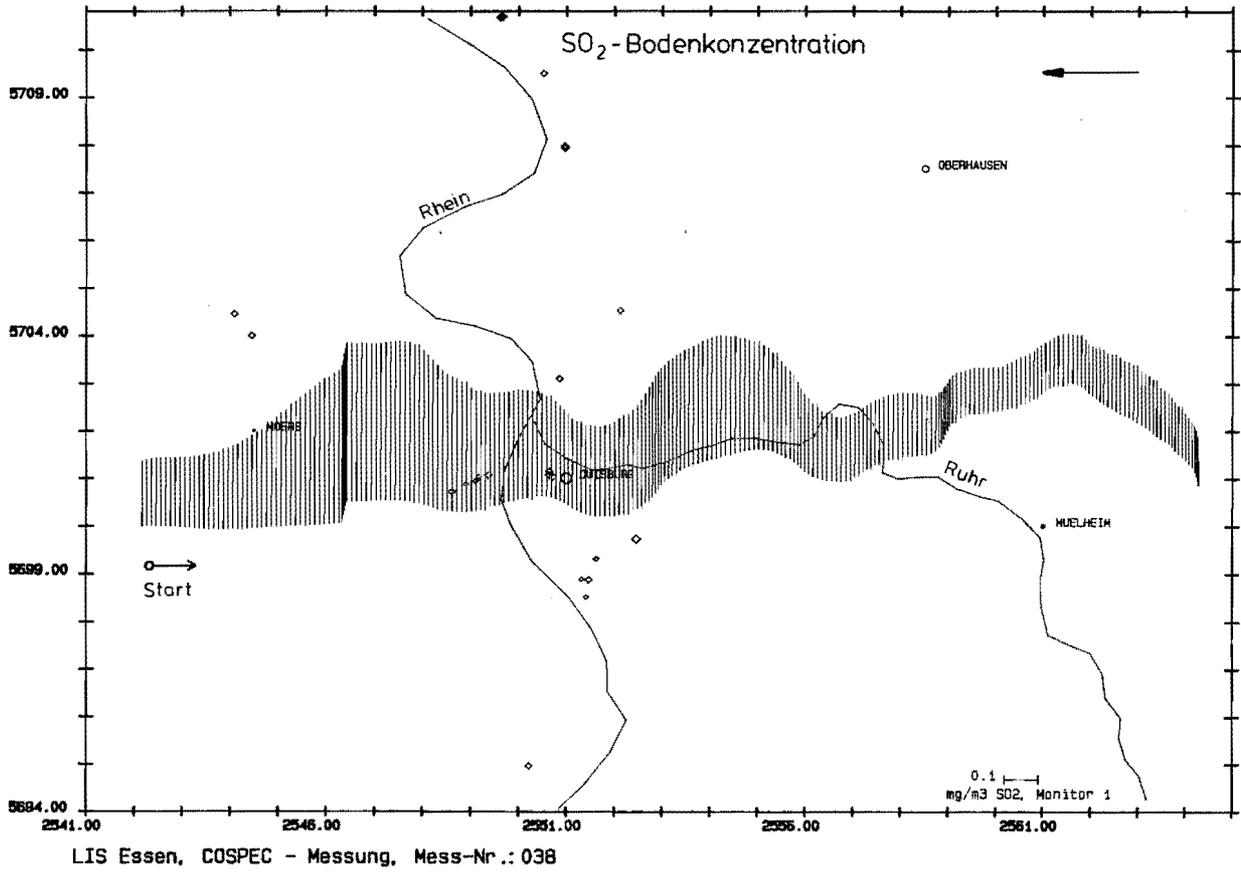
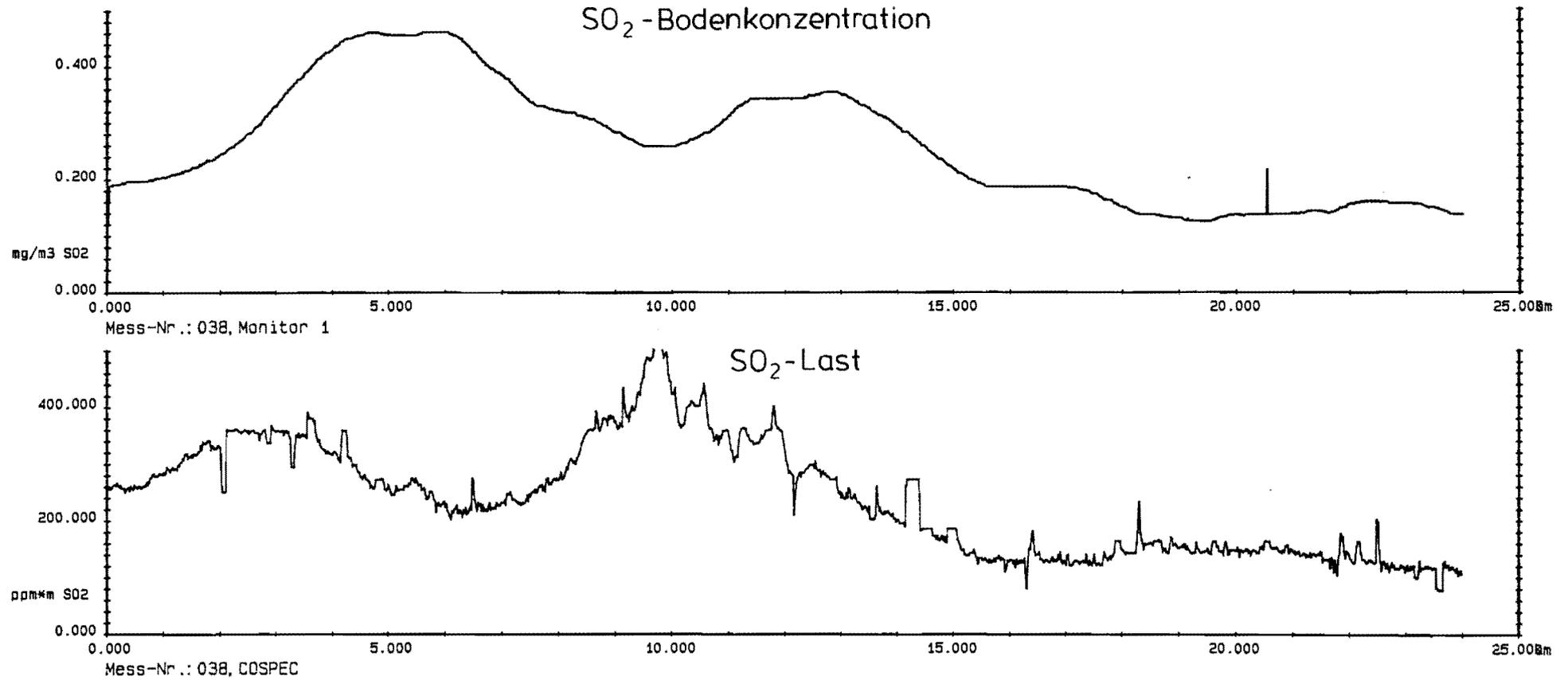
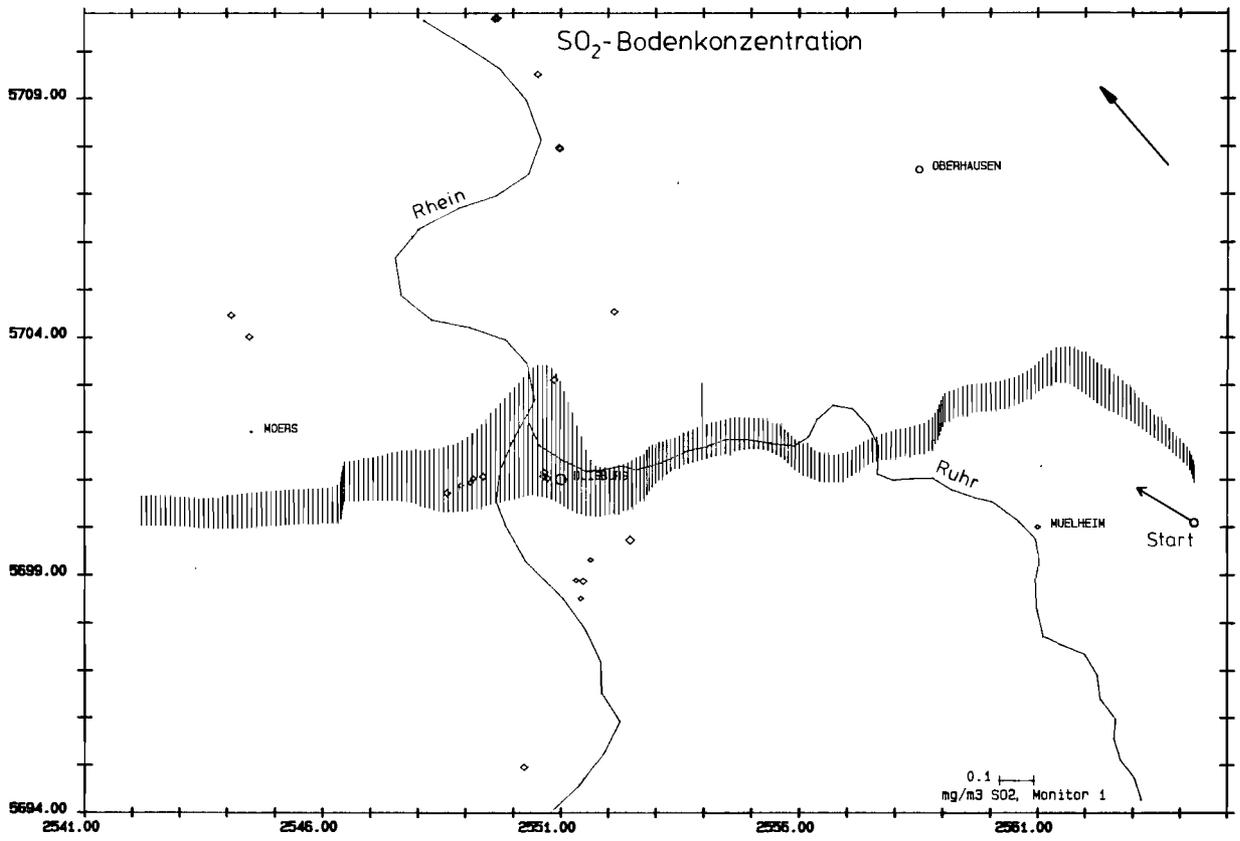


Abb. 6a: SO_2 -Last in der Atmosphäre (untere Abb.) und SO_2 -Bodenkonzentration (obere Abb.)

