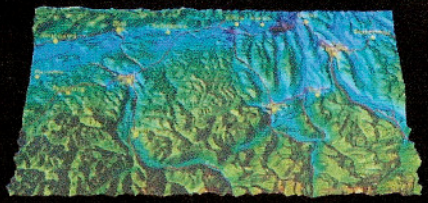
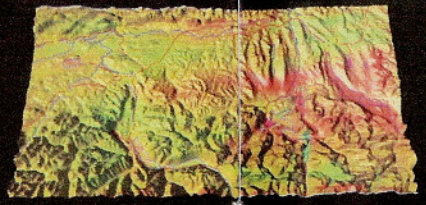
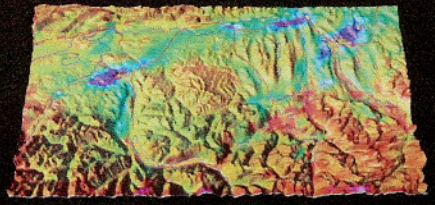


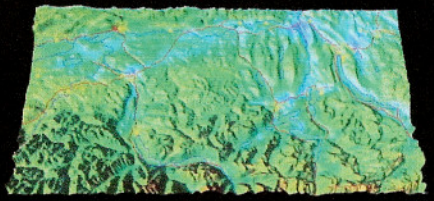
6.00 Uhr: Frühmorgens ist die Ozonkonzentration in den Voralpen mittelmässig. Mit dem Einsetzen des Verkehrs wird das bodennahe Ozon entlang den Hauptverkehrsachsen und in den dichtbesiedelten Agglomerationen durch die primären Schadstoffe, vor allem durch die Stickoxide, abgebaut.



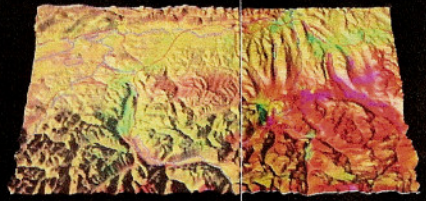
16.00 Uhr: Am Nachmittag bilden sich Ozonfahnen östlich der dicht besiedelten Agglomerationen Bern, Zürich sowie der Region um Biel und Solothurn.



21.00 Uhr: Nach Abnahme der Sonnenstrahlung hört die Ozonproduktion auf. Die primären Schadstoffe vermögen das Ozon in den dicht besiedelten Agglomerationen und entlang den Hauptverkehrsachsen zu verdrängen.

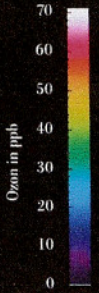


11.00 Uhr: Mit dem Einsetzen der Sonnenstrahlung wird der Boden erwärmt und die Luft vertikal durchmischt. Damit kommt auch Ozon wieder in Bodennähe, das als Überbleibsel des warmen Vortags über Nacht in den höheren Luftschichten verharrte. Ein weiträumiges Ansteigen der Ozonkonzentration im Mittelland ist die Folge.

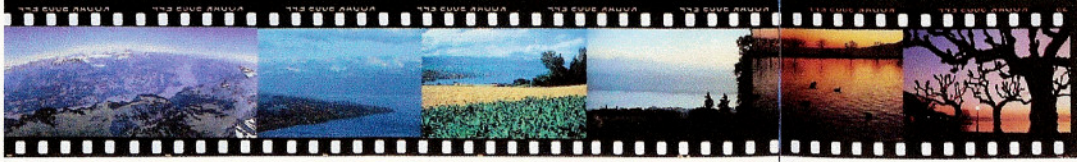


18.00 Uhr: Gegen Abend wird die Produktion von Ozon aus den Primärschadstoffen unter dem Einfluss der Sonnenstrahlung sichtbar durch Spitzenwerte in den Voralpentälern und über den Seen.

Smogentwicklung an einem Sommertag im Mittelland



Die Skala zeigt die Ozonwerte an – gemessen in ppb (parts per billion = Teile pro Milliarde). Hohe Ozonkonzentrationen werden auf den Bildern rot, niedrige violett dargestellt.



Mit Messungen und Modellen untersuchen Wissenschafter die Ausbreitung von Schadstoffen in der Luft. An der Universität Bern ist ein Modell entwickelt worden, das die Prozesse der Ozonakkumulation an warmen Sommertagen auf dem Computer simuliert und grafisch sichtbar macht.

Photos: Uni Bern / Eidgenössisches Baumuseum

SOMMERSMOG

Der Chemiker Christian Friedrich Schönbein entdeckte 1839 in Basel den «aktiven Sauerstoff». Dieser wurde Ozon (griechisch *οζων*: riechend) genannt wegen seines etwas stechenden Geruchs, den man oft zu Beginn eines Gewitters oder neben einem intensiv benutzten Laserdrucker wahrnimmt. Ozon unterscheidet sich vom gewöhnlichen «inaktiven Sauerstoff» durch seine energische oxydierende Wirkung. Diese ist auch dafür verantwortlich, dass Menschen und Tiere auf hohe Ozonkonzentrationen in der Luft mit Halsweh und angegriffenen Schleimhäuten reagieren. Die Senkung dieser Luftbelastung ist deshalb erklärtes Ziel der schweizerischen Umweltpolitik.

Ozon entsteht einerseits durch funkenlosen Austausch starker elektrischer Spannungen (z.B. Gewitter) und andererseits durch komplexe Reaktionen aus «Vorläuferstoffen», vor allem Stickoxiden und flüchtigen organischen Verbindungen. Diese primären Schadstoffe entstehen durch Emissionen des Verkehrs, der Industrie, der Haushalte und der Landwirtschaft. Der sekundäre Schadstoff Ozon entsteht mit Hilfe von Sonneneinstrahlung aus den primären Schadstoffen, kann aber durch Reaktion mit Stickoxiden wieder abgebaut werden.

Da die hohen Ozonkonzentrationen nicht die einfache Folge von wenigen, klar identifizierbaren Faktoren sind, hat es sich als schwierig erwiesen, griffige politische Massnahmen zur Ozonreduktion zu formulieren. Die Umweltpolitik ist daher auf die Umweltwissenschaft angewiesen. Diese untersucht die komplexen Kausalzusammenhänge und prüft vorgeschlagene Massnahmen auf ihre Wirksamkeit hin.

Im Rahmen des Forschungsprogramms POLLUMET («Luftverschmutzung und Meteorologie in der Schweiz»), an dem Wissenschafter der kantonalen und eidgenössischen Universitäten sowie des PSI beteiligt sind, wurden einerseits intensive Messkampagnen durchgeführt, andererseits werden die komplexen Verhältnisse der Bildung, Verfrachtung, Umwandlung und Ablagerung von Luftschadstoffen auf dem Computer modelliert.

Modellbildung

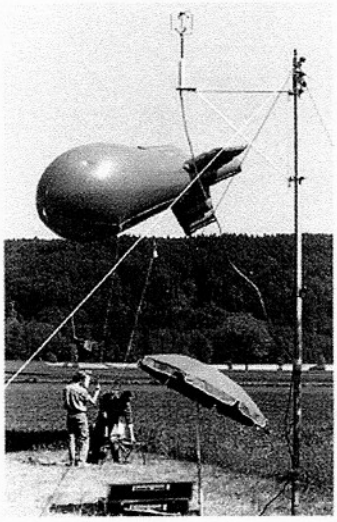
Um den Sommersmog über der komplexen Topologie des Schweizer Mittellandes auf dem Computer zu modellieren, legt Silvan Perego vom Geographischen Institut der Universität Bern im Rahmen seiner Doktorarbeit den Anfangszustand von Wind, Temperatur, Sonneneinstrahlung und vielen Schadstoffen in einem räumlichen Gitter fest. Für die Ablaufregeln benutzt er Daten über die Schadstofferzeugung, über die Reaktionen der Schadstoffe untereinander sowie mit Luft und Wasser. Weiter berücksichtigt er den Einfluss der Sonneneinstrahlung auf diese Reaktionen. Ausserdem modelliert er Verfrachtungen und Vermischungen in der Luft und Ablagerungen wie auch die Absorption durch Wälder und Böden.

Silvan Peregos dreidimensionales Modellgitter besteht aus 85 x 45 x 26 Punkten. Der horizontale Abstand zwischen zwei Gitterpunkten beträgt zwei Kilometer, der vertikale 100 Meter. Alle wichtigen Veränderungen der meteorologischen Umstände und der Schadstoffentwicklung (Emissionen, Verfrachtungen, Reaktionen, Depositionen) werden mit einer variablen Schrittweite von 5 bis 40 Sekunden in diesem Gitter berechnet.

Mit Hilfe der Datenvisualisierungssoftware «IBM Visualization Data Explorer» werden die Resultate auf dem Grafikbildschirm des RISC System/6000 Rechners dargestellt. Solche Grafiken, welche die Ozonkonzentrationen in Bodennähe an einem Sommertag im Mittelland darstellen, zeigen die voranstehenden Bilder.

Resultate

Auf den ersten Blick könnte man aus den Grafiken schliessen, dass besonders in den dicht besiedelten Agglomerationen wie Zürich kein Ozonproblem vorliegt, da die Ozonkonzentrationen dort ja offensichtlich viel tiefer sind als im umgebenden Mittelland. In Wirklichkeit hat nur die Intensität des primären Übels das sekundäre Übel etwas zurückgedrängt. Wenn also in der Region Zürich die Emission der Stickoxide etwas gesenkt würde, wäre zuerst ein Ansteigen der Ozonkonzentrationen auf das im Mittelland typische Niveau zu erwarten, während auf dem Bachtel vielleicht eine Reduktion der Spitzen beobachtet würde. Erst eine massive Reduktion der Emissionen der Stickoxide in den dicht besiedelten Agglomerationen der Schweiz und in den umliegenden Ballungsgebieten – für das Mittelland spielen vor allem Einflüsse aus Südwesten und Nordosten eine Rolle – hätte eine spürbare Reduktion dieser weiträumigen Ozonbelastung zur Folge. Ohne einschneidende Einschränkungen im Verkehr ist dies nicht denkbar.



Die Ozonkonzentration wird mit Hilfe des heliumgefüllten Ballons in Höhen bis zu 1000 m gemessen.

Das Modell von Silvan Perego zeigt vor allem am Boden eine gute Übereinstimmung mit tatsächlich gemessenen Werten des Forschungsprogramms POLLUMET. Da es anhand dieser Daten entwickelt wurde, bedarf es sicher der weiteren Überprüfung, bevor sichere Schlussfolgerungen aus den Modellrechnungen gezogen werden dürfen. Als Grundlage für die Massnahmenformulierung der Umweltpolitik dürfte die Aussagekraft solcher Modelle aber hinreichend genau sein. Wenn wir die Massnahmen kennen, die zu einer Ozonreduktion führen, sollten wir gleichzeitig daran denken, dass die Luft durch Messen allein nicht besser wird.

Hartwig Thomas