



Das interkantonale Luftmessnetz

# Die Luftqualität in der Zentralschweiz

## Jahresbericht 1999



---

**Umweltschutzdirektionen**

# I. INHALTSVERZEICHNIS

<b>I. Inhaltsverzeichnis</b>	<b>2</b>
<b>II. Vorwort</b>	<b>4</b>
<b>III. Zusammenfassung</b>	<b>5</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>8</b>
<b>2. Das interkantonale Luftmessnetz</b>	<b>9</b>
2.1 Immissionskategorien	9
2.2 Messstationen	10
2.3 Datenverwaltung und -auswertung	12
<b>3. Meteorologie</b>	<b>14</b>
3.1 Einleitung	14
3.2 Witterung und Luftbelastung 1999	14
<b>4. Luftbelastung</b>	<b>18</b>
4.1 Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> )	18
4.2 Feinstaub (PM10)	28
4.3 Ozon (O <sub>3</sub> )	36
4.4 Weitere Messungen	52
<b>5. Ein Jahr Erfahrung mit „in-LUFT“</b>	<b>58</b>
5.1 Bewährung der Immissionskategorien	58
5.2 Qualitätssicherung, Erfahrungen mit Hardware, Software, Unterhalt	61
5.3 Kommunikation der Messresultate	64
5.4 Vorgesehene Veränderungen für „in-LUFT“	65
<b>6. Weitergehende Auswertungen</b>	<b>67</b>
6.1 Die NO <sub>2</sub> -Belastung in Abhängigkeit zur Höhe über Meer	67
6.2 Die Luftbelastung in der grösseren Umgebung einer Fixstation untersucht am Beispiel Altdorf	69

---

6.3 Korrelationen der Messwerte von zwei Fixstationen im unteren Reusstal	70
6.4 Der Einfluss bodennaher Temperaturinversionen auf die Luftbelastungen	72
<b>7. Fazit und Ausblick</b>	<b>77</b>
<b>Datenbestellung</b>	<b>79</b>
<b>Links im Internet</b>	<b>79</b>
<b>Literatur</b>	<b>79</b>
<b>Anhang 1: LRV-Grenzwerte</b>	<b>80</b>
<b>Anhang 2: Beschreibung und Ausrüstung der Messstationen</b>	<b>81</b>
<b>Anhang 3: Messresultate 1999</b>	<b>87</b>
Anhang 3.1: Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> )	88
Anhang 3.2: Ozon (O <sub>3</sub> )	93
Anhang 3.3: Feinstaub (PM10)	94
Anhang 3.4: Auswertung der Luftmessungen gemäss den Vorgaben des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL)	95

**Impressum:**

Herausgeberin: Zentralschweizer Umweltschutzdirektionen

Projektleitung: Dr. Franz Akermann, Amt für Umweltschutz des Kantons Uri

Redaktion: Dr. Christian Vonarburg, Wanner AG, Goldau; Dr. Franz Akermann, Amt für Umweltschutz des Kantons Uri, Altdorf

Datenmaterial und Beiträge: Luftreinhaltefachstellen der Kantone Luzern, Nidwalden, Obwalden, Schwyz, Uri und Zug; „in-LUFT“; Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern

Rasterkarten: Meteotest, Bern; GIS-Koordinationsstelle Kanton Luzern

## II. VORWORT

Zum ersten Mal dürfen wir Ihnen die Zentralschweizer Luftmesssdaten in der vorliegenden Form präsentieren. Der Bericht gibt detailliert Auskunft über die Luftbelastung in der Zentralschweiz und richtet sich an ein Fachpublikum. Die breite Öffentlichkeit wird zusätzlich mit einem ansprechenden Flyer informiert.

Die neue Form der Berichterstattung erfolgt im Rahmen der langjährigen Zusammenarbeit der Zentralschweizer Kantone im Bereich der Luftreinhaltung. Eine Zusammenarbeit die unverzichtbar ist, um die oft grossräumig verursachte Luftbelastung zu vermindern und die Luft- und Lebensqualität in unserer Umgebung weiter zu verbessern.

Zentralschweizer Umweltschutzdirektionen

Der Präsident

Richard Camenzind, Landammann Kanton Schwyz

### III. ZUSAMMENFASSUNG

In der Zentralschweiz wird die Luftqualität anhand von Leitstoffen beobachtet und aufgrund der Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalteverordnung beurteilt. Seit 1999 wird die Luftbelastung in der Zentralschweiz im Rahmen von „in-LUFT“, dem gemeinsamen Messnetz der sechs Zentralschweizer Kantone erfasst. Die Messungen erfolgen an acht repräsentativen Standorten mit kontinuierlich arbeitenden Messstationen sowie an weiteren Standorten mittels Passivsammlern. Zusätzlich wird die Belastung mit Modellrechnungen abgeschätzt. Diese stützen sich auf die punktuellen Messungen ab. Die Messstandorte werden gemäss ihrer Verkehrsbelastung und ihrer Besiedlungsdichte klassifiziert. Es werden 8 Immissionskategorien unterschieden.

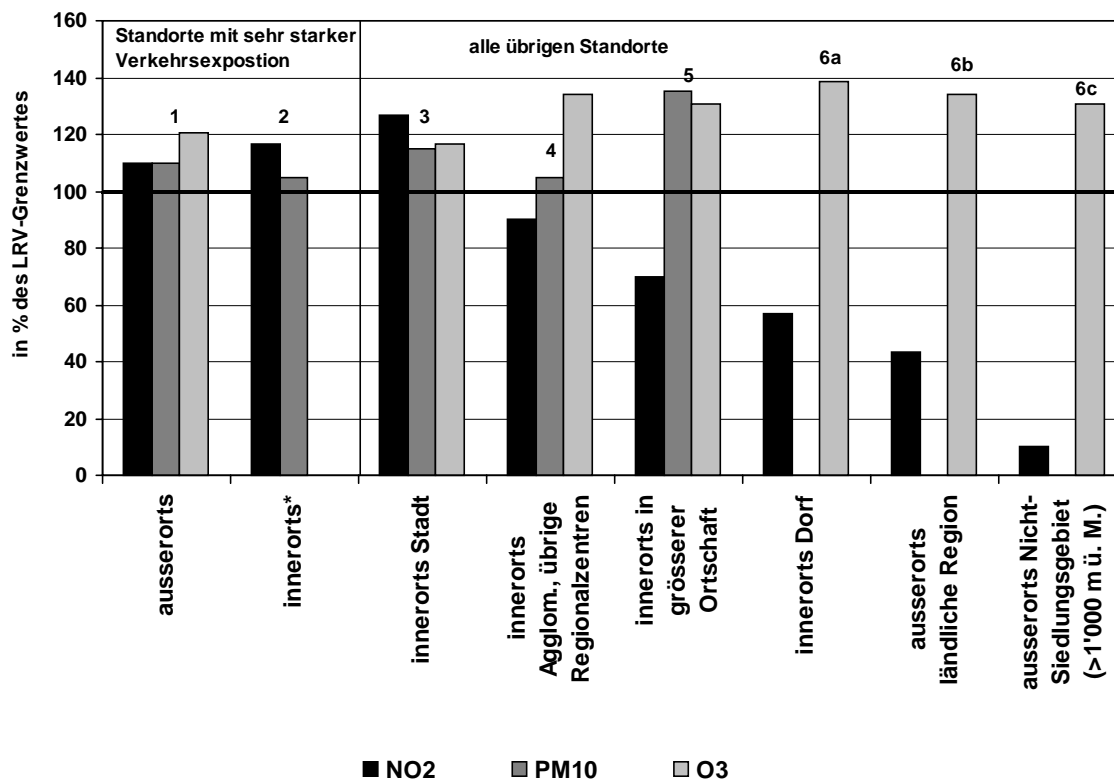
Die Konzentrationen von Schwefeldioxid und Kohlenmonoxid lagen, wie schon in den Vorjahren, in der ganzen Zentralschweiz klar unter den Grenzwerten der Luftreinhalteverordnung (LRV). Infolge der getroffenen Massnahmen ist der Ausstoss dieser Schadstoffe in den frühen neunziger Jahren deutlich zurückgegangen und stagniert heute auf tiefem Niveau.

Die Konzentrationen von Stickstoffdioxid liegen im Jahresmittel an Standorten mit starker Verkehrsexposition und Wohnzonen in Städten mit mehr als 50'000 Einwohnern teilweise über dem Grenzwert der LRV. An diesen Standorten wird auch der Tagesmittel-Grenzwert der LRV überschritten. Im Vergleich zu den Vorjahren ist keine Änderung zu verzeichnen.

Zum ersten Mal liegen für die Zentralschweiz Messungen von Feinstaub (PM10) für die verschiedenen Immissionskategorien vor. Am Standort innerorts Stadt und innerorts in grösserer Ortschaft wurde der Jahresmittelgrenzwert der LRV überschritten. Die Messwerte der übrigen Stationen lagen alle im Bereich des Grenzwertes der LRV. Der Kurzzeitgrenzwert wurde an verkehrsexponierten Standorten sowie an allen Messorten in Städten und Ortschaften überschritten.

Die Grenzwerte für Ozon wurden 1999 in der ganzen Zentralschweiz überschritten. Der Stundenmittelgrenzwert für Ozon wurde an verkehrsexponierten Standorten 85 mal, an den übrigen Standorten zwischen 33 und 448 mal überschritten. 1999 wurden im Vergleich zum Vorjahr deutlich weniger Überschreitungen des Stundenmittelgrenzwertes für Ozon verzeichnet. Ein Grund dafür sind die für die Ozonbildung ungünstigen meteorologischen Beding-

ungen gewesen. Die langjährigen Messreihen zeigen keinen eindeutigen Trend in Richtung tiefere Ozonwerte.



**Abb. 1: Zentralschweizer Luftschadstoffwerte 1999 im Vergleich mit den Grenzwerten der Luftreinhalteverordnung<sup>1</sup>** (Werte in Prozent der Jahresmittelgrenzwerte. Ozon: Werte in Prozent des Stundenmittelgrenzwertes. \* = unvollständige Messreihe)

Im Rahmen von weiteren Auswertungen der umfangreichen Messdaten wird im vorliegenden Bericht dargestellt, wie die NO<sub>2</sub>-Belastung mit zunehmender Höhe geringer wird. Als atypisch hoch erweist sich dabei die NO<sub>2</sub>-Belastung gewisser Kurorte mit einem erheblichen tourismusbedingten Strassenverkehr. Weitere Untersuchungen betrafen die Übertragbarkeit von Resultaten auf die nähere und weitere Umgebung sowie die Analyse der Schadstoffbelastung während winterlichen Perioden mit Temperaturinversionen.

<sup>1</sup> Standort Innerorts (2): Aufgrund von fehlenden Messungen in den mehrbelasteten Wintermonaten Januar - März wurden für diese Immissionskategorie die Jahresmittel von PM10 und NO<sub>2</sub> aufgrund der Werte von benachbarten Messtandorten hochgerechnet.

Die übermässige Luftbelastung hat negative Auswirkungen auf unseren Lebensraum. Sie kann die Gesundheit der Menschen gefährden, führt zu Ernteeinbussen in Landwirtschaft und wirkt sich negativ auf die Stabilität der Ökosysteme aus. Die Zentralschweizer Kantone erarbeiteten dazu im vergangenen Jahr einen gemeinsamen Massnahmenplan Luftreinhaltung. Die vorgesehenen Massnahmen sollen in Ergänzung zu Bundes- und internationalen Massnahmen die Emissionen der relevanten Schadstoffe in der Zentralschweiz massgeblich senken.

## 1. EINLEITUNG

Die Innerschweizer Umweltschutz-Direktorenkonferenz<sup>2</sup> (IUDK) hat im März 1998 entschieden, analog zu den bisherigen gemeinsamen Aktivitäten auf dem Gebiet der Kommunikation und Öffentlichkeitsarbeit ("Die Luft.") auch die Messtätigkeit gemäss der Eidgenössischen Luftreinhalteverordnung (LRV) gemeinsam auszuführen. Die Aktivitäten zur Überwachung der Luftqualität sollen im Rahmen eines gemeinsamen Luftmessnetzes Zentralschweiz („in-LUFT“) erfolgen.

Hauptaufgabe von „in-LUFT“ ist die Überwachung der Luftqualität in der Zentralschweiz. Dazu wird ein gemeinsames Messnetz erstellt und betrieben. Diese Aktivität leitet sich primär aus dem Überwachungsauftrag nach Art. 27 LRV (zum Stand und der Entwicklung von Luftverunreinigungen mit Erhebungen, Messungen, Ausbreitungsrechnungen) ab. Neben der Betreuung des technischen Messnetzes gehört auch die Speicherung, Auswertung und Interpretation der Messdaten sowie die Erfüllung gewisser Informationsaufgaben dazu. Das Führen eines gemeinsamen Messnetzes soll die Effizienz im Sinne einer Leistungsverbesserung bei gleichzeitigen Kosteneinsparungen steigern (Synergien nutzen). Die Organisation „in-LUFT“ wird finanziell und personell von den Kantonen Luzern, Nidwalden, Obwalden, Schwyz, Uri und Zug getragen.

Im Sinne der Informationspflicht nach Art. 6 des Umweltschutzgesetzes (USG) wird über die Luftqualität in der Zentralschweiz und zur zeitlichen Entwicklung informiert. Dies geschieht mit dem Jahresbericht, der sich an Fachleute wendet, dem daraus abgeleiteten Faltblatt und der ereignisorientierten Berichterstattung. Mit den beiden letztgenannten Informationsgefässen wird die Bevölkerung angesprochen.

Der vorliegende Jahresbericht gibt wie bisher – wegen den neuen Immissionskategorien in differenzierterer Form – Auskunft über die Luftbelastung im vergangenen Jahr und die zugehörigen Trends. Im weiteren gibt er Auskünfte zum Messnetz, über Erfahrungen mit der Immissionskategorisierung und zu Fragen der Qualitätssicherung. Überdies wird über Ansätze für eine verbesserte Nutzung des Informationsgehaltes der Messdaten berichtet.

---

<sup>2</sup> Heute: Zentralschweizer Umweltschutzdirektorenkonferenz (ZUDK)



## 2. DAS INTERKANTONALE LUFTMESSNETZ

### 2.1 Immissionskategorien

Weil die bisher verwendeten Immissionskategorien (Stadtzentrum, Agglomeration, Land) zu grob und zu wenig eindeutig waren, wurden sie modifiziert. Die Organisation „in-LUFT“ hat dafür neue Immissionskategorien festgelegt. Diese werden gemäss ihrer Verkehrsbelastung und ihrer Besiedlungsdichte klassifiziert. Wichtige Vorteile der neuen Kategorien sind, dass sie quantitativ fassbar werden und dass sie auf der Landeskarte eindeutig darstellbar sind, was die Kommunikation erleichtert. Im übrigen berücksichtigt die grössere Zahl von Kategorien (8 statt 3) die Vielfalt der räumlichen Immissionsstrukturen besser. Eine Diskussion der neuen Immissionskategorien ist in Kapitel 5 zu finden.

**Tab. 1: Standortcharakteristiken der Immissionskategorien**

Verkehrsexposition	Nr.	Merkmal Besiedlung	Lage zu Strasse, Verkehrsstärke	Grösse der Ortschaft
Standorte mit sehr starker Verkehrsexposition	1	ausserorts	Standort liegt näher als 300 m an einer sehr stark befahrenen ausserorts-Strasse mit mehr als 15'000 Fzg/Tag	(ausserorts)
	2	innerorts	Standort liegt näher als 50 m an einer stark befahrenen innerorts-Strasse mit mehr als 5'000 Fzg/Tag	unabhängig von Grösse
alle übrigen Standorte	3	innerorts Stadt	Strassen mit mehr als 5'000 Fzg/Tag sind mehr als 50 m vom Standort entfernt	> 50'000 Einwohner
	4	innerorts Agglom., übrige Regionalzentren	Strassen mit mehr als 5'000 Fzg/Tag sind mehr als 50 m vom Standort entfernt	10'000 - 50'000 Einwohner
	5	innerorts in grösserer Ortschaft	Strassen mit mehr als 5'000 Fzg/Tag sind mehr als 50 m vom Standort entfernt	5'000 - 10'000 Einwohner
	6a	innerorts Dorf	Strassen mit mehr als 5'000 Fzg/Tag sind mehr als 50 m vom Standort entfernt	500 - 5'000 Einwohner
	6b	ausserorts ländliche Region	Strassen mit mehr als 15'000 Fzg/Tag sind mehr als 300 m vom Standort entfernt	(ausserorts)
	6c	ausserorts Nicht-Siedlungsgebiet (>1'000 m ü. M.)	Strassen mit mehr als 15'000 Fzg/Tag sind mehr als 300 m vom Standort entfernt	(ausserorts)

## 2.2 Messstationen

Das Gebiet der Zentralschweiz wurde in acht Immissionskategorien aufgeteilt. Jeder Immissionskategorie wurde eine Messstation zugeordnet. Im Vergleich zur bisherigen Messtätigkeit stellt das gemeinsame Messnetz eine Systematisierung und damit eine Optimierung dar. Wesentliche Änderungen sind: Die Zahl der Stationen mit kontinuierlichen Messungen wurde von 7 voll ausgerüsteten und 2 Ozonstationen auf 5 voll ausgerüstete und 3 Ozonstationen reduziert (dabei verringert sich die Zahl der im Einsatz stehenden Geräte für kontinuierliche Messungen von 34 auf 29). Neu ist eine zentrale Datenverwaltung zur Speicherung und Auswertung der Messdaten. Ergänzend zu den Messstationen werden mit Passivsammlern die NO<sub>2</sub>-Konzentrationen an 139 Standorten erfasst.

**Tab. 2: Immissionskategorien und zugehöriger Messstandort**

	Immissionskategorie	Standort <sup>3</sup>	Status
1	Ausserorts an sehr stark befahrenen Strassen (Autobahnen und Hochleistungsstrassen)	Altdorf, Gartenmatt	neu
2	Innerorts an sehr stark befahrenen Strassen (Hauptstrassen)	Zug, Postplatz	neu
3	Städte mit über 50'000 Einwohner (Wohnzone)	Luzern, Museggstrasse 7a	neu
4	Städte mit 10'000 - 50'000 Einwohner (Wohnzone)	Schwyz, Rubiswilstrasse 8	neu
5	Ortschaften mit 5'000 - 10'000 Einwohner (Wohnzone)	Stans, Engelbergstrasse 34	bestehend
6a	Ortschaften mit 500 - 5'000 Einwohner (Wohnzone)	Feusisberg, Schulhausstrasse	bestehend
6b	Ländliche Gebiete unter 1'000 m ü. M.	Schüpfheim, Chlosterbühl 26	bestehend
6c	Nicht-Siedlungsgebiete über 1'000 m ü. M.	Lungern - Schönbüel (Turren)	neu

Die Auswahl der von den Messstationen erfassten Messgrössen richtet sich nach der spezifischen Belastungssituation. So wird mit dem gemeinsamen Messnetz nun an allen siedlungsnahen Stationen die Konzentration von Feinstaub (PM<sub>10</sub>) erfasst. An ländlichen Standorten mit geringen lokalen Emissionen an Primärschadstoffen konzentrieren sich die Messungen hingegen auf das grossräumig problematische Ozon.

<sup>3</sup> Im vorliegenden Bericht werden die Stationen im Text mit der vollen Stationsbezeichnung (z.B. Schwyz Rubiswilstrasse) bezeichnet. In Grafiken wird aus Platzgründen nur die Ortsbezeichnung verwendet.

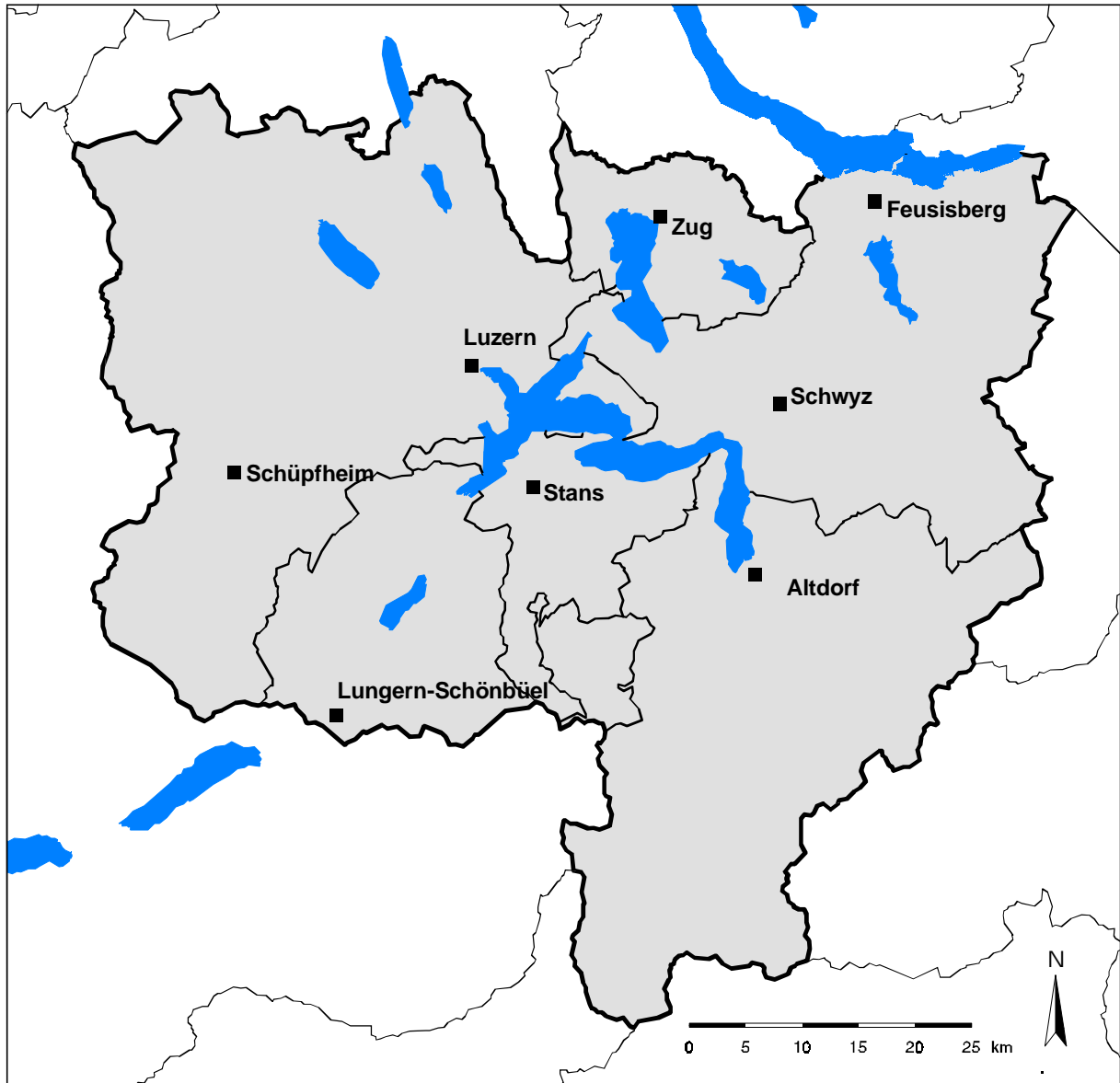


Abb. 2: Standorte der Immissionsmessstationen (Details: vgl. Anhang 2)

Tab. 3: Erfasste Luftschadstoffe im interkantonalen Luftmessnetz

Messparameter \ Standort	O <sub>3</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	PAH Summe	PM10	BTX	Elementarer Kohlenstoff (Russ)	Meteo
Altdorf Gartenmatt	✓	✓			✓	✓			✓
Zug Postplatz		✓		✓		✓	✓	✓	
Luzern Museggstrasse	✓	✓	✓			✓			✓
Schwyz Rubiswilstrasse	✓	✓				✓			✓
Stans Engelbergstrasse	✓	✓				✓			✓
Feusisberg Schulhausstrasse	✓								✓
Schüpfheim Chlosterbühl	✓								
Lungern-Schönbüel	✓								✓ <sup>4</sup>

Neben den Messstationen des Zentralschweizer Luftmessnetzes werden auf Zentralschweizer Boden auch Messungen von anderen Institutionen durchgeführt. Die Resultate der Messstation auf der Seebodenalp (betrieben vom Nationalen Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe NABEL) werden bei Auswertungen und Interpretationen jeweils beigezogen. Zusätzlich liegen Messresultate aus kantonalen Messkampagnen vor (Standorte Werkhof Flüelen, Bürglen, Sedel).

### 2.3 Datenverwaltung und -auswertung

Zum Erfassen und Speichern von Messdaten und zum Auslösen von Geräteaktivitäten (z.B. Kalibrieren) verfügen die Messstationen über lokale Computer. Über Modem werden die Informationen an die Datenzentrale übermittelt. Dort werden die Daten aufbereitet, gespeichert und zur weiteren Verwendung bereitgestellt. Die Speicherung erfolgt in einer relationalen Datenbank. Diese wurde eigens zur sichern Handhabung und Darstellung grosser Zeitreihen von Messdaten entwickelt. Die Datenzentrale bedient verschiedene externe Stellen mit aktueller Information über die Luftqualität, beispielsweise wird die Internetseite von "in-Luft" alle sechs Stunden automatisch nachgeführt.

Details finden sich unter der Internetadresse [www.in-luft.ch](http://www.in-luft.ch)

<sup>4</sup> ab April 2000

**Prozessschema des Zentralschweizer Luftmessnetzes**

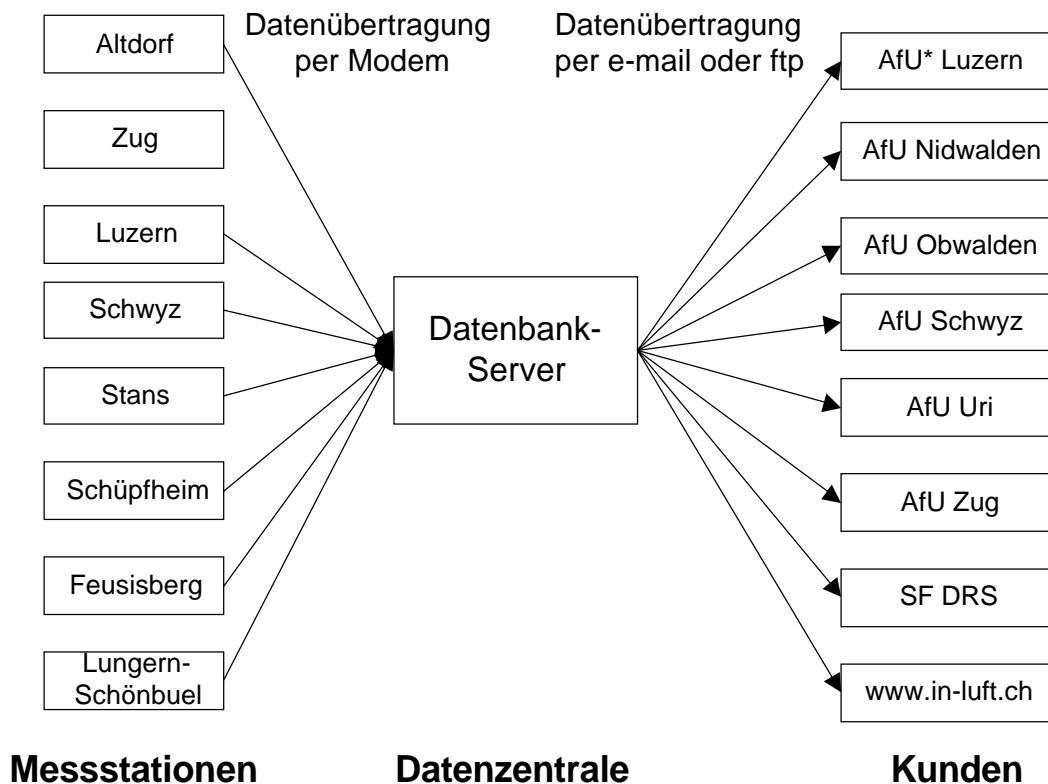
Eingesetzte Software:

*Messstationen:*

- Betriebssystem: Microsoft Windows; Version 3.1 oder 3.11
- Datenerfassung: Conwin/Capture; Version 3.02, von Contrec Technologies AG Zürich

*Datenzentrale:*

- Betriebssystem: Microsoft Windows NT; Version 4.0 mit Service Pack 6
- Datenübermittlung von den Messstationen: Conwin/Modem ; Version 3.02 von Contrec Technologies AG Zürich
- Relationale Datenbank: SQL Server; Version 6.5 mit Service Pack 5
- Clientprogramm: ETA Version 2.51 von Zühlke Engineering AG, Zürich-Schlieren
- Automatischer Datenimport/-export: Powerdesk Version 2.51



## 3. METEOROLOGIE

### 3.1 Einleitung

**Das Wetter hat bedeutende Auswirkungen auf die Luftqualität, denn es beeinflusst die Verdünnung und die chemische Umwandlung der Schadstoffe wesentlich. Beispiele sind hohe Belastungen mit NO<sub>2</sub> oder PM10 während winterlichen Nebelepisoden und hohe Ozonspitzen während sommerlichen Schönwetterperioden.**

*Wind und Niederschlag* wirken sich durch *Verdünnung und Auswaschung* belastungsmindernd aus (vgl. Kasten auf S. 16). Dies gilt nur mit Einschränkungen für Föhn. Dieser verdünnt auch lokal produzierte Schadstoffe (z.B. Stickstoffdioxid), importiert aber Ozon aus höheren Luftschichten.

Für die *Bildung hoher Ozonkonzentrationen* braucht es nebst den Vorläufersubstanzen Stickstoffdioxid und flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) die entsprechenden meteorologischen Voraussetzungen: *intensive und lange Sonneneinstrahlung, hohe Temperaturen und keine starken Winde*. Also Bedingungen, wie sie während sommerlichen Hochdrucklagen vorherrschen. Tiefe Ozonwerte finden sich dementsprechend bei nasskalter Witterung und bei Bisenlagen.

Im Winter können sich bei *anhaltenden Inversionslagen* erhöhte Konzentrationen von NO<sub>2</sub> und anderen Schadstoffen aufbauen. Von einer Inversion spricht man, wenn die höheren Luftschichten wärmer sind als die bodennahen. Sichtbare Anzeichen für Inversionslagen sind Nebeldecken oder Dunstschichten. Wegen dieser stabilen Luftschichtung findet kein vertikaler Luftaustausch statt, und die Luftschadstoffe können sich in bodennahen Schichten anreichern. In Gebirgstälern und topographischen Senken sind Inversionen häufig. Es können dann durch relativ geringe Emissionen hohe Schadstoffkonzentrationen entstehen (vgl. Kap. 6).

### 3.2 Witterung und Luftbelastung 1999

Über den Verlauf der Witterung im vergangenen Jahr gibt Tabelle 4 Auskunft. Der Verlauf der meteorologischen Parameter Temperatur, Sonnenscheindauer und Niederschlagsmenge wird in den nachfolgenden Unterkapiteln aufgezeichnet.

Die niederschlagsreiche Witterung im Sommerhalbjahr und der Mangel an ausgeprägten und stabilen Hochdruckwetterlagen im Alpenraum verminderten die Ozonbildung (vgl. Kap. 4.3, Ozon).

Die hohen Niederschlagsmengen im vergangenen Jahr, verbunden mit teilweise starken Winden, führten zu einer verstärkten Auswaschung und Verdünnung der Luftschadstoffe. Die winterlichen Inversionslagen waren nur im Februar und November ausgeprägt. Hohe Konzentrationen an Primärschadstoffen konnten so nur während kurzen Perioden in der Atmosphäre gemessen werden (vgl. Kap 4.1 und 4.3).