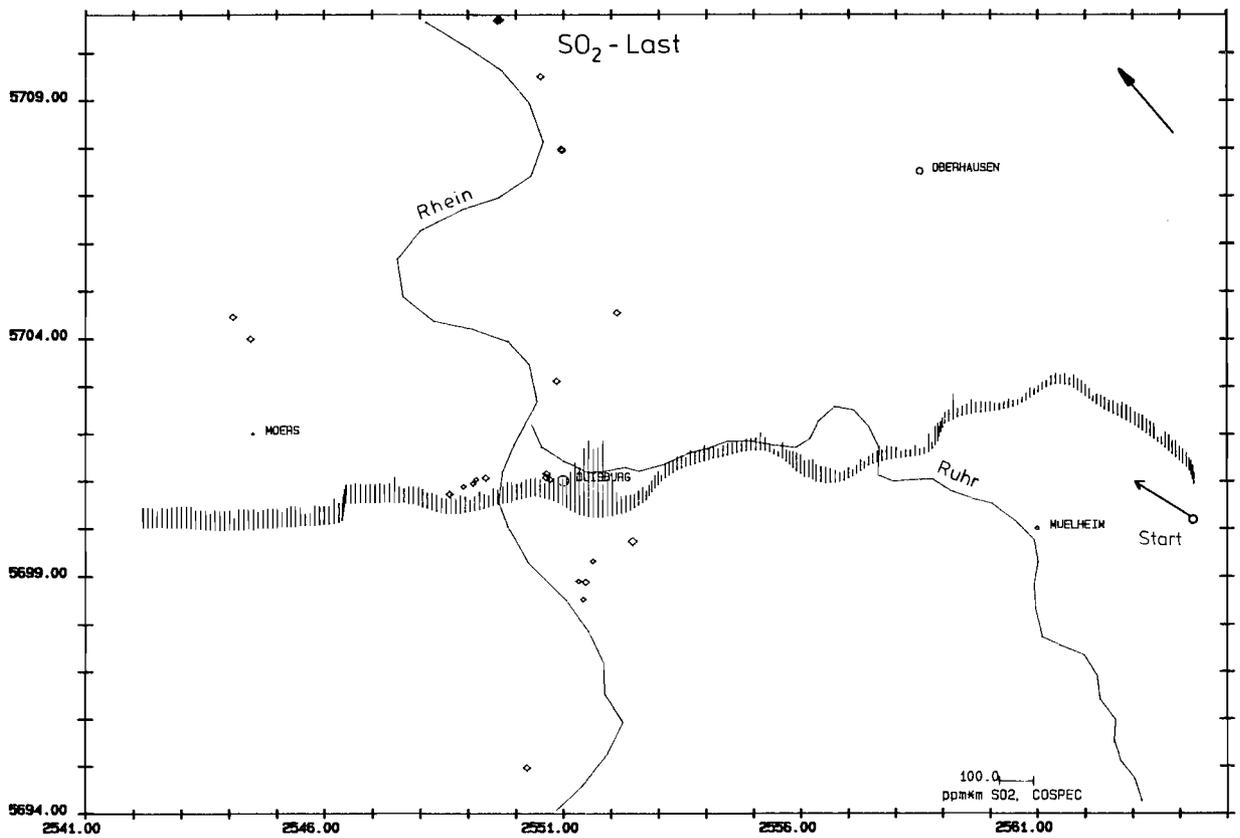


LIS Essen, COSPEC - Messung

Abb. 6b: SO₂-Last in der Atmosphäre (untere Abb.) und SO₂-Bodenkonzentration (obere Abb.)

