



Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark	Band 132	S. 169–181	Graz 2002
----------------------------------	----------	------------	-----------

## Bewertung der Luftgüte in Graz mit Hilfe von Pflanzen als Bioindikatoren

Von Edith STABENTHEINER<sup>1</sup>, Andrea GROSS<sup>1</sup>, Gerhard SOJA<sup>2</sup> & Dieter GRILL<sup>1</sup>  
Mit 4 Abbildungen und 5 Tabellen

Angenommen am 23. Oktober 2002

**Summary: Monitoring of air quality in Graz with the use of plant bio-indicators.** – Monitoring plants for oxidants (ozone, NO<sub>x</sub>; tobacco, bush bean), SO<sub>2</sub> (clover, alfalfa) and an accumulator plant for heavy metals, sulphur and fluorine (ryegrass) were exposed on 11 sites in Graz 1996 from May to October to indicate air quality. Typical leaf necrosis of tobacco are well correlated with ozone concentrations and the reliability of the evaluation of visible symptoms was confirmed by computer-aided image analysis. The monitoring plants at the outskirts of Graz showed the highest leaf damage. The elevated sites in the East and North were characterised by reactions of ozone indicators, whereas the not elevated sites in the North and Southeast were dominated by reactions due to NO<sub>x</sub>. The elevated monitoring site on the Schloßberg in the centre also showed ozone damage, whereas the not elevated site in the centre and the side in the South were characterised by primary pollutants (SO<sub>2</sub>, heavy metals).

**Zusammenfassung:** Pflanzliche Bioindikatoren können dafür verwendet werden, die Wirkung anthropogener Umwelteinflüsse anzuzeigen. 1996 kamen in Graz an 11 Standorten Bioindikatoren für oxidative Schadstoffe (Ozon, Stickoxide: Tabak, Buschbohnen) und für SO<sub>2</sub> (Luzerne, Klee) zum Einsatz. Hier waren jeweils sichtbare Blattschädigungen Auswertekriterien. Die Graskultur (Italienisches Raygras) kam zum Einsatz, um die Anreicherung von Schwermetallen, Schwefel und Fluor zu erfassen. Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich von Mai bis Oktober. Beim Ozonindikator Tabak BelW3 ergab sich eine gute Übereinstimmung der Blattschädigungen mit den Ozonmesswerten. Die Verlässlichkeit der optischen Ansprache konnte durch eine Auswertung mittels computergestützter Bildverarbeitung bestätigt werden. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse aller Indikatorpflanzen ergab eine deutliche Belastung der Stationen am Stadtrand, wobei bei den erhöhten Lagen im Osten und Norden die Ozonbelastung dominierte, während bei den auf Stadtniveau gelegenen Stationen im Norden und Südwesten die Stickoxidindikatoren am stärksten reagierten. Auch die Stationen im Stadtzentrum und südlich davon ließen eine etwas stärkere Belastung erkennen, wobei am Schloßberg das Ozon in der Schadsausprägung dominierte, während die Blattschäden bzw. Schadstoffanreicherungen an den Stationen in der Innenstadt und im Südwesten am ehesten primären Schadstoffen (SO<sub>2</sub>, Schwermetalle) zuzuordnen waren.

### 1. Einleitung

Als Bioindikatoren werden Organismen oder Organismengemeinschaften definiert, deren Lebensfunktionen sich mit bestimmten Umweltfaktoren so eng korrelieren lassen, dass sie als Zeiger dafür verwendet werden können (SCHUBERT 1991). Diese Korrelation gilt natürlich auch für natürliche Umweltfaktoren, die das Vorhandensein oder das Fehlen von Pflanzen auf bestimmten Standorten bedingen. Hierfür gibt es charakteristische Zeigerpflanzen. So sind Leberblümchen als Kalkzeiger, Heidelbeere oder Heidekraut hingegen als Säurezeiger bekannt. ELLENBERG 1974, 1979 hat für die Gefäßpflanzen Mitteleuropas den ökologischen Zeigerwert für Licht, Temperatur, Kontinentalität, Feuchte, Bodenreaktion, Stickstoff und Salzgehalt in einer neunteiligen Skala erfasst.

<sup>1</sup> Institut für Pflanzenphysiologie, Karl-Franzens-Universität Graz, Schubertstraße 51, A-8010 Graz.  
Korrespondenz: e-mail: edith.stabentheiner@uni-graz.at

<sup>2</sup> Forschungszentrum Seibersdorf, A-2444 Seibersdorf.



Häufig wird allerdings der Begriff Bioindikation nur für die Anzeige anthropogener Umwelteinflüsse angewandt (ARNDT & al. 1987, SCHUBERT 1991). Grundsätzlich unterscheidet man dabei zwei Typen von Bioindikatoren (ARNDT & al. 1987). Reaktionsindikatoren reagieren auf eine Schadstoffbelastung mit äußerlich sichtbaren Schädigungsmerkmalen, z.B. Blattnekrosen. Akkumulationsindikatoren reichern Schadstoffe in ihren Organen an, reagieren aber über einen weiten Konzentrationsbereich nicht mit sichtbaren Veränderungen. Beim Einsatz von Bioindikatoren geht es nicht nur um das Anzeigen von Vorhandensein und Stärke sowie Intensität einer Umweltgröße, sondern um die Reaktion des biologischen Systems – es gilt, die biologische Wirkung des Umweltfaktors zu erkennen (SCHUBERT 1991).