**Tab. 4: Witterungsverlauf 1999 (Quelle: Witterungsberichte der SMA)**

Monat	Witterung
Januar	Meist sehr milde Witterung. Ungewöhnlich wenig Nebel im Flachland. Ende Monat starke Nordwestwinde mit Regen und Schnee.
Februar	In den Alpen enorme Schneemengen (Lawinen) durch Schlechtwetterlagen. Hochnebellagen zu Monatsbeginn und -ende. Bisenlage vom 12.-15.2.
März	Wechselhaftes Wetter mit wenig Niederschlägen. Zur Monatsmitte mildes Wetter, das zu einem Wärmeüberschuss führt.
April	Nass und gewitterhaft – sonnenarm, aber zu mild trotz Kälterückschlag in der Monatsmitte.
Mai	Deutlich zu warm. Vom 4.-22. Mai war das Wetter regnerisch. Dabei kam es vom 11.-14. und erneut am 21. Mai zu extremen Starkregen, die grosse Hochwasserschäden zur Folge hatten.
Juni	Sehr wechselhaft und nass mit teilweise intensiver Gewittertätigkeit.
Juli	Wechselhaft und warm. Unterdurchschnittliche Niederschlagsmengen und etwas überdurchschnittliche Besonnung. Keine längeren Schönwetterperioden.
August	Warm und überwiegend nass und sonnenarm. Stabiles Spätsommerwetter erst gegen Monatsende.
September	Erst strahlend schön, dann regnerisch trüb; durchwegs zu warm. Längere Schönwetterperiode in der ersten Monatshälfte (8.-15. Sept.).
Oktober	Mild und föhnig. Dank dem Föhn wenig Niederschlag. In der Monatsmitte Bisenlage mit Hochnebel.
November	Sonnenarm, kräftiger Wintereinbruch nach Monatsmitte mit anschliessendem Nebel oder Hochnebel.
Dezember	Dominierende Westwindwetterlagen mit zahlreichen Störungsdurchgängen. Deshalb kaum ausgeprägte Kaltluftseen im Flachland und deutlich weniger Nebel als normal. Am 26. Dezember verheerender Orkan „Lothar“ mit Windgeschwindigkeiten bis 180 km/h.

### 3.2.1 Temperaturen

Im Jahr 1999 lagen die Temperaturen wie schon im Vorjahr über den langjährigen Mittelwerten (vgl. Tab. 4 und Abb. 3). Die Klimastation der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (SMA) in Luzern verzeichnete einen Temperaturüberschuss von 1.3 Grad Celsius. Besonders warm verglichen mit den „Normalwerten“ waren Januar, März, Mai, Juli, August und September. Demgegenüber waren der Februar und der November zu kalt.

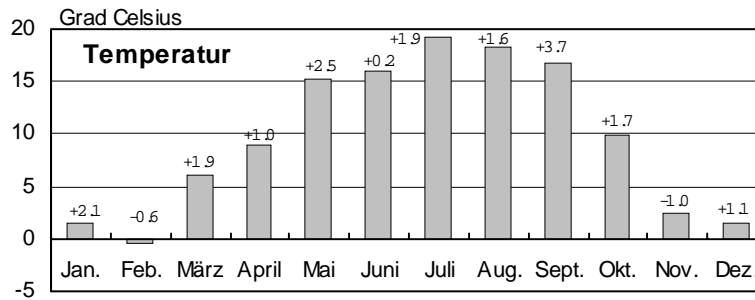


Abb. 3: Temperaturen 1999 in Luzern und absolute Abweichung von den langjährigen Mittelwerten (Daten SMA)

### 3.2.2 Sonnenscheindauer

Im Hinblick auf die Ozonbildung ist insbesondere die Sonnenscheindauer im Sommerhalbjahr von Interesse: In den Monaten Mai bis Juli lag die Sonnenscheindauer im Bereich des langjährigen Durchschnittes. Im September wurde eine überdurchschnittlich hohe Sonnenscheindauer registriert (129 % der Norm). Im April und August erreichte die Besonnung weniger als 90 % der Normalwerte. Im Winterhalbjahr waren der Januar und Dezember überdurchschnittlich sonnenreich, während im Februar und November deutlich weniger Sonnenstunden verzeichnet wurden.

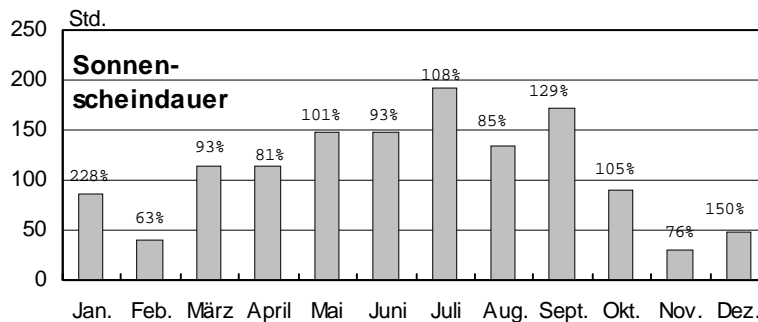


Abb. 4: Sonnenscheindauer 1999 in Luzern und prozentuale Abweichung von den langjährigen Mittelwerten (Daten SMA)

### 3.2.3 Niederschlagsmengen

Die Niederschlagsmengen lagen 1999 deutlich über der Norm. Die Überschüsse wurden sowohl im Winter- als auch im Sommerhalbjahr verzeichnet. Besonders hohe Überschüsse (über das Doppelte der Norm) wurden im Februar, Mai und Dezember erfasst. Zu trocken war es im Januar, März, Juli und Oktober.



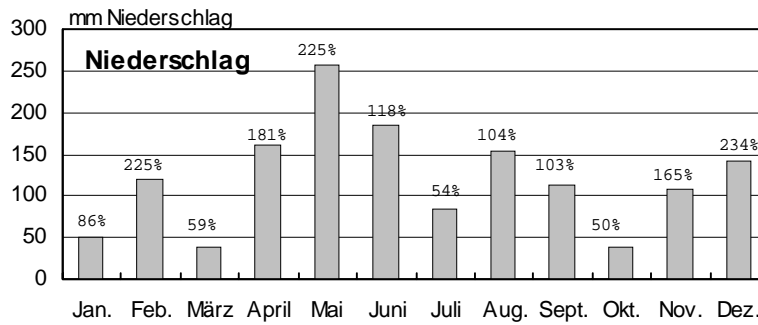


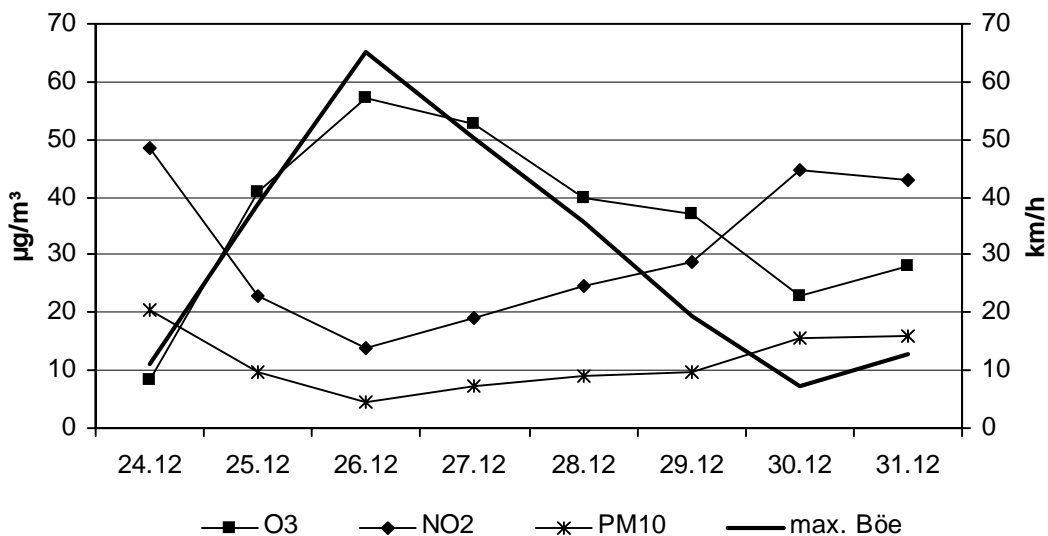
Abb. 5: Niederschlagsmengen 1999 in Luzern und prozentuale Abweichung von den langjährigen Mittelwerten (Daten SMA)

### Orkan „Lothar“ und seine Auswirkungen auf die Luftbelastung

Am 26. Dezember zog der Orkan „Lothar“ mit Windgeschwindigkeiten bis 180 km/h über die Schweiz. Neben seiner physischen Zerstörungskraft zeigte sich Orkan „Lothar“ auch bei den gemessenen Luftschadstoffkonzentrationen aktiv.

In Schwyz lagen während den stürmischen Tagen vom 25.-27.12.1999 sowohl die Konzentrationen von NO<sub>2</sub> als auch jene von Feinstaub (PM10) um etwa 50 % unter den normalerweise gemessenen Konzentrationen. Dies lässt sich durch den Verdünnungseffekt bei windigen Wetterlagen erklären. Gleichzeitig mit dem Rückgang der Konzentrationen von NO<sub>2</sub> und PM10 stiegen die Tagesmittel der Ozonkonzentrationen von etwas über 20 µg/m<sup>3</sup> auf über 60 µg/m<sup>3</sup> an. Es wurden Spitzenwerte von über 80 µg/m<sup>3</sup> erfasst. Die Werte blieben allerdings deutlich unter dem Stundenmittelgrenzwert von 120 µg/m<sup>3</sup>. Der Wind verfrachtete Ozon aus höher gelegenen Luftschichten in Bodennähe.

Luftbelastung und Geschwindigkeit der Böenspitzen am Messstandort Schwyz Rubiswilstrasse vom 24.-31.12.1999.



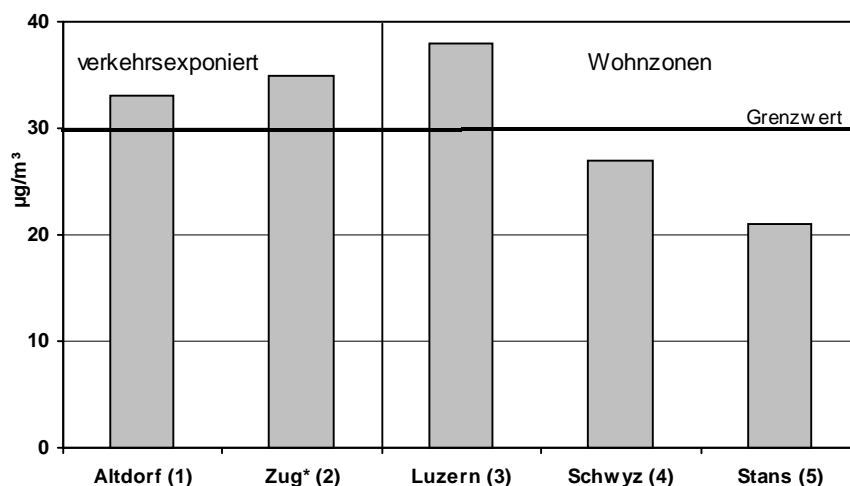
## 4. LUFTBELASTUNG<sup>5</sup>

Nachfolgend wird über die Luftbelastung berichtet, wie sie sich auf Grund der Erhebungen an den nach Immissionskategorien orientierten Messstationen zeigt. Zusätzlich werden für NO<sub>2</sub> die Passivsammler-Resultate dargestellt. Unvollständige Messreihen werden im vorliegenden Bericht mit einem Stern (\*) gekennzeichnet.

### 4.1 Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)

#### 4.1.1 Jahresmittelwerte

Die Jahresmittelwerte an den untersuchten Standorten lagen 1999 zwischen 21 und 38 µg/m<sup>3</sup>. Der verkehrsexponierte Standort innerorts Zug Postplatz\*<sup>6</sup> und der städtische Standort (Luzern Museggstrasse) lagen mit 35 bzw. 38µg/m<sup>3</sup> über dem Grenzwert der LRV. Die NO<sub>2</sub>-Jahresmittel des verkehrsexponierten Standortes in Altdorf und des Standortes Schwyz Rubiswilstrasse (innerorts, Agglomerationen und Regionalzentren) lagen mit 33 bzw. 27 µg/m<sup>3</sup> im Bereich des Grenzwertes der LRV (30 µg/m<sup>3</sup> ± 10 %). In grösseren Ortschaften abseits der Agglomerationen und vielbefahrenen Strassen wurde der Grenzwert eingehalten (Stans Engelbergstrasse: 21 µg/m<sup>3</sup>).



**Abb. 6: NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte 1999 (in Klammer: Bezeichnung der Immissionskategorie, vgl. Kap. 2.1 und 2.2)**

<sup>5</sup> Anmerkung zu den Immissionsdaten: Die verwendeten Messresultate sind bereinigte Daten. Sie können von den monatlich publizierten Werten geringfügig abweichen, da dort noch unbereinigte Daten verwendet wurden.

<sup>6</sup> Für den Standort Zug lag 1999 noch kein vollständiger Datensatz vor. Die fehlenden Daten wurden aufgrund einer nahegelegenen Passivsammlermessstelle hochgerechnet.

### NO<sub>2</sub> Belastung in der Zentralschweiz im Jahr 1999

Die Karte zeigt regionale Unterschiede in der Belastung:

- In grossen Gebieten der Innerschweiz abseits der Agglomerationen und stark befahrenen Verkehrsachsen liegen die NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte unter 15 Mikrogramm pro Kubikmeter.
- Entlang den Kantonsstrassen und in mittleren bis grösseren Siedlungsgebieten liegen die NO<sub>2</sub>-Werte im Bereich zwischen 15 und 25 Mikrogramm pro Kubikmeter.
- Entlang der Nationalstrassen und in den grösseren Siedlungsgebieten treten Belastungen im Bereich des Grenzwertes (25-35 Mikrogramm pro Kubikmeter) oder über dem Grenzwert auf.

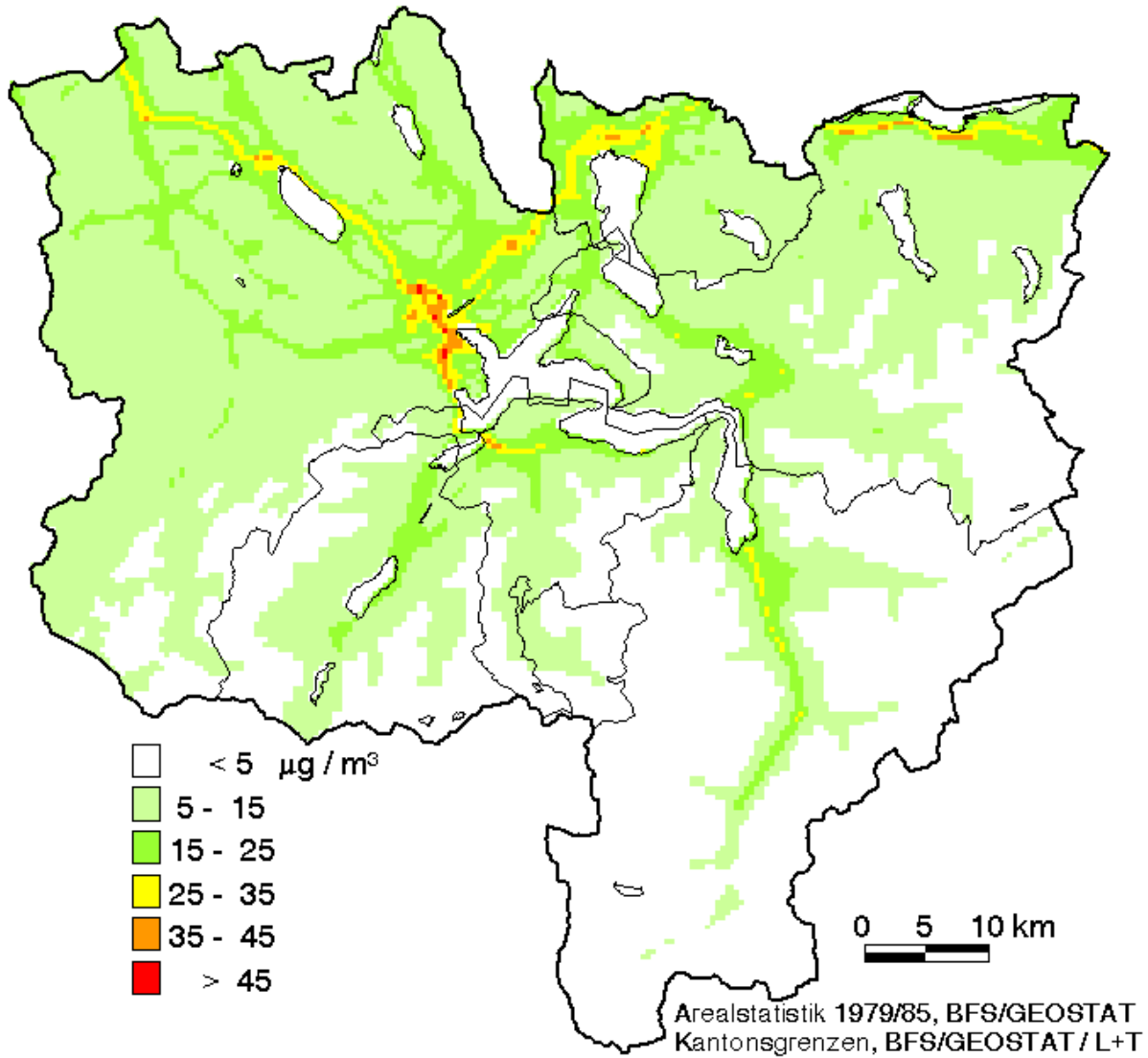
Die Karte zeigt die NO<sub>2</sub>-Belastung mit einer Auflösung von 400m x 400m. Die Werte innerhalb einer Rasterzelle können variieren, insbesondere wenn eine vielbefahrene Strasse durch das Gebiet führt. Lokal können also höhere Belastungswerte auftreten als auf der Karte dargestellt.

Grundlagen für die Karte im Gebiet des Kantons Luzern sind die Modellierungen mit dem Immissionsmodell PolluMap (vgl. Jahresbericht „Die Luft. 1998“, S. 34/35). Die verfügbaren Immissionen im Hektarraster (1998 und 2005 mit Basisentwicklung) wurden auf einen 400m x 400m Raster für das Jahr 1999 umgerechnet. Die dargestellten NO<sub>2</sub>-Konzentrationen der 5 übrigen Kantone wurden aus den verfügbaren Modellresultaten des BUWAL-Berichtes Nr. 298 (NO<sub>2</sub>-Immissionen in der Schweiz 1990-2010) für das Jahr 1999 ermittelt.

Ausserhalb des Kantons Luzern stand für die Modellberechnung das Strassennetz des Dienstes für Gesamtverkehrsfragen zur Verfügung. Dieses Strassennetz bildet teilweise eine generalisierte räumliche Struktur ab und ist daher nicht in allen Gebieten genau. Deshalb mussten für die Darstellung an vier Orten geringfügige Modifikationen angebracht werden (Autobahnbereiche bei Seelisberg-Süd, Lauerzer See, Lachen und Zug). Eine NO<sub>2</sub>-Modellierung in der Zentralschweiz mit detaillierterem Strassennetz und kantonal erhobenen NO<sub>x</sub>-Emissionen würde genauere und räumlich feiner aufgelöste Resultate erbringen.

**NO<sub>2</sub> -Immissionen in der Zentralschweiz im Jahr 1999**

Jahresmittelwerte (Grenzwert LRV: 30 µg/m<sup>3</sup>)



Karte: Meteotest, Bern

In Ergänzung zu den kontinuierlich messenden Stationen wird die NO<sub>2</sub>-Belastung der Luft mit sogenannten Passivsammlern erfasst. Aus der Beobachtungsdauer von einem Jahr und der Expositionszeit von jeweils 14 Tagen lassen sich entsprechende Mittelwerte berechnen. An 138 Standorten wurden im vergangenen Jahr NO<sub>2</sub>-Passivsammler eingesetzt. Von diesen weisen 124 Standorte gültige Jahresmittelwerte auf. An 24 Standorten wurde der Jahresmittelgrenzwert überschritten; ebenfalls 24 Standorte lagen im Grenzwertbereich von 27 - 33 µg/m<sup>3</sup> und an 87 Standorten wurde der Grenzwert eingehalten. Die höchsten Jahresmittel wurden an stark verkehrsexponierten Standorten mit geringem Luftaustausch erfasst. In Wohngebieten wurden meist Werte unter dem Grenzwert ermittelt, eine Ausnahme bilden Standorte innerhalb der Stadt Luzern. In Wohnzonen abseits der vielbefahrenen Strassen ergaben sich nur in den Ortschaften > 50'000 Einwohner Grenzwertüberschreitungen. In ländlichen Gebieten abseits der vielbefahrenen Strassen und ausserhalb der Ortschaften liegen die NO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Jahresmittel deutlich unter dem Jahresmittelgrenzwert der LRV (vgl. Abb. 7). Die Daten der einzelnen Messstandorte sind im Anhang 3 aufgeführt.

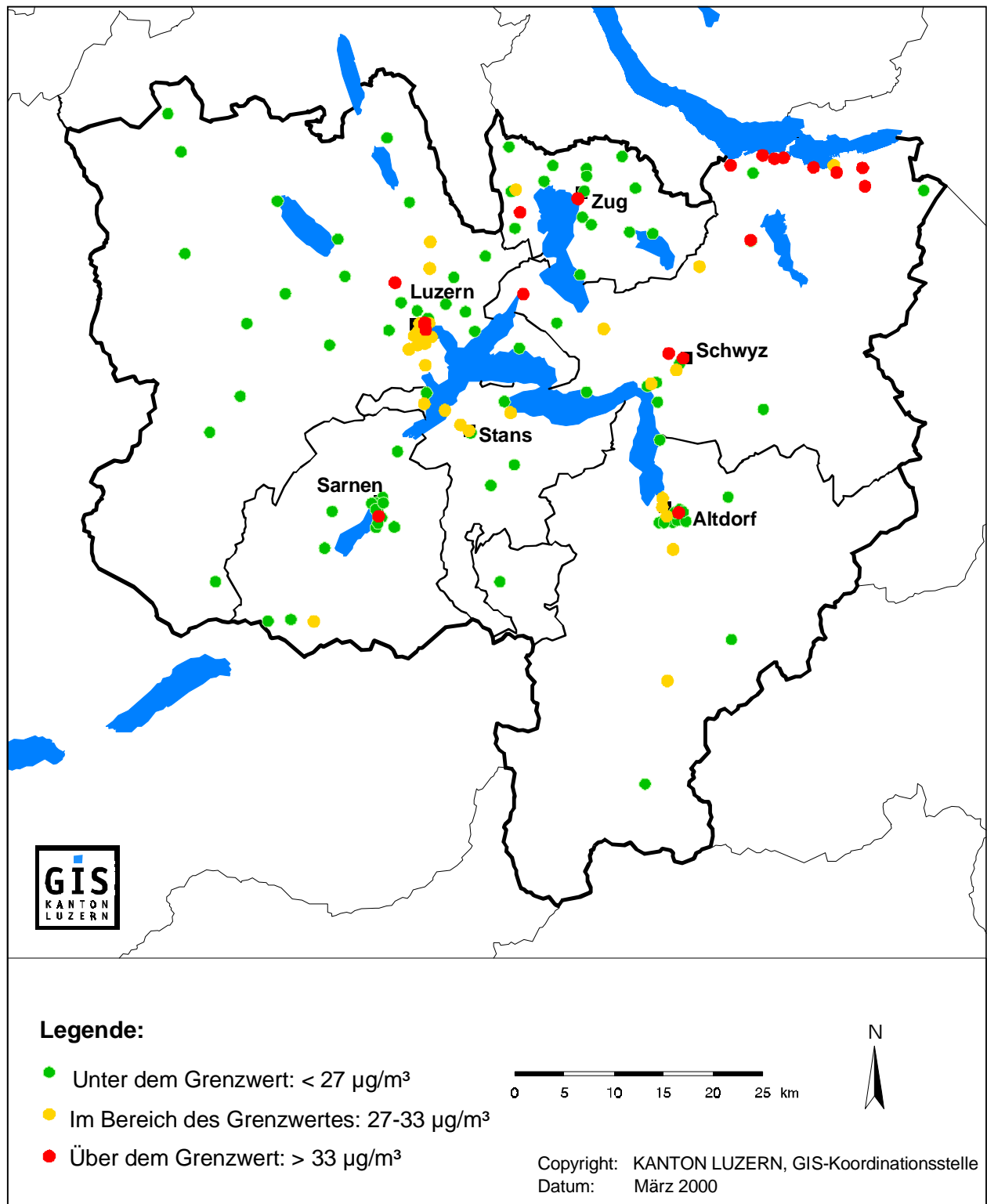


Abb. 7: NO<sub>2</sub>-Passivsammlermessnetz in der Zentralschweiz und Zuordnung nach der NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung.

### 4.1.2 Jahresgang der Monatsmittelwerte

Die höchsten Monatsmittel wurden im Winter, die tiefsten im Sommer gemessen. Ursache sind primär die unterschiedlichen Ausbreitungsbedingungen und die Dissoziationsreaktionen (Zersetzung) für NO<sub>2</sub> bei zunehmender Sonneneinstrahlung.

Der Einbruch der Oktoberwerte am Standort im Urner Reusstal (Aldorf Gartenmatt) ist mit dem Auftreten mehrerer Föhnepisoden zu erklären. Diese führten in den Föhngebieten zu einer verstärkten Durchmischung der Atmosphäre und damit zu einer Verdünnung der Schadstoffe in der Luft.

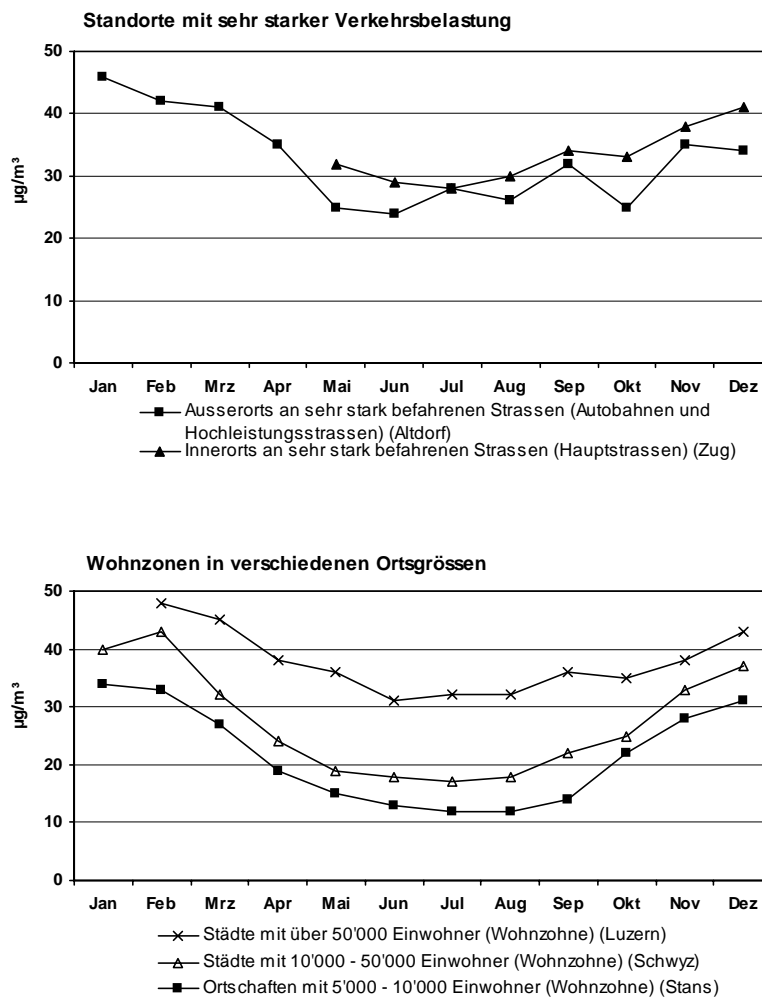


Abb. 8: NO<sub>2</sub>-Monatsmittelwerte 1999

### 4.1.3 Maximale Tagesmittelwerte

Die Spitzenkonzentrationen von NO<sub>2</sub> werden in der LRV mit dem Tagesmittelgrenzwert von 80 µg/m<sup>3</sup> bewertet. Er darf pro Jahr nur einmal überschritten werden. Am strassennahen Standort Altdorf Gartenmatt sowie am städtischen Standort Luzern Museggstrasse wurde der Grenzwert dreimal, bzw. einmal überschritten. Die Spitzenwerte lagen bei 86 resp. 81 µg/m<sup>3</sup>. Die Überschreitungen im Februar erfolgten am Ende einer Hochdruckwetterlage (15.2.1999 und 16.2.1999), die zu einer Anreicherung von Schadstoffen führte. Mit dem Einsetzen einer feuchteren Nordwest-Wetterlage sanken die Tagesmittelwerte auf weniger als ein Drittel ab. Die Überschreitung anfangs Dezember (2.12.1999) in Altdorf Gartenmatt erfolgte bei milder Westströmung und leichtem Regen zu Monatsbeginn eher überraschend. In den übrigen Kategorien wurde der Grenzwert eingehalten.

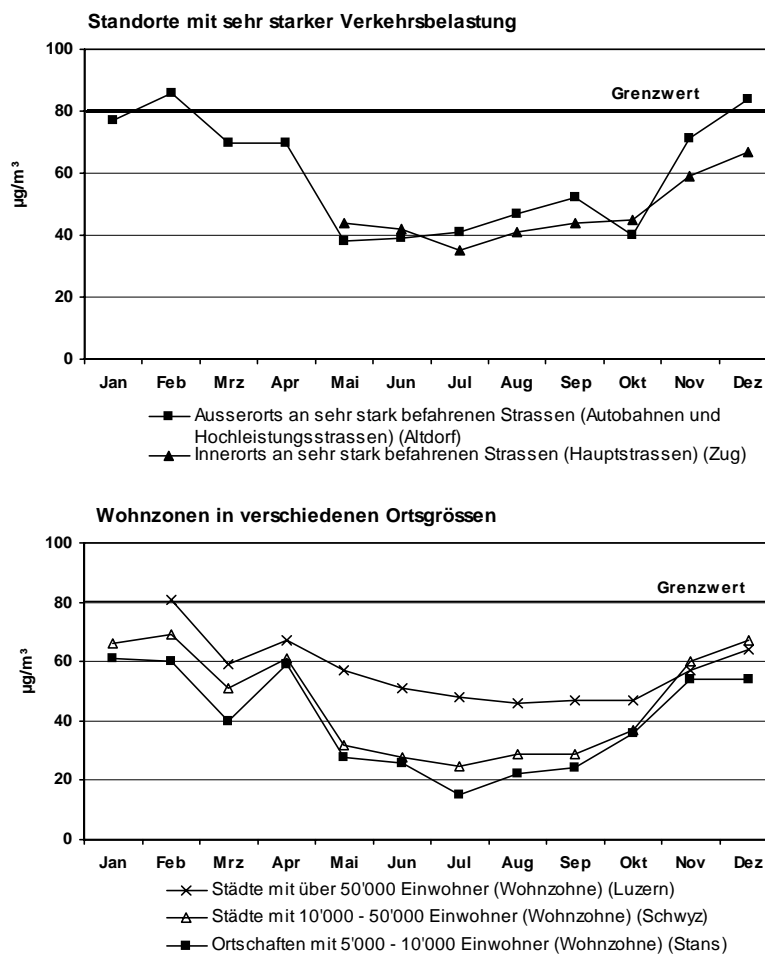


Abb. 9: Monatliche maximale Tagesmittelwerte von NO<sub>2</sub> 1999



#### 4.1.4 95 %-Werte der ½-h-Mittelwerte

Aussagen über die Spitzenbelastungen lassen sich auch aufgrund des 95%-Wertes der ½ h -Mittelwerte eines Jahres machen. In der LRV ist festgelegt, dass 95% der ½ h-Mittelwerte eines Jahres kleiner oder gleich 100 µg/m<sup>3</sup> sein müssen. Dieser Grenzwert wurde an allen Standorten eingehalten (vgl. Abb. 10).

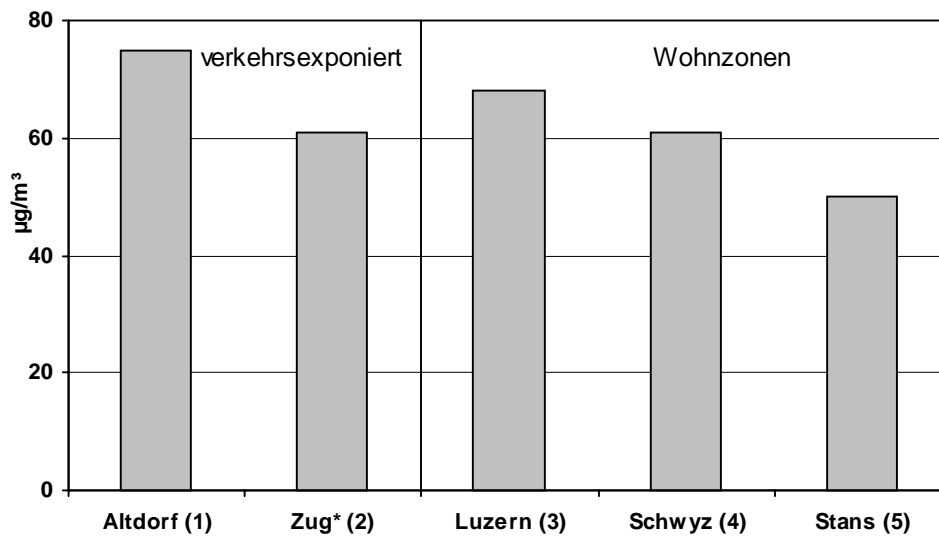


Abb. 10: 95 %-Werte der ½ h-Mittelwerte von NO<sub>2</sub> 1999

#### 4.1.5 Vergleich mit Vorjahren

Da der Grossteil der Messstationen des Zentralschweizer Messnetzes erst seit 1999 in Betrieb ist, kann ein Vergleich mit der Belastung der Vorjahre nur unvollständig erfolgen. Zur Ergänzung werden dazu neben der „in-LUFT“-Station Stans Engelbergstrasse drei ausserhalb des interkantonalen Messnetzes betriebene Messstationen, die seit vielen Jahren in Betrieb sind, herangezogen: Flüelen (Werkhof), Sedel (Ebikon) und Seeboden (Rigi).