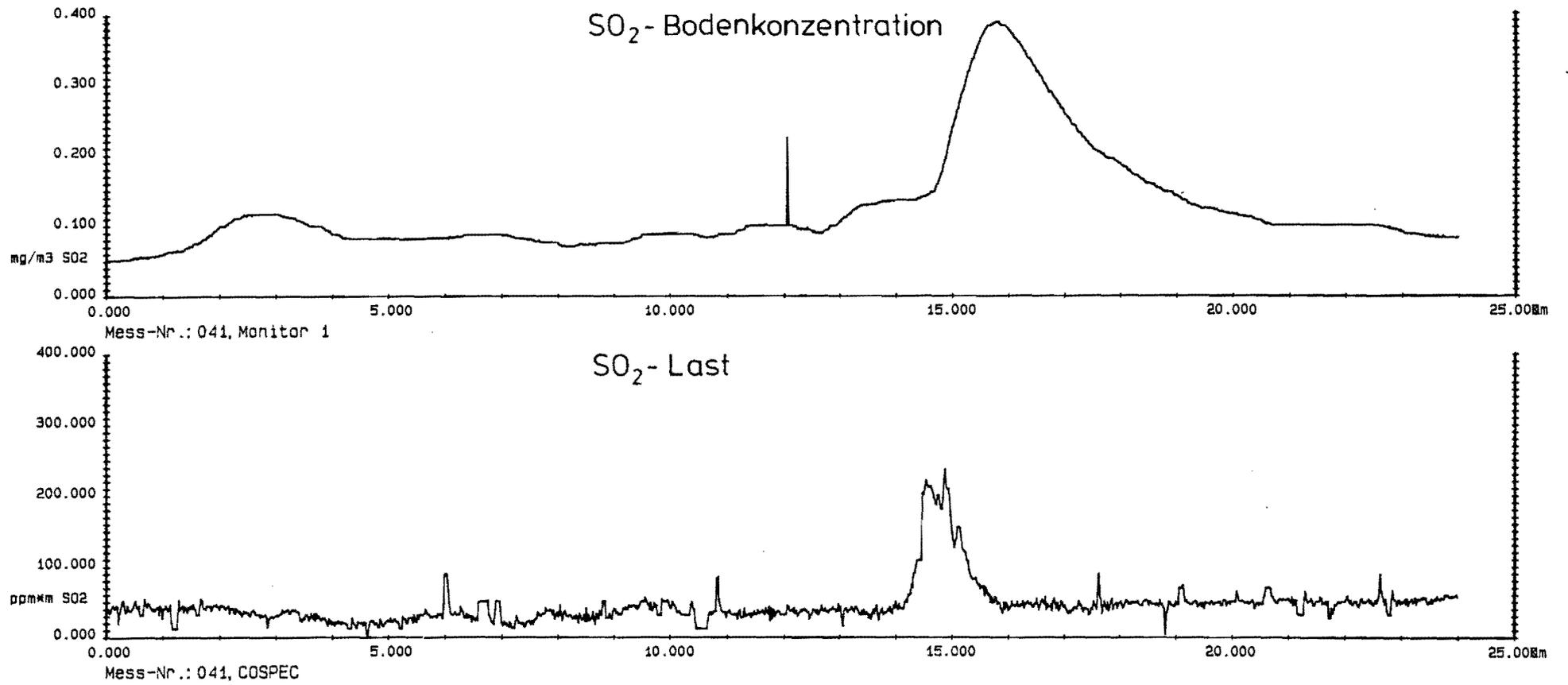


LIS Essen, COSPEC - Messung, Mess-Nr.: 041



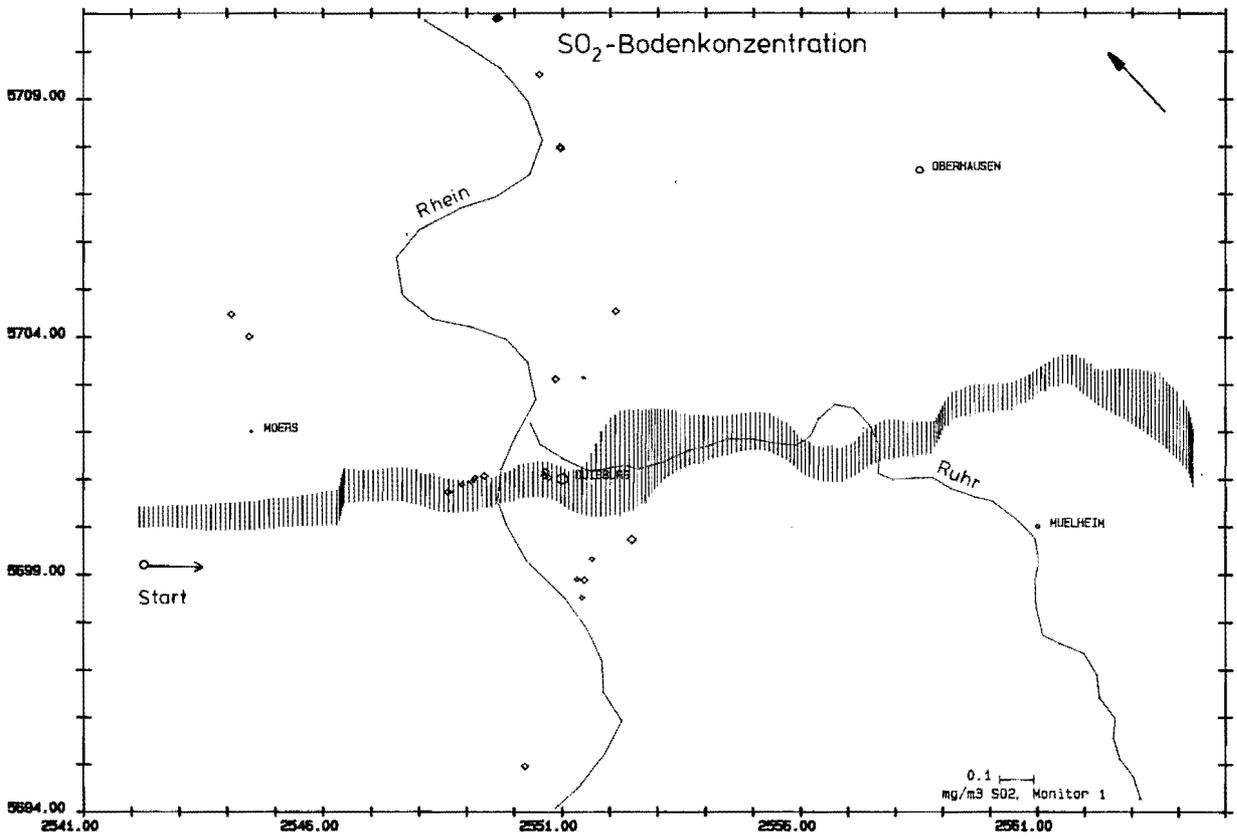
LIS Essen, COSPEC - Messung, Mess-Nr.: 041

Abb. 7a: SO₂-Last in der Atmosphäre (untere Abb.) und SO₂-Bodenkonzentration (obere Abb.)

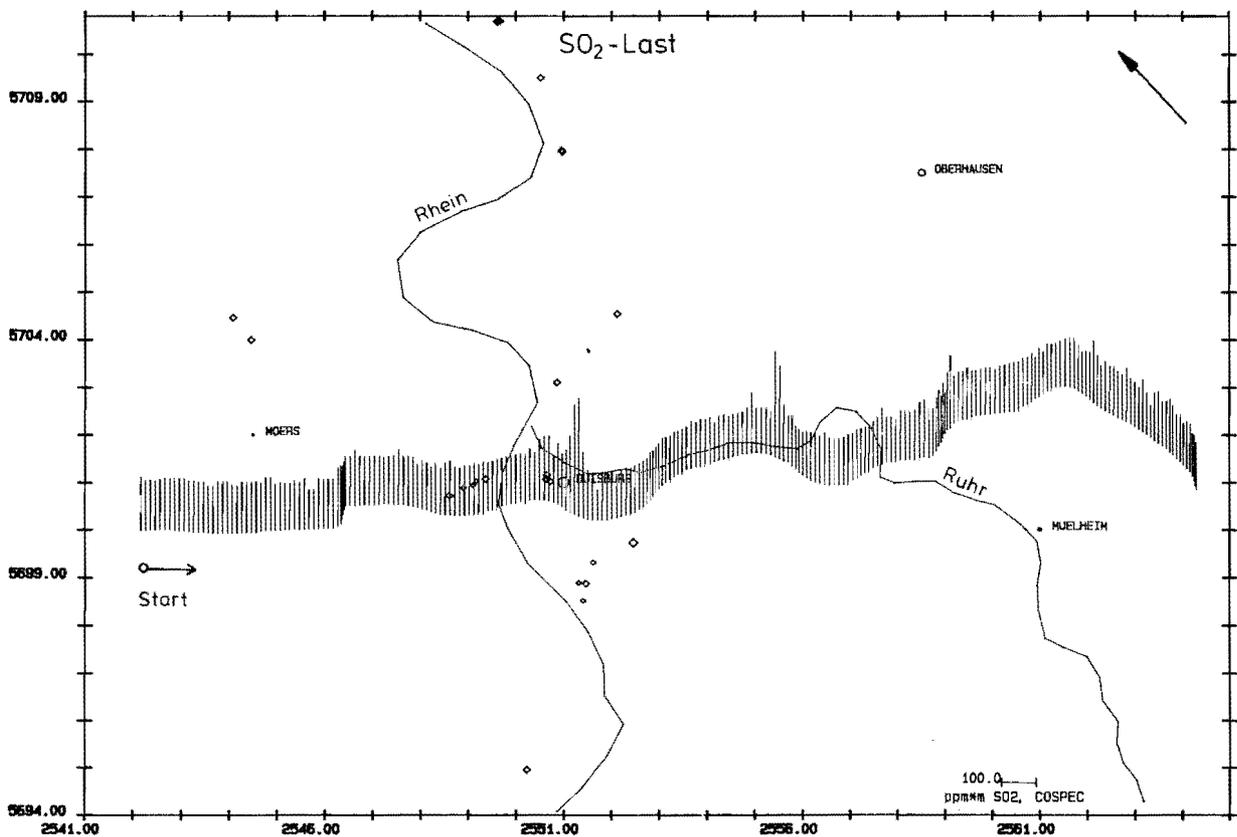


LIS Essen, COSPEC - Messung

Abb. 7b: SO₂-Last in der Atmosphäre (untere Abb.) und SO₂-Bodenkonzentration (obere Abb.)

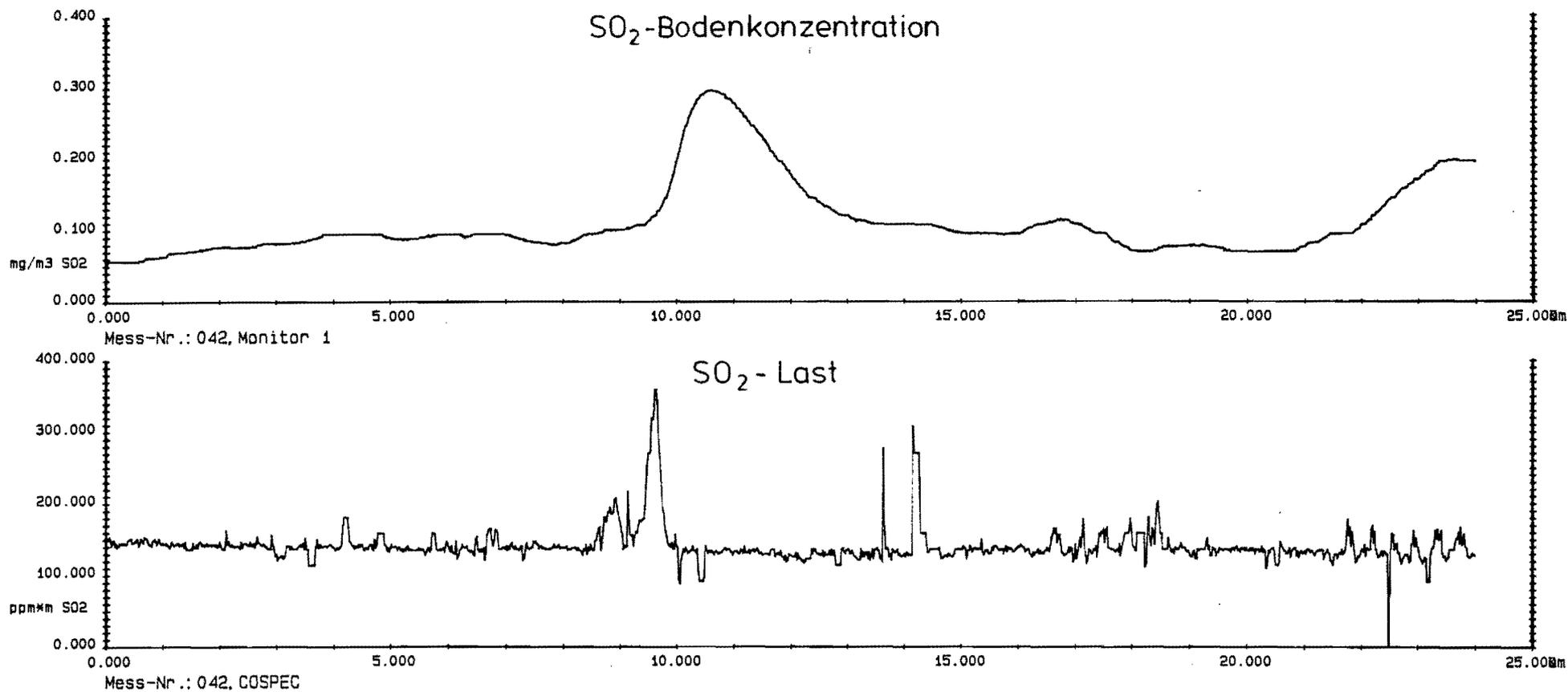


LIS Essen, COSPEC - Messung, Mess-Nr.: 042



LIS Essen, COSPEC - Messung, Mess-Nr.: 042

Abb. 8a: SO₂-Last in der Atmosphäre (untere Abb.) und SO₂-Bodenkonzentration (obere Abb.)



LIS Essen, COSPEC - Messung

Abb. 8b: SO₂-Last in der Atmosphäre (untere Abb.) und SO₂-Bodenkonzentration (obere Abb.)

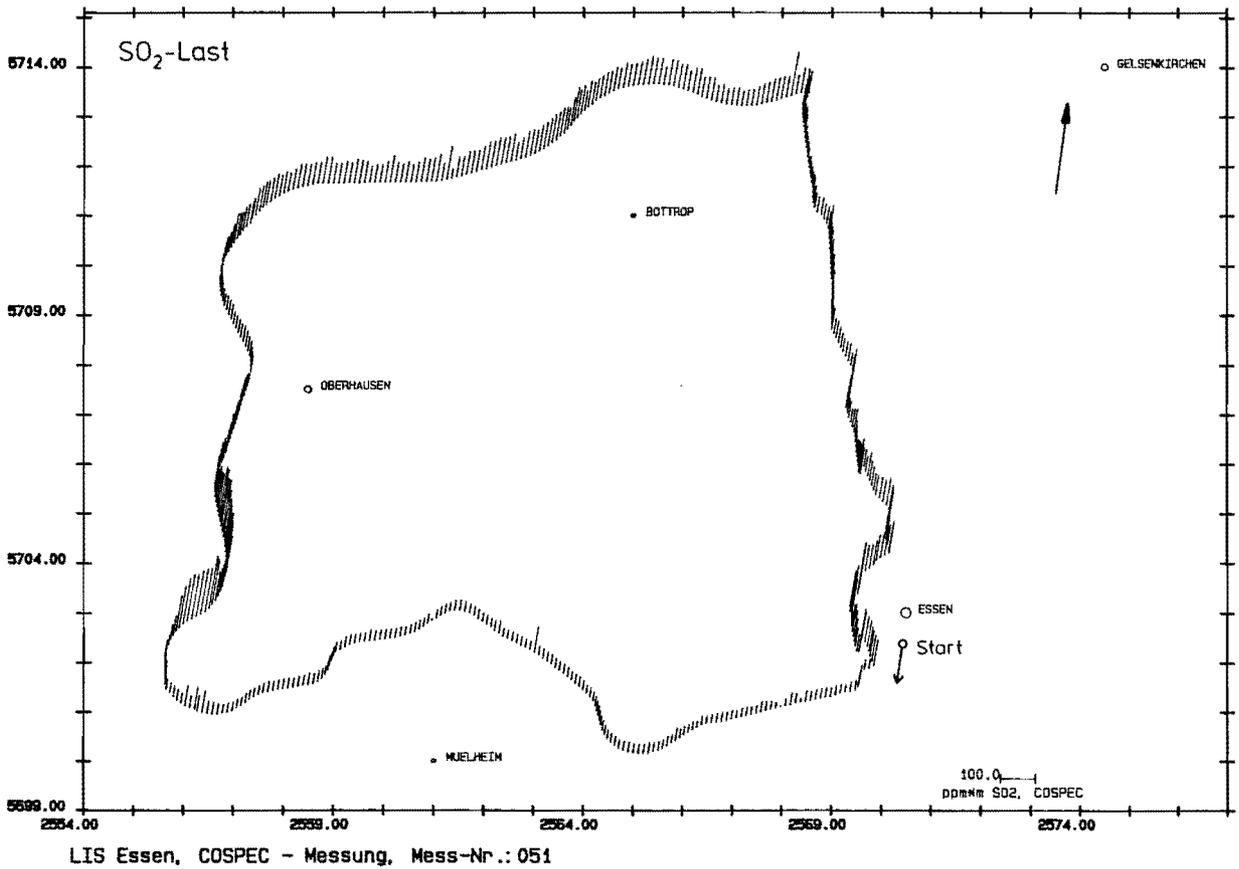
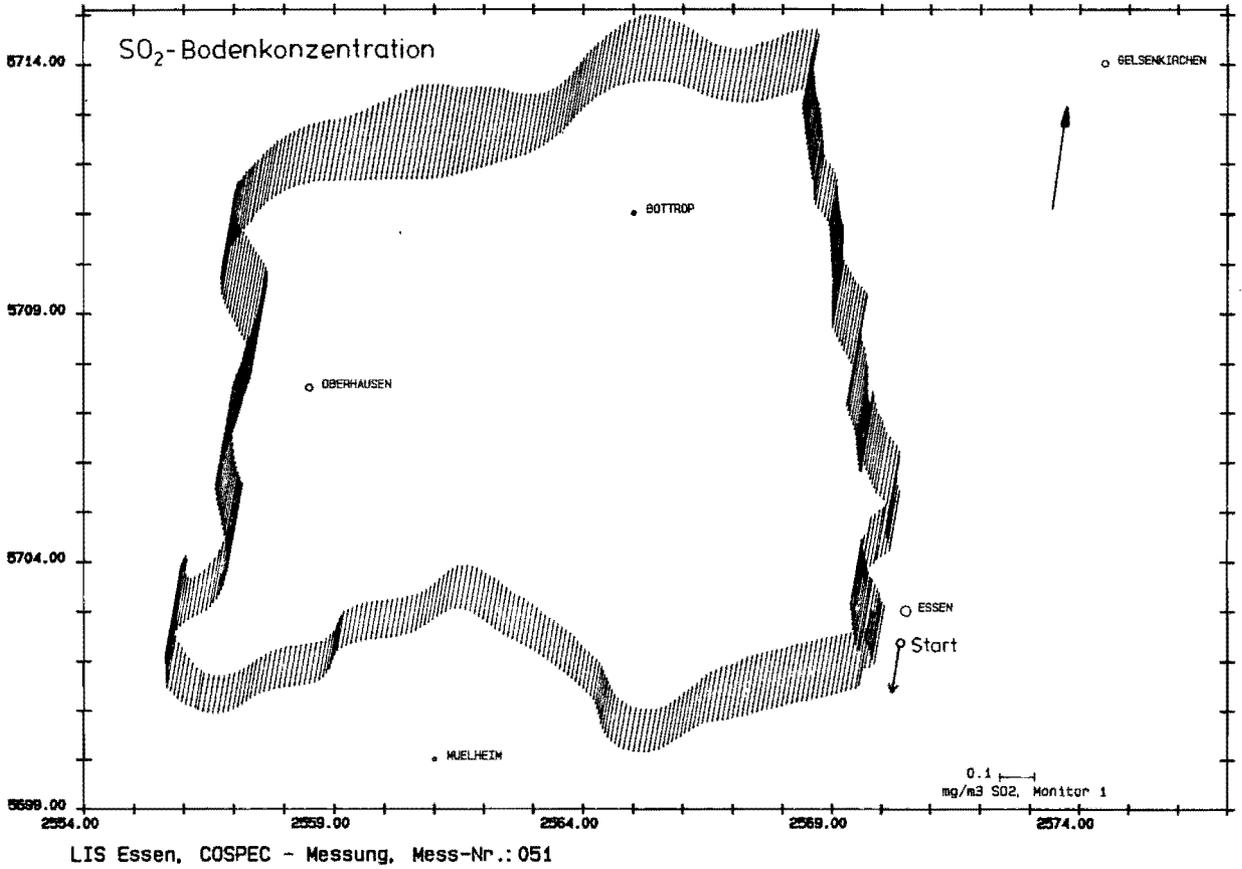
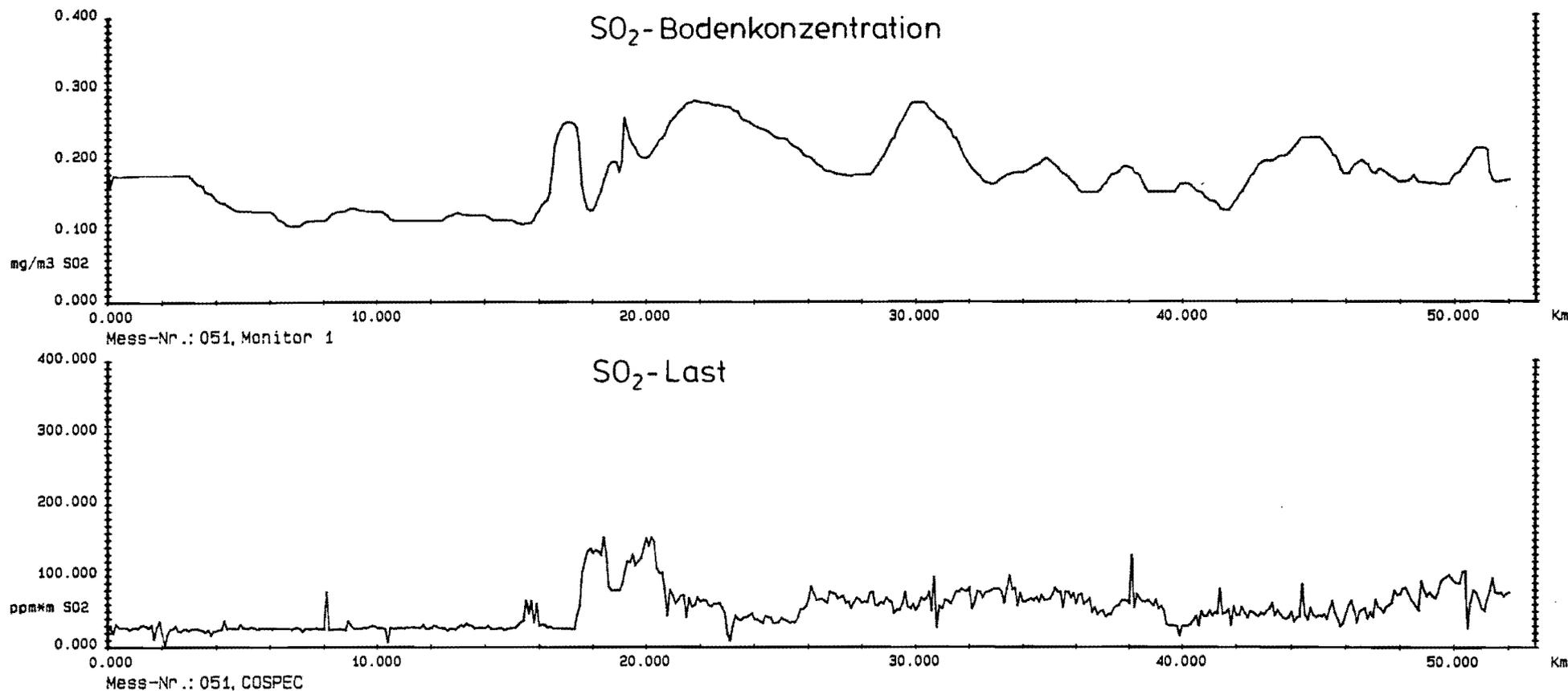


Abb. 9a: SO₂-Last in der Atmosphäre (untere Abb.) und SO₂-Bodenkonzentration (obere Abb.)



LIS Essen, COSPEC - Messung

Abb. 9b: SO₂-Last in der Atmosphäre (untere Abb.) und SO₂-Bodenkonzentration (obere Abb.)

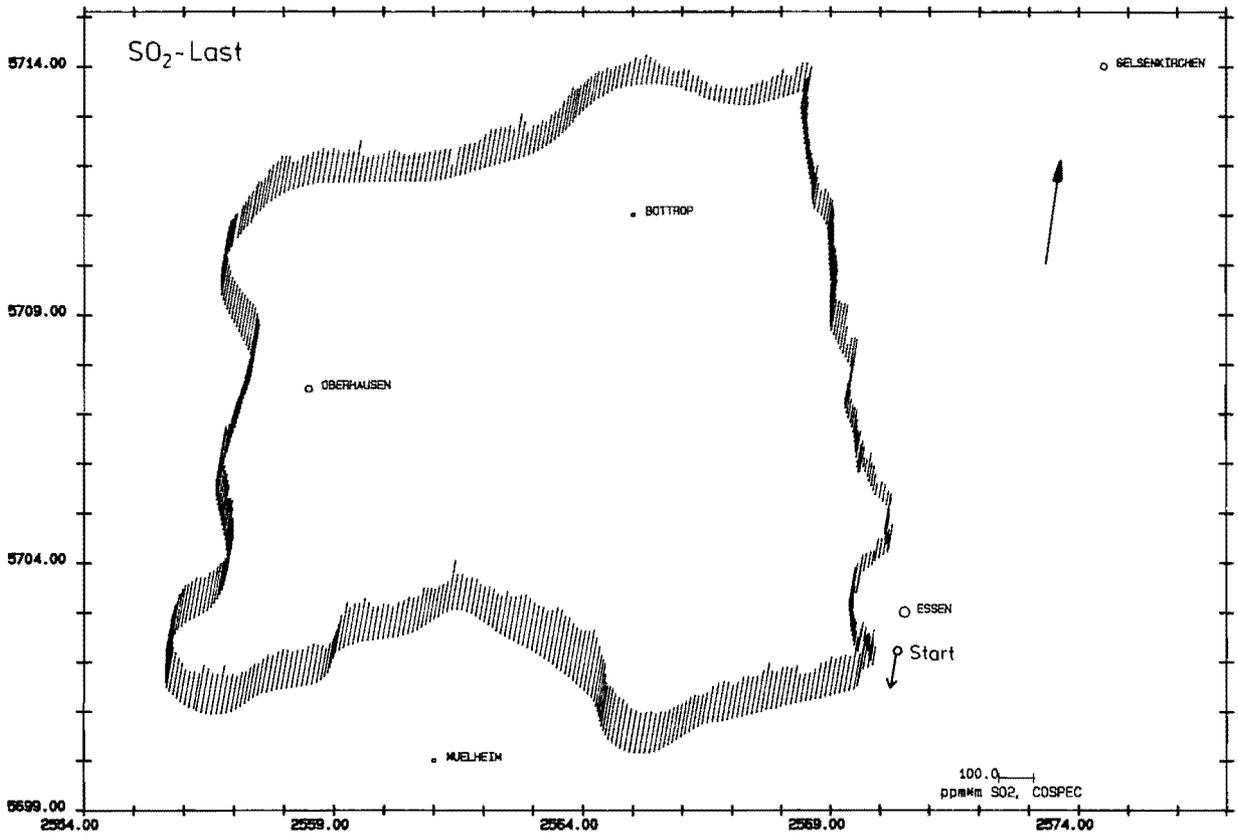
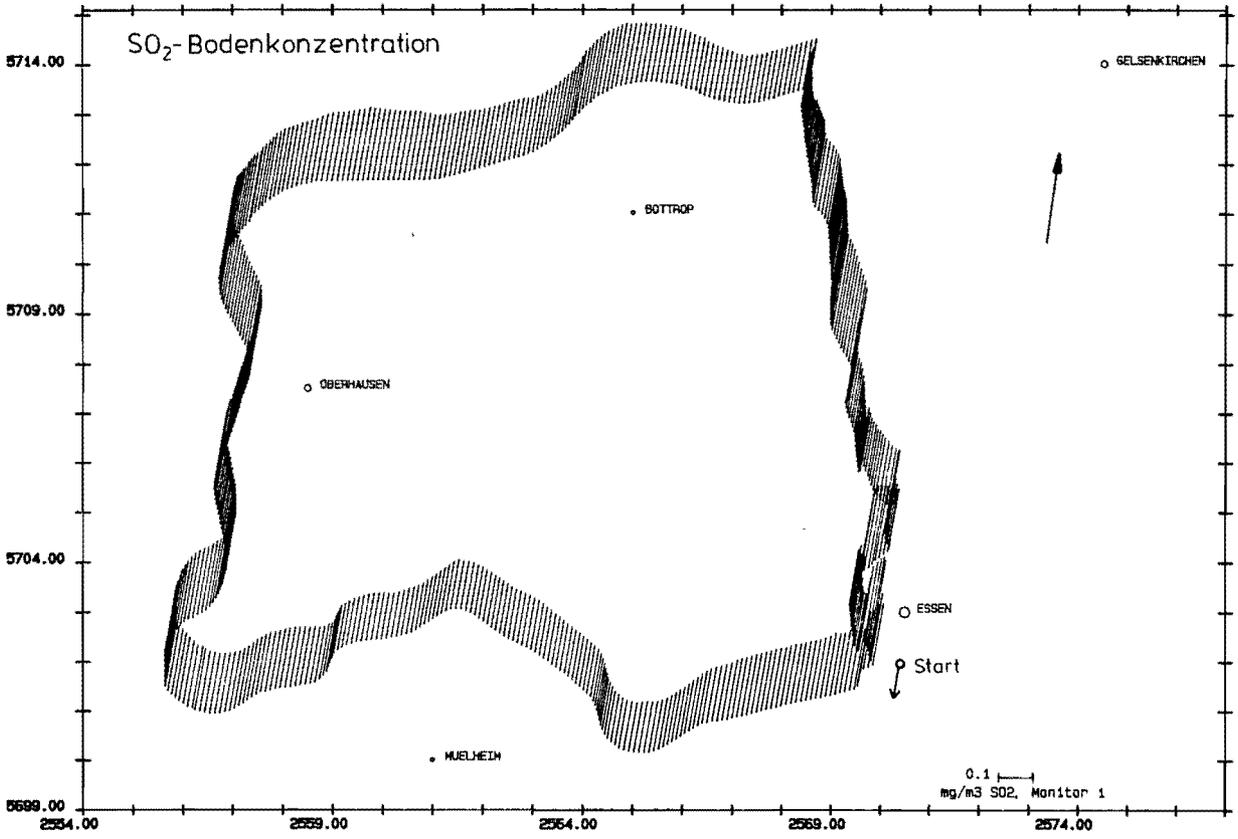
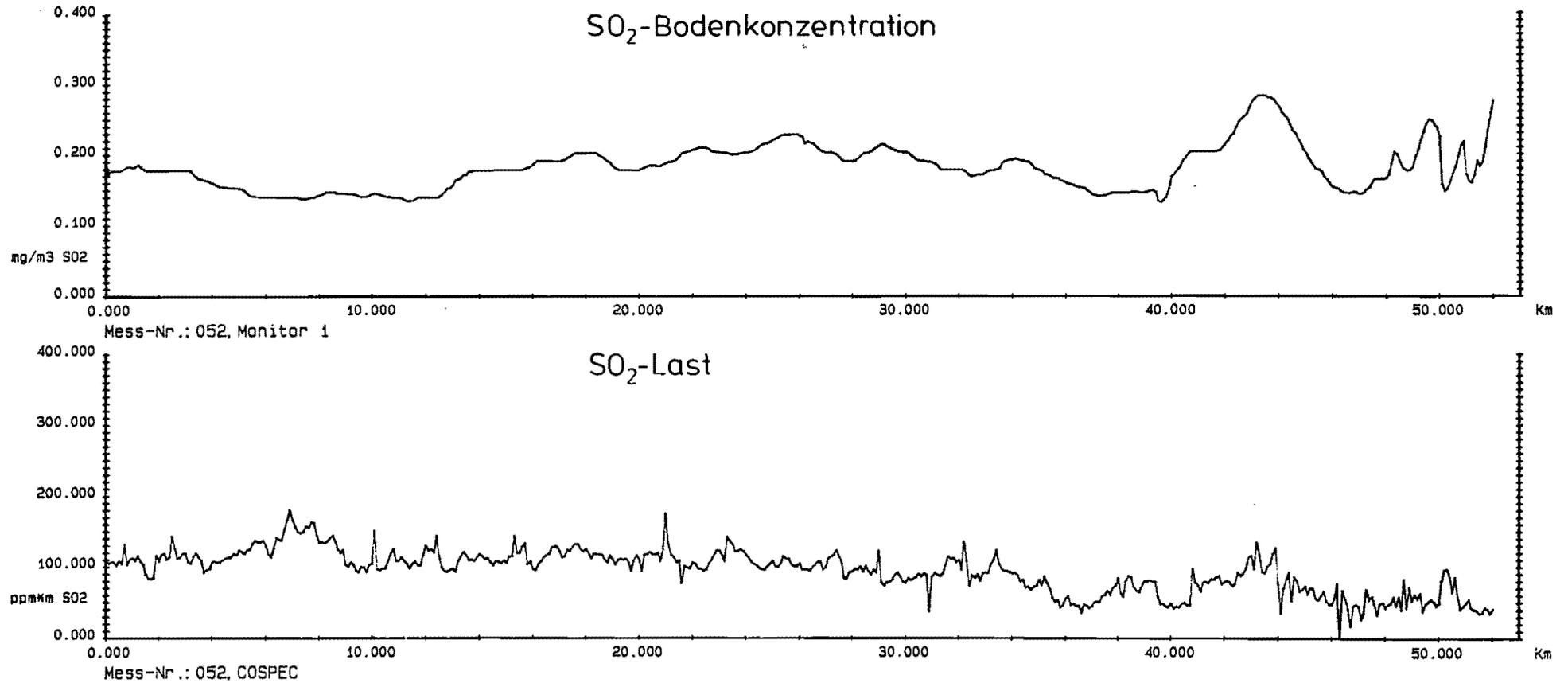


Abb. 10a: SO₂-Last in der Atmosphäre (untere Abb.) und SO₂-Bodenkonzentration (obere Abb.)



LIS Essen, COSPEC - Messung

Abb. 10b: SO₂-Last in der Atmosphäre (untere Abb.) und SO₂-Bodenkonzentration (obere Abb.)

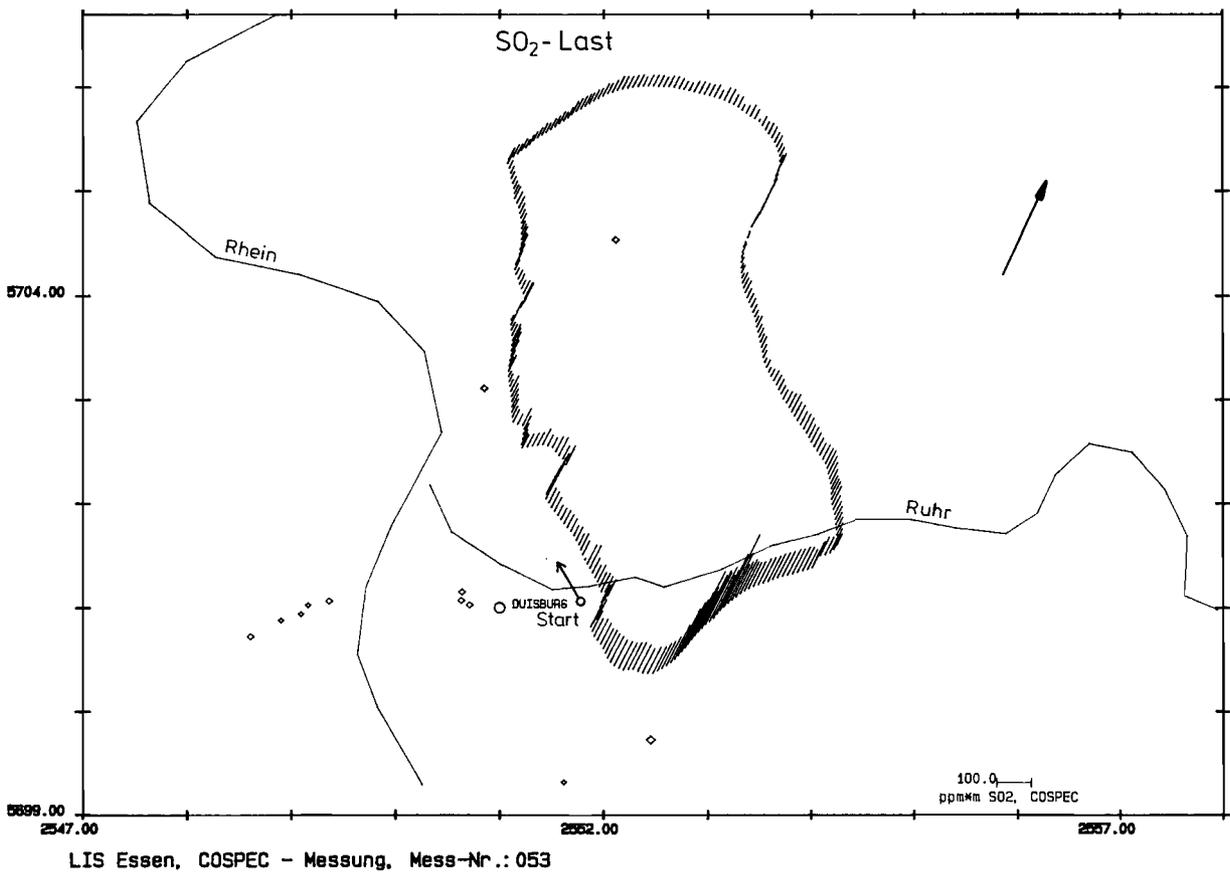
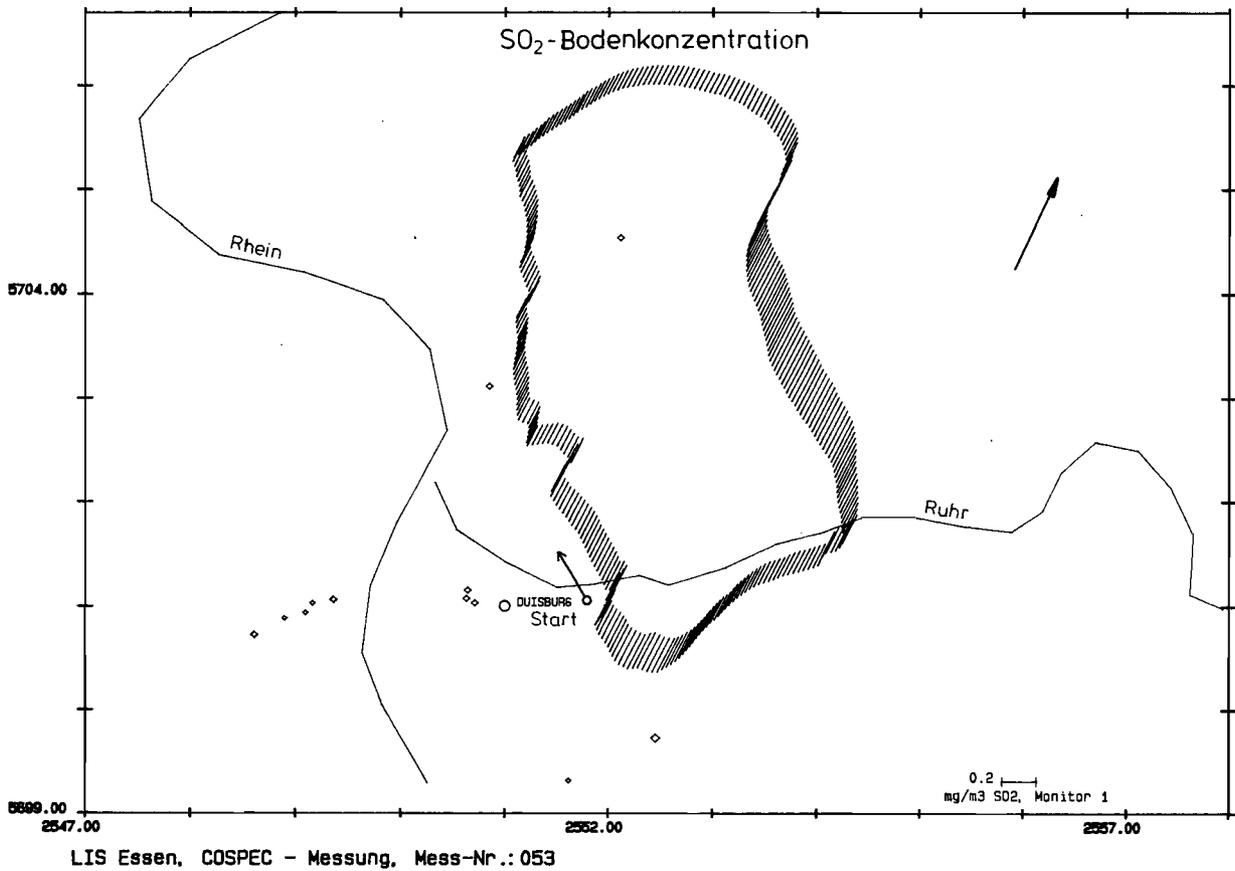
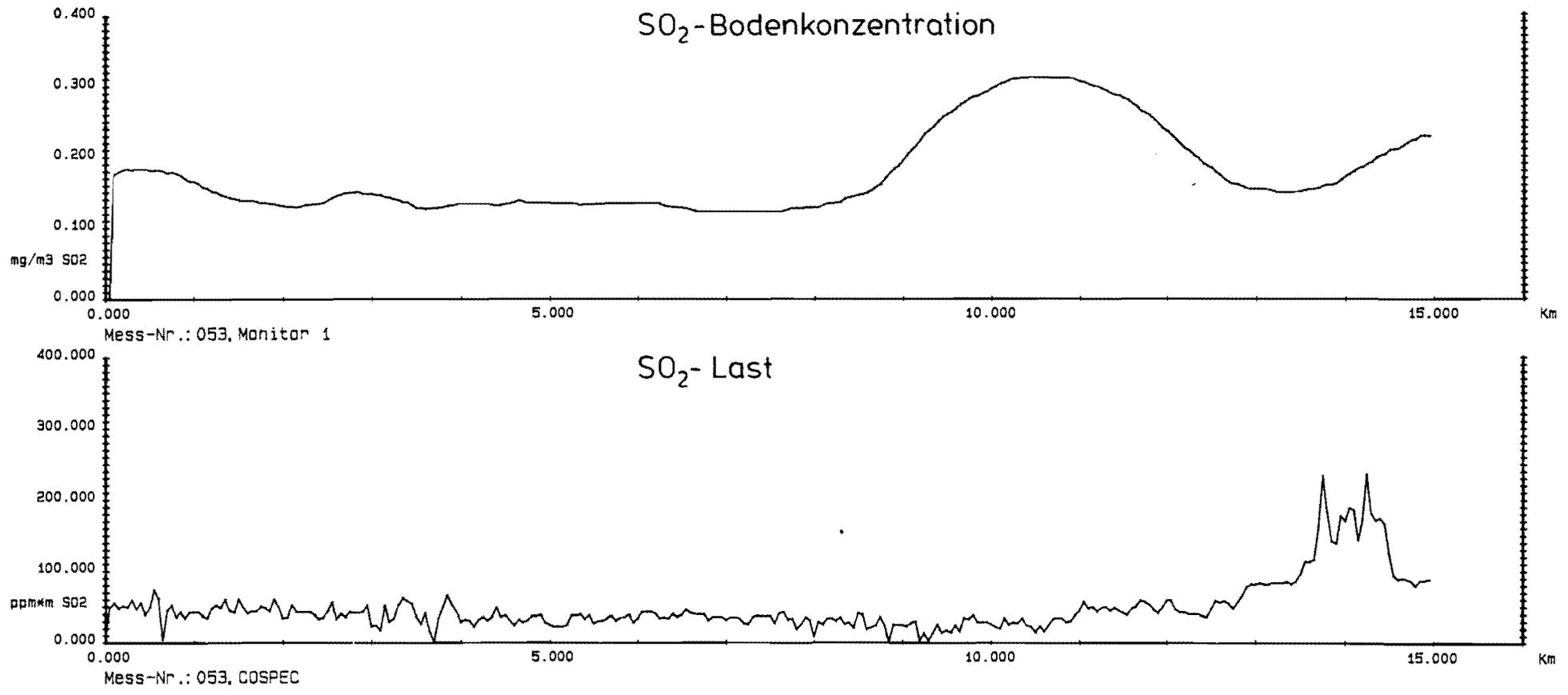