Bioindikatoren können bei geringem Kostenaufwand bestehende physikalisch-chemische Messnetze ergänzen; sie können Vorinformationen liefern, wo kontinuierliche Messstationen oder Messkampagnen eingerichtet werden sollen; und sie können Schadstoffe erfassen, die häufig nicht oder nicht dicht genug gemessen werden (z.B. Schwermetalle; Ozon). Der Einsatz von Bioindikatoren kann bei entsprechendem Ansatz auch das Problembewusstsein der Bevölkerung stärken, da schadstoffbedingte Schäden erkennbar und damit begreifbar werden.

In Graz wurden bereits mehrfach Bioindikatoren eingesetzt. Flechtenkartierungen (EHRENDORFER & al. 1971, GRILL & al. 1988) und ein aktives Monitoring mit Indikatorpflanzen für Ozon, Stickoxide und SO<sub>2</sub> (REGAR 1989, BERMADINGER & al. 1991) ergaben eine relativ schlechte Luftqualität im Stadtzentrum bzw. eine deutliche Belastung durch Oxidantien an erhöht gelegenen Standorten. Seit 1997 werden in Graz an bestimmten Standorten organische Luftschadstoffe (z.B., polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe, polychlorierte Biphenyle, Benzo(a)pyrene) durch das Grünkohlverfahren, einem aktiven Monitoringverfahren erfasst (MAIER & al. 1997, LUIS 2000).

1996 wurden im Rahmen einer EU-weiten Studie auch in Graz Untersuchungen mit pflanzlichen Bioindikatoren durchgeführt (DUGAUQUIER & al. 1997). Es kamen Bioindikatoren für oxidative Schadstoffe (Tabak, Buschbohnen) und für SO<sub>2</sub> (Luzerne, Klee) zum Einsatz – hier waren jeweils sichtbare Blattschädigungen Auswertekriterien. Die Graskultur kam zum Einsatz, um die Anreicherung von primären Schadstoffen (Schwermetalle, Schwefel, Fluor) zu erfassen.

## 2. Material und Methoden

Zum Einsatz kamen die Reaktionsindikatoren Virginischer Tabak (Sorten BelW3 und BelB), Buschbohne (Sorten Pinto und Lit RS), Luzerne und Bodenfrüchtiger Klee im Indikatorfächer nach Arndt (ARNDT & al. 1987, Tab. 1). Hier wurden sichtbare Blattveränderungen (Nekrosen) als Wirkungskriterien herangezogen. Das Italienische Raygras wurde als Akkumulationsindikator für Schwermetalle, Schwefel und Fluor verwendet (DUGAUQUIER & al. 1997).

Tab. 1: Einsatz von Reaktionsindikatoren im Indikatorfächer.  
Bioindicator plants used for monitoring air quality.

Pflanze	Lateinischer Name	Sorte	Indikator für
Virginischer Tabak	<i>Nicotiana tabacum</i> L.	BelW3	O <sub>3</sub>
Virginischer Tabak	<i>Nicotiana tabacum</i> L.	BelB	Kontrolle
Buschbohne	<i>Phaseolus vulgaris</i> var. nanus (L.) Aschers.	Pinto	NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , (SO <sub>2</sub> )
Buschbohne	<i>Phaseolus vulgaris</i> var. nanus (L.) Aschers.	Lit RS	NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , (SO <sub>2</sub> )
Bodenfrüchtiger Klee	<i>Trifolium subterraneum</i> L.	-	SO <sub>2</sub>
Luzerne	<i>Medicago sativa</i> L.	Du Puits	SO <sub>2</sub>





Der hier präsentierte Ansatz für die Reaktionsindikatoren (Exposition nach ARNDT & al. 1987) unterschied sich durch die Art und Dauer der Exposition von der EU-Studie (DUGAUQUIER & al. 1997, GROSS 2001). Für die EU-Studie (DUGAUQUIER & al. 1997) wurde Tabak (BelW3, BelB) und Luzerne in Kisten direkt am Boden für vier Wochen exponiert, während bei der hier vorgestellten Studie die Indikatorpflanzen in einem schattierten Gestell für jeweils zwei Wochen exponiert wurden (vgl. Abb. 1e; ARNDT & al. 1987, GROSS 2001). Die 14-tägige Exposition in erhöhten Expositionsgestellen hat sich im Vergleich zur 4-wöchigen Exposition am Boden als praktikabler und vorteilhafter erwiesen (GROSS 2001).