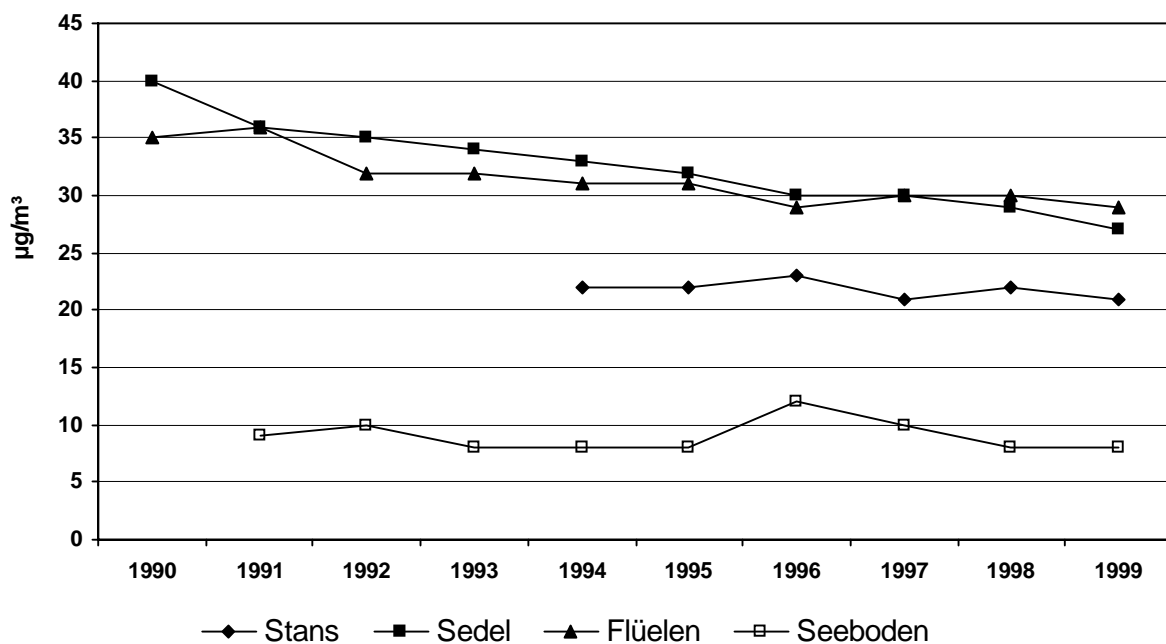
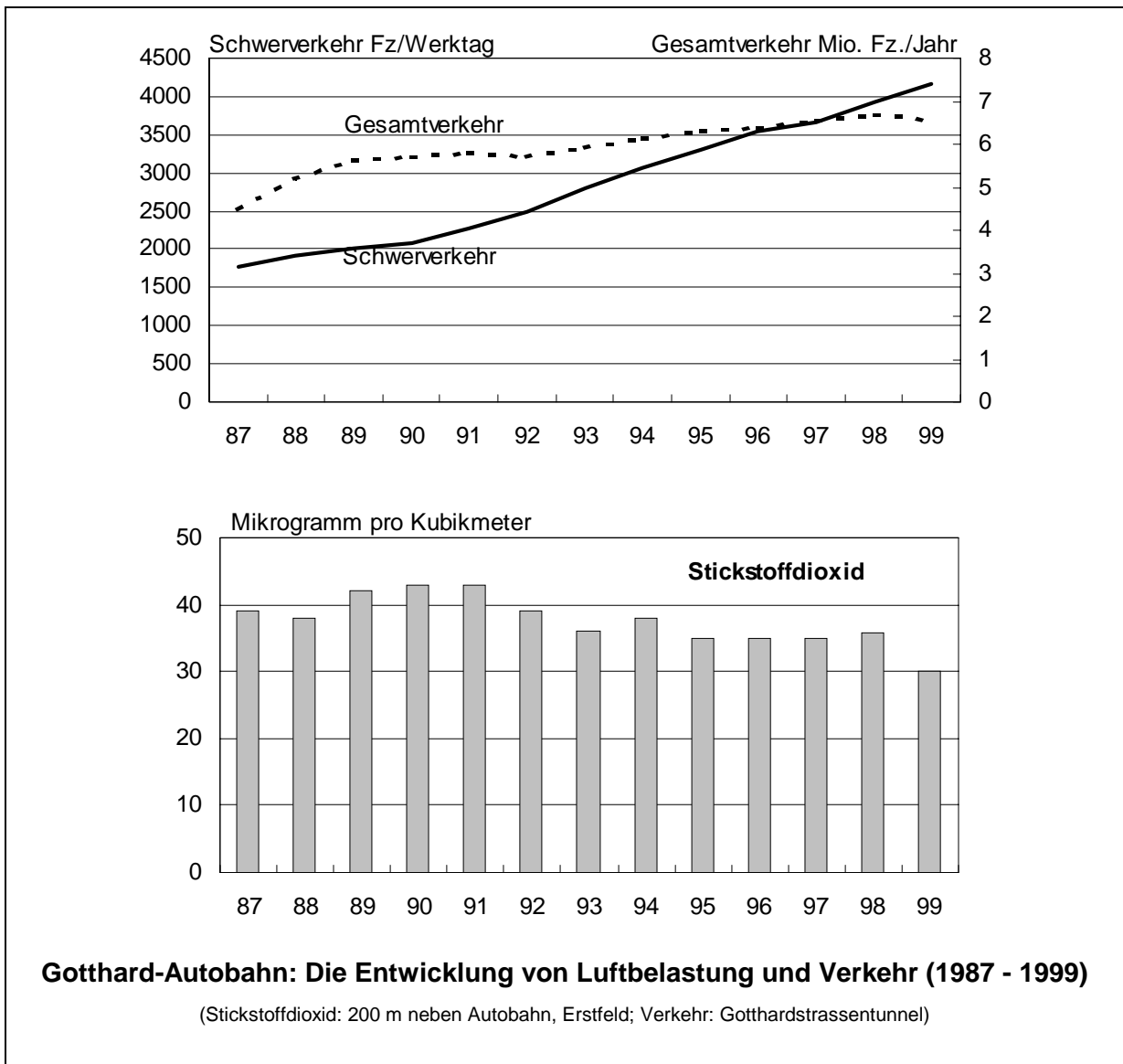


Abb. 11: Entwicklung der NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte an ausgewählten Messstationen

Die Messreihen von Flüelen und Sedel zeigen einen deutlichen Rückgang der Jahresmittelwerte seit Ende der Achtziger Jahre (Emissionsreduktion durch zunehmenden Einsatz von Abgaskatalysatoren). Dieser Rückgang hat sich in der Mitte der Neunziger Jahre verlangsamt (Kompensation der technischen Emissionsverminderungen durch das weiterhin zunehmende Verkehrsvolumen auf der Strasse). Für die Messstationen Stans Engelbergstrasse und auf Seeboden ist für die vergangenen Jahre kein Trend auszumachen. Im Vergleich zu 1998 sind die NO<sub>2</sub>-Jahresmittel zum Teil nochmals leicht gesunken (zwischen 0 und 6 %). Die künftige Entwicklung entlang der Transitachsen wird sehr stark von der Anzahl und den Emissionsstandards der schweren Güterfahrzeuge bestimmt (vgl. Kasten auf der folgenden Seite).



## 4.2 Feinstaub (PM10)

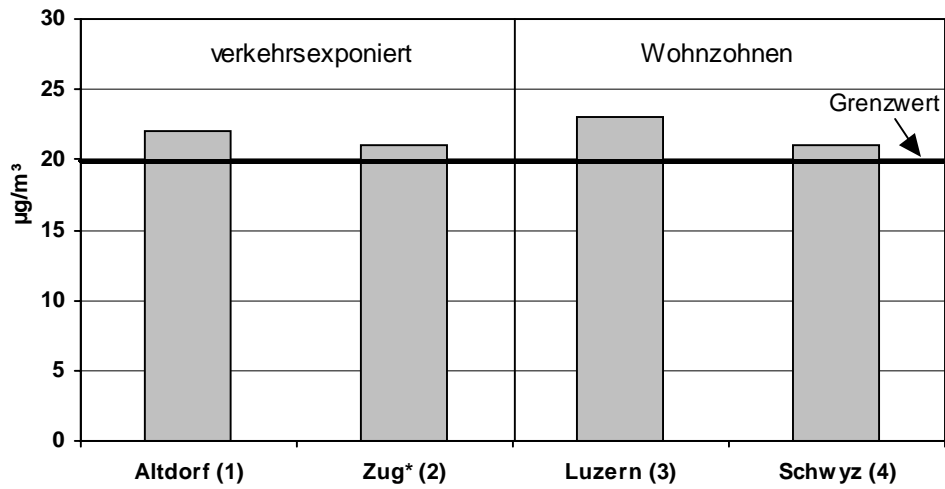
Am 1. März 1998 hat der Bundesrat den im Anhang 7 der Luftreinhalteverordnung aufgeführten Schwebestaub durch einen PM10<sup>7</sup> genannten Feinstaub abgelöst und entsprechende Grenzwerte festgelegt. Während die bisherige Definition des Schwebestaubes auch grössere Staubpartikel bis zu 50 Mikrometer Durchmesser enthielt, wird mit PM10 nur noch derjenige Feinstaubanteil berücksichtigt, dessen Teilchengrösse unter 10 Mikrometer liegt. Dieser Staubanteil kann beim Einatmen ohne merkliche Abscheidung in Nase und Rachen in die Lunge gelangen, was die Funktion der Lunge negativ beeinflussen kann. Gemäss neuesten epidemiologischen Studien in der Schweiz (SAPALDIA), Europa und den USA besteht ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der PM10-Konzentration und dem Vorkommen von chronischen Atemwegserkrankungen wie Asthma und Bronchitis. Gemäss dem BUWAL ist PM10 derzeit das am besten geeignete Mass zur Erfassung des gesundheitlichen Risikos aufgrund der Luftverschmutzung.

### 4.2.1 Jahresmittelwerte

Die Jahresmittelwerte an den untersuchten Standorten<sup>8</sup> lagen 1999 zwischen 20 und 27 µg/m<sup>3</sup>. Am Standort Innerorts Stadt (Luzern Museggstrasse) und Innerorts Dorf (Stans Engelbergstrasse) wurde der LRV-Jahresmittelgrenzwert von 20 µg/m<sup>3</sup> mit 23 bzw. 27 µg/m<sup>3</sup> überschritten. Die Messwerte der übrigen Stationen lagen alle im Bereich des Grenzwertes der LRV (20 µg/m<sup>3</sup> +/- 10%). Der mit einem unvollständigen Datensatz berechnete Jahresmittelwert für den verkehrsexponierten Standort Innerorts (Zug Postplatz) (20 µg/m<sup>3</sup>) liegt aufgrund der fehlenden Messdaten für die Wintermonate Januar bis März tendenziell zu tief. Eine Hochrechnung aufgrund der Messresultate benachbarter Messstationen ergab für Zug Postplatz ein Jahresmittel von 21 µg/m<sup>3</sup>.

<sup>7</sup> Engl. particulate matter. Literatur: Schwebestaub. Messung und gesundheitliche Bewertung. Schriftenreihe Umwelt Nr. 270. BUWAL, Bern, 1996.

<sup>8</sup> Im „in-LUFT“-Messnetz werden aus technischen Gründen zwei unterschiedliche Messverfahren verwendet (TEOM und Partisol). Diese können je nach Temperaturbedingungen zu unterschiedlichen Messresultaten führen. Die Werte der Station Stans (Partisol-Messgerät) können aus diesem Grunde nicht direkt mit den übrigen Stationen (TEOM-Geräte) verglichen werden und sind in den nachfolgenden Diagrammen nicht aufgeführt (vgl. auch Kap. 5.2).



**Abb. 12: PM10-Jahresmittelwerte 1999** (Zug Postplatz: Messperiode Mai bis Dezember, aufgrund fehlender Daten der Wintermonate Januar-März wurde der Jahresmittelwert anhand der Daten benachbarter Messstationen hochgerechnet)

### PM10 Belastung in der Zentralschweiz im Jahr 1997

Die Karte zeigt die Feinstaub-Belastung mit einer Auflösung von einem Quadratkilometer. Die Werte innerhalb einer Rasterzelle können variieren. Lokal können also höhere Belastungswerte auftreten als auf der Karte dargestellt.

Die Karte zeigt regionale Unterschiede in der Belastung:

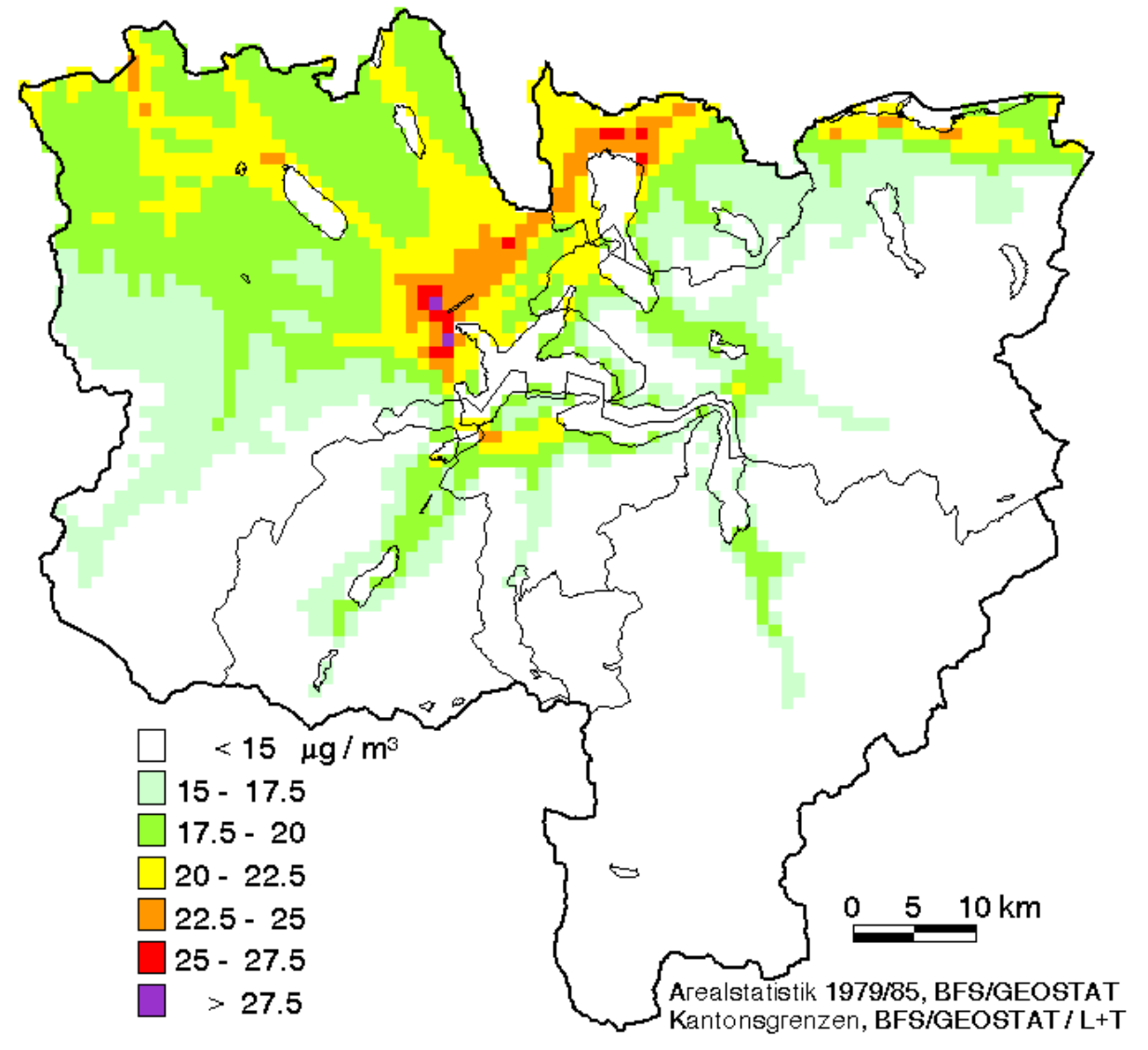
- Die PM10-Immissionsbelastung ist nur im Alpengebiet unbedenklich.
- An ländlichen Standorten ist die Belastung im Bereich des Langzeit-Grenzwertes (20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).
- In den Agglomerationen und an verkehrsexponierten Standorten ist sie übermässig, das heisst über dem Grenzwert.

Um Informationen über die flächenhafte Belastung zu erhalten, wurde im Auftrag des BUWAL und des Dienst für Gesamtverkehrsfragen (GVF) mit einem neu entwickelten Modell eine PM10-Immissionskarte der Schweiz mit der zugehörigen Bevölkerungsexposition erstellt. Die Ergebnisse wurden vom BUWAL in der Schriftenreihe Umwelt Nr. 310 (Modellierung der PM10-Belastung in der Schweiz) publiziert und dienen als Grundlage für ein trilaterales Projekt (Frankreich, Österreich, Schweiz), welches von der Weltgesundheits-Organisation (WHO) initiiert worden ist: Aus der Bevölkerungsexposition werden mit Hilfe neuer Forschungsergebnisse aus Epidemiologie und Ökonomie die Erkrankungs- und vorzeitigen Todesfälle sowie ihre sozialen Kosten bestimmt, also die externen Gesundheitskosten. Das neue PM10-Immissionsmodell ist derart konzipiert, dass die Immissionsanteile der verschiedenen Verursacher (Verkehr, Industrie, Land-/Forstwirtschaft, Haushalte) separat aus ihren Emissionsfrachten berechnet werden können. Weitere Einsätze des Immissionsmodells sind deshalb für Szenarien und bei der Erstellung kantonaler Massnahmenpläne Luftreinhaltung vorgesehen. (Vorgängig braucht es für den Einsatz auf Stufe Kanton noch eine Verfeinerung des Modells bezüglich räumlicher Auflösung und Ausbreitungsbedingungen). PM10-Immissionen enthalten im übrigen nicht nur Anteile aus lokal emittiertem Feinstaub. Auch sekundäre Aerosole und grossräumig verfrachtete Feinstäube stellen wesentliche Anteile des PM10 dar. Diese Beiträge werden im Modell ebenfalls berechnet. Sekundäre Aerosole sind feine Partikel, welche durch Gas-Partikel-Konversion in der Luft entstehen, und zwar aus den gasförmigen Vorläufer-Schadstoffen Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ) Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ), Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) und weiteren organischen Gasen (Benzol, Phenol u.w.m.). Grossräumig verfrachtete Feinstäube stammen aus weit entfernten Quellen, zum Beispiel aus dem europäischen Strassenverkehr, aber auch aus aufgewirbeltem Staub (Erosion, mechanische Abriebe).

Das Modell wird im Laufe des Jahres 2000 erweitert. In Zukunft soll auch die PM2.5-Belastung berechnet werden können. Zudem werden die Ausbreitungsprofile und insbesondere die Ausbreitung in den Alpentälern optimiert.

**PM10-Immissionen in der Zentralschweiz im Jahr 1997**

Jahresmittelwerte (Grenzwert LRV: 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Karte: Meteotest, Bern

### 4.2.2 Jahrgang der Monatsmittelwerte

Wie bei NO<sub>2</sub> sind bei PM<sub>10</sub> im Jahrgang die Maximalwerte im Winterhalbjahr zu verzeichnen. Es sind nur geringe Unterschiede zwischen den verschiedenen Stationen festzustellen.

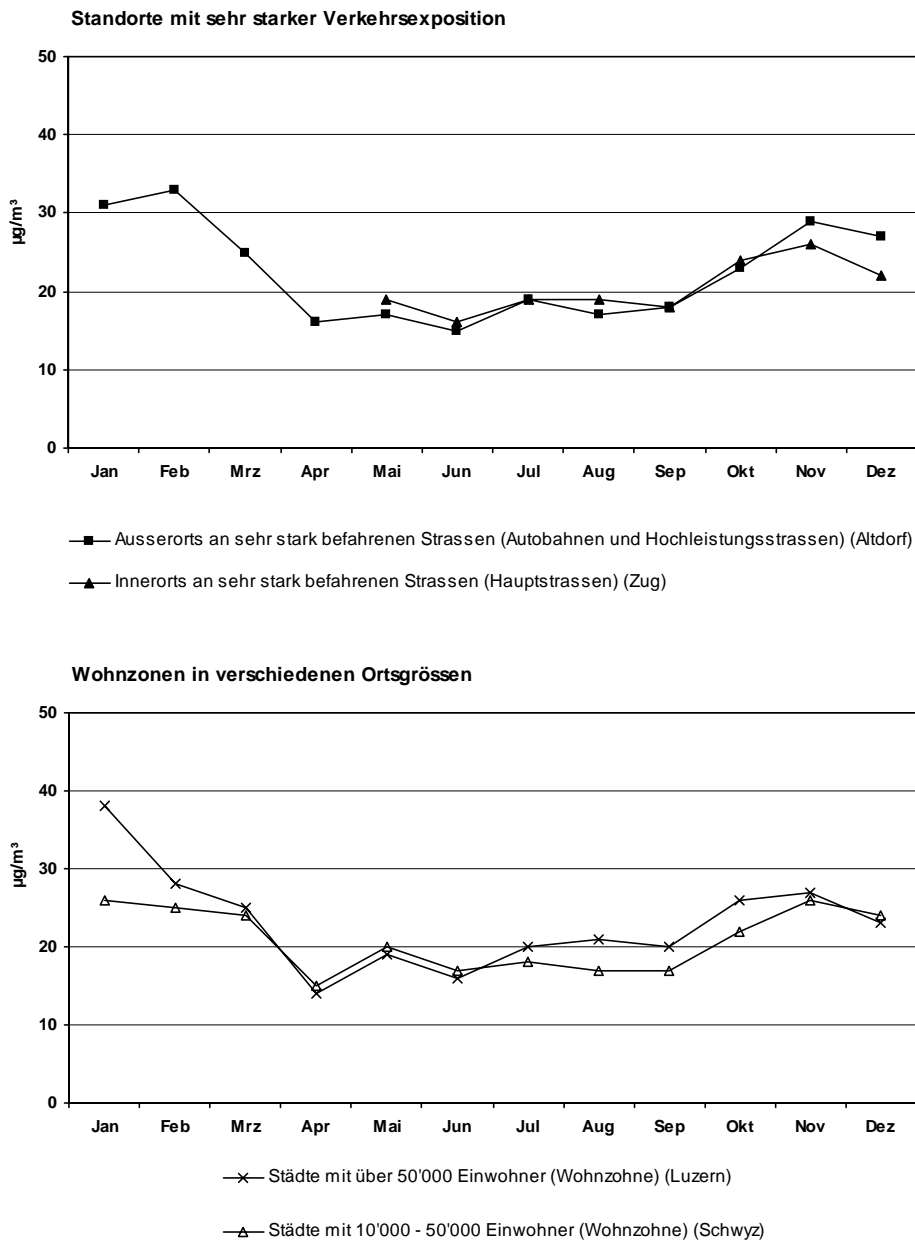


Abb. 13: PM<sub>10</sub>-Monatsmittelwerte 1999



### 4.2.3 Maximale Tagesmittelwerte

Die Spitzenkonzentrationen von PM10 werden in der LRV mit dem Tagesmittelgrenzwert von 50 µg/m<sup>3</sup> bewertet. Er darf pro Jahr nur einmal überschritten werden. Die Aufteilung nach Immissionskategorien zeigt den starken Einfluss des Strassenverkehrs. Die Station Zug Postplatz darf hier wegen der fehlenden Daten der Wintermonate nicht berücksichtigt werden. Die Maximalwerte lagen zwischen 51 und 80 µg/m<sup>3</sup>.

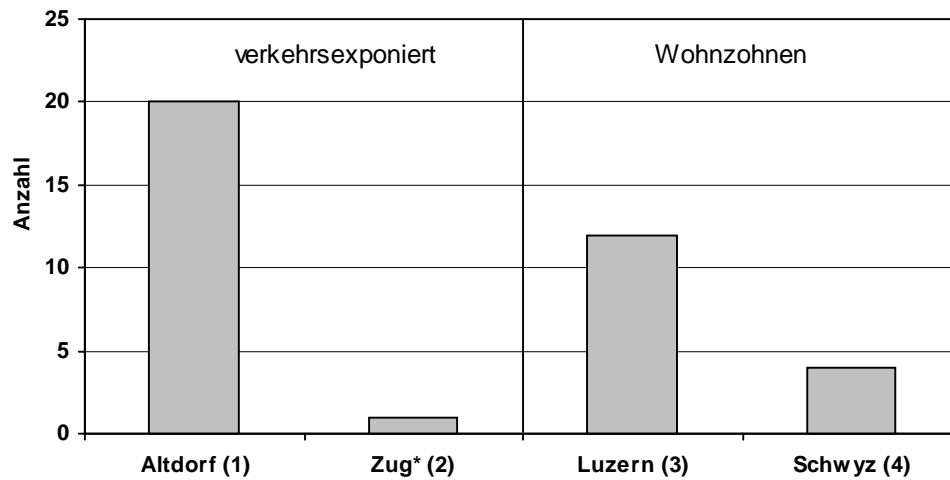


Abb. 14: Anzahl Überschreitungen des Tagesmittelgrenzwertes für PM10

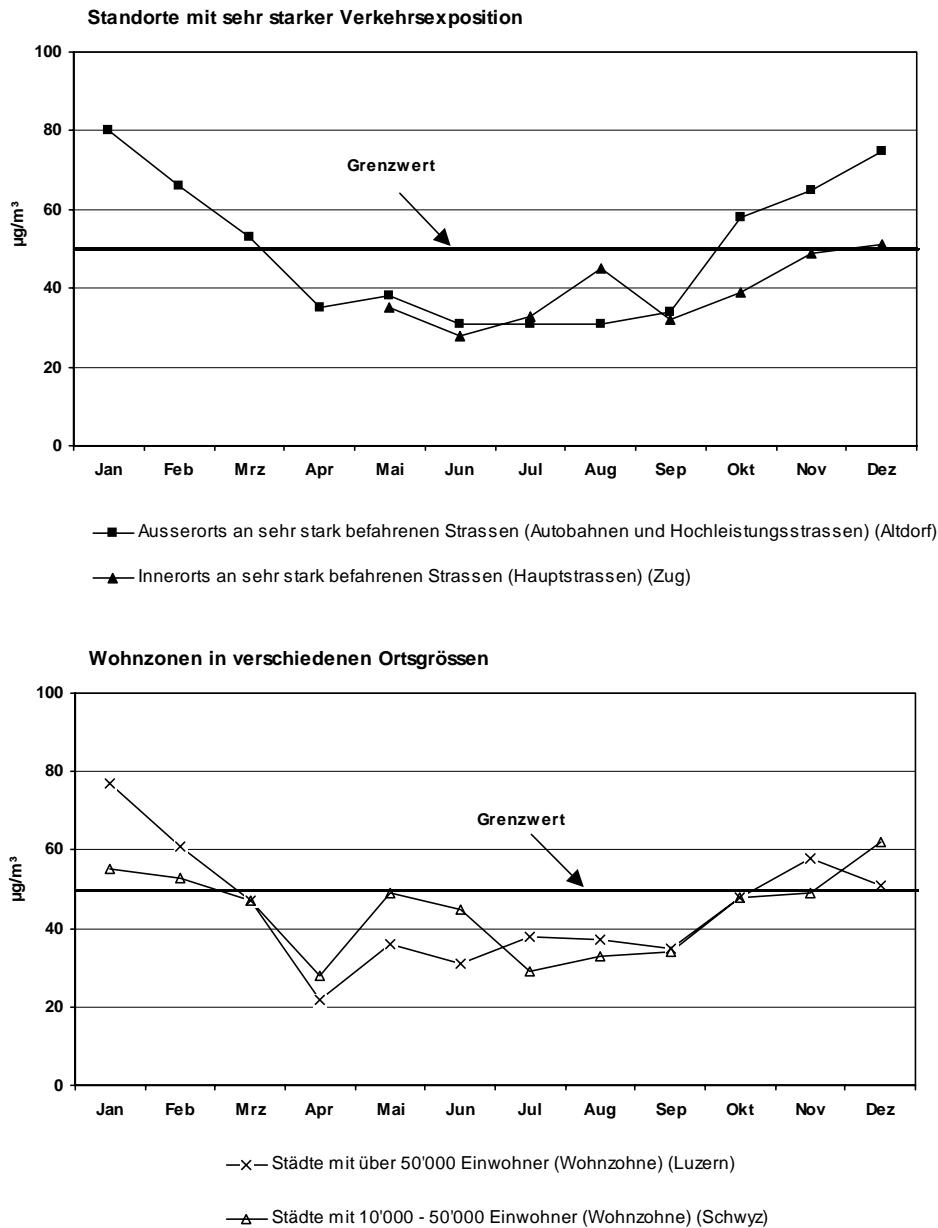


Abb. 15: Maximale Tagesmittelwerte von PM10 1999

Der Vergleich der Zeitpunkte von Überschreitungen des Tagesmittelgrenzwertes mit den meteorologischen Bedingungen zeigt zwei verschiedene Entstehungsweisen der Überschreitungen:

Die Überschreitungen des Tagesmittelgrenzwertes für PM10 im Januar erfolgten praktisch vollständig während einer stabilen Hochdruckwetterlage vom 19.-25.1.1999, teilweise mit Nebel in tieferen Lagen. In dieser Zeit mit geringem Austausch der Luft konnten sich lokal

emittierte Partikel in der Atmosphäre anreichern. Mit dem Einsetzen von Nordwest-Winden und Niederschlägen am 26.1.1999 sanken die Konzentrationen deutlich.

Die Überschreitungen des Tagesmittelgrenzwertes im Oktober erfolgten hauptsächlich während einer Südföhnlage am 29.10.1999 und 30.10.1999. In diesen Tagen wurden auch bei anderen Messstationen und in höheren Lagen ausserhalb der Zentralschweiz Überschreitungen erfasst. Die Belastung war grossräumig. Ursache der Partikelbelastung könnten hier neben anthropogenen Emissionen auch natürliche Quellen sein (z.B. Saharastaub). Die Messresultate der NABEL-Station Seeboden von 1999 zeigten, dass auch abseits von Ortschaften und Strassen Grenzwertüberschreitungen möglich sind. Der Tagesmittelgrenzwert wurde dort im vergangenen Jahr dreimal überschritten. Im Jahresmittel liegen die Konzentrationen mit  $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$  deutlich unter dem LRV-Grenzwert.

#### 4.2.4 Vergleich mit Vorjahren

Da der Grossteil der Messstationen erst seit 1999 in Betrieb ist, ist ein Vergleich mit der Belastung der Vorjahre nur beschränkt möglich. Nur von Stans Engelbergstrasse liegen Messwerte des Vorjahres vor.

Das PM10-Jahresmittel von Stans Engelbergstrasse lag 1998 mit  $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$  deutlich unter dem Wert von 1999 ( $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Während 1998 sechs Überschreitungen des Tagesmittelgrenzwertes auftraten, waren es 1999 deren 30.

### 4.3 Ozon (O<sub>3</sub>)

#### 4.3.1 Maximale Stundenmittel

Der Stundenmittelgrenzwert der LRV für Ozon von 120 µg/m<sup>3</sup> wurde 1999 an allen Messstationen überschritten. An verkehrsexponierten Standorten wurde der Grenzwert 33 mal innerorts und 85 mal ausserorts überschritten. An den übrigen Standorten wurden zwischen 129 und 448 Überschreitungen registriert. Die häufigsten Überschreitungen wurden im Nichtsiedlungsgebiet auf über 1000 m ü. M. erfasst, obwohl dort aufgrund der Verfügbarkeit des Messplatzes nur von April bis Ende Juli Messungen durchgeführt werden konnten. Jährlich ist nur eine Überschreitung zulässig.

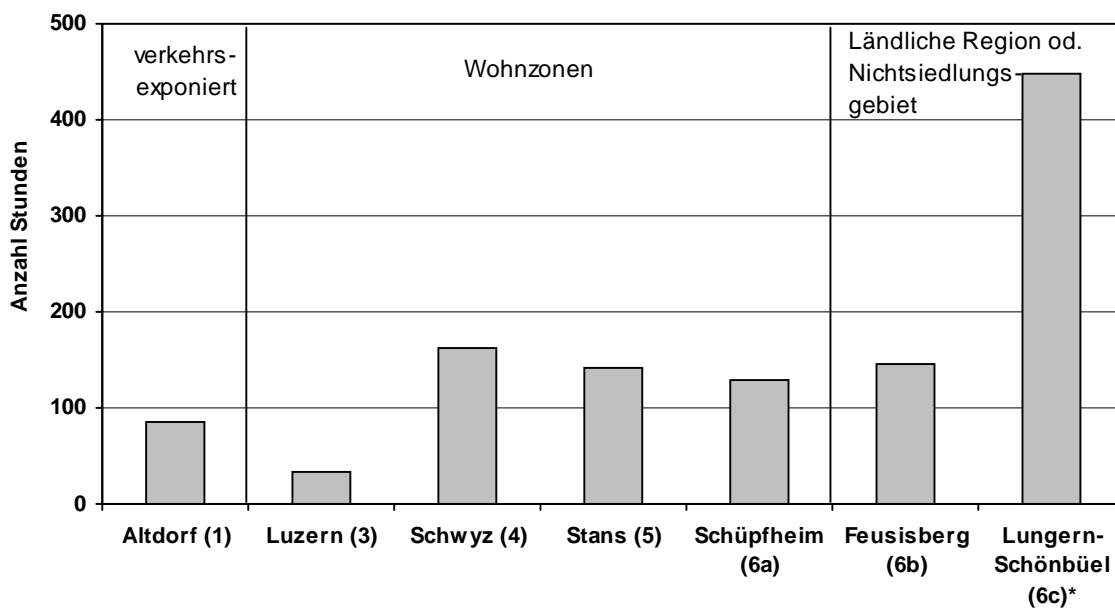


Abb. 16: Anzahl Überschreitungen des Stundenmittelwertes 1999

Am meisten Überschreitungen wurden im Monat Juli während längerandauernden Schönwetterperioden registriert. In den regnerischen Monaten Mai und Juni wurden deutlich weniger Überschreitungen erfasst. Im Unterschied zu den Vorjahren sind 1999 im September wegen des sonnigen Wetters an allen Standorten Grenzwertüberschreitungen vorgekommen. Von Januar bis März und Oktober bis Dezember wurden keine Überschreitungen verzeichnet.

Die Grenzwerte wurden 1999 grossflächig überschritten (vgl. Ozonbelastungskarte).

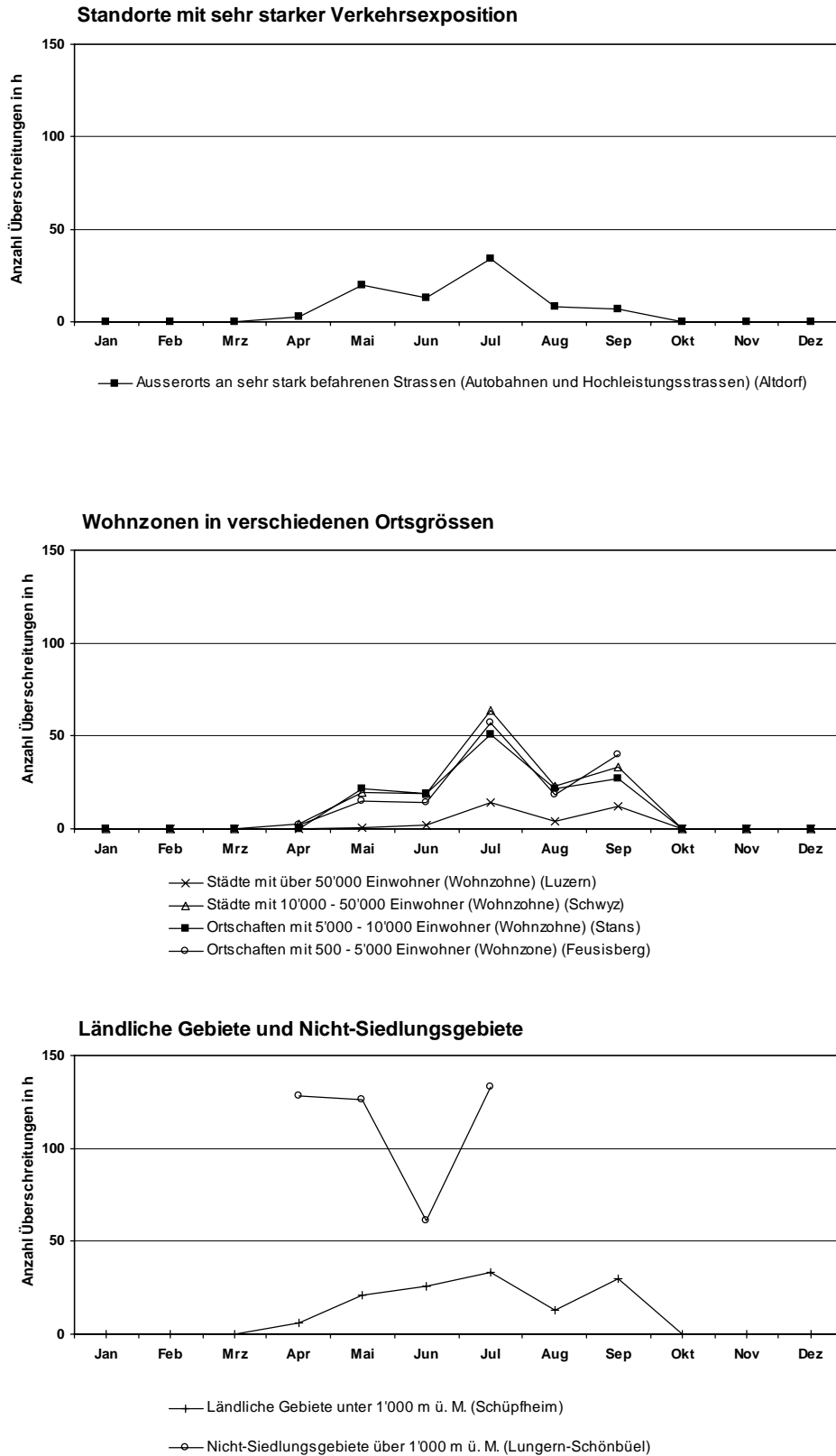


Abb. 17: Anzahl Überschreitungen des Stundenmittelwertes von Ozon im Jahresverlauf

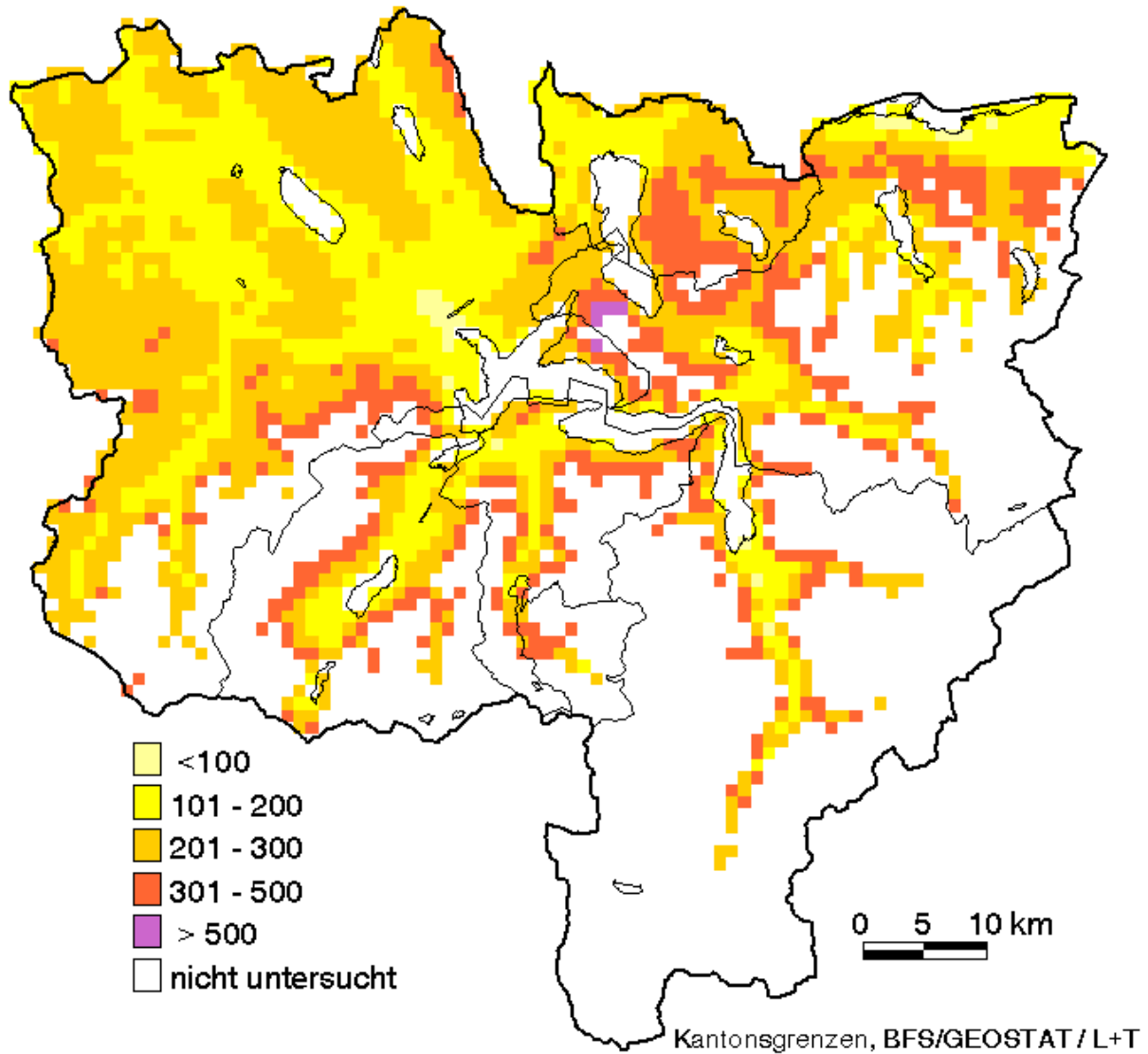
Die maximalen Stundenmittelwerte lagen 1999 in der Zentralschweiz zwischen  $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (innerorts, Stadt) und  $166 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (innerorts, Dorf). Im Jahresverlauf wurden die höchsten Konzentrationen in den Monaten Mai, Juni und Juli gemessen. Im Vergleich zu den Vorjahren sind diese Werte deutlich tiefer (vgl. Kap. 4.3.4).

#### **Ozonbelastung 1999: Anzahl Stunden mit Überschreitung des Kurzzeitgrenzwertes**

Die Karte zeigt grosse regionale Unterschiede der Belastung. Der Immissionsgrenzwert für Ozon wird flächendeckend überschritten, am meisten in den höher gelegenen Gebieten der Voralpen. Das Ozon wird hier einerseits aus den Ballungsgebieten importiert, andererseits fehlen die für den nächtlichen Ozonabbau nötigen Primärschadstoffe. Diese sorgen am Tag in den Ballungsräumen für die Ozonproduktion. Deutlich weniger Grenzwertüberschreitungen werden nur an stark verkehrsbelasteten Orten registriert. Dort wird durch die Primärschadstoffe das vorhandene Ozon rasch abgebaut.

Die Resultate der kontinuierlich arbeitenden Stationen des Zentralschweizer Luftmessnetzes sowie Stationen der benachbarten Kantone und die Lage in Meter über Meer bilden die Grundlage für die Ozonbelastungskarte. **Die Karte zeigt die Ozonbelastung in einer Auflösung von einem Quadratkilometer.** Aufgrund fehlender Messstationen in den höher gelegenen Gebieten der Alpen sind die Modellrechnungen nur bis in eine Höhe von 1200 m ü. M. vorgenommen worden. Die Karte soll ein allgemeines Bild über die Zentralschweizer Ozonbelastung vermitteln und erhebt nicht den Anspruch auf Genauigkeit im Detail. Die Werte innerhalb eines Quadratkilometers können davon abweichen, insbesondere wenn eine vielbefahrene Strasse durch das Gebiet führt. Entlang von Hauptstrassen und in Dorfzentren wird in unmittelbarer Quellennähe vermehrt Ozon abgebaut. Die Ozonbelastung kann hier tiefer liegen.

**Ozonbelastung 1999: Anzahl Stunden mit Überschreitung des Kurzzeitgrenzwertes**  
(Grenzwert LRV: 1 Überschreitung pro Jahr)



Karte: Meteotest, Bern

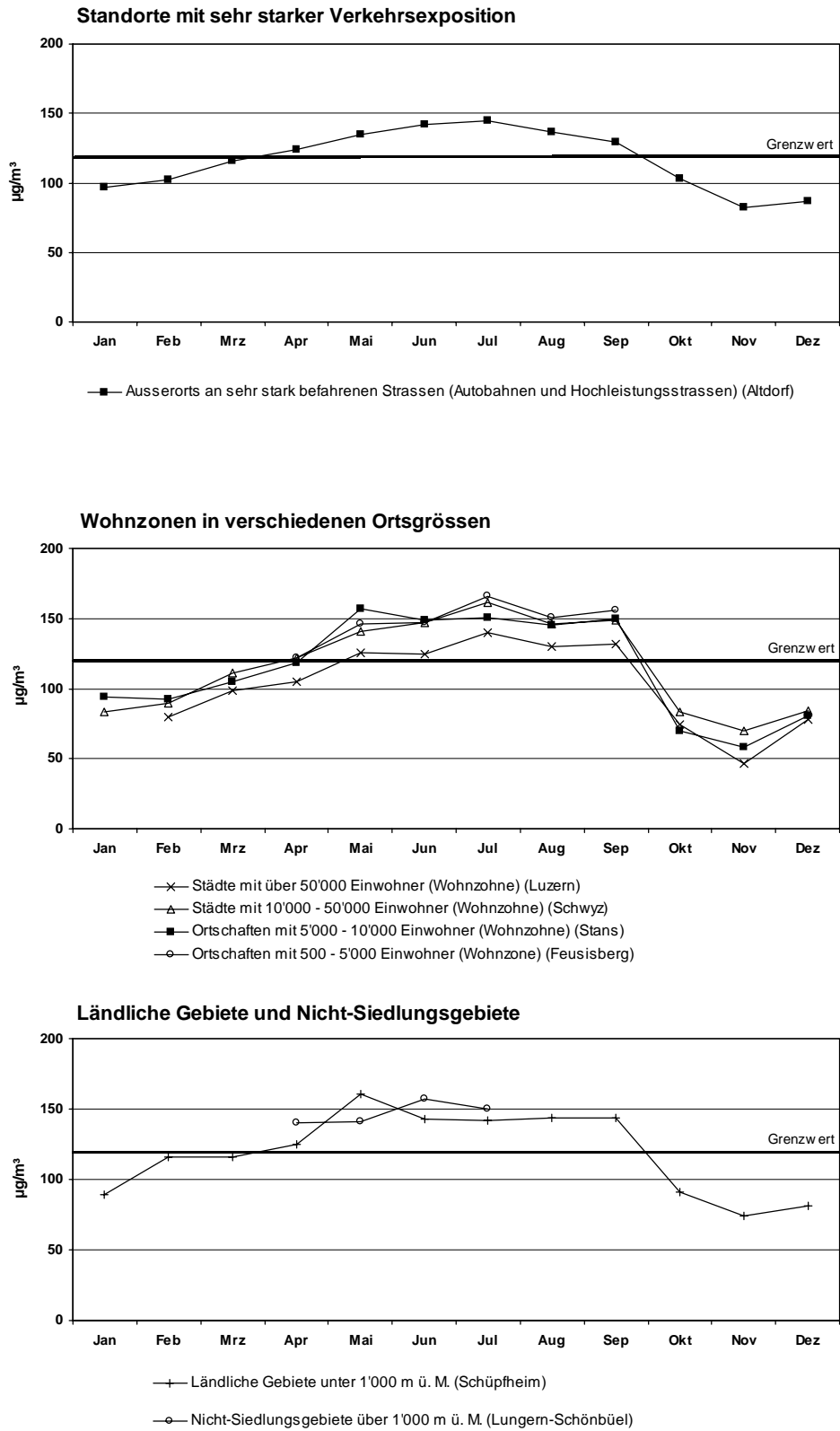


Abb. 18: Maximale Stundenmittelwerte von Ozon im Jahresverlauf



#### 4.3.2 98 %-Werte

Der 98 %-Grenzwert (Monatsgrenzwert) wurde 1999 während fünf bis sieben Monaten überschritten. Die Überschreitungen erstreckten sich über die Monate März bis September. Ab Oktober bis Ende Jahr lagen die Werte markant tiefer. Die Maximalwerte lagen je nach Standort zwischen 122 (Luzern Museggstrasse) und 140 (Schwyz Rubiswilstrasse, Lungern-Schönbüel\*)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Im Jahresverlauf unterscheiden sich die verschiedenen Standortstypen kaum. Der Standort Luzern Museggstrasse (Städte mit über 50'000 Einwohnern) zeigte tendenziell tiefere Werte als die übrigen Standorte. Die hochgelegene Station Lungern-Schönbüel\* zeigte in den drei gemessenen Monaten kaum eine Variation der 98 %-Werte.

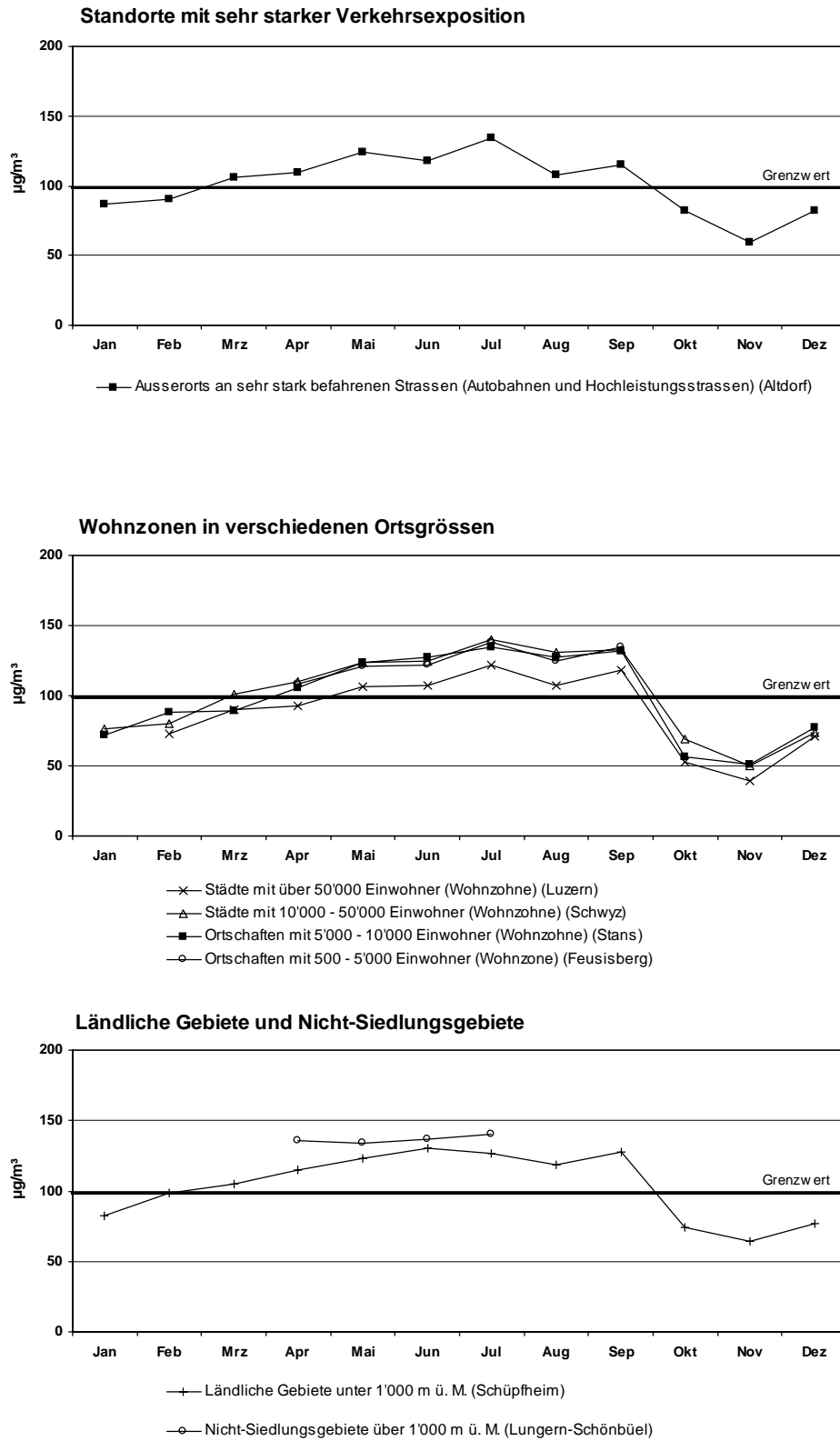


Abb. 19: Jahressgang der 98%- Werte von Ozon

### 4.3.3 Kritische Belastungsgrenzen für Wald und landwirtschaftliche Kulturen

Für die wirkungsorientierte Betrachtung der Ozonbelastung auf Pflanzen ist neben der Konzentration noch die Dosis von Bedeutung. Dafür wurde der AOT-40-Wert definiert. Er gibt die Dosis an, welcher Pflanzen während ihrer Wachstumsphase ausgesetzt sind. Es werden nur die Werte aufsummiert, die über einem Schwellenwert von 40 ppb liegen (accumulated exposure over a threshold of 40 ppb; 40 ppb entsprechen etwa  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Für Wald werden die Werte der Tagesstunden von April bis September, für landwirtschaftliche Kulturen nur jene der Tagesstunden von Mai bis Juli berücksichtigt. Europäische Forscherteams empfehlen, die tolerierbare Belastungsgrenze (critical level) für Wald bei einer Biomasseeinbusse von 10 % festzulegen.<sup>9</sup> Die kritische Belastungsgrenze für Wald liegt bei  $10 \text{ ppm}\cdot\text{h}$ <sup>10</sup>. Für landwirtschaftliche Kulturen ist bei  $3 \text{ ppm}\cdot\text{h}$  ein theoretischer Ernteausfall von 5 % zu erwarten<sup>11</sup>. Das Konzept der „critical levels“ ist derzeit in Weiterentwicklung.

Die kritische Ozonbelastungsdosis für Wald und landwirtschaftliche Kulturpflanzen (Abb. 20 und 21) wurde grossräumig überschritten. An verkehrsexponierten Standorten und am städtischen Standort lag die Ozonbelastungsdosis für Wald unter  $10 \text{ ppm}\cdot\text{h}$ . Die Ozonbelastungsdosis für landwirtschaftliche Kulturen ( $3 \text{ ppm}\cdot\text{h}$ ) wurde ausser am städtischen Standort überall überschritten.

Gemäss dem Bericht der UN-ECE (United Nations Economic Commission for Europe) würde sich dies in einer ozonbedingten Biomasseeinbusse der Wälder von über 10 % und einem relativen Ernteausfall für landwirtschaftliche Kulturen von über 5 % auswirken.

<sup>9</sup> Quelle: „Critical levels for ozone - a UN-ECE workshop report“. Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie. Schriftenreihe der FAC Liebefeld Nr. 16, 1994.

<sup>10</sup> ppm: part per million, ein Teilchen auf eine Million Teilchen.

<sup>11</sup> Quelle: „Proceedings of the Workshop on Critical levels for Ozone in Europe: Testing and Finalizing the Concept“. Kuopio, Finland, 1996.

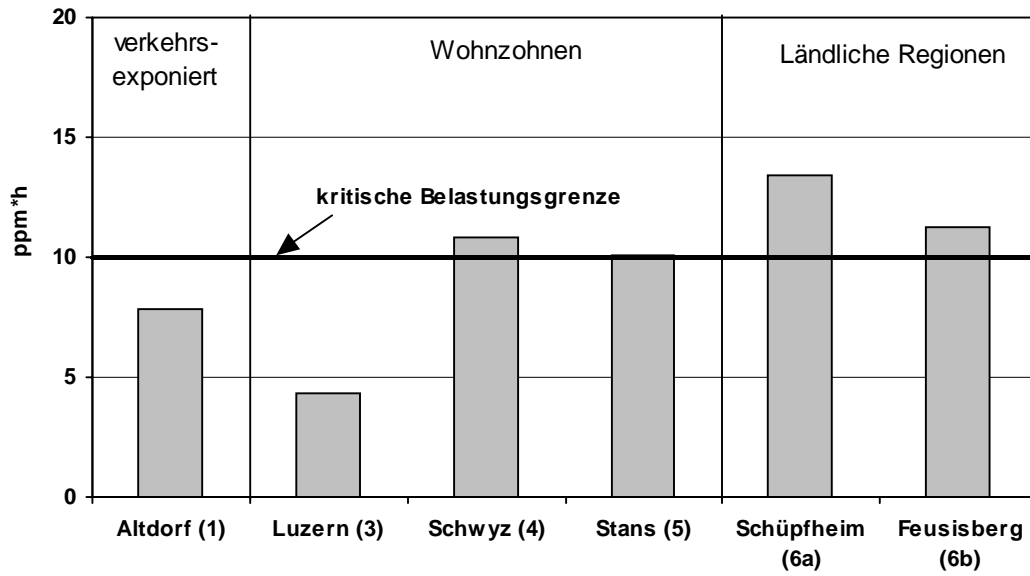


Abb. 20: AOT-40-Werte für Wald (in ppm\*h, Tagesstunden von April bis September)

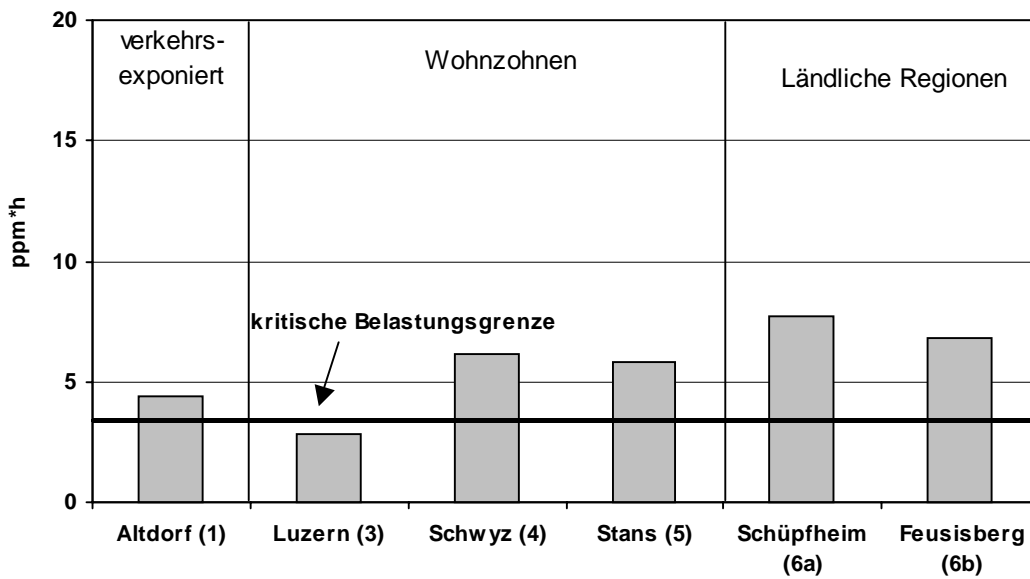


Abb. 21: AOT-40-Werte für landwirtschaftliche Kulturen (in ppm\*h, Tagesstunden von Mai bis Juni)

### Ozonbelastung für landwirtschaftliche Kulturen im Jahr 1999

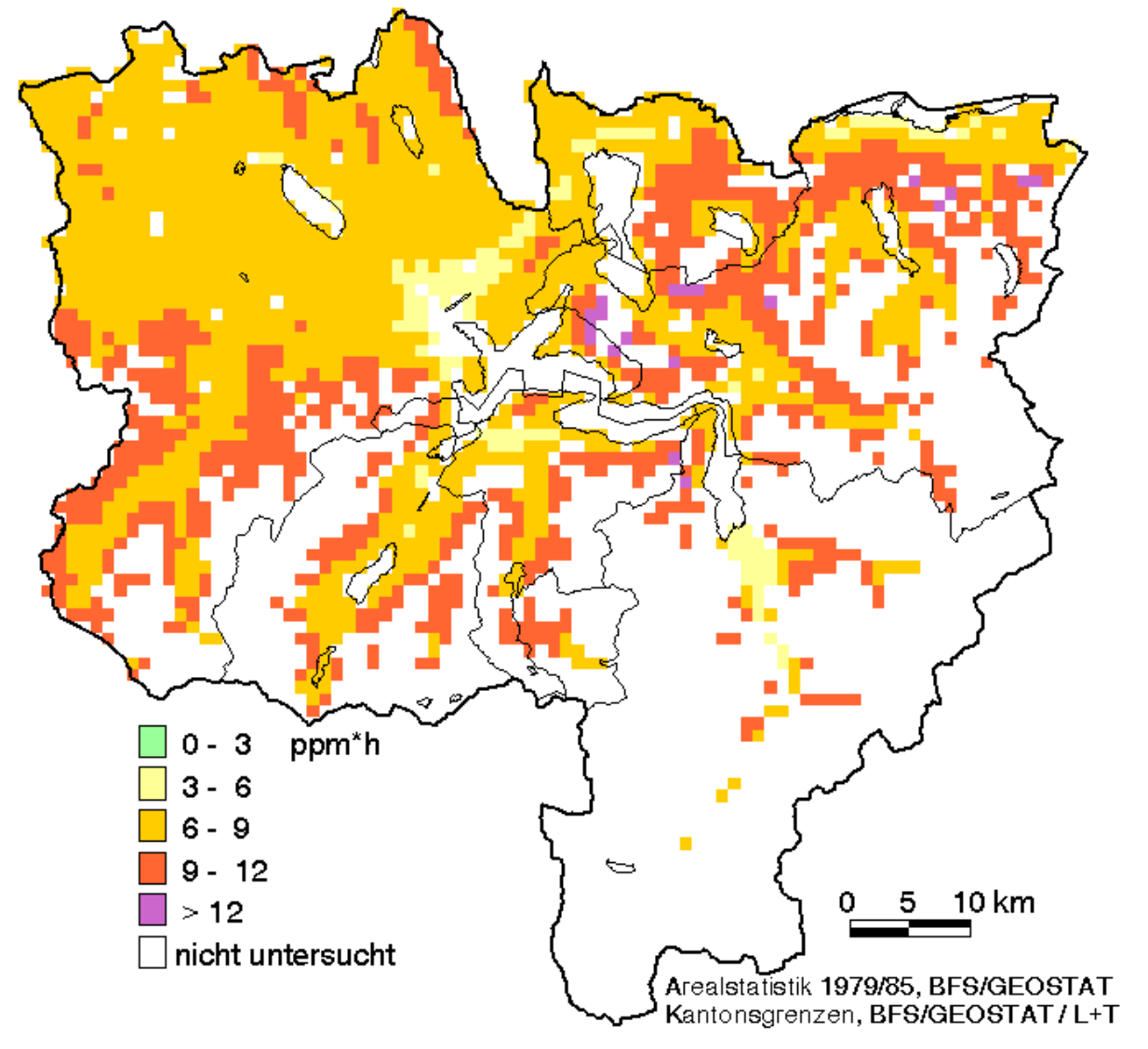
Beinahe flächendeckend überschreitet die Ozon-Dosis die kritischen Belastungsgrenzen für landwirtschaftliche Kulturen. Die Karte zeigt grosse regionale Unterschiede der Belastung.

Besorgniserregend sind die flächendeckenden Überschreitungen der Belastungsgrenze für landwirtschaftliche Kulturen. Diese treten auch in den landwirtschaftlich am intensivsten genutzten Gegenden des Mittellandes auf. Damit sind ozonbedingte Einbussen der landwirtschaftlichen Produktion von über 5 % zu erwarten.

Die Resultate der kontinuierlich arbeitenden Stationen des Zentralschweizer Luftmessnetzes sowie Stationen der benachbarten Kantone und die Lage in Meter über Meer bilden die Grundlage für die Ozon-Dosiskarte. **Die Karte zeigt die Ozon-Dosis in einer Auflösung von einem Quadratkilometer.** Die Modellrechnungen für die Belastung landwirtschaftlicher Kulturen wurden bis in eine Höhe von 1200 m ü. M. durchgeführt. Die Karte soll ein allgemeines Bild über die Ozonbelastung vermitteln und erhebt nicht den Anspruch auf Genauigkeit im Detail. Die Werte innerhalb eines Quadratkilometers können variieren, insbesondere wenn eine vielbefahrene Strasse durch das Gebiet führt. Entlang von Hauptstrassen und in Dorfzentren wird in unmittelbarer Quellennähe vermehrt Ozon abgebaut. Die Ozonbelastung kann hier tiefer liegen.

**Ozonbelastung für landwirtschaftliche Kulturen im Jahr 1999 (AOT40)**

Kritische Belastungsgrenze für landwirtschaftliche Kulturen: 3 ppm\*h



Karte: Meteotest, Bern

### 4.3.4 Vergleich der Ozonbelastung 1999 mit den Vorjahren

#### 4.3.4.1 Vergleich mit 1998

Die Entwicklung der Ozonbelastung lässt sich durch den Vergleich mit Messdaten früherer Jahre verfolgen. Neben den „in-LUFT“ Stationen werden dazu auch die Resultate von weiteren Stationen (Werkhof Flüelen, Sedel und Seeboden) hinzugezogen.

1999 wurden deutlich tiefere Ozonwerte gemessen als im Vorjahr (vgl. Tab. 5). Am ausgeprägtesten war der Rückgang bei den Anzahl Überschreitungen des Stundenmittelgrenzwertes (Rückgang zwischen 25 und 63 %) und der Ozonbelastungsdosis für Wald und landwirtschaftliche Kulturen (Rückgang zwischen 31 und 46 %). Der Rückgang wurde bei allen beobachteten Stationen in ähnlichem Ausmass verzeichnet.

**Tab. 5: Vergleich der Ozonbelastung 1998 mit jener von 1999 (Veränderung in % des Vorjahres) an ausgewählten Stationen in der Zentralschweiz (grau hinterlegt ist pro Messparameter die Station mit dem maximalen Rückgang)**

Messparameter	Stans Engelbergstrasse	Schüpfheim Chlosterbühl	Feusisberg Schulhausstrasse	Werkhof Flüelen	Sedel	Seeboden
Max. 98%-Wert	-8%	-7%	-8%	-13%	-5%	-16%
Max. h-Mittel	-33%	-21%	-15%	-15%	-21%	-17%
Anz. h > 120 µg/m <sup>3</sup>	-53%	-58%	-63%	-61%	-47%	-25%
AOT40 Wald	-44%	-33%	-38%	-33%	-38%	k.A.
AOT40 LW	-46%	-34%	-36%	-31%	-37%	k.A.
Monatsmittel	-10%	-7%	-9%	-6%	-9%	k.A.

Die Abbildung 22 zeigt für die Station Stans Engelbergstrasse einen detaillierten graphischen Vergleich über die Ozon-Belastung in den Sommermonaten 1998 und 1999. Überschreitungen des Einstundenmittel-Grenzwertes traten überwiegend am Nachmittag auf. Im Jahre 1999 lagen sowohl die Anzahl der Überschreitungen, wie auch die Spitzenwerte erheblich unterhalb jenen von 1998. Besonders ausgeprägt ist der Unterschied für den Monat August.

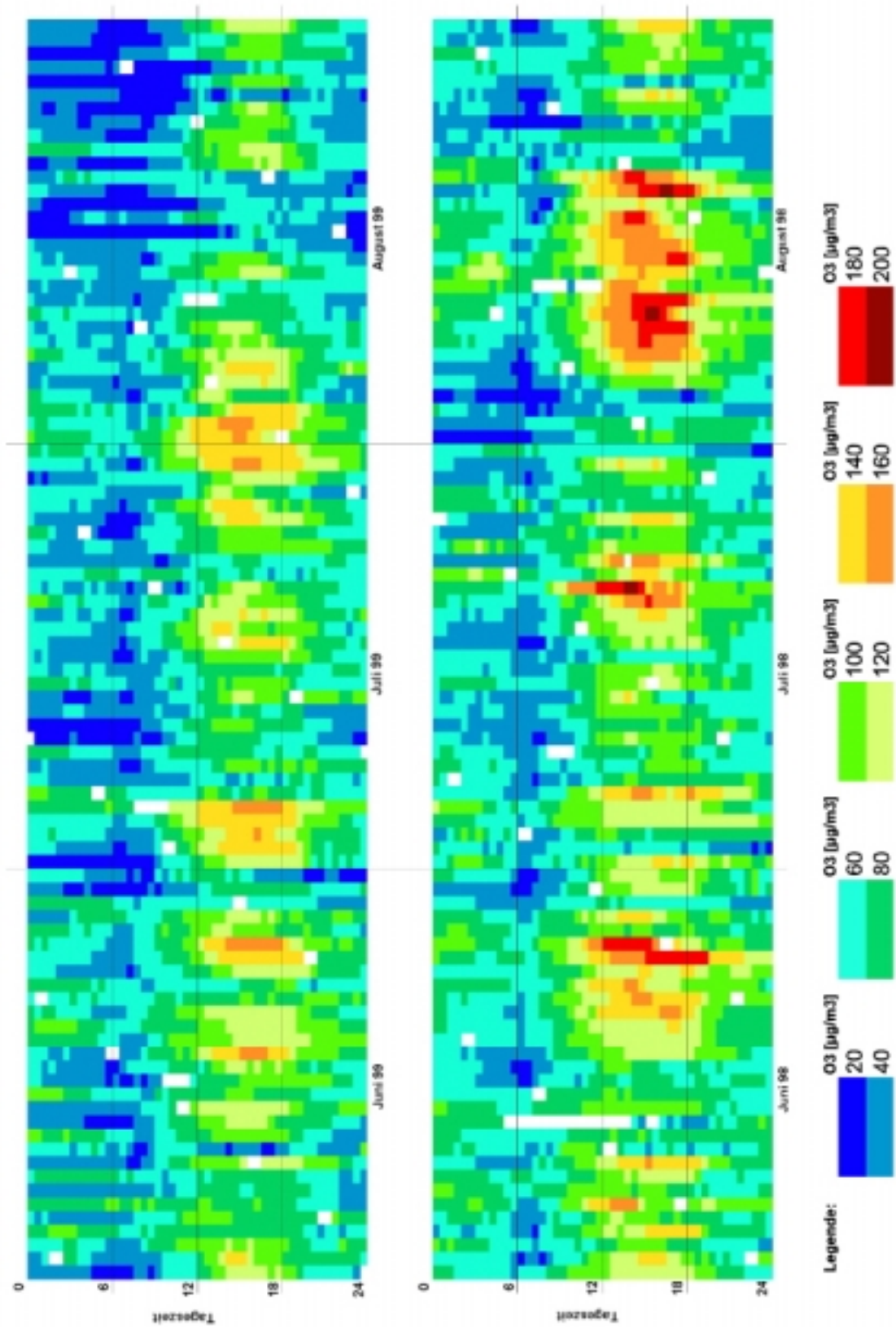


Abb. 22: Vergleich der Ozonbelastung während der Sommermonate 1999 und 1998 (Messstation Stans Engelbergstrasse)



4.3.4.1 Entwicklung seit 1986

Betrachtet man den Verlauf des maximalen 98%-Wertes über mehrere Jahre, erkennt man keinen eindeutigen Trend zu höheren oder tieferen Ozonwerten (vgl. Abb. 23). Die Werte von 1999 liegen im unteren Bereich der bislang gemessenen Konzentrationen, wie sie beispielsweise auch im regnerischen 1993 vorkamen.

Die maximalen Stundenmittelwerte lagen im Jahr 1999 an den ausgewählten Messstationen so tief wie noch nie seit Beginn der Messungen anfangs der Neunziger Jahre (vgl. Abb. 24). Dies kann einerseits mit dem Fehlen von längerandauernden Hochdruck-Wetterlagen im Sommerhalbjahr begründet werden (siehe auch Tab. 6 sowie Kasten auf Seite 51), andererseits sind dies möglicherweise auch erste Anzeichen der Reduktion der Emissionen von ozonbildenden Schadstoffen wie VOC oder NO<sub>x</sub>. Eine genauere Aussage kann erst in den nächsten Jahren gemacht werden. Trotzdem wird der Stundenmittelgrenzwert immer noch überall und deutlich überschritten.

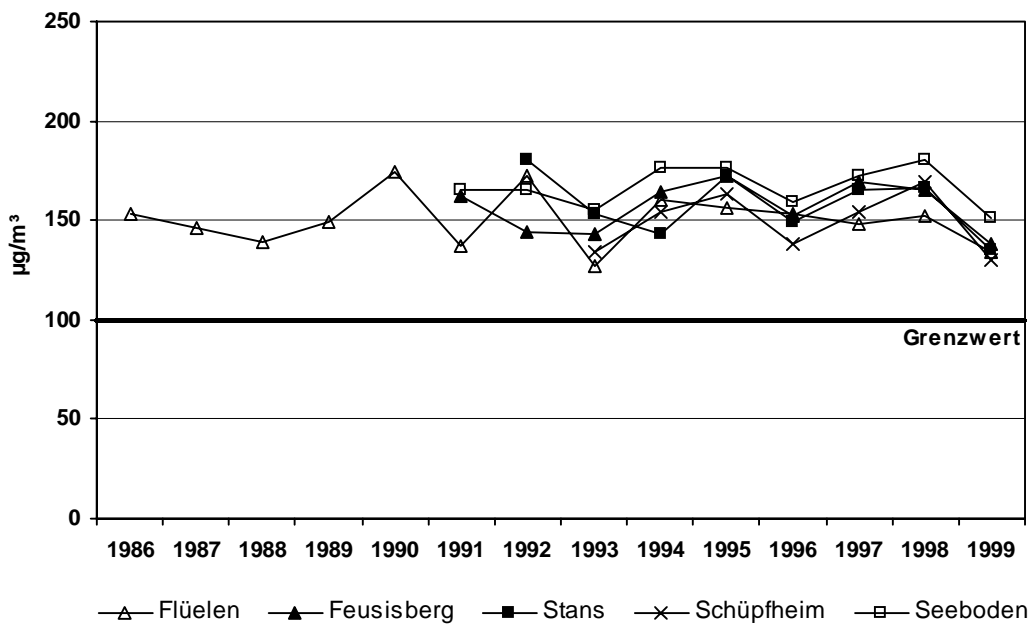


Abb. 23: Maximale 98%-Werte von Ozon ausgewählter Stationen

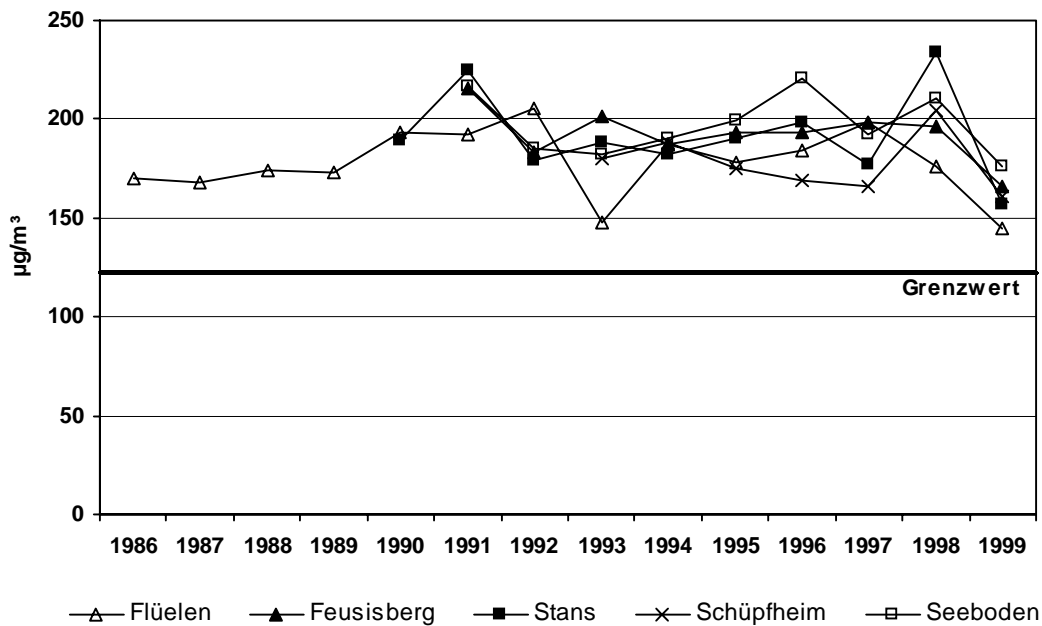


Abb. 24: Maximale Stundenmittelwerte von Ozon an ausgewählten Stationen von 1986-1999

Tab. 6: Witterung und Ozonbelastung in drei speziellen Jahren (gemäss den jährlichen Witterungsberichten der SMA; Ozondaten Seeboden: BUWAL)

Jahr	1993	1998	1999
Allgemein	Deutlicher Wärmeüberschuss und überdurchschnittliche Niederschlagsmengen.	Warm und überwiegend sonnig.	Tiefdruckbestimmtes Wetter.
Temperaturen	Zu warm.	Deutlich zu warm waren die Monate Mai, Juli und August.	Viel zu warm.
Sonnenschein	Defizite überwiegen. Tiefdruckbestimmter Juli mit wenig Sonne.	Überdurchschnittlich viel Sonne in der Zeit von Januar bis August.	Insgesamt sonnenarm.
Niederschlag	Überdurchschnittliche Niederschlagsmengen insbesondere im Juli.	In den meisten Gebieten des Mittellandes von Mai bis August niederschlagsarm.	Ein nasses Jahr.
<b>Ozon (Anzahl h&gt;120 µg/m³)</b>			
Seeboden	463	822	615
Feusisberg	138	398	146
Stans	242	302	141
Werkhof Flüelen	92	226	88
Sedel (Ebikon)	225	352	187

## Ein spezieller Ozonsommer 1999 für ganz Europa

Das Ozon macht vor keinen Grenzen halt. Neben dem lokal produzierten Ozon spielt auch die natürliche Hintergrundbelastung sowie das regional oder in anderen Ländern entstandene Ozon eine Rolle. Da es sich bei der Ozonbelastung um ein grossräumiges Problem handelt, werden nachfolgend für das vergangene Jahr die Resultate der Ozonmessungen aus Ländern der Europäischen Union vorgestellt.

Die EU kennt einen Warnwert für die Öffentlichkeit bei einem Einstundenmittelwert von 360  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dieser wurde aufgrund der vorläufigen Auswertungen im vergangenen Jahr in den EU-Staaten nicht überschritten. Der Grenzwert für die Information der Bevölkerung von 180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Einstundenmittelwert) wurde im vergangenen Sommer in allen EU-Staaten mit Ausnahme von Irland, Dänemark, Schweden und Finnland überschritten. Die Anzahl Tage mit mindestens einer Überschreitung variierte von zwei in Luxemburg bis zu 68 in Italien. Mit Ausnahme von England und allen nord- und westeuropäischen Staaten wurden im vergangenen Jahr in Europa deutlich weniger Überschreitungen des Informationswertes verzeichnet als im Sommer 1998.

Die geographische Verteilung der Grenzwert-Überschreitungen in Nord- und Westeuropa ist nicht vergleichbar mit jener der vergangenen vier Jahre. In früheren Jahren stieg die Anzahl der Überschreitungen von Null in den skandinavischen Ländern und Irland zu einem Maximum in Süddeutschland. Im Sommer 1999 wurde hier, im östlichen Teil von Deutschland und in Österreich keine einzige Überschreitung verzeichnet. Die Zone mit den meisten Überschreitungen umfasste England, die Beneluxstaaten und den nördlichen Teil von Frankreich.

Das räumliche Muster im Sommer 1999 lässt sich höchstwahrscheinlich durch die meteorologisch für den Ozonaufbau günstigen Bedingungen (warm und sonnig) im Juli und August (theoretisch die Monate mit den meisten Überschreitungen) erklären. Die dominierende Hochdruckzelle lag im Sommer 1999 im Raum Westfrankreich, Schottland und Norwegen. Daraus resultierte eine Zirkulation von relativ sauberer Luft aus Nordosten in Richtung Süden über den östlichen Teil der EU. Über England, Nordfrankreich und den Beneluxstaaten blieben die Luftmassen relativ stationär und bei sonnigem Wetter waren die Bedingungen für den Ozonaufbau optimal. *In den Alpen waren die meteorologischen Bedingungen gleichzeitig häufig instabil und nass – die Bedingungen für den Ozonaufbau dementsprechend schlecht.*

*Quelle:*

Air Pollution by Ozone in the European Union. Overview of the 1999 summer season (April-August). Report to the Commission by the European Environment Agency European Topic Centre on Air Quality Rob Sluyter, Annemarieke Camu, October 1999.

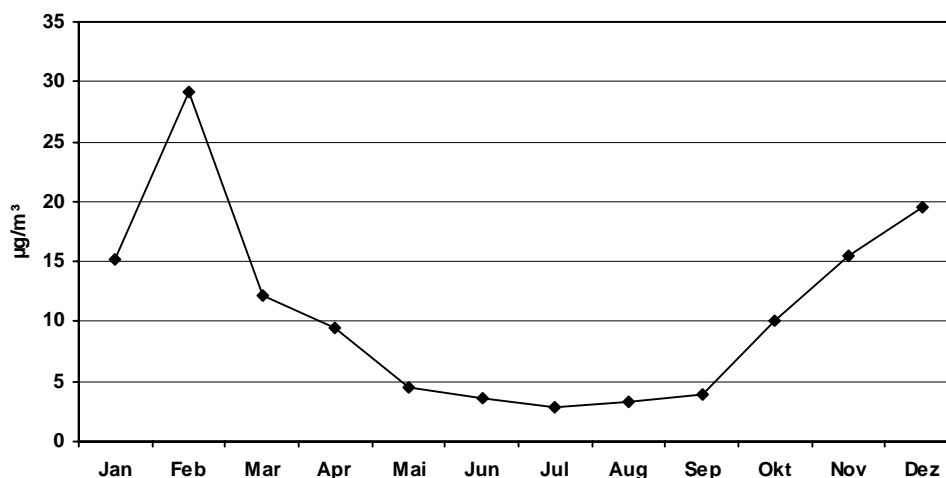
Der Bericht ist im Internet erhältlich als \*.pdf-Datei unter der Adresse:  
[http://europa.eu.int/comm/environment/air/facts\\_en.htm](http://europa.eu.int/comm/environment/air/facts_en.htm)

## 4.4 Weitere Messungen

### 4.4.1 Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>)

Für SO<sub>2</sub> liegen im Jahr 1999 Messresultate für den Standort Luzern Museggstrasse vor (Standortskategorie: Städte mit über 50'000 Einwohner (Wohnzone)); für die anderen Standortkategorien wurden keine Messungen vorgenommen. Das Jahresmittel lag mit 6 µg/m<sup>3</sup> deutlich unter dem Grenzwert von 30 µg/m<sup>3</sup>. Der Tagesmittel-Grenzwert und der 95%-Grenzwert von 100 µg/m<sup>3</sup> wurden mit einem maximalen Tagesmittel von 29 µg/m<sup>3</sup> bzw. einem 95%-Wert von 16 µg/m<sup>3</sup> klar eingehalten. Aufgrund der früheren Messungen und den Angaben zu den SO<sub>2</sub>-Emissionen kann davon ausgegangen werden, dass die Grenzwerte in der ganzen Zentralschweiz eingehalten werden. Die Maximalwerte wurden im Winterhalbjahr gemessen. Grund dafür sind die schlechteren Ausbreitungsbedingungen und die SO<sub>2</sub>-Emissionen der Hausfeuerungen. Ausserhalb des „in-LUFT“ Messnetzes wurden die SO<sub>2</sub>-Werte an drei Standorten erfasst. Die Jahresmittel der Stationen Werkhof Flüelen und Bürglen St. Josef liegen mit 7 bzw. 6 µg/m<sup>3</sup> deutlich unterhalb dem LRV-Grenzwert. Ebenfalls deutlich unterhalb des LRV-Grenzwertes liegen das Jahresmittel und der maximale Tagesmittelwert auf Seeboden (Rigi) (1 µg/m<sup>3</sup> bzw. 8 µg/m<sup>3</sup>).

Die Schwefeldioxidkonzentrationen gehen seit dem Maximum in der Mitte der 60er Jahre zurück und stagnieren derzeit auf einem tiefen Stand. Überschreitungen der Immissionsgrenzwerte treten keine mehr auf.



**Abb. 25: Maximale monatliche Tagesmittel von SO<sub>2</sub> 1999 (Luzern Museggstrasse, Immissionskategorie: Städte mit über 50'000 Einwohner (Wohnzone)). Der Grenzwert der LRV liegt bei 100 µg/m<sup>3</sup>.**

An den tiefen Schwefeldioxid-Werten zeigt sich der Erfolg der Massnahmen (insbesondere der Herabsetzung des Schwefelgehaltes im Heizöl). Das Beispiel Schwefeldioxid macht deutlich, dass bei einer konsequenten Umsetzung von Luftreinemassnahmen auch an früher stärker belasteten Standorten die Grenzwerte wieder eingehalten werden können.

#### 4.4.2 Flüchtige organische Verbindungen (VOC)

Flüchtige organische Verbindungen (VOC, engl. volatile organic compounds) sind ein Sammelbegriff für organische Gase und Dämpfe. Wegen der Vielzahl unterschiedlicher Stoffe wurde für VOC kein Immissionsgrenzwert festgelegt. VOC entstehen unter anderem bei der Verbrennung und Verdunstung von Treibstoffen und Lösungsmitteln. Sie sind in zweierlei Hinsicht problematisch: Zusammen mit Stickoxiden führen sie einerseits unter Sonneneinwirkung zur Bildung von bodennahem Ozon, andererseits sind viele VOC auch direkt toxisch und weisen zum Teil kanzerogene Eigenschaften auf (z.B. Benzol).

Gemäss der Umweltschutzgesetzgebung sind Immissionsgrenzwerte für Luftschadstoffe so festgelegt, dass Belastungen unterhalb der entsprechenden Werte den Menschen nicht gefährden und die Bevölkerung in ihrem Wohlbefinden nicht stören. Da kanzerogene Stoffe aber bereits in kleinsten Mengen wirken, kann diese Bedingung nicht erfüllt werden. Es gibt keine Unbedenklichkeitsschwelle. Ziel muss es daher sein, deren Emissionen zu verhindern oder weitmöglichst zu reduzieren. Die Reduktion der Benzolbelastung wurde beispielweise mit der Rückführung der Benzindämpfe beim Tanken oder der Reduktion des Benzolgehaltes im Benzin bereits eingeleitet (vgl. Kasten auf S. 57). Die Reduktion der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAH<sup>12</sup>) und Russpartikel verlangt aber noch weitere Massnahmen bei allen Verursachern, speziell bei den Dieselmotoren (vgl. Kap. 4.4.3).

Im Rahmen des Zentralschweizer Luftmessnetzes wurden Benzol- und Toluol-Messungen am verkehrsexponierten Standort Zug Postplatz durchgeführt. Es liegen Resultate mit einer Auflösung von 15 Minuten vom 1.6.1999 bis 31.12.1999 vor. Im Mittel lag die Benzolbelastung bei 4.9 µg/m<sup>3</sup>, die Toluolbelastung bei 15.4 µg/m<sup>3</sup>. Diese Werte sind eine gute Näherung für die Jahresbelastung. In Deutschland liegt der Jahres-Grenzwert der 23. Bundesimmissionsschutzverordnung (seit 1998) für Benzol bei 10 µg/m<sup>3</sup>. Als „akzeptables“ Krebsrisiko<sup>12</sup> wird in Deutschland ein Jahresmittel von 1.5 µg/m<sup>3</sup> als Grenzwert empfohlen.

<sup>12</sup> PAH: engl. polycyclic aromatic hydrocarbons, dt. PAK

Tab. 7: Messwerte von Benzol und Toluol vom 1.6.1999 bis 31.12.1999 in Zug Postplatz

	Benzol	Toluol
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Mittelwert	4.9	15.4
Min. Tagesmittel	1.5	5.7
Max. Tagesmittel	13.1	38.3

Der Verlauf der Benzoltagesmittelwerte (Hauptquelle: 95 % aus dem motorisierten Strassenverkehr<sup>13</sup>) zeigt leicht höhere Werte im Herbst und Winter, was auf die ungünstigeren atmosphärischen Austauschbedingungen (Nebellagen) zurückgeführt werden kann. Bei Toluol sind die höheren Werte im Sommer zu beobachten. Das ausgewiesene Verhältnis von Toluol zu Benzol liegt mit 3.1 etwas über dem für den Strassenverkehr typischen Bereich von 2.5 bis 3.0. Ursachen könnten Toluolemissionen aus industriellen und gewerblichen Quellen sein.

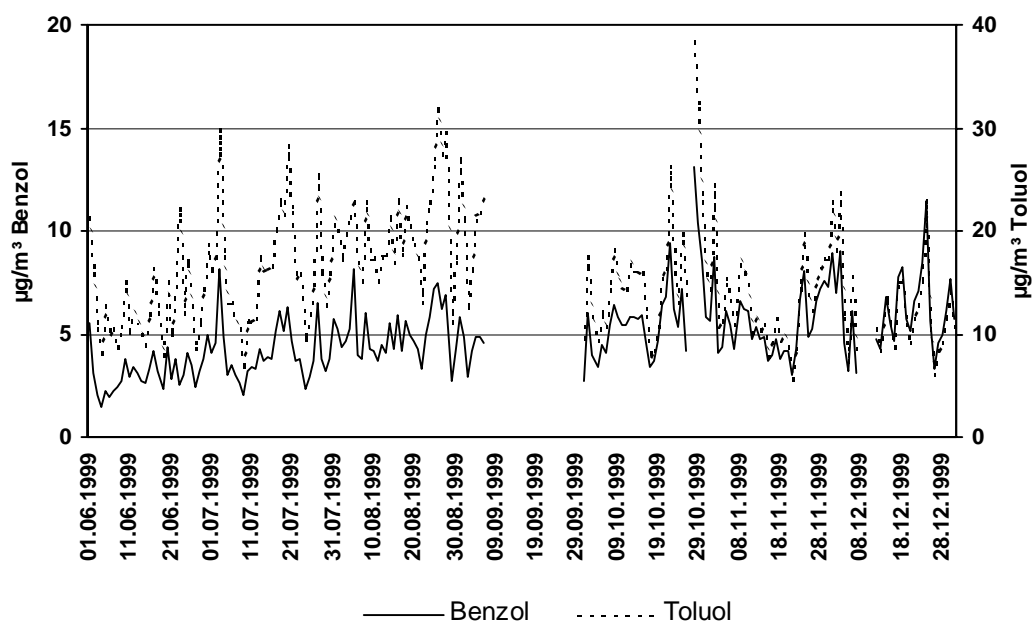


Abb. 26: Verlauf der Tagesmittelwerte von Benzol und Toluol vom 1.6.1999 bis 31.12.1999 in Zug Postplatz

Im Tagesgang steigen die Konzentrationen von Benzol und Toluol im Laufe des Morgens an und verbleiben praktisch den ganzen Tag auf hohem Niveau, um dann gegen den Morgen wieder abzusinken (vgl. Abb. 27). Sie zeigen in etwa das Verkehrsmuster im Tagesverlauf.

<sup>13</sup> VOC-Immissionsmessungen in den Kantonen Zürich, Schaffhausen und Luzern 1993-98. Reihe Umweltmaterialien des BUWAL, 2000.

Die Konzentrationen von Benzol und Toluol verlaufen praktisch parallel. Dies lässt auf die gleiche Herkunft der emittierten Mengen schliessen (Verkehr).

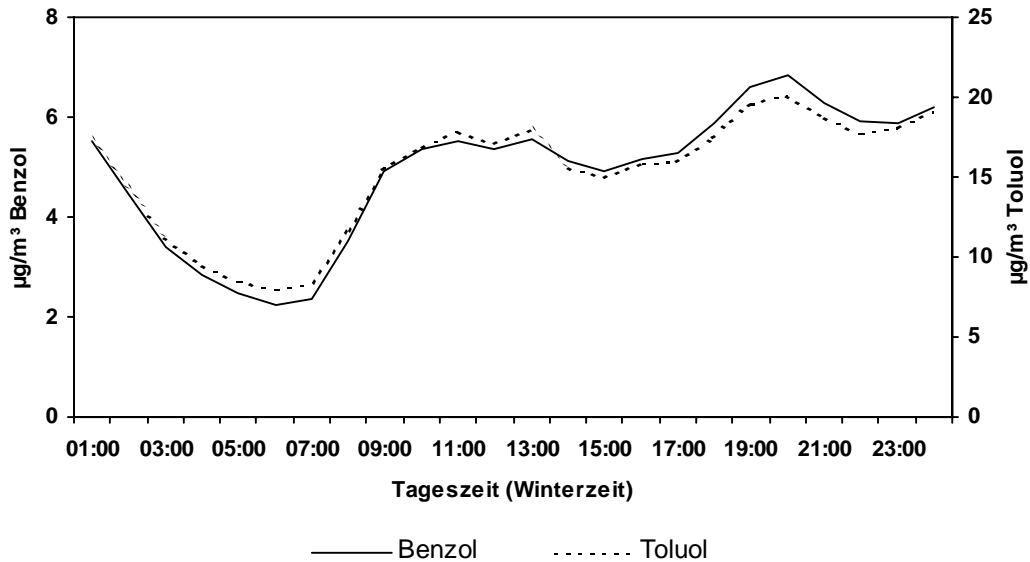
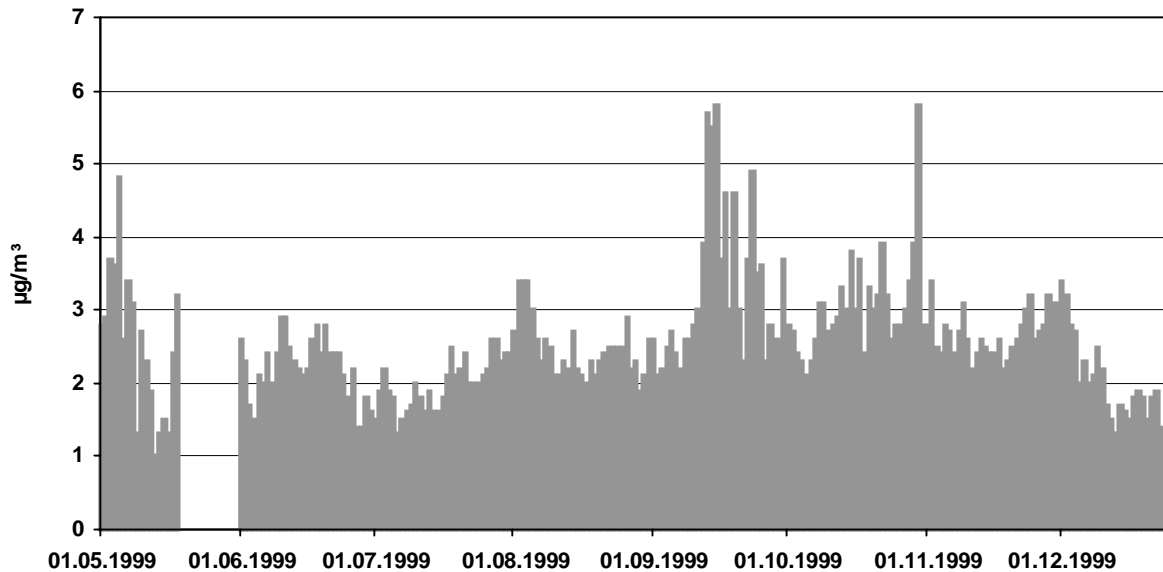


Abb. 27: Mittlerer Tagesgang von Benzol und Toluol vom 1.6.1999 - 31.12.1999 in Zug Postplatz

#### 4.4.3 Russ (EC)

Im Rahmen des Zentralschweizer Luftmessnetzes werden Russ-Messungen (Elementar Carbon EC) am verkehrsexponierten Standort Zug Postplatz durchgeführt. Es liegen Resultate vom 1.5.1999 bis 25.12.1999 vor. Im Mittel lag die Russkonzentration bei 2.5 µg/m³. Dieser Wert ist eine gute Näherung für die Jahresbelastung. In Deutschland liegt der Grenzwert der 23. Bundesimmissionsschutzverordnung (seit 1998) für Russ bei 8 µg/m³. Als „akzeptables“ Krebsrisiko“ wird in Deutschland ein Jahresmittel von 1.5 µg/m³ als Grenzwert empfohlen. Die Entwicklung der Russkonzentrationen über längere Zeiträume kann erst nach Vorliegen von mehrjährigen Datenreihen erfolgen.



**Abb. 28: Verlauf der Tagesmittelwerte für die Belastung mit Russ (Elementar Carbon) in Zug Postplatz vom 1.5.1999 bis 25.12.1999**

#### 4.4.4 Kohlenmonoxid (CO)

Kohlenmonoxid (CO) wird grösstenteils durch den Motorfahrzeugverkehr verursacht. Die Konzentrationen lagen selbst an verkehrsbelasteten Standorten im Jahresmittel klar unter dem Grenzwert. Der gesamtschweizerisch feststellbare Rückgang der Belastung erfolgte in den achtziger Jahren parallel zur Einführung des Abgas-Katalysators. Die zur Zeit gemessenen Werte betragen an verkehrsreichen Standorten etwa einen Drittel des Grenzwertes von 8 mg/m<sup>3</sup> und dürften sich in den nächsten Jahren kaum verändern.



**Endgültiges Aus für verbleites Superbenzin – Reduktion des Benzolgehaltes  
(Änderung LRV vom 25.8.1999)**

Ab dem 1. Januar 2000 darf in der Schweiz kein verbleites Motorenbenzin mehr verkauft werden. Gleichzeitig wird der Anteil des krebserzeugenden Benzols im Benzin von 5 Prozent auf 1 Prozent gesenkt. Dies hat der Bundesrat mit einer Änderung der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) beschlossen. Die Schweiz führt damit gleichzeitig wie die EU neue Qualitätsanforderungen für Benzin und Dieselöl ein.

Mit der strengeren Regelung wird die Umweltbelastung durch Benzin und Dieselöl massgeblich reduziert. Der (maximale) Benzolgehalt im Benzin wird von 5 Prozent auf 1 Prozent gesenkt, und der Schwefelgehalt im Diesel von 500 auf 350 Milligramm pro Kilogramm verringert. Das verbleite Motorenbenzin verschwindet gänzlich vom Markt. Diese neuen Benzin- und Dieselqualitäten sind eine Voraussetzung für die bereits beschlossenen und die geplanten Abgasnormen der EU für Personen- und Lastwagen. Bereits seit 1985 hat der Bund durch eine stärkere Besteuerung von Bleibenzen den Verbrauch des "bleifreien Benzins" fiskalisch gefördert. Weil moderne Personenwagen mit Dreiwegkatalysator kein Bleibenzen tanken dürfen, ging der Verbrauch an verbleitem Benzin immer stärker zurück. Er beträgt heute weniger als 5 Prozent des Gesamtabsatzes.

Die Konsumenten werden die LRV-Änderung lediglich am Verschwinden der Zapfsäulen für verbleites Superbenzin wahrnehmen. Verbleites Benzin wird heute nur noch von ganz wenigen Fahrzeugen, vor allem Oldtimern, zwingend benötigt. Für diese Spezialanwendung sieht die Benzinbranche Zusatzstoffe vor, welche dem Fahrzeug bei jeder Tankfüllung zusätzlich beigegeben werden können.

Quelle: BUWAL-Pressemitteilung vom 25. August 1999

**Anmerkung:**

Aufgrund der Erlaubnis des Bundesrates, alte Bestände aus Pflichtlagern langsam abzubauen, dürfen Tankstellen bis ins Jahr 2004 Benzin mit einem höheren Benzolgehalt verkaufen.

## 5. EIN JAHR ERFAHRUNG MIT „in-LUFT“

### 5.1 Bewährung der Immissionskategorien

Aufgrund der Messresultate von Fixstationen und NO<sub>2</sub>-Passivsammlern des ersten „in-LUFT“-Messjahres wird eine erste grobe Beurteilung gemacht, ob die nach Verkehrsbelastung und Besiedlungsdichte klassifizierten Messstandorte für die jeweiligen Immissionskategorien repräsentativ sind.

Die Resultate der NO<sub>2</sub>-Messungen zeigten Werte im Grenzwertbereich für den verkehrsbelasteten Standort Altdorf Gartenmatt (1) (vgl. Abb. 29). Über dem Grenzwert liegen die Werte für die Standorte Zug Postplatz\* (2) und Luzern Museggstrasse (3). Bei den übrigen nach Besiedlungsdichte klassifizierten Messorten (4-6c) erfolgt ein Rückgang der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen mit abnehmender Besiedlungsdichte. Im Vergleich mit den Passivsammlermessungen zeigt sich, dass die gemessenen Konzentrationen bei der Referenzstation für die Immissionskategorie 3 (Luzern Museggstrasse) am oberen Ende der Passivsammlerwerte liegen.<sup>14</sup> In der Immissionskategorie 2 (verkehrsbelastet innerorts) fällt bei den Passivsammlerresultaten die grosse Spannweite der Jahresmittel von unter 20 bis über 50 µg/m<sup>3</sup> auf. Grund dafür ist die in dieser Kategorie starke Abhängigkeit der Konzentrationen von den Verkehrsmengen (vgl. Klassierung in Abb. 30).

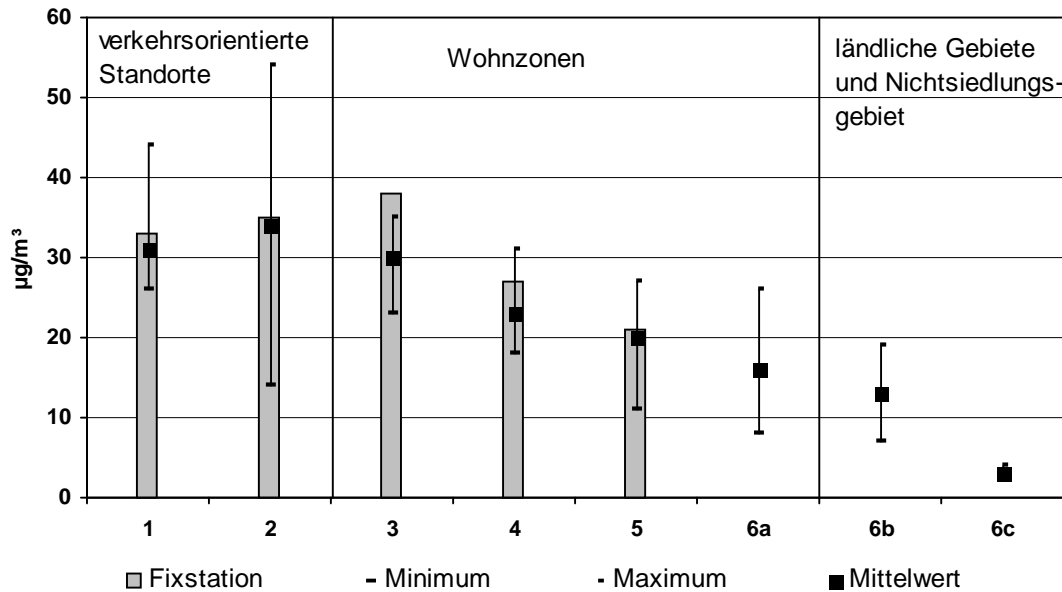
---

<sup>14</sup> Die „in-Luft“ Messstation Luzern ist in einer ehemaligen Trafostation des EWL untergebracht. Das Gebäude grenzt unmittelbar an die Museggstrasse, welche ein bekannter Schleichweg zwischen dem Museumsplatz und der Geissmattbrücke darstellt. Diese Strasse weist einen DTV von ca. 3'500 auf. Da sie jedoch auf der östlichen Seite in die stark frequentierte Alpenstrasse einmündet, entsteht zu einem grossen Teil des Tages ein massiver stop and go Verkehr. Zudem weist die Museggstrasse in westlicher Richtung eine beachtliche Steigung auf.

Südlich der Museggstrasse in ca. 200 m Entfernung befindet sich der Schweizerhofquai mit einem DTV von 42'000. Östlich im Abstand von 60 m resp. 150 m führen die richtungsgetrenten Stadtzentrum- resp. Autobahnzubringer, die Alpenstrasse und die Löwenstrasse, mit insgesamt 27'000 DTV vorbei.

Der Messstandort ist südlich durch die Altstadtmauer und auf den restlichen 3 Seiten von 6-7 stöckigen Wohnhäusern begrenzt. Er entspricht in seiner Charakteristik am ehesten einer Strassenschlucht.

Die stark belasteten Strassenzüge liegen zwar ausserhalb der 50 m Definition der „in-Luft“ Kategorie 2. Trotzdem weist dieser Standort eine eher hohe Immissionsbelastung an NO<sub>2</sub> und PM10 auf. Diese dürfte sich aus der schlechten Belüftungssituation und der umliegenden Hauptverkehrsachsen ergeben. Die Belastung an diesem Standort dürfte an der oberen Grenze für typisch nicht stark verkehrsbelastete Stadtwohnggebiete liegen.



**Abb. 29: NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte und -variation der Passivsammlermessungen gemittelt je Immissionskategorie sowie der Fixstationen (In den Fixstationen der Kategorien 6a-6c werden keine NO<sub>2</sub>-Messungen durchgeführt)**

Die PM<sub>10</sub>-Messungen zeigen ein heterogenes Bild, das nicht mit der jeweiligen Verkehrsbelastung bzw. Besiedlungsdichte korreliert (vgl. Tab. 8).

Bezüglich Ozon ist ein deutlicher Unterschied zwischen den Kategorien 4-6b und den Kategorien 1, 3, 6c festzustellen (vgl. Tab. 8). Die erstgenannten zeigen für die Anzahl Überschreitungen des Stundenmittelgrenzwertes, des Jahresverlaufes und der Spitzenwerte ein ähnliches Bild. Die Standorte der Kategorien 1 (Altdorf Gartenmatt) und 3 (Luzern Museggstrasse) weisen tiefere Ozonwerte auf. Diese rühren wahrscheinlich durch den hier verstärkten Ozonabbau (hohe Belastung mit Primärschadstoffen) her. Der Standort 6c (Lungern-Schönbüel) zeigte deutlich mehr Überschreitungen auf als alle anderen Standorte und wies nur geringe Schwankungen der Konzentrationen auf, was typisch für höher gelegene Standorte ist. Für die Kategorie 2 (Zug Postplatz) liegen keine Messungen vor.



Tab. 8: Typisierung der Luftbelastung für die verschiedenen Immissionskategorien NO<sub>2</sub>-Jahresmittelgrenzwert (30 µg/m<sup>3</sup>)

Belastung relativ zum Immissionsgrenzwert	Immissionskategorie	Bewertung
<50 %	6b, 6c	Tief
50-100 %	4, 5, 6a	Mittel
>100 %	1, 2, 3	Hoch

#### PM10-Tagesmittelgrenzwert (50 µg/m<sup>3</sup>)

Anzahl Überschreitungen	Immissionskategorie	Bewertung
1-5	2, 4	Wenig
10-20	1, 3	Mittel
>20	5	Viel

#### O<sub>3</sub>-Stundenmittelgrenzwert (120 µg/m<sup>3</sup>)

Anzahl Überschreitungen	Immissionskategorie	Bewertung
<100	1, 3	Wenig
100-200	4, 5, 6a, 6b	Mittel
>400	6c	Viel

## 5.2 Qualitätssicherung, Erfahrungen mit Hardware, Software, Unterhalt

### 5.2.1 Start des „in-LUFT“-Messnetzes

Per 1.1.1999 waren von den acht Messstationen jene von Altdorf Gartenmatt, Schüpfheim Klosterbühl, Schwyz Rubiswilstrasse und Stans Engelbergstrasse wie geplant in Betrieb. Luzern Museggstrasse folgte Mitte Januar mit zweiwöchiger Verspätung. Da für die Messstation Zug Postplatz grössere Umbauten am Messstandort im Gange waren, konnte diese erst per Mai 1999 in Betrieb genommen werden. Die Ozonmessstation Lungern-Schönbüel konnte zwar wie geplant im April in Betrieb genommen werden, musste aber wegen dem Seilbahnneubau Ende Juli 1999 frühzeitig ausser Betrieb genommen werden (vgl. auch Kap. 4.3). In der Station Feusisberg Schulhausstrasse erfolgten die Messungen plänmässig von April bis September. Die Messstationen zeigten im vergangenen Jahr eine hohe Verfügbarkeit.

Das ganze Jahr über liefen die Vorbereitungen, um Informatikprobleme beim Jahrtausendwechsel zu vermeiden. Diese Vorarbeiten brachten dann auch einen reibungslosen Übergang mit sich.

## 5.2.2 Qualitätssicherung

### 5.2.2.1 Messgeräte

Im „in-LUFT“-Messnetz werden verschiedene periodische Überprüfungen der Messgeräte vorgenommen. Die Qualitätssicherungsarbeiten werden von ausgewiesenen Spezialisten externer Firmen erledigt. Die Messgeräte für die Messung von O<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, PM<sub>10</sub>, BTX und Russ werden jährlich mindestens einer vollständigen Revision unterzogen. Für die Messung von Ozon und NO<sub>x</sub> stehen Ersatzgeräte zur Verfügung.

### 5.2.2.2 Messgeräte für O<sub>3</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> und CO

Diese Messgeräte werden periodisch alle 47 h automatisch mit Zerogas und einer Spangaskonzentration im oberen Messbereich überprüft. Zudem findet jeden Monat eine manuelle Überprüfung durch das Servicepersonal statt. Dabei werden auch weitere Kontrollen und Wartungsarbeiten vorgenommen. Die Flüsse der Kalibriergasaufbereitung (thermische Massenflussregler) und die Linearität der Messgeräte werden 2 Mal jährlich überprüft. Zudem findet zweimal im Jahr eine Kalibration über das Probenahmesystem unter den gleichen Bedingungen statt, wie sie bei der Schadstoffmessung herrschen. Damit kann einerseits das gesamte System auf seine Dichtigkeit überprüft werden, andererseits kann der Verlust der zu messenden Komponenten während der Probenahme quantifiziert werden. Die Verluste sind wie zu erwarten beim Ozon am höchsten und liegen zwischen 2 - 5 %. Bei allen anderen Komponenten liegen sie im Bereich der Messtoleranz ( $\pm 2$  %).

Jährlich wird eine unabhängige Ringkalibration durchgeführt. Dabei werden die Geräte mit einem sogenannten TransfERNormal überprüft. Die Resultate für das Berichtsjahr liegen beim Ozon im Bereich des Stundengrenzwertes bei 0 - 2 %. Für Stickstoffdioxid liegen die Abweichungen im Bereich der Messtoleranz ( $\pm 2$  %). Für Schwefeldioxid liegen die Differenzen bei 10 %. Dieses Resultat ist nicht befriedigend. Abklärungen zur Verbesserung der Qualität sind im Gange.

### 5.2.2.3 PM<sub>10</sub>

Im Rahmen des „in-LUFT“-Messnetzes werden aufgrund der technischen Bedingungen zwei verschiedene Messgerätetypen (TEOM und Partisol) mit unterschiedliche Messmethoden verwendet. Die beiden Messverfahren zeigen je nach Temperaturbedingungen deutliche Abweichungen der Messresultate. Das TEOM zeigt tendenziell tiefere Werte. Die Werte von 1999 zeigten, dass der Standort Stans Engelbergstrasse, der mit einem Partisol-Messgerät

ausgerüstet ist, deutlich höhere Werte aufwies, die aufgrund der Kenntnisse bezüglich Emissionen nicht erklärt werden konnten. Das Partisol-Messverfahren wird in der Literatur als vergleichbar mit der schweizerischen Referenzmethode (High volume sampler) genannt. Für den vorliegenden Jahresbericht wurden die Messwerte der TEOM-Geräte aufgrund eines von den Kantonen Aargau und Luzern entwickelten Modellansatzes an jene des Partisol-Gerätes angeglichen. Ab Mitte Januar 2000 werden an zwei Stationen in der Schweiz TEOM-Geräte mit einem Zusatz (SES<sup>15</sup>) versehen um zu prüfen, ob dies zu einer Verbesserung der Messresultate führt. Wenn dies der Fall wäre, würden in der Folge alle Geräte damit ausgerüstet werden.

Die TEOM Filter werden bei Bedarf, in der Regel alle 3-4 Wochen gewechselt. Die Filter werden vor dem Einsetzen in das Gerät zuerst tariert. Nach dem Messeinsatz wird das Nettogewicht der belegten Filter ermittelt und mit der vom TEOM-Gerät gemessenen Totalmasse verglichen. Damit kann die Massenbestimmung unabhängig von der TEOM Bestimmung nachkontrolliert werden. Die Abweichungen liegen in der Regel bei  $\pm 2\%$ .

#### 5.2.2.4 BTX, Russ

Der BTX-Analysator wird einmal im Monat mit einem Kalibriergasgemisch überprüft. Zum gleichen Zeitpunkt werden auch die notwendigen Servicearbeiten durchgeführt. Das Russmessgerät wird alle 3 Monate manuell kalibriert.

#### 5.2.2.5 Meteosensoren

Die Meteosensoren werden jährlich im Sommer einer Revision unterzogen. Sobald sich die Statusmeldungen ausserhalb des erlaubten Bereiches bewegen, werden die Geräte revidiert.

#### 5.2.2.6 Passivsammler für NO<sub>2</sub>

Die Passivsammler werden durch die Forschungsstelle für Umweltbeobachtung präpariert, analysiert und einer internen Qualitätskontrolle unterworfen. Für die Qualitätssicherung der Resultate der Passivsammlermessungen wird bei relativen Standardabweichungen (RSD) von mehr als 10 % der Dixon-Test angewendet und bei  $M > 0.941$  wird der Extremwert verworfen. Ausreisser mit  $RSD > 15\%$  werden ebenfalls verworfen. Sind die Einzelwerte weit

---

<sup>15</sup> SES = Sample equilibration system

auseinander und  $RSD > 15\%$ , werden alle drei Werte verworfen. Bei tiefen Messwerten ( $< 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) werden grössere Toleranzen toleriert.

Die Auswertungen für den Jahresbericht 1999 zeigten, dass die Passivsammlerresultate an Standorten, wo parallel mit einer Messstation gemessen wird, im Vergleich zu tief ausfallen. Dieses Problem ist bekannt, und wird von der Qualitätssicherungsgruppe des Cercl' Air bearbeitet. Bestehende Passivsammlerdaten könnten später angepasst werden. Die diesjährigen Passivsammlerdaten sind dementsprechend als provisorisch zu betrachten.

Vor der Inbetriebnahme des „in-LUFT“-Messnetzes berücksichtigten die verschiedenen Kantone unterschiedliche Anbieter von Passivsammlern. In langjährigen Datenreihen können bei einem Wechsel des Anbieters Diskontinuitäten auftreten.

#### 5.2.2.7 Messdatenkontrolle

Die Messdaten der Fixstationen der letzten 24 Stunden werden jeden Morgen auf Ihre Plausibilität überprüft. Diese Überprüfung findet im Rahmen eines externen Auftrages statt. Bei Fehlermeldungen und/oder möglicherweise unplausiblen Werten wird gemeinsam mit dem Auftraggeber über das weitere Vorgehen entschieden.

### 5.3 Kommunikation der Messresultate

Im Rahmen der im Umweltschutzgesetz Art. 6 vorgegebenen Informationspflicht wurde 1999 die Bevölkerung über die Luftqualität in der Zentralschweiz informiert. Die Information erfolgte über die ereignisorientierte Berichterstattung (Pressedokumentationen, Medienbulletins, etc.), den Jahresbericht über die Luftqualität des Vorjahres, über das Internet sowie in Form von Datenlieferungen an interessierte Personen und Institutionen.



Tab. 9: Übersicht über die Kommunikation 1999

<b>Ereignisorientierte Berichtserstattung:</b>	
März 1999:	Pressedokumentation zum Jahresbericht 1998. Pressekonferenz.
März 1999:	Gotthardsperrung (Medienbulletin, gemeinsam von den Kt. Uri, Tessin und Graubünden): Die prekäre Lawinensituation im Februar 1999 führte zu einer Sperrung der Gotthardautobahn. Das führte zu einer Verlagerung des Verkehrs und der Luftbelastung an die San Bernardino Achse.
August 1999:	Bericht über 1. August Feuerwerksbelastungen.
November 1999:	Artikel über die Messstation Zug Postplatz im Blickpunkt Umwelt (Informationsheft des AfU Zug).
Dezember 1999:	Orkan „Lothar“; Wind und Ozonereignis.
<b>Internet</b>	ca. 6000 Zugriffe auf die deutsch- und französischsprachige „in-LUFT“ Homepage.
<b>Datenlieferungen</b>	ca. 10 Datenlieferungen an Hochschulen und Kantonsschulen, Datenlieferungen über Zeiträume mit Feuerwerkstätigkeiten in der Zentralschweiz an das BUWAL für die BUWAL Schriftenreihe . div. Ozonanfragen während des Sommers aus der Bevölkerung. Tägliche Ozondatenlieferung an SFDRS „10 vor 10“.

## 5.4 Vorgesehene Veränderungen für „in-LUFT“

Die im vergangenen Jahr gesammelten Erfahrungen beim Betrieb von „in-LUFT“ sollen nun laufend umgesetzt werden:

### a) Luftmessungen, Hardware:

- Ab dem Jahr 2000 werden im „in-LUFT“-Messnetz die Ozonmessstationen schon ab dem 1. März anstatt dem 1. April den Betrieb aufnehmen, da vor allem in höheren Lagen schon früh mit erhöhten Ozonkonzentrationen zu rechnen ist.
- NO<sub>2</sub>-Passivsammler: Überprüfung der Berechnungsmethode im Rahmen des Cercl' Air. Eventuell erfolgt eine nachträgliche Datenbereinigung.
- Es soll eine neue Datenerfassung in Betrieb genommen werden, welche die Flexibilität erhöhen und damit den Wartungsaufwand vor Ort und Stelle nochmals senken helfen soll. Im weiteren soll die Datenbanksoftware mit einem Modul für die automatische ereignisorientierte Reporterstattung erweitert werden.
- PM10-Messungen: Methodenvergleich und evtl. nachträgliche Datenbereinigung für 99er Daten. Test des SES (Sample equilibration system) für das TEOM.
- Zusammenführen der zwei Datenzentralen an einen Ort.
- Ozon-Messung bei der Messstation Zug Postplatz von Juni-August 2000.

**b) Auswertungen**

- Die Kategorisierung in Immissionskategorien wird anhand einer vertieften Auswertung der Daten überprüft.
- Erweiterte Datenauswertung (vgl. Kap. 6) im Hinblick auf differenziertere und flächendeckende Aussagen über die Luftqualität.

## 6. WEITERGEHENDE AUSWERTUNGEN

Die Überwachung der Luftqualität ist sehr kostspielig, weshalb der Einsatz von Messmitteln immer beschränkt sein wird. Durch Messungen der Luftbelastung an Standorten, welche typischen Belastungskategorien entsprechen, gelingt es, aus vergleichsweise wenigen Messungen die Belastungen für viele Standorte abzuschätzen. Es bleiben aber Lücken und Unsicherheiten. Die Streubreite der Passivsammlerresultate für die Immissionskategorie 2 deutet darauf hin (vgl. Kap. 5.1).

Es stellt sich die Frage, ob durch eine weitergehende Auswertung der vielen systematisch erhobenen Messdaten zusätzliche und nützliche Information oder gar Wissen gewonnen werden kann. Mögliche Fragen sind:

- Wie ändert sich die NO<sub>2</sub>-Belastung mit zunehmender Höhe?
- Sind die an einem bestimmten Messstandort gewonnenen Resultate auch in der näheren und weiteren Umgebung gültig?
- Wie lassen sich bestimmte wiederkehrende winterliche Schadstoffmuster erklären?

Diesen Fragen sind wir in den nachfolgenden Kapiteln 6.1 bis 6.4 nachgegangen. Die Ergebnisse ermutigen, weiterhin Fragen zu stellen und nach Antworten zu suchen.

### 6.1 Die NO<sub>2</sub>-Belastung in Abhängigkeit zur Höhe über Meer

Der Einsatz einer Vielzahl von Passivsammlern in der Innerschweiz legt es nahe, die Daten nebst einer Auswertung in Bezug auf die Immissionskategorien auch einer solchen in Bezug auf die Höhe des Standortes zu unterziehen. Damit sollte ein Beitrag geleistet werden in Richtung flächendeckender Aussagen zur NO<sub>2</sub>-Belastung.

Für die Untersuchung wurden Standorte ausgewählt, welche weder verkehrsexponiert, noch in Wohnzonen von Städten liegen. Es verblieben die Kategorien 5, 6a, 6b und 6c, also Wohnzonen in grösseren und kleinen Ortschaften sowie ländliche Gebiete. Es wurde ein Höhenbereich zwischen knapp 500 m ü. M. und etwa 2'000 m ü. M. abgedeckt. Eine erste Auswertung zeigte folgendes Ergebnis (Abb. 31): Ein Rückgang der Belastung mit

zunehmender Höhe ist diffus feststellbar. Die Standorte der Kategorie 5 zeigen bis in Höhen von 750 Meter, Belastungen zwischen 10 und 27  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; die Höhenabhängigkeit ist nicht ersichtlich. Die Kategorie 6a (kleine Ortschaften) weist eine schwache Höhenabhängigkeit auf. Sie beträgt pro 100 m etwa -2 bis -3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pro 100 m. Ausgehend von einem Wert von ca. 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in einer Höhe von 500 Meter. Die Immissionskategorie 6b zeigt eine vergleichbare Höhenabhängigkeit ausgehend von einem Basiswert von 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  auf 500 Metern Höhe. In Nichtsiedlungsgebieten über 1'000 m wurden sehr geringe  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen im Bereich von 3 bis 4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  erfasst. In diesem Höhenbereich an nicht verkehrsexponierten Standorten zeigen Kurorte wie Engelberg (E), Sörenberg (S) und Andermatt (A) wesentlich höhere  $\text{NO}_2$ -Werte, etwa im Bereiche des halben Immissionsgrenzwertes. Für diese Belastung dürfte der mit dem Tourismus verbundenen Strassenverkehr verantwortlich sein.

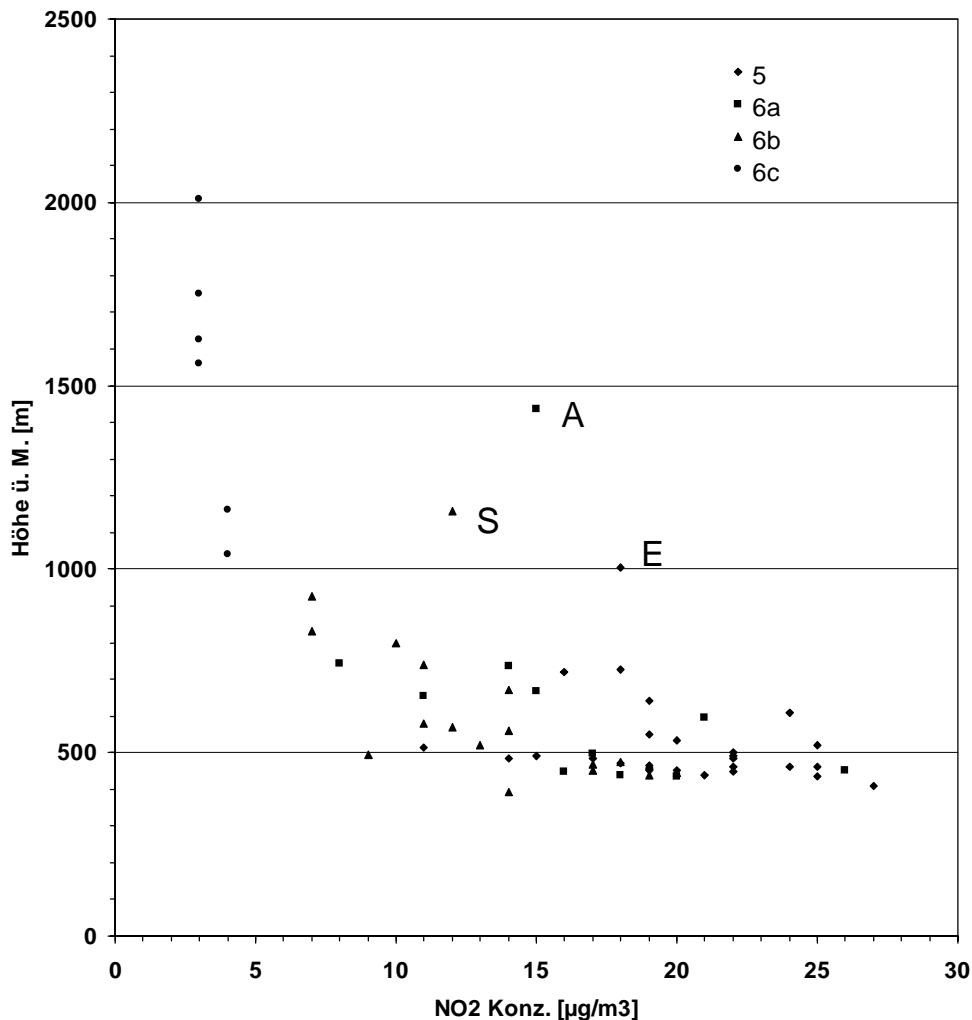


Abb. 31:  $\text{NO}_2$ -Belastung in Funktion der Höhe für die Immissionskategorien 5, 6a, 6b, 6c

## 6.2 Die Luftbelastung in der grösseren Umgebung einer Fixstation untersucht am Beispiel Altdorf

Im Messnetz stehen bekanntlich nur wenige Stationen zur Verfügung. An diesen Stellen werden die Schadstoffkonzentrationen sehr differenziert erfasst – eine Extrapolation auf Werte für die Umgebung ist jedoch in der Regel kaum möglich. Das Schadstofffeld ist zu wenig genau bekannt.

Im Rahmen eines kantonalen Projektes untersuchte man im unteren Urner Reusstal die NO<sub>2</sub>-Luftbelastung quer zur Talachse. Dazu ergänzte man die bestehenden Fixstationen mit einem Netz von Standorten für NO<sub>2</sub>-Passivsammler. Ziel der Untersuchung war es, einen Überblick über die distanzabhängige Auswirkung der A2 auf die Luftbelastung zu gewinnen und einen Bezug zur Belastung durch die Kantonsstrasse im Dorfzentrum herzustellen. Abgestützt auf die Werte der Fixstation Gartenmatt sollte künftig eine differenziertere Abschätzung der NO<sub>2</sub>-Belastung im Talquerschnitt möglich werden.

Die Resultate für 1999 zeigen, dass die NO<sub>2</sub>-Belastung im Talquerschnitt sehr stark variiert, nämlich um einen Faktor 4 (vgl. Abb. 32). Die höchsten Werte findet man an der A2 und im Zentrum von Altdorf (44 und 43 µg/m<sup>3</sup>). Mit zunehmenden Abstand von der A2 sinkt die Belastung. Mit einer Distanzverdopplung zur Quelle sinkt die NO<sub>2</sub>-Belastung im vorliegenden Transekt um 4.6 µg/m<sup>3</sup>. Der Jahresgrenzwert von 30 µg/m<sup>3</sup> wird ab etwa 200 m östlich und etwa 100 m westlich der Autobahn eingehalten. Ab einer Distanz von etwa 500 m bzw. 250 m östlich und westlich der Autobahn liegen die Werte unterhalb von 20 µg/m<sup>3</sup>. Für die beiden oberhalb des Dorfes gelegenen Standorte Kapuzinerkloster und Nussbäumli finden sich Werte im Bereich eines Drittels des Grenzwertes. Der merkliche Einfluss von Kantons- und Gemeindestrassen zeigt sich deutlich für Standorte, die bei ähnlicher Distanz zur A2 unterschiedliche Belastungen aufweisen. Der jeweils tiefere Wert findet sich für die grössere Distanz zur lokalen Strasse.

Die beiden Kurven in Abb. 32 wurden durch eine Regressionsanalyse berechnet. Die Gleichungen für die distanzabhängige NO<sub>2</sub>-Konzentration [µg/m<sup>3</sup>] sind von folgender Form:

$$C/C_0 = a \log (r/r_0) + b$$

Für die rechtsseitige Kurve haben die Koeffizienten  $a$  und  $b$  Werte von  $-15$  bzw.  $+65$ . Damit lässt sich künftig die  $\text{NO}_2$ -Belastung im Talquerschnitt von Altdorf mit reduziertem Messaufwand abschätzen.

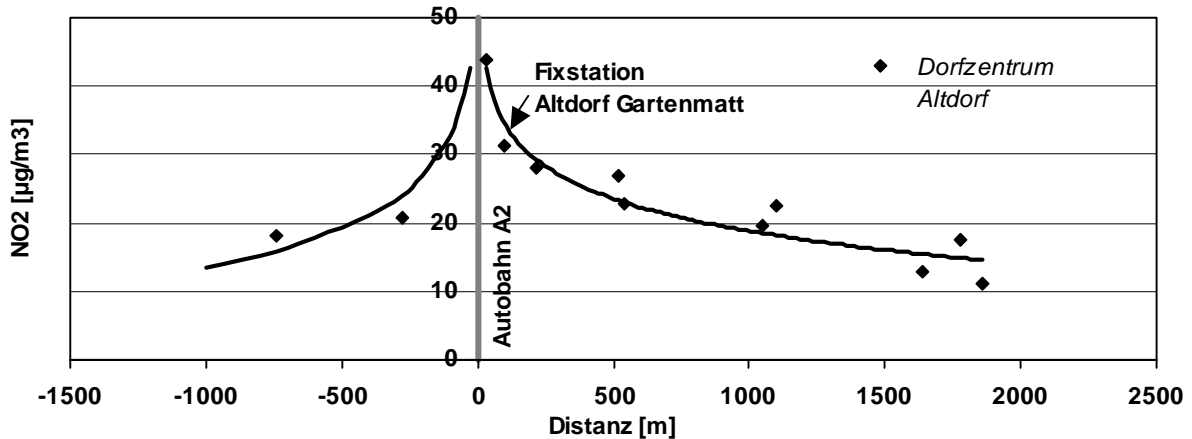


Abb. 32: Transekt der  $\text{NO}_2$ -Passivsammler-Jahresmittelwerte durch die Urner Reussebene 1999

Die Ozonbelastung an einem autobahnnahen Standort ist aus chemischen Gründen stets tiefer, wie jener in der Umgebung (vgl. Kap. 4.3). Solche Messwerte sind somit für eine grössere Umgebung nicht typisch. Mit einer temporären Messstation am Eingang zum Schächental sollten Werte erhoben werden, wie sie z. B. am Talrand gelten. Die Messungen im Sommer 1999 ergaben, dass im Vergleich zum autobahnnahen Standort Altdorf Gartenmatt die Anzahl der Überschreitungen doppelt so hoch ist und die Spitzenwerte um etwa  $\frac{1}{5}$  höher liegen.

Mit diesen Untersuchungen ist es nun möglich – ausgehend von der Referenzstation Gartenmatt – ein differenziertes Bild für die  $\text{NO}_2$ - und Ozonbelastung im Querschnitt des unteren Urner Reusstals zu machen. Mit solchen Untersuchungen, durchgeführt in der Umgebung anderer Fixstationen, könnte auch deren Aussagekraft erhöht werden.

### 6.3 Korrelationen der Messwerte von zwei Fixstationen im unteren Reusstal

Der Aufbau des interkantonalen Messnetzes bedingte eine Verschiebung der bisherigen Urner Messstation vom Werkhof Flüelen in Richtung der Nationalstrasse A2 nach Altdorf, Gartenmatt. Dieser neue Standort sollte die standorttypischen Merkmale einer autobahnexpo-

nierten Station zeigen. Die bisherige Station Flüelen lieferte seit 13 Jahren Daten, die für einen guten Teil des unteren Urner Reusstales repräsentativ waren. Der Abbruch der Messreihe würde damit zu einem erheblichen Informationsverlust führen. Es stellte sich die Frage, ob die Datenreihe Flüelen zumindest als Trendbeobachtung rechnerisch weitergeführt werden kann. Als Methode bot sich die Korrelationsrechnung an. Da beide Messorte im Einflussbereich der Nationalstrasse liegen, war mit einer hohen Korrelation zu rechnen. Im Jahre 1999 wurde deshalb die Station Werkhof Flüelen im Auftrag des Kantons Uri weiterbetrieben. Erste Resultate des Vergleichs der beiden Stationen liegen nun vor (vgl. Tab. 10).

**Tab. 10: Korrelationen der Messwerte der Stationen Werkhof Flüelen und Station Altdorf Gartenmatt**

	a	b	r <sup>2</sup>	n
<b>½-Stundenmittelwerte</b>				
NO	0.89	2.24	0.88	ca. 17000
NO <sub>2</sub>	0.83	0.86	0.85	ca. 17000
NO <sub>x</sub>	0.90	1.78	0.89	ca. 17000
O <sub>3</sub>	0.94	1.01	0.94	ca. 17000
<b>Tagesmittelwerte</b>				
NO	0.89	2.21	0.97	359
NO <sub>2</sub>	0.85	0.48	0.93	359
NO <sub>x</sub>	0.91	1.44	0.98	359
O <sub>3</sub>	0.95	0.80	0.98	359

Es gilt:  $y=ax+b$ ,  $y$ =Werkhof Flüelen,  $x$ =Altdorf Gartenmatt

Die Jahresmittelwerte 1999 betragen für NO<sub>2</sub> am Standort Altdorf Gartenmatt 31 µg/m<sup>3</sup> und am Standort Flüelen 27 µg/m<sup>3</sup>. Die Korrelation wurde gestützt auf Tagesmittelwerte durchgeführt und brachte eine gute Übereinstimmung. Für NO, NO<sub>x</sub> und Ozon ergaben sich Korrelationskoeffizienten (r<sup>2</sup>) von > 0.97 und für NO<sub>2</sub> von 0.93. Die Korrelation, welche auf den ½-Stundenwerten basierte, ergab erwartungsgemäss eine wesentlich geringere Übereinstimmung. Die r<sup>2</sup>-Werte lagen im Bereich zwischen 0.84 und 0.94. Zum Vergleich wurden auch Korrelationswerte für die etwa 1.2 km von der Autobahn entfernte Station Bürglen/St. Josef berechnet (NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert: 17 µg/m<sup>3</sup>). Die r<sup>2</sup>-Werte liegen dort für die Stickoxide zwischen 0.3 und 0.5.

Damit ergibt sich, dass aus den Daten der Station Altdorf Gartenmatt die Belastung beim Werkhof Flüelen gut abgeschätzt werden kann, nicht aber jene der Station Bürglen. Es bestätigt sich, dass letztere in Bezug auf die Quelle und die Ausbreitung anderen Einflüssen unterliegt.

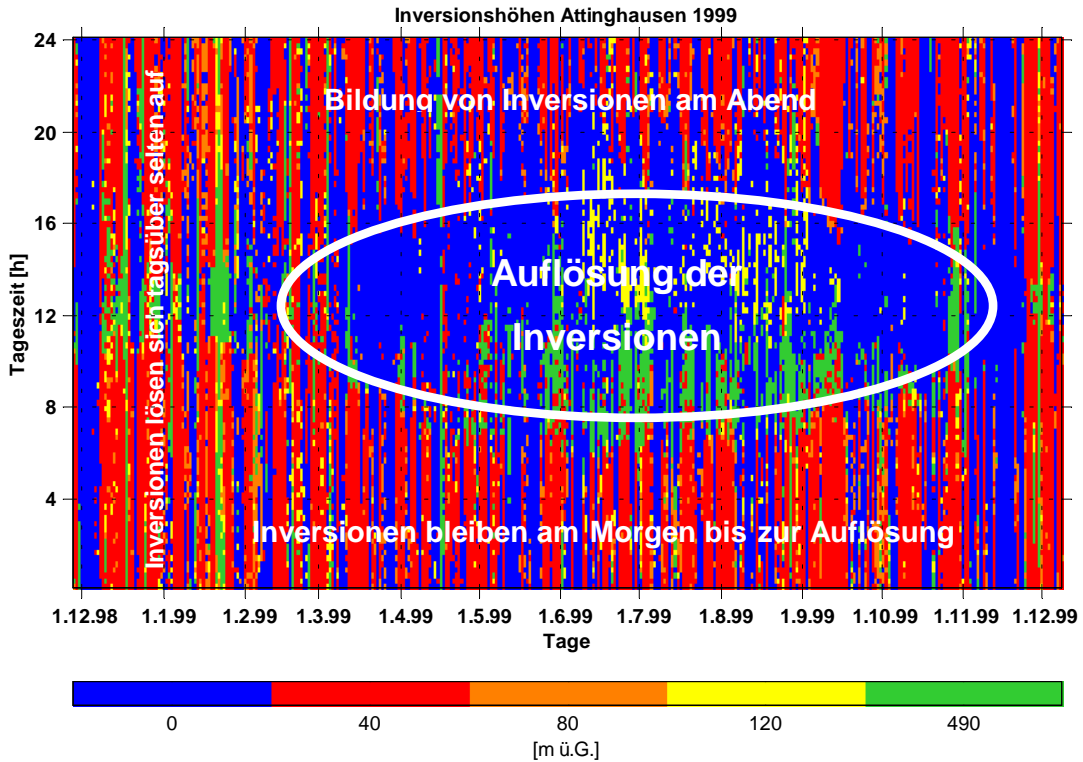
Die Messdaten der Stationen Altdorf Grossmatt und Werkhof Flüelen sollen nun unter Mitberücksichtigung der Meteorologie (Windfeld und Inversionen) noch weiter analysiert werden mit dem Ziel einer möglichst guten Annäherung an die Werkhof Flüelen-Werte, welche bekanntlich die Belastung im unteren Reusstal, weg vom direkten Strasseneinfluss, gut abbilden.

#### 6.4 Der Einfluss bodennaher Temperaturinversionen auf die Luftbelastungen

Im Gebiet der Innerschweiz gibt es zahlreiche Gebiete, welche als Kaltluftseen ausgewiesen werden (vgl. Luftbericht des Ausbreitungsklimas in der Innerschweiz, Geographisches Institut der Universität Bern, April 1989). Die Temperaturinversionen, welche dort auftreten, beeinflussen die Schadstoffausbreitung (und auch die Schallausbreitung) nachhaltig. Luftuntersuchungen im Rahmen des Projektes LUBETRAX bestätigten diesen Befund für das Winterhalbjahr nachdrücklich.

Um den Zusammenhang zwischen Luftbelastung und Temperaturinversionen besser zu erkennen, wurden in Ergänzung zur Luftmessstation im Raum Attinghausen Temperaturprofile bestimmt. Die Resultate des Jahres 1999 liegen vor. Messungen erfolgten in Höhen von 0, 40, 80, 120 und 490 Meter über Grund. Die Messdaten wurden als Halbstunden-Mittelwerte abgespeichert und monatlich ausgelesen. Die Abbildung 33 ergibt einen Jahresüberblick. Mit der Farbkodierung wird die Position des Temperaturfühlers mit der höchsten Temperatur angezeigt. Allfällige Inversionshöhen müssen also tiefer liegen. Allgemein herrschen Inversionshöhen von weniger als 40 Metern vor. Im Sommerhalbjahr erfolgt meist eine Auflösung um die Mittagszeit, im Winterhalbjahr sind Tage ohne Auflösung häufiger. In einem Tal wie dem Uner Reusstal sind somit Temperaturinversionen, wenn auch häufig nur temporäre, die Regel.





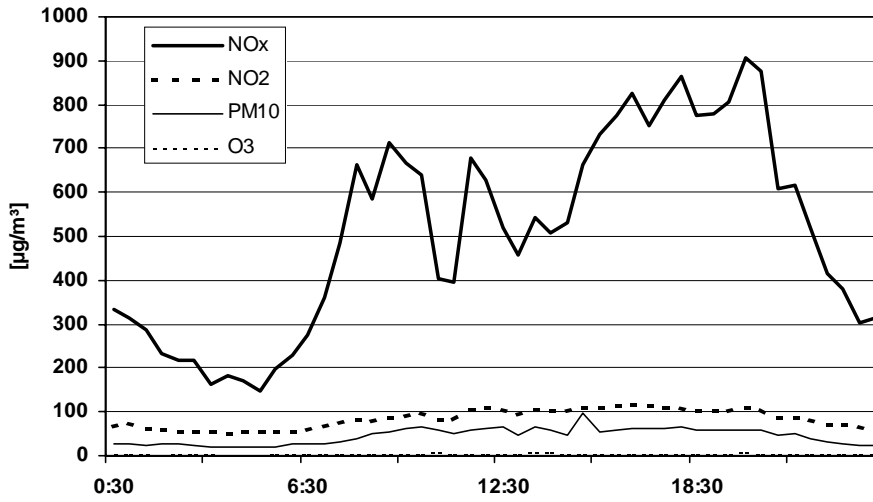
**Abb. 33: Inversionshöhen in Attinghausen (Kt. Uri) vom 1.12.1998 - 1.12.1999 in Meter über Grund (m ü. G.): Die Grafik zeigt, dass im Sommerhalbjahr meist eine Auflösung der Inversionen um die Mittagszeit erfolgt. Im Winter sind Tage ohne Auflösung der Inversion häufiger.**

Die Auswirkungen winterlicher Temperaturinversionen auf die Luftqualität soll an zwei Beispielen vom Dezember 1999 aufgezeigt werden. Die lufthygienische Situation im Urner Reusstal wurde mit der Messstation Altdorf Gartenmatt untersucht. Im ersten Fall wird der Tagesverlauf vom 1. Dezember 1999 dargestellt, einem Tag mit dauernder tiefliegender Inversion (Abb. 34). Im zweiten Fall der Tagesverlauf vom 4. Dezember 1999. Hier wird die bodennahe Inversion während der Mittagszeit kurzzeitig aufgebrochen (Abb. 35). Die meteorologische Situation ist in beiden Fällen durch schwachen Wind von 0.5 bis 1.5 m/s und nächtlichen Temperaturen knapp unter dem Gefrierpunkt gekennzeichnet. Die nächtlichen Schadstoffverläufe ergeben für NO<sub>2</sub> zwischen 40 und 50 µg/m<sup>3</sup> für PM10 ca. 20 µg/m<sup>3</sup> und für Ozon nahezu 0 µg/m<sup>3</sup>. Das Feld ohne temporäre Inversionsauflösung ist gekennzeichnet durch einen starken Anstieg von NO<sub>x</sub> in den frühen Morgenstunden auf Werte zwischen 600 und 900 µg/m<sup>3</sup> und einem starken Abfall nach 20.00 Uhr. Die NO<sub>2</sub>- und PM10-Werte zeigen ähnliche Verläufe aber bei tieferen Konzentrationen. Die typischen Werte betragen 100 µg/m<sup>3</sup> bzw. 60 µg/m<sup>3</sup>. Am Tag mit einer temporären Auflösung der Inversion präsentierte sich die Belastung tagsüber auf einem wesentlich tieferen Niveau und

es traten für die Stickoxide und PM10 zwei Maxima auf. Die dazwischenliegende temporäre Einbrüche der Schadstoffkonzentrationen in der Mittagszeit sind ein Zeichen für eine verbesserte vertikale Durchmischung. Die horizontale Windgeschwindigkeit blieb in dieser Zeit nahezu unverändert. Die kleine mittägliche Ozonspitze unterstützt die These vom Aufbrechen der Inversion. Die maximalen Schadstoffwerte betragen für  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}_2$  und PM10 rund  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bzw.  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ein Vergleich der beiden Inversionssituationen zeigt vor allem markante Unterschiede beim  $\text{NO}_x$  (Faktor 2 bis 3, weniger ausgeprägt jene für  $\text{NO}_2$  und PM10 ca. 1.5). Bemerkenswert ist der sehr ähnliche Verlauf der  $\text{NO}_2$ - und PM10-Konzentrationen in beiden Situationen.

Die Situation, wie sie exemplarisch hier für das Urner Reussdelta dargestellt wurde, gilt in einem grossen Teil der Zentralschweiz und ist übertragbar auf Standorte in Ebenen, Muldenlagen, Gebiete entlang von Flüssen. Diese weisen oft eine beachtliche Bevölkerungsdichte auf.

a) Luftschadstoffe



b) Meteoparameter

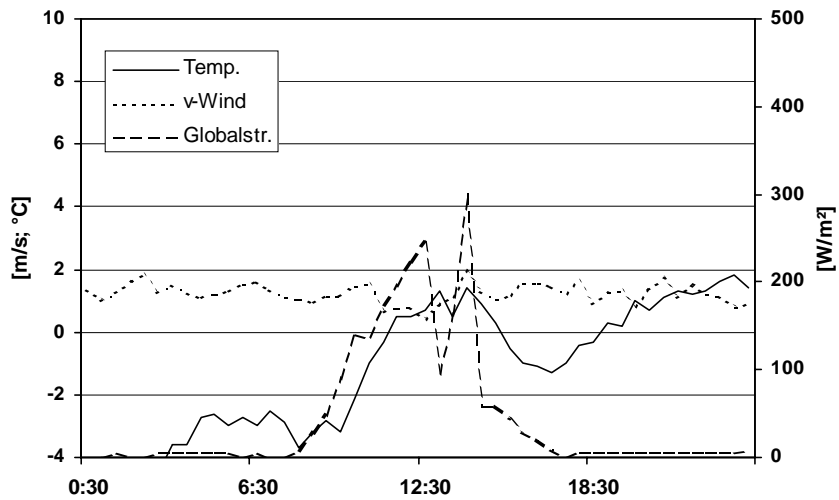
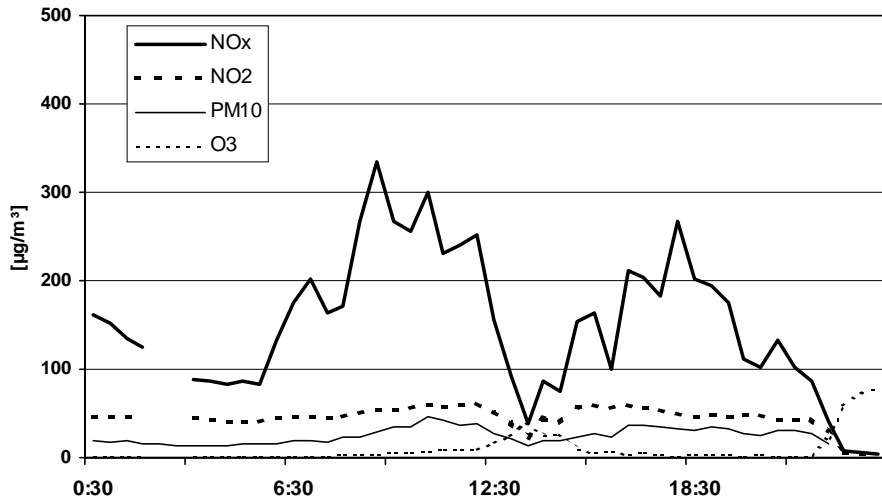


Abb. 34: Wintertage mit tiefliegender Temperatur-Inversion im Urner Reusstal (Station Altdorf Gartenmatt am 1.12.1999). Permanente Temperatur-Inversion.

a) Luftschadstoffe



b) Meteoparameter

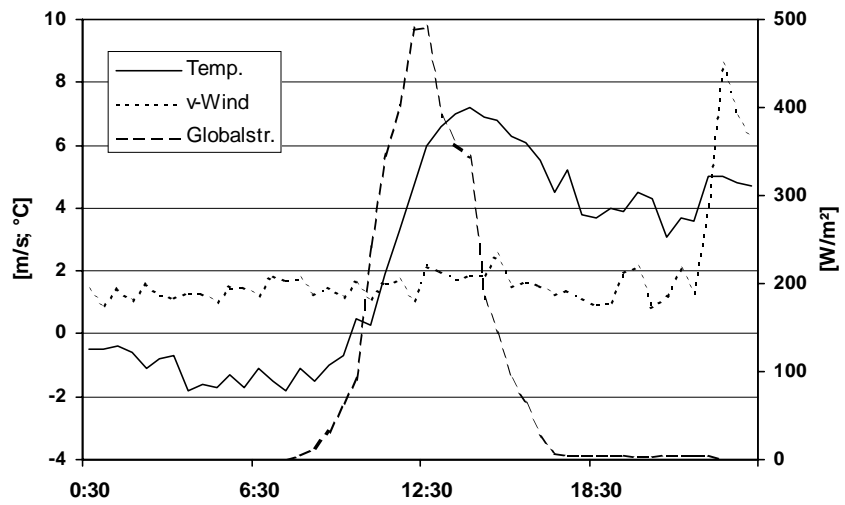


Abb. 35: Wintertage mit tiefliegender Temperatur-Inversion im Urner Reusstal (Station Altdorf Gartenmatt am 1.12.1999). Inversions-Auflösung über Mittag.

## 7. FAZIT UND AUSBLICK

Nach dem ersten Betriebsjahr des gemeinsamen Zentralschweizer Luftmessnetzes „in-LUFT“ konnte erstmals eine Beurteilung nach den neuen Immissionskategorien erfolgen. Die Resultate lassen folgende Aussagen über die Zentralschweizer Luftqualität zu:

### **Überschreitungen von Grenzwerten für Stickstoffdioxid, Ozon und PM10:**

- 1 Ausserorts an sehr stark befahrenen Strassen (Autobahnen und Hochleistungsstrassen)
- 2 Innerorts an sehr stark befahrenen Strassen (Hauptstrassen)
- 3 Städte mit über 50'000 Einwohner (Wohnzone)

### **Überschreitungen von Grenzwerten für Ozon und PM10:**

- 4 Städte mit 10'000 - 50'000 Einwohner (Wohnzone)
- 5 Ortschaften mit 5'000 - 10'000 Einwohner (Wohnzone)

### **Überschreitungen von Grenzwerten für Ozon:**

- 6a Ortschaften mit 500 - 5'000 Einwohner (Wohnzone)
- 6b Ländliche Gebiete unter 1'000 m ü. M.
- 6c Nicht-Siedlungsgebiete über 1'000 m ü. M.

Die Resultate zeigen, dass in der ganzen Zentralschweiz Grenzwerte der LRV überschritten werden. Die Überschreitungen beschränken sich nicht auf die dichtbesiedelten Gebiete oder auf die unmittelbare Nähe der Verkehrsachsen. Auch im ländlichen Raum ist die Luft bezüglich Ozon übermässig belastet.

Das Messnetz hatte im vergangenen Jahr eine hohe Verfügbarkeit. Die nach Verkehrsbelastung und Besiedlungsdichte unterschiedenen Immissionskategorien haben sich gut bewährt. Die PM10-Messresultate der beiden im „in-LUFT“-Messnetz eingesetzten Messverfahren wiesen hingegen eine unbefriedigende Vergleichbarkeit auf. Es sind dazu weitere Abklärungen vorgesehen.

Die übermässige Luftbelastung hat negative Auswirkungen auf unseren Lebensraum. Sie kann die Gesundheit der Menschen gefährden, führt zu Ernteeinbussen in Landwirtschaft und wirkt sich negativ auf die Stabilität der Ökosysteme aus. Es besteht somit ein Handlungsbedarf zur Reduktion der Immissionsbelastung. Die Zentralschweizer Kantone erarbei-

teten dazu im vergangenen Jahr einen gemeinsamen Massnahmenplan Luftreinhaltung (vgl. Kasten auf der folgenden Seite)<sup>16</sup>. Die vorgesehenen Massnahmen sollen die Emissionen der relevanten Schadstoffe massgeblich senken. Neben Massnahmen auf Gemeinde- und Kantonebene sind dazu auch solche des Bundes notwendig. Im Hinblick auf die grossräumige Ozonproblematik müssen zudem auch Massnahmen im internationalen Rahmen ergriffen werden.

### Zentralschweizer Massnahmenplan Luftreinhaltung

Der Massnahmenplan Luftreinhaltung gliedert sich in fünf Massnahmen :

#### **M1 Überregionaler Strassenverkehr**

- M1a Entscheidungsgrundlagen über die Entwicklung und die Auswirkungen des Verkehrs auf Nationalstrassen und insbesondere im Transitverkehr aufarbeiten
- M1b Aufbau eines „Technischen Zentrums“ an der A2 in Zusammenarbeit mit Bund und weiteren Anrainerkantonen zur Erhebung und kommunikativen Vermittlung von verkehrs- und umweltrelevanten Daten
- M1c Flexibles und zeitlich beschränktes Verkehrsmanagement (Temporeduktion) auf Nationalstrassen mit dem Ziel, die Schadstoffemissionen und -emissionen, die Lärmmissionen, den Treibstoffverbrauch und die Unfälle zu reduzieren sowie den Verkehrsablauf zu verbessern.
- M1d Die polizeilichen Kontrollen auf Nationalstrassen sollen zur Überprüfung umweltrelevanter Vorschriften erweitert werden.

#### **M2 Regionalverkehr**

- M2a Neubeschaffung von Dieselnissen des öffentlichen Verkehrs nur noch mit Partikelfiltern, teilweise Umrüstung der bestehenden Flotte.
- M2b Harmonisierung der Rahmenbedingungen für die Erschliessung von publikumsintensiven Anlagen (Parkfelder, öffentlicher Verkehr)

#### **M3 Förderung energiesparenden und ökologischen Bauens**

Die Fachstellen für Energie und Luftreinhaltung entwickeln eine gemeinsame Strategie zur Förderung eines energiesparenden und ökologischen Bauens

#### **M4 Emissionsbeschränkung auf Baustellen**

Vereinheitlichung der Vorschriften und Auflagen für Massnahmen auf Baustellen in der Zentralschweiz (sehr gutes Kosten/Nutzen-Verhältnis)

#### **M5 Harmonisierung Vollzug Feuerungen**

- M5a Harmonisierung und Verschärfung der Anforderungen an Schweröffeuerungen in der Zentralschweiz
- M5b Harmonisierung der Anforderungen an die Holzfeuerungen und an deren Kontrolle in der Zentralschweiz

Mit dem Massnahmenplan Luftreinhaltung kann eine Harmonisierung erreicht werden, insbesondere bei den publikumsintensiven Anlagen (M2b), bei den Massnahmen auf Baustellen (M4) und bei den Feuerungen (M5). Mit der gemeinsamen Strategie zur Förderung eines energiesparenden und ökologischen Bauens (M3) kann die wichtige Synergie zwischen Energiesparen und Luftreinhaltung verstärkt werden.

Politisch heikle Massnahmen dürften das Verkehrsmanagement auf Nationalstrassen (M1c) und die Anforderungen an publikumsintensive Anlagen (M2b) sein, während das Monitoring auf Nationalstrassen (M1a), das Technische Zentrum (M1b), die Erweiterung der Kontrollen (M1d) sowie die Ausrüstung der Dieselnisse des öffentlichen Verkehrs mit Partikelfiltern (M2a) einen geringen politischen Aufwand verursachen werden.

<sup>16</sup> Kurzfassung: Massnahmenplan Luftreinhaltung der Innerschweizer Kantone LU, UR, OW, NW, ZG. Bericht INFRAS im Auftrag der Innerschweizer Umweltschutzdirektoren, 1999.

Hauptbericht: Massnahmenplan Luftreinhaltung der Innerschweizer Kantone LU, UR, OW, NW, ZG. Bericht INFRAS im Auftrag der Innerschweizer Umweltschutzdirektoren, 1999.

## DATENBESTELLUNG

<b>Verantwortliche Personen:</b>	<b>Telefon:</b>	<b>Fax:</b>	<b>e-mail:</b>
Thomas Zünd	041-228 60 75	041-240 64 22	thomas.zuend@in-luft.ch
Remo Baumann	041-875 24 17	041-875 20 88	remo.baumann@in-luft.ch

## LINKS IM INTERNET

Links zu den Themengebieten Luftreinhaltung, Atmosphäre, Klima und Meteo sind auf der „in-LUFT“-Homepage ([www.in-luft.ch](http://www.in-luft.ch)) zu finden.

## LITERATUR

BUWAL (1999): Luftbelastung. Messresultate des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL) (monatliche Zusammenstellung der Immissionsdaten)  
IUDK (1996-1999): Die Luft. Luftbelastung in der Innerschweiz. (Jahresberichte von 1995 bis 1998).

## ANHANG 1: LRV-GRENZWERTE

Die Luftreinhalte-Verordnung vom 16.12.1985 (Stand 1.3.1998) definiert zum Schutze des ökologischen Gleichgewichts folgende Grenzwerte:

Schadstoff	Immissions-Grenzwert	Statistische Definition	
Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> )	30 µg/m <sup>3</sup>	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)	
	80 µg/m <sup>3</sup>	24-h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden	
	100 µg/m <sup>3</sup>	95 % der ½-h-Mittelwerte eines Jahres ≤ 100 µg/m <sup>3</sup>	
Ozon (O <sub>3</sub> )	120 µg/m <sup>3</sup>	1-h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden	
	100 µg/m <sup>3</sup>	98 % der ½-h-Mittelwerte eines Monats ≤ 100 µg/m <sup>3</sup>	
Schwefeldioxid (SO <sub>2</sub> )	30 µg/m <sup>3</sup>	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)	
	100 µg/m <sup>3</sup>	24-h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden	
	100 µg/m <sup>3</sup>	95 % der ½-h-Mittelwerte eines Jahres ≤ 100 µg/m <sup>3</sup>	
Kohlenmonoxid (CO)	8 mg/m <sup>3</sup>	24-h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden	
Schwebestaub (PM <sub>10</sub> ) <sup>1</sup>	20 µg/m <sup>3</sup>	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)	
	50 µg/m <sup>3</sup>	24-h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden	
Blei (Pb) im Schwebestaub (PM <sub>10</sub> )	500 ng/m <sup>3</sup>	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)	
Cadmium (Cd) im Schwebestaub (PM <sub>10</sub> )	1.5 ng/m <sup>3</sup>	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)	
Staubniederschlag insgesamt	200 mg/m <sup>2</sup> ×Tag	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)	
	Blei (Pb) im Staubniederschlag	100 µg/m <sup>2</sup> ×Tag	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
	Cadmium (Cd) im Staubniederschlag	2 µg/m <sup>2</sup> ×Tag	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
	Zink (Zn) im Staubniederschlag	400 µg/m <sup>2</sup> ×Tag	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
	Thallium (Tl) im Staubniederschlag	2 µg/m <sup>2</sup> ×Tag	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
<p><i>Hinweis:</i>            mg = Milligramm;      1 mg = 0,001 g = 1 Tausendstel Gramm            µg = Mikrogramm;      1 µg = 0,001 mg = 1 Millionstel Gramm            ng = Nanogramm;      1 ng = 0,001 µg = 1 Milliardstel Gramm            Das Zeichen "≤" bedeutet "kleiner gleich".</p>			
<p><sup>1)</sup> Feindisperse Stoffe mit einem aerodynamischen Durchmesser von weniger als 10 µm.</p>			



## ANHANG 2: BESCHREIBUNG UND AUSRÜSTUNG DER MESSSTATIONEN

### Messstation Altdorf Gartenmatt

Stationsdaten	Standort:	6460 Altdorf, Gartenmatt		
	Koordinaten ; Höhe:	690.175/193.550 ; 438 m ü.M.		
	Immissionskategorie:	Ausserorts an sehr stark befahrenen Strassen (Autobahnen und Hochleistungsstrassen, Abstand 100 m)		
	Stationsverantwortlicher:	Baumann Remo; Amt für Umweltschutz Uri		
Ausrüstung	Messgerät:	Gerätetyp:	Hersteller:	Nachweisgrenze:
	Ozon [O <sub>3</sub> ]	ML9810	Monitorlabs USA	< 1 µg/m <sup>3</sup>
	Stickoxide [NO <sub>x</sub> , NO, NO <sub>2</sub> ]	ML9841A	Monitorlabs USA	< 1 µg/m <sup>3</sup>
	Feinstaub [PM <sub>10</sub> ]	Teom 1400 AB	Rupprecht&Patashnick USA	0.5 µg/m <sup>3</sup>
	Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe [PAH]	LQ1	Matter CH	1 ng/m <sup>3</sup>
	Meteo	Klimet	Meteolabor CH	---
Messgrössen	Kurzform + Einheit:	Messgrössen:		
	O <sub>3</sub> [ppb]	Ozonkonzentration		
	NO <sub>x</sub> [ppb]	Stickoxidkonzentration		
	NO [ppb]	Stickstoffmonoxidkonzentration		
	NO <sub>2</sub> [ppb]	Stickstoffdioxidkonzentration		
	PAH [ng/m <sup>3</sup> ]	Konzentration der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe		
	PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Feinstaubkonzentration		
	Glb [W/m <sup>2</sup> ]	Globalstrahlung		
	T <sub>2m</sub> [°C]	Temperatur 2 m über Boden		
	rel.F [%]	Relative Feuchte		
	Baro [hPa]	Luftdruck		
	WG/hv [m/s]	Windgeschwindigkeit horizontal vektoriell		
	WG/hs [m/s]	Windgeschwindigkeit horizontal skalar		
	WG/v [m/s]	Windgeschwindigkeit vertikal		
	WR [°]	Windrichtung		
	Böe/h [m/s]	Böe horizontal		
	Böe/v [m/s]	Böe vertikal		

**Messstation Zug Postplatz**

Stationsdaten	Standort:	6300 Zug, Postplatz		
	Koordinaten ; Höhe:	681.625/224.625 ; 420 m ü.M.		
	Immissionskategorie:	Innerorts an sehr stark befahrenen Strassen (Hauptstrassen), Abstand 24 m.		
	Stationsverantwortlicher:	Zünd Thomas; Amt für Umweltschutz Luzern		
Ausrüstung	Messgerät:	Gerätetyp:	Hersteller:	Nachweisgrenze:
	Stickoxide [NO <sub>x</sub> , NO, NO <sub>2</sub> ]	ML9841A	Monitorlabs USA	< 1 µg/m <sup>3</sup>
	Feinstaub [PM10]	Teom 1400 AB	Rupprecht&Patashnick USA	0.5 µg/m <sup>3</sup>
	Russ [EC]	Series 5400	Rupprecht&Patashnick USA	0.25 µg/m <sup>3</sup>
	VOC [Benzol, Toluol, Xylol]	GC 855	Syntech NL	0.5 µ/m <sup>3</sup>
	Meteo	Klimet	Meteolabor CH	---
Messgrössen	Kurzform + Einheit:	Messgrössen:		
	NO <sub>x</sub> [ppb]	Stickoxidkonzentration		
	NO [ppb]	Stickstoffmonoxidkonzentration		
	NO <sub>2</sub> [ppb]	Stickstoffdioxidkonzentration		
	PM10 [µg/m <sup>3</sup> ]	Feinstaubkonzentration		
	EC [µg/m <sup>3</sup> ]	Russkonzentration [Elementarer Kohlenstoff]		
	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Benzolkonzentration		
	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Toluolkonzentration		
	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Xylolkonzentration		
	T2m [°C]	Temperatur 2 m über Boden		
	rel.F [%]	Relative Feuchte		
	Baro [hPa]	Luftdruck		

**Messtation Luzern Museggstrasse**

<b>Stationsdaten</b>	<b>Standort: 6002 Luzern, Museggstrasse 7a, Traföhäuschen</b>			
	Koordinaten ; Höhe:	666.190/211.975 ; 460 m ü.M.		
	Immissionskategorie:	Städte mit über 50'000 Einwohner (Wohnzone)		
	Stationsverantwortlicher:	Zünd Thomas; Amt für Umweltschutz Luzern		
<b>Ausrüstung</b>	Messgerät:	Gerätetyp:	Hersteller:	Nachweisgrenze:
	Ozon [O <sub>3</sub> ]	ML9810	Monitorlabs USA	< 1 µg/m <sup>3</sup>
	Stickoxide [NO <sub>x</sub> , NO, NO <sub>2</sub> ]	ML9841A	Monitorlabs USA	< 1 µg/m <sup>3</sup>
	Schwefeldioxid [SO <sub>2</sub> ]	ML9850	Monitorlabs USA	2 µg/m <sup>3</sup>
	Feinstaub [PM10]	Teom 1400 AB	Rupprecht&Patashnick USA	0.5 µg/m <sup>3</sup>
	Meteo	Klimet	Meteolabor CH	---
<b>Messgrössen</b>	Kurzform + Einheit:	Messgrössen:		
	O <sub>3</sub> [ppb]	Ozonkonzentration		
	NO <sub>x</sub> [ppb]	Stickoxidkonzentration		
	NO [ppb]	Stickstoffmonoxidkonzentration		
	NO <sub>2</sub> [ppb]	Stickstoffdioxidkonzentration		
	SO <sub>2</sub> [ppb]	Schwefeldioxidkonzentration		
	PM10 [µg/m <sup>3</sup> ]	Feinstaubkonzentration		
	T2m [°C]	Temperatur 2 m über Boden		
	rel.F [%]	Relative Feuchte		

**Messstation Schwyz Rubiswilstrasse**

<b>Stationsdaten</b>	<b>Standort:</b>	<b>6438 Ibach, Rubiswilstrasse 8</b>		
	Koordinaten ; Höhe:	691.920/208.030 ; 470 m ü.M.		
	Immissionskategorie:	Städte mit 10'000 - 50'000 Einwohner (Wohnzone)		
	Stationsverantwortlicher:	Baumann Remo; Amt für Umweltschutz Uri		
<b>Ausrüstung</b>	<b>Messgerät:</b>	<b>Gerätetyp:</b>	<b>Hersteller:</b>	<b>Nachweisgrenze:</b>
	Ozon [O <sub>3</sub> ]	ML9810	Monitorlabs USA	< 1 µg/m <sup>3</sup>
	Stickoxide [NO <sub>x</sub> , NO, NO <sub>2</sub> ]	ML9841A	Monitorlabs USA	< 1 µg/m <sup>3</sup>
	Feinstaub [PM10]	Teom 1400 AB	Rupprecht&Patashnick USA	0.5 µg/m <sup>3</sup>
	Meteo	Klimet	Meteolabor CH	---
<b>Messgrössen</b>	<b>Kurzform + Einheit:</b>	<b>Messgrössen:</b>		
	O <sub>3</sub> [ppb]	Ozonkonzentration		
	NO <sub>x</sub> [ppb]	Stickoxidkonzentration		
	NO [ppb]	Stickstoffmonoxidkonzentration		
	NO <sub>2</sub> [ppb]	Stickstoffdioxidkonzentration		
	PM10 [µg/m <sup>3</sup> ]	Feinstaubkonzentration		
	Glb [W/m <sup>2</sup> ]	Globalstrahlung		
	T2m [°C]	Temperatur 2 m über Boden		
	rel.F [%]	Relative Feuchte		
	Baro [hPa]	Luftdruck		
	WG/hv [m/s]	Windgeschwindigkeit horizontal vektoriell		
	WG/hs [m/s]	Windgeschwindigkeit horizontal skalar		
	WG/v [m/s]	Windgeschwindigkeit vertikal		
	WR [°]	Windrichtung		
	Böe/h [m/s]	Böe horizontal		
	Böe/v [m/s]	Böe vertikal		

**Messstation Stans Engelbergstrasse**

Stationsdaten	<b>Standort:</b>	<b>6370 Stans, Engelbergstrasse 34</b>		
	Koordinaten ; Höhe:	670.850/201.025 ; 438 m ü.M.		
	Immissionskategorie:	Ortschaften mit 5'000 - 10'000 Einwohner (Wohnzone)		
	Stationsverantwortlicher:	Zihlmann Urs; Amt für Umweltschutz Luzern		
Ausrüstung	Messgerät:	Gerätetyp:	Hersteller:	Nachweisgrenze:
	Ozon [O <sub>3</sub> ]	ML9810	Monitorlabs USA	< 1 µg/m <sup>3</sup>
	Stickoxide [NO <sub>x</sub> , NO, NO <sub>2</sub> ]	ML9841A	Monitorlabs USA	< 1 µg/m <sup>3</sup>
	Feinstaub [PM10]	Partisol 2025	Rupprecht&Patashnick USA	1 µg/m <sup>3</sup>
	Meteo	Klimet	Meteolabor CH	---
Messgrössen	Kurzform + Einheit:	Messgrössen:		
	O <sub>3</sub> [ppb]	Ozonkonzentration		
	NO <sub>x</sub> [ppb]	Stickoxidkonzentration		
	NO [ppb]	Stickstoffmonoxidkonzentration		
	NO <sub>2</sub> [ppb]	Stickstoffdioxidkonzentration		
	PM10 [µg/m <sup>3</sup> ]	Feinstaubkonzentration		
	Glb [W/m <sup>2</sup> ]	Globalstrahlung		
	T2m [°C]	Temperatur 2 m über Boden		
	rel.F [%]	Relative Feuchte		
	Baro [hPa]	Luftdruck		
	WG/hv [m/s]	Windgeschwindigkeit horizontal vektoriell		
	WG/hs [m/s]	Windgeschwindigkeit horizontal skalar		
	WG/v [m/s]	Windgeschwindigkeit vertikal		
	WR [°]	Windrichtung		
	Böe/h [m/s]	Böe horizontal		
	Böe/v [m/s]	Böe vertikal		

**Messstation Schüpfheim Chlosterbühl**

Stationsdaten	<b>Standort:</b>	<b>6170 Schüpfheim, Chlosterbühl 26</b>		
	Koordinaten ; Höhe:	664.700/201.100 ; 740 m ü.M.		
	Immissionskategorie:	Ortschaften mit 500 - 5'000 Einwohner (Wohnzone)		
	Stationsverantwortlicher:	Zihlmann Urs; Amt für Umweltschutz Luzern		
Ausrüstung	Messgerät:	Gerätetyp:	Hersteller:	Nachweisgrenze:
	Ozon [O <sub>3</sub> ]	ML9810	Monitorlabs USA	< 1 µg/m <sup>3</sup>
Messgrössen	Kurzform + Einheit:	Messgrössen:		
	O <sub>3</sub> [ppb]	Ozonkonzentration		

**Messstation Feusisberg Schulhausstrasse**

<b>Stationsdaten</b>	<b>Standort:</b>	<b>8835 Feusisberg, Schulhaus</b>		
	Koordinaten ; Höhe:	699.300/227.200 ; 670 m ü.M.		
	Immissionskategorie:	Ländliche Gebiete unter 1'000 m ü. M.		
	Stationsverantwortlicher:	Baumann Remo; Amt für Umweltschutz Uri		
<b>Ausrüstung</b>	<b>Messgerät:</b>	<b>Gerätetyp:</b>	<b>Hersteller:</b>	<b>Nachweisgrenze:</b>
	Ozon [O <sub>3</sub> ]	ML9810	Monitorlabs USA	< 1 µg/m <sup>3</sup>
	Meteo	Klimet	Meteolabor CH	---
<b>Messgrössen</b>	<b>Kurzform + Einheit:</b>	<b>Messgrössen:</b>		
	O <sub>3</sub> [ppb]	Ozonkonzentration		
	Glb [W/m <sup>2</sup> ]	Globalstrahlung		
	T2m [°C]	Temperatur 2 m über Boden		
	WG/hv [m/s]	Windgeschwindigkeit horizontal vektoriell		
	WG/hs [m/s]	Windgeschwindigkeit horizontal skalar		
	WG/v [m/s]	Windgeschwindigkeit vertikal		
	WR [°]	Windrichtung		
	Böe/h [m/s]	Böe horizontal		
	Böe/v [m/s]	Böe vertikal		

**Messstation Lungern-Schönbüel**

<b>Stationsdaten</b>	<b>Standort:</b>	<b>6078 Lungern-Schönbüel, Turren</b>		
	Koordinaten ; Höhe:	652.760/182.250 ; 1550 m ü.M.		
	Immissionskategorie:	Nicht-Siedlungsgebiete über 1'000 m ü. M.		
	Stationsverantwortlicher:	Zihlmann Urs; Amt für Umweltschutz Luzern		
<b>Ausrüstung</b>	<b>Messgerät:</b>	<b>Gerätetyp:</b>	<b>Hersteller:</b>	<b>Nachweisgrenze:</b>
	Ozon [O <sub>3</sub> ]	ML9810	Monitorlabs USA	< 1 µg/m <sup>3</sup>
	Meteo	Klimet	Meteolabor CH	---
<b>Messgrössen</b>	<b>Kurzform + Einheit:</b>	<b>Messgrössen:</b>		
	O <sub>3</sub> [ppb]	Ozonkonzentration		
	Glb [W/m <sup>2</sup> ]	Globalstrahlung		
	T2m [°C]	Temperatur 2 m über Boden		
	rel.F [%]	Relative Feuchte		
	Baro [hPa]	Luftdruck		
	WG/hv [m/s]	Windgeschwindigkeit horizontal vektoriell		
	WG/hs [m/s]	Windgeschwindigkeit horizontal skalar		
	WG/v [m/s]	Windgeschwindigkeit vertikal		
	WR [°]	Windrichtung		
	Böe/h [m/s]	Böe horizontal		
	Böe/v [m/s]	Böe vertikal		

## ANHANG 3: MESSRESULTATE 1999

Nachfolgend sind die Messresultate von „in-LUFT“ aus dem Jahr 1999 tabellarisch zusammengestellt. Es werden die Monats- und Jahreswerte dargestellt. Falls detailliertere Daten gewünscht werden, so sind diese bei „in-LUFT“ anzufordern.

Der Betrieb der Messanlagen und die Umrechnungen von Volumenverhältnissen in Gewichtsangaben erfolgten gemäss den Empfehlungen über die Immissionsmessung von Luftfremdstoffen des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) aus dem Jahre 1990.

### **Messungen mit Passivsammlern**

Passivsammler für die Erfassung der Stickstoffdioxid-Konzentrationen beruhen auf dem Prinzip der Diffusion von Stickstoffdioxid an ein adsorbierendes Medium. Die Menge des adsorbierten Stickstoffdioxides ist proportional zur Umgebungskonzentration. Pro Standort werden im 2-Wochen-Turnus jeweils drei Passivsammler gleichzeitig exponiert. Die Methode der Passivsammler eignet sich für die Überwachung der Langzeitbelastung und für die Beobachtung langjähriger Entwicklungen.

Ozon kann nach einem ähnlichen Verfahren bestimmt werden. Überschreitungen der Kurzzeitgrenzwerte können damit allerdings nicht festgestellt werden.

In Verbindung mit einer Messstation ergeben die Passivsammler nützliche ergänzende Informationen über die räumlichen Unterschiede der Immissionsbelastung. Die Genauigkeit der NO<sub>2</sub>-Passivsammler liegt bei ca. +/- 8 % (Jahresmittelwert).

Anhang 3.1: Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)

**Jahresmittel 1999 (Fixstationen)**

Immissionskategorie	Messstandort	Jahresmittel	Grenzwert (LRV)
Ausserorts an sehr stark befahrenen Strassen	Altdorf Gartenmatt	33	30
Innerorts an sehr stark befahrenen Strassen	Zug Postplatz	35*	
Städte mit über 50'000 Einwohner (Wohnzone)	Luzern Museggstr.	38	
Städte mit 10'000 - 50'000 Einwohner (Wohnzone)	Schwyz Rubiswilstr.	27	
Ortschaften mit 5'000 - 10'000 Einwohner (Wohnzone)	Stans Engelbergstr.	21	

\* unvollständige Messreihe, Jahresmittel hochgerechnet

**Maximaler Tagesmittelwert 1999 (Fixstationen)**

Immissionskategorie	Messstandort	max. Tagesmittel	Grenzwert (LRV)
Ausserorts an sehr stark befahrenen Strassen	Altdorf Gartenmatt	86	80
Innerorts an sehr stark befahrenen Strassen	Zug Postplatz	67*	
Städte mit über 50'000 Einwohner (Wohnzone)	Luzern Museggstr.	81	
Städte mit 10'000 - 50'000 Einwohner (Wohnzone)	Schwyz Rubiswilstr.	69	
Ortschaften mit 5'000 - 10'000 Einwohner (Wohnzone)	Stans Engelbergstr.	61	

\* unvollständige Messreihe

**Anzahl Überschreitungen Tagesmittelwert 1999 (Fixstationen)**

Immissionskategorie	Messstandort	Anzahl Überschreitungen Tagesmittel-Grenzwert	Grenzwert (LRV)
Ausserorts an sehr stark befahrenen Strassen	Altdorf Gartenmatt	3	1
Innerorts an sehr stark befahrenen Strassen	Zug Postplatz	0*	
Städte mit über 50'000 Einwohner (Wohnzone)	Luzern Museggstr.	1	
Städte mit 10'000 - 50'000 Einwohner (Wohnzone)	Schwyz Rubiswilstr.	0	
Ortschaften mit 5'000 - 10'000 Einwohner (Wohnzone)	Stans Engelbergstr.	0	

\* unvollständige Messreihe

**95 %-Perzentil der ½-h-Mittelwerte 1999 (Fixstationen)**

Immissionskategorie	Messstandort	95 %-Perzentil der ½-h-Mittelwerte	Grenzwert (LRV)
Ausserorts an sehr stark befahrenen Strassen	Altdorf Gartenmatt	75	100
Innerorts an sehr stark befahrenen Strassen	Zug Postplatz*	61	
Städte mit über 50'000 Einwohner (Wohnzone)	Luzern Museggstr.*	68	
Städte mit 10'000 - 50'000 Einwohner (Wohnzone)	Schwyz Rubiswilstr.	61	
Ortschaften mit 5'000 - 10'000 Einwohner (Wohnzone)	Stans Engelbergstr.	50	

\* unvollständige Messreihe



**Jahresmittel der Stickstoffdioxid-Passivsammler-Messungen 1999**

 Grenzwert der LRV: 30 µg/m<sup>3</sup>, \*=unvollständige Messreihe

Kanton	Nr.	Standort	Y-Koord	X-Koord	Höhe m ü. M.	„in-LUFT“ Kat.	Jahresmittel 1999 µg/m <sup>3</sup>	
LU	05	Ebikon Sedel (502)	665.475	213.325	480	1	26	
LU	07	Emmen Waldbrücke	666.750	217.600	420	1	27	
UR	01	Flüelen Werkhof A2/A4	690.200	194.470	436	1	27	
UR	03	Altdorf Gartenmatt	690.175	193.550	440	1	31	
UR	06	Erstfeld Schachen	691.250	189.300	454	1	30	
UR	07	Amsteg Grund	693.950	181.350	510	1	-	*
UR	09	Gurtellen Wiler	690.700	176.065	743	1	32	
UR	13	Altdorf Gross Ei	690.540	192.340	444	1	44	
UR	14	Altdorf Bärenmatt	690.620	192.640	445	1	28	*
UR	21	Amsteg Grund 1	693.860	181.320	510	1	-	*
UR	22	Amsteg Grund 2	693.930	181.300	510	1	-	*
ZG	04	Hünenberg, Langrütistrasse	675.420	225.540	465	1	30	
LU	09	Eschenbach Oeggenringenstr. 5	666.800	220.265	475	2	27	
LU	10	Hitzkirch Bahnhofstrasse	662.450	230.750	500	2	25	
LU	12	Horw Bahnhofstrasse	666.300	207.850	440	2	33	
LU	15	Luzern Löwenplatz (580)	666.250	212.125	435	2	45	*
LU	23	Luzern Bahnhofplatz (526)	666.355	211.420	436	2	51	
LU	32	Root Grabenweg	672.350	218.825	430	2	25	
LU	33	Rothenburg Flecken	663.240	216.170	490	2	36	
LU	41	Wolhusen Zentrum Post	648.300	212.040	570	2	22	
NW	03	Hergiswil, Dorf	666.190	203.950	460	2	33	
NW	07	Stans, Einkaufszentrum	669.850	201.850	446	2	30	
NW	08	Stans, Post	670.700	201.260	450	2	31	
NW	09	Stansstad, Bahnhof	668.280	203.300	436	2	30	
OW	07	Lungern, Brünigstrasse	655.090	182.040	712	2	30	
OW	11	Hinter Brüggi Sachseln	661.580	192.510	500	2	14	
SZ	02	Schwyz Herrengasse	692.270	208.550	520	2	41	
SZ	05	Ibach Gotthardstrasse	691.600	207.360	455	2	27	
SZ	08	Seewen PTT	690.820	209.040	460	2	34	
SZ	13	Brunnen Bahnhofstrasse	689.040	205.980	440	2	33	
SZ	16	Rothenthurm Hauptstrasse	693.910	217.790	925	2	27	*
SZ	21	Lachen Oberdorfstrasse	707.720	227.260	430	2	53	
SZ	25	Siebnen Glarnerstrasse	710.580	225.870	445	2	36	
SZ	30	Wollerau Dorfplatz	697.050	227.980	515	2	40	
SZ	32	Wangen Zürcherstrasse	710.330	227.720	425	2	38	
SZ	35	Pfäffikon Schindellegistrasse	701.450	228.660	415	2	43	
SZ	39	Altendorf Zürcherstrasse	705.400	227.770	425	2	36	
SZ	40	Einsiedeln Restaurant Waldstatt	699.060	220.450	880	2	38	
SZ	42	Pfäffikon Strassenverkehrsamt	702.380	228.740	420	2	35	
SZ	45	Küssnacht Hauptplatz	676.160	215.010	440	2	54	
SZ	49	Freienbach Sonderschule	700.265	228.990	410	2	44	

Kanton	Nr.	Standort	Y-Koord	X-Koord	Höhe m ü. M.	„in- LUFT“ Kat.	Jahres- mittel 1999 µg/m <sup>3</sup>	
SZ	55	Reichenburg Kantonsstrasse	716.500	225.450	435	2	21	
UR	02	Altdorf von Roll-Haus	691.825	193.000	464	2	43	
UR	20	Sisikon Haus Zwyer	689.920	200.320	440	2	17	*
ZG	08	Rotkreuz, Holzhäusern	675.850	223.250	443	2	35	
ZG	12	Zug, Neugasse	681.675	224.615	420	2	46	
ZG	13	Zug, Postplatz	681.625	224.650	420	2	33	
NW	01	Buochs, Gemeindehaus	674.875	203.060	438	2/6a	28	
NW	10	Wolfenschiessen, Gemeindehaus	672.890	195.750	511	2/6a	16	
LU	16	Luzern Museggstrasse	666.200	211.975	445	3	35	
LU	17	Luzern Schulhaus Mariahilf (582)	665.880	211.785	450	3	30	
LU	18	Luzern Abendweg Seminar (514)	666.665	212.090	450	3	30	
LU	19	Luzern Kasimir Pfyfferstr. 26 (570)	665.475	211.125	435	3	30	
LU	20	Luzern Steinhofstr. (529)	665.175	210.810	490	3	30	
LU	21	Luzern Sternmatt (534)	666.295	210.035	490	3	32	
LU	22	Luzern Eichwald Stat. SMA (537)	665.530	209.900	455	3	27	
LU	24	Luzern Wesemlin Kloster (585)	666.570	212.580	500	3	23	
LU	25	Luzern Bramberg Gärtnerei (571)	665.738	212.052	475	3	28	
LU	26	Luzern Neustadt Bleicherpark	665.975	210.300	440	3	33	
LU	27	Luzern Tribschen (VBL)	666.900	210.700	436	3	31	
LU	04	Ebikon Schulhaus Sagen	668.350	214.000	440	4	24	
LU	06	Emmen Herdschwand	663.850	214.150	450	4	26	
LU	13	Kriens Schulhaus Brunnmatt	664.650	209.450	470	4	28	
LU	14	Littau Rigistrasse	662.625	211.350	510	4	25	
LU	38	Sursee Spitalstrasse	651.400	224.375	525	4	24	
OW	06	Sarnen	662.010	194.550	475	4	19	
OW	16	Kantonsspital Sarnen	661.550	193.440	469	4	18	
OW	17	Frauenkloster Sarnen	661.540	193.870	473	4	19	
SZ	01	Goldau Bahnhofstrasse	684.270	211.510	510	4	31	
SZ	28	Einsiedeln Dorfzentrum	699.110	220.340	880	4	22	
SZ	60	Schwyz neues AHV-Gebäude	691.920	208.030	470	4	26	
ZG	02	Baar, Schwesternhaus	682.530	227.660	445	4	25	
ZG	03	Cham, Duggelimatt	678.250	226.380	420	4	24	
ZG	09	Steinhausen, Neudorfstr.12	679.140	227.970	440	4	20	
ZG	11	Zug, Kantonsschule	682.300	225.385	435	4	22	
ZG	17	Rotkreuz, Gemeindehaus	675.320	221.640	429	4	25	
LU	01	Adligenswil Kirchplatz	670.350	213.225	535	5	20	
LU	02	Buchrain	669.175	216.700	460	5	25	
LU	03	Dagmersellen	641.700	229.350	490	5	22	
LU	08	Entlebuch Marktplatz	647.660	204.725	720	5	16	
LU	11	Hochdorf Rathaus	664.700	224.250	485	5	22	
LU	28	Malters Mooshofstrasse	656.650	209.875	500	5	22	
LU	29	Meggen Schulhaus Central	671.275	211.275	485	5	17	
LU	30	Neuenkirch, Kirchmattstrasse	658.213	216.800	550	5	19	
LU	31	Reiden Kirchzentrum	640.365	233.175	457	5	19	
LU	34	Ruswil, Schwerzistrasse	652.200	215.050	640	5	19	

Kanton	Nr.	Standort	Y-Koord	X-Koord	Höhe m ü. M.	„in-LUFT“ Kat.	Jahresmittel 1999 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
LU	36	Sempach Feldweg	657.500	220.550	520	5	25	
LU	39	Weggis Oberdorf	675.750	209.575	440	5	21	
NW	06	Stans, Engelbergstrasse	670.880	201.020	452	5	19	
OW	08	Alpnach Dorf	663.500	199.160	455	5	19	
OW	09	Engelberg, Hotel Engelberg	673.800	186.040	1005	5	19	
OW	13	Spycher Büelgässli Sachseln	661.340	191.530	483	5	13	
OW	18	Schulhaus Sarnen	661.270	193.990	470	5	17	
OW	19	Pfarrhaus Kirchhofen Sarnen	660.890	193.920	490	5	15	
SZ	11	Brunnen Laboratorium der Urkantone	688.670	205.740	435	5	25	
SZ	17	Muotathal Gemeindekanzlei	700.340	203.420	610	5	24	
SZ	22	Lachen Bauverwaltung	707.440	227.980	410	5	27	
SZ	53	Ingenbohl Kloster	689.580	206.110	450	5	20	
UR	15	Altdorf Grossmatt	691.220	192.040	460	5	22	*
UR	16	Altdorf Allenwinden	691.690	192.220	464	5	19	*
UR	17	Altdorf Spital	691.430	193.010	449	5	22	*
UR	18	Altdorf Kapuzinerkloster	691.900	193.300	514	5	11	*
ZG	10	Unterägeri, Lorzenstrasse	686.860	221.270	725	5	18	
ZG	16	Hünenberg, Maihölzli	674.950	225.350	460	5	24	
LU	40	Willisau-Stadt Bahnhofstr.	642.075	219.075	595	6a	21	
NW	02	Ennetbürgen, Kirche	674.250	204.175	435	6a	20	
NW	04	Hergiswil, Matt	666.425	205.050	450	6a	26	
OW	05	Flüeli-Ranft, Schulhaus	663.180	191.560	744	6a	8	
SZ	57	Feusisberg Schulhaus	699.300	227.200	670	6a	14	
SZ	58	Morschach Husmattegg	689.700	204.140	655	6a	11	
SZ	59	Gersau Rathaus	682.550	205.150	440	6a	18	
UR	04	Bürglen Brickermatte	692.540	192.135	496	6a	17	
UR	10	Andermatt Bahnhof	688.425	165.675	1436	6a	15	
ZG	06	Neuheim, Gemeindehaus	686.130	228.880	666	6a	15	
ZG	07	Oberägeri, Schulweg	689.200	221.100	735	6a	14	
ZG	18	Walchwil, Bahnhofplatz	681.875	216.940	449	6a	16	
LU	35	Schüpfheim Landw. Schule	644.600	201.100	740	6b	11	
LU	37	Sörenberg Rothornstrasse 6	645.150	186.050	1160	6b	12	
OW	04	Giswil, Grossteil Riedmatt	656.160	189.420	495	6b	9	
OW	10	Rütimattli Sachseln	661.890	192.500	570	6b	12	
OW	12	Bruechli Sachseln	661.540	191.950	520	6b	13	
OW	15	FC-Gebäude Sarnen	661.320	193.330	469	6b	17	
OW	20	Türlacher Sarnen	662.080	193.990	474	6b	18	
UR	08	Bristen Golzern Talstation	697.140	180.225	830	6b	7	
UR	11	Attinghausen Eielen	689.860	192.036	451	6b	17	*
UR	12	Attinghausen Schachli	690.340	192.020	446	6b	20	*
UR	19	Altdorf Nussbäumli	692.240	193.080	578	6b	11	*
ZG	01	Baar, Inwil	682.550	226.900	440	6b	19	
ZG	05	Menzingen, Werkhof	687.470	225.670	800	6b	10	
ZG	14	Zug, Zugerberg	683.020	222.010	925	6b	7	
ZG	15	Cham, Frauental	674.710	229.850	393	6b	14	

Kanton	Nr.	Standort	Y-Koord	X-Koord	Höhe m ü. M.	„in- LUFT“ Kat.	Jahres- mittel 1999 µg/m <sup>3</sup>	
ZG	19	Zug, Schöneegg	682.120	222.760	560	6b	14	
NW	05	Niederrickenbach	675.250	197.825	1162	6c	4	
OW	01	Lungern, Schönbüel	650.440	182.080	2010	6c	3	
OW	02	Lungern, Turren	652.760	182.250	1560	6c	3	
OW	03	Stalden, Leitimatt Glaubenberg	656.910	193.130	1040	6c	4	
SZ	06	Rigi Kulm	679.540	212.100	1750	6c	3	
UR	05	Biel Bergstation	696.800	194.575	1625	6c	3	

Anhang 3.2: Ozon (O<sub>3</sub>)

**Maximale Stundenmittelwerte 1999**

Immissionskategorie	Messstandort	maximaler Stundenmittelwert	Grenzwert LRV
Ausserorts an sehr stark befahrenen Strassen	Altdorf Gartenmatt	145	120
Städte mit über 50'000 Einwohner (Wohnzone)	Luzern Museggstr.	140	
Städte mit 10'000 - 50'000 Einwohner (Wohnzone)	Schwyz Rubiswilstr.	161	
Ortschaften mit 5'000 - 10'000 Einwohner (Wohnzone)	Stans Engelbergstr.	157	
Ortschaften mit 500 - 5'000 Einwohner (Wohnzone)	Feusisberg Schulhausstr.	166	
Ländliche Gebiete unter 1'000 m ü. M.	Schüpfheim Chlosterbühl	161	
Nicht-Siedlungsgebiete über 1'000 m ü. M.	Lungern – Schönbüel*	157	

\* unvollständige Messreihe

**Anzahl Überschreitungen des Stundenmittelwertes 1999**

Immissionskategorie	Messstandort	Anzahl Stunden > 120 µg/m <sup>3</sup>	Grenzwert LRV
Ausserorts an sehr stark befahrenen Strassen	Altdorf Gartenmatt	85	1
Städte mit über 50'000 Einwohner (Wohnzone)	Luzern Museggstr.	33	
Städte mit 10'000 - 50'000 Einwohner (Wohnzone)	Schwyz Rubiswilstr.	162	
Ortschaften mit 5'000 - 10'000 Einwohner (Wohnzone)	Stans Engelbergstr.	141	
Ortschaften mit 500 - 5'000 Einwohner (Wohnzone)	Feusisberg Schulhausstr.	146	
Ländliche Gebiete unter 1'000 m ü. M.	Schüpfheim Chlosterbühl	129	
Nicht-Siedlungsgebiete über 1'000 m ü. M.	Lungern – Schönbuehl*	448	

\* unvollständige Messreihe

**Maximale monatliche 98 %-Perzentile 1999**

Immissionskategorie	Messstandort	Maximale monatliche 98 %-Perzentile	Grenzwert LRV
Ausserorts an sehr stark befahrenen Strassen	Altdorf Gartenmatt	134	100
Städte mit über 50'000 Einwohner (Wohnzone)	Luzern Museggstr.	122	
Städte mit 10'000 - 50'000 Einwohner (Wohnzone)	Schwyz Rubiswilstr.	140	
Ortschaften mit 5'000 - 10'000 Einwohner (Wohnzone)	Stans Engelbergstr.	135	
Ortschaften mit 500 - 5'000 Einwohner (Wohnzone)	Feusisberg Schulhausstr.	138	
Ländliche Gebiete unter 1'000 m ü. M.	Schüpfheim Chlosterbühl	130	
Nicht-Siedlungsgebiete über 1'000 m ü. M.	Lungern – Schönbüel*	140	

\* unvollständige Messreihe

### Anhang 3.3: Feinstaub (PM10)

#### Jahresmittel 1999

Immissionskategorie	Messstandort	Jahresmittel	Grenzwert (LRV)
Ausserorts an sehr stark befahrenen Strassen	Altdorf Gartenmatt	22	20
Innerorts an sehr stark befahrenen Strassen (Hauptstrassen)	Zug Postplatz*	21	
Städte mit über 50'000 Einwohner (Wohnzone)	Luzern Museggstr.	23	
Städte mit 10'000 - 50'000 Einwohner (Wohnzone)	Schwyz Rubiswilstr.	21	
Ortschaften mit 5'000 - 10'000 Einwohner (Wohnzone)	Stans Engelbergstr.	26	

\* unvollständige Messreihe, Jahresmittel hochgerechnet

#### Maximales Tagesmittel 1999

Immissionskategorie	Messstandort	Maximales Tagesmittel	Grenzwert (LRV)
Ausserorts an sehr stark befahrenen Strassen	Altdorf Gartenmatt	80	50
Innerorts an sehr stark befahrenen Strassen (Hauptstrassen)	Zug Postplatz*	51	
Städte mit über 50'000 Einwohner (Wohnzone)	Luzern Museggstr.	77	
Städte mit 10'000 - 50'000 Einwohner (Wohnzone)	Schwyz Rubiswilstr.	62	
Ortschaften mit 5'000 - 10'000 Einwohner (Wohnzone)	Stans Engelbergstrasse	98	

\* unvollständige Messreihe

Anhang 3.4: Auswertung der Luftmessungen gemäss den  
Vorgaben des Bundesamtes für Umwelt, Wald  
und Landschaft (BUWAL)