Abb. 11a: SO₂-Last in der Atmosphäre (untere Abb.) und SO₂-Bodenkonzentration (obere Abb.)

LIS-Berichte Nr. 58 (1986)
Landesamt für Umweltschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen
Wittener Straße 1



LIS Essen, COSPEC - Messung

Abb. 11b: SO₂-Last in der Atmosphäre (untere Abb.) und SO₂-Bodenkonzentration (obere Abb.)

Berichte der

LANDESANSTALT FÜR IMMISSIONSSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN, ESSEN

- LIS-Berichte -

Die LIS-Berichte haben spezielle Themen aus den wissenschaftlichen Untersuchungen der LIS zum Gegenstand. Die in der Regel umfangreichen Texte sind nur in begrenzter Auflage vorrätig. Einzelexemplare werden Interessenten auf Anforderung kostenlos zur Verfügung gestellt.

Anforderungen sind zu richten an die

Landesanstalt für Immissionsschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen
Wallneyer Str. 6
4300 E s s e n 1

- Berichte-Nr. 1: KRAUTSCHEID, S. und P. NEUTZ:
(vergriffen) LIDAR zur Fernüberwachung von Staubemissionen.
- Nachweis der Kalibrierfähigkeit eines LIDAR-Systems - (1978).
- Berichte-Nr. 2: BUCK, M.:
(vergriffen) Die Bedeutung unterschiedlicher Randbedingungen bei der Messung und Beurteilung der Luftqualität (1978).
- Berichte-Nr. 3: SCHEICH, G.:
(vergriffen) Entwicklung und Anwendung von Ausbreitungsmodellen und Luftüberwachungsprogramme in den USA (1979).
- Berichte-Nr. 4: SPLITTGERBER, H. und K.H. WIETLAKE:
(vergriffen) Ermittlung der Luftschalldämmung von Bauelementen für Industriebauten am Bau (1979).
- Berichte-Nr. 5: SPLITTGERBER, H.:
(vergriffen) Zur Problematik der Meßgrößen und Meßwerte bei Erschütterungsimmissionen (1979).
- Berichte-Nr. 6: STRAUCH, H. und K.H. GOLDBERG:
(vergriffen) Ermittlung der Dämmwirkung von Dachentlüftern für Werkshallen im Einbauzustand unter Berücksichtigung der baulichen Nebenwege (1979).
- Berichte-Nr. 7: KRAUSE, G.M.H., B. PRINZ UND K. ADAMEK:
(vergriffen) Untersuchungen zur Anwendbarkeit der Falschfarbenfotografie für die Aufdeckung und Dokumentation von Immissionswirkungen auf Pflanzen (1980).
- Berichte-Nr. 8: WIETLAKE, K.H.:
(vergriffen) Erschütterungsminderung durch "Direktabfederung" von Schabotte-Schmiedehämmern (1980).
- Berichte-Nr. 9: STRAUCH, H.:
(vergriffen) Methoden zur Aufstellung von Lärminderungsplänen (1980).
- Berichte-Nr. 10: HILLEN, R.:
(vergriffen) Untersuchung zur flächenbezogenen Geräuschbelastungs-Kennzeichnung
-Ziele, Methodik, Ergebnisse- (1980).
- Berichte-Nr. 11: MANN, H., H. GIES und W. STRAMPLAT:
(vergriffen) Erprobung des Staub-Immissionsmeßgerätes FH62I für die kontinuierliche Bestimmung der Schwebstoffkonzentration in Luft (1980).
- Berichte-Nr. 12: GIEBEL, J.:
(vergriffen) Verhalten und Eigenschaften atmosphärischer Sperrschichten (1981).
- Berichte-Nr. 13: BRÖKER, G., H. GLIWA und E. MEURISCH:
Abscheidegrade von biologisch- und chemisch-aktiven Aggregaten zur Desodorierung osmogener Abluft von Tierkörperbeseitigungsanlagen (1981).

- Berichte-Nr. 14: BRANDT, C.J.:
(vergriffen) Untersuchungen über Wirkungen von Fluorwasserstoff auf Lolium Multiflorum und andere Nutzpflanzen (1981).
- Berichte-Nr. 15: WELZEL, K. und H.D. WINKLER:
(vergriffen) Emission und interner Kreislauf von Thallium bei einem Drehrohrofen mit Schwebegaswärmeaustauscher zur Herstellung von Portlandzementklinker unter Einsatz von Purpurerz als Eisenträger. - 1. Bericht - (1981).
- Berichte-Nr. 16: PRINZ, B. und E. KOCH:
Umweltpolitik und technologische Entwicklung in der VR China (1984).
- Berichte-Nr. 17: BRÖKER, G. und H. GLIWA:
Untersuchungen zu den Dioxin-Emissionen aus den kommunalen Hausmüllverbrennungsanlagen in Nordrhein-Westfalen (1982).
- Berichte-Nr. 18: BUCK, M., H. IXFELD und K. ELLERMANN:
Die Entwicklung der Immissionsbelastung in den letzten 15 Jahren in der Rhein-Ruhr-Region (1982).
- Berichte-Nr. 19: PFEFFER, H.U.:
Das Telemetrische Echtzeit-Mehrkomponenten-Erfassungssystem TEMES zur Immissionsüberwachung in Nordrhein-Westfalen (1982).
- Berichte-Nr. 20: BACH, R.W.:
(vergriffen) Über Schätzfunktionen zur Bestimmung hoher Quantile der Grundgesamtheit luftverunreinigender Schadstoffkonzentrationen aus Stichproben (1982).
- Berichte-Nr. 21: STRAUCH, H.:
(vergriffen) Hinweise zur Anwendung flächenbezogener Schalleistungspegel (1982).
- Berichte-Nr. 22: SPLITTGERBER, H.:
(vergriffen) Verfahren zur Auswertung von Erschütterungsmessungen und zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen (1982).
- Berichte-Nr. 23: KRAUSE, G.M.H.:
(vergriffen) Immissionswirkungen auf Pflanzen - Forschungsschwerpunkte in den Vereinigten Staaten von Amerika. Bericht über eine Reise in die USA und die Teilnahme am 13. Air Pollution Workshop in Ithaca, N. Y., in der Zeit vom 02.05.-24.05.1981 (1982).
- Berichte-Nr. 24: KÜLSKE, S.:
(vergriffen) Analyse der Periode sehr hoher lokaler Schadstoffbelastungen im Ruhrgebiet vom 15.01.1982 bis 20.01.1982 (1982).
- Berichte-Nr. 25: VAN HAUT, H. und G.H.M. KRAUSE:
(vergriffen) Wirkungen von Fluorwasserstoff-Immissionen auf die Vegetation (1982).
- Berichte-Nr. 26: KOCH, E., V. THIELE, J. GIEBEL, H. STRAUCH und P. ALTENBECK:
Empfehlungen für die problemgerechte Erstellung von Immissionsschutzgutachten im Bauleitplanverfahren (1982).
- Berichte-Nr. 27: MANNS, H., H. GIES und G. NITZ:
(vergriffen) Verbesserung der Zuverlässigkeit und Vergleichbarkeit von Messungen zur Ermittlung aromatischer Kohlenwasserstoffe in der Außenluft (1982).
- Berichte-Nr. 28: PRINZ, B., G.M.H. KRAUSE und H. STRATMANN:
Vorläufiger Bericht der Landesanstalt für Immissionsschutz über Untersuchungen zur Aufklärung der Waldschäden in der Bundesrepublik Deutschland (1982).
- Berichte-Nr. 29: GIEBEL, J.:
(vergriffen) Untersuchungen über Zusammenhänge zwischen Sperrschichthöhen und Immissionsbelastung (1983).

- Berichte-Nr. 30: MANN, H. und H. GIES:
Ergebnisse der Laborprüfung und Optimierung des meßtechnischen Teiles der Ozon-
Meßplätze im Meßnetz LIMES-TEMES (1983).
- Berichte-Nr. 31: BEINE, H., R. SCHMIDT UND M. BUCK:
Ein Meßverfahren zur Bestimmung des Schwefelsäure- und Sulfatgehaltes in Luft
(1983).
- Berichte-Nr. 32: BEIER, R. und P. BRUCKMANN:
Messung und Analyse von Kohlenwasserstoff-Profilen im Rhein-Ruhrgebiet (1983).
- Berichte-Nr. 33: FRONZ, W.:
Ermittlung von Verkehrsgeräusch-Immissionen
- zum tageszeitlichen Verlauf des Geräuschpegels und des Verkehrsaufkommens an
Bundes- und Sammelstraßen (1983).
- Berichte-Nr. 34: BRÖKER, G.:
(vergriffen) Zusammenfassende Darstellung der Emissionssituation in Nordrhein-Westfalen und
der Bundesrepublik Deutschland für Stickstoffoxide (1983).
- Berichte-Nr. 35: PIORR, D. und R. HILLEN:
Veränderung akustischer Kenngrößen infolge der nächtlichen Abschaltung von
Lichtsignalanlagen (1983).
- Berichte-Nr. 36: BUCK, M., H. IXFELD und K. ELLERMANN:
Benzol-Immissionsmessungen im Lande Nordrhein-Westfalen (1983).
- Berichte-Nr. 37: BACH, R.-W. und H. STRATMANN:
(vergriffen) Untersuchungen zur Bestimmung der Aufnahmezeit des IRMA-Gerätes bei verschiedenen
Anströmverhältnissen (1983).
- Berichte-Nr. 38: WIETLAKE, K.H.:
Beurteilung und Minderung tieffrequenter Geräusche (1983).
- Berichte-Nr. 39: STRAUCH, H. und K. SCHWENGER:
Geräusche und Erschütterungen, verursacht durch elektrisch angetriebene
Wärmepumpen (1983).
- Berichte-Nr. 40: BRÖKER, G. und B. SCHILLING:
Schwermetallemissionen bei der Verbrennung kommunaler Klärschlämme (1983).
- Berichte-Nr. 41: HILLEN, R.:
(vergriffen) Über Möglichkeiten zur Verbesserung der Qualität von Schießgeräuschmessungen im
Immissionsbereich (1983).
- Berichte-Nr. 42: KLEIN, M.:
Untersuchung zur Schallausbreitung im Freien - Ziele, Physik der
Schallausbreitung, Vorgehensweise, Ergebnisse - (1983).
- Berichte-Nr. 43: PFEFFER, H.-U., S. KÜLSKE und R. BEIER:
(vergriffen) Jahresbericht 1981 über die Luftqualität an Rhein und Ruhr.
Ergebnisse aus dem telemetrischen Immissionsmeßnetz TEMES in Nordrhein-Westfalen.
(1984)
- Berichte-Nr. 44: BUCK, M., H. IXFELD und R. BEIER:
Immissionsbelastung durch Fluor-Verbindungen in der Nachbarschaft der
Aluminiumhütte LMG in Essen. (1984).
- Berichte-Nr. 45: STRAUCH, H. und R. HILLEN:
Geräuschimmissionen in Großstädten; Flächenbezogene Kennzeichnung dieser
Geräuschimmissionen (1984).
- Berichte-Nr. 46: BUCK, M. und P. BRUCKMANN:
Air quality surveillance in the Federal Republic of Germany (1984).

- Berichte-Nr. 47: BEIER, R.:
Kohlenwasserstoffbelastung in Ahlen - eine statistische Analyse -. (1984)
- Berichte-Nr. 48: SCHADE, H.:
Prognose der Schadstoffemissionen aus Verbrennungsanlagen im Belastungsgebiet
Rheinschiene-Süd für die Jahre 1985 und 1990. (1984)
- Berichte-Nr. 49: STRATMANN, H.:
Wirkungen von Luftverunreinigungen auf die Vegetation.
Bewertung der Luftanalyse auf der Grundlage weiterentwickelter Dosis-
Wirkungsbeziehungen für Schwefeldioxid und Ozon zur Ursachenaufklärung der
neuartigen Waldschäden. (1984)
- Berichte-Nr. 50: GOLDBERG, K.H.:
Untersuchungen zu Schießlärminderungen, dargestellt an Fallbeispielen. (1984)
- Berichte-Nr. 51: HERPERTZ, E., J. ASSMANN, D. KRANE, E. HARTMANN, B. STECK, E. BREWIG und J.
KROCHMANN:
Messen und Beurteilen von Lichtimmissionen (1984).
- Berichte-Nr. 52: Pfeffer, H.-U.:
Qualitätssicherung in automatischen Immissionsmeßnetzen.
Teil 3: Ringversuche der staatlichen Immissions- Meß- und Erhebungsstellen in der
Bundesrepublik Deutschland (STIMES).
Ergebnisse für die Komponenten SO₂, NO_x, O₃ und CO. (1984).
- Berichte-Nr. 53: BEIER, R.:
Zur Planung und Auswertung von Immissionsmessungen gemäß TA-Luft 1983. (1985).
- Berichte-Nr. 54: BRÖKER, G. und H. GLIWA:
Polychlorierte Dibenz-Dioxine und Furane in den Filterstäuben und Schlacken der
zwölf Hausmüllverbrennungsanlagen in Nordrhein-Westfalen sowie einiger
Sondermüllverbrennungsanlagen. (1985).
- Berichte-Nr. 55: KÜLSKE, S., J. GIEBEL, H.-U. PFEFFER und R. BEIER:
ANALYSE der Smoglage vom 16. bis 21. Januar 1985 im Rhein-Ruhr-Gebiet.
Teil 1: Text- und Bildband. (1985).
Teil 2: Meßergebnisse. (1985).
- Berichte-Nr. 56: SPLITTGERBER, H., M. KLEIN und P. NEUTZ:
Untersuchungen zur Ermittlung der Wahrnehmungsschwelle bei Einwirkung von
Erschütterungen auf den Menschen - Beschreibung der Versuchsanlage - (1985).
- Berichte-Nr. 57: PRINZ, B., J. HRADETSKY, H.-U. PFEFFER, H.W. ZÖTTL und H.-K. LICHTENTHALER:
Forschungsergebnisse zur Problematik der neuartigen Waldschäden. (1985).

Anmerkung:

Die LIS-Berichte - auch die vergriffenen - stehen Interessenten in zahlreichen Universitäts- und Hochschulbibliotheken zur Ausleihe bzw. Einsichtnahme zur Verfügung.