## 2.1 Pflanzen des Indikatorfächers

Die ozonsensitive Tabaksorte BelW3 reagierte auf das Vorhandensein von Ozon mit der Ausbildung ganz charakteristischer Blattnekrosen, die v.a. auf der Blattoberseite von Tabakblättern mittleren Alters zu finden waren (Abb. 1a). Die ozonunempfindliche Tabaksorte BelB wurde als Kontrolle verwendet, um andere Umwelteinflüsse (Kälte, etc.) von Ozoneinflüssen unterscheiden zu können.

Die Buschbohnsorten Pinto und Lit RS wurden als Indikatoren für Ozon aber auch für die primären Schadstoffe Stickoxide (und  $\text{SO}_2$ ) eingesetzt. Als charakteristische Schadenssymptome waren Braunverfärbungen der Interkostalfelder der Blattoberseite zu beobachten (Abb. 1b).

Luzerne und Bodenfruchtiger Klee wurden als  $\text{SO}_2$ -Indikator eingesetzt. Im Verlauf der Studie stellte sich allerdings eine starke Empfindlichkeit der Luzerne gegenüber oxidativen Schadstoffen heraus. Zu beobachtende Symptome bei der Luzerne waren silbrige Blattverfärbungen und beim Klee punktförmige, elfenbeinfarbene bis hellbraune Interkostal- und Blattrandnekrosen (Abb. 1c).

Bei Tabak und Buschbohne wurden die sichtbaren Blattnekrosen in Prozent der Blattfläche geschätzt und in Schadklassen zusammengefaßt (Tab. 2). Bei Luzerne und Klee wurde aufgrund der Kleinheit der Blätter der Schädigungsgrad der Einzelpflanze (in %) durch Abschätzen der Schadflächenanteile aller Blätter in Summe erfasst.

Die Schadflächenanteile der Bezugsblätter (Angabe in Schadstufen) wurden addiert und durch die Anzahl der Bezugsblätter (Bohnen: Primärblätter und Trifoliate; alle anderen Pflanzen des Indikatorfächers: alle Blätter) dividiert = Schädigungsgrad der Einzelpflanze. Das Mittel aller Pflanzen ergab dann den Stationswert pro Boniturtermin. Aus den Werten aller Boniturtermine wurde dann der Stationsmittelwert für jede Indikatorpflanze ermittelt.

Um die Zuverlässigkeit der optischen Ansprache zu überprüfen, wurden Tabakblätter mit unterschiedlichen Schadausprägungen eingescannt. Mittels Bildverarbeitungspro-

Tab. 2: Einteilung der Schadstufen (Schädigungsklassen) für die Boniturierung der Tabakblätter und der Blätter der Buschbohnen beim Indikatorfächer (Arndt & al. 1987).

Damage evaluation system based on the percentage of foliar surface affected by necrosis for tobacco and beans (Arndt & al. 1987).

Schadstufe	Prozentsatz (%)	Schadensausmaß
0	0	Ungeschädigt
1	0–2	Im Ansatz erkennbar
2	2–5	Erkennbar
3	5–10	Markant
4	10–25	Stark
5	25–60	Sehr stark
6	60–100	Total geschädigt

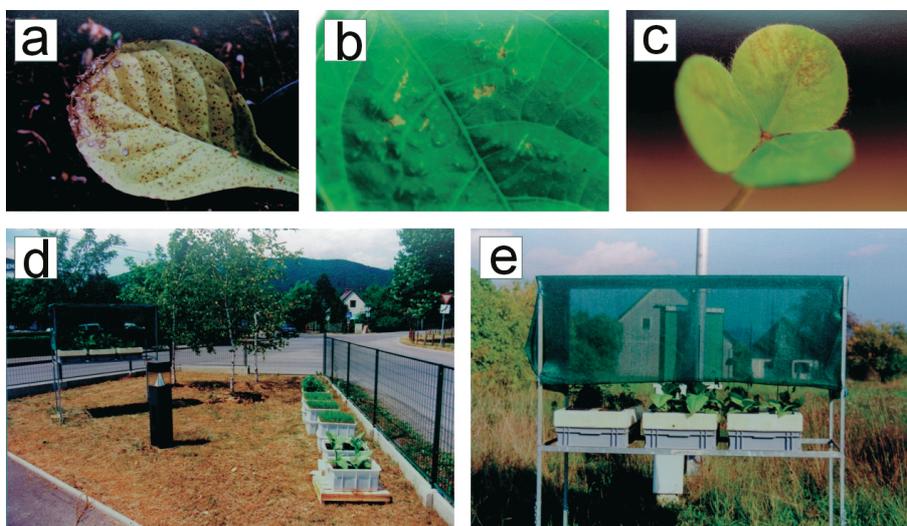


Abb. 1: Charakteristische Blattschäden bei einzelnen Bioindikatorpflanzen und Beispiele für die Indikatorstationen; a: charakteristische Nekrosen von Tabak BelW3; b: Braunverfärbungen der Blätter der Buschbohnen; c: Hellbraune Verfärbungen bei Klee; d: Station 07; links Indikatorfächer, rechts vorne Tabak des EU-Projekts (2 Kisten), anschließend 3 Kisten mit Italienischem Raygras und eine Kiste mit Luzerne; e: Indikatorfächer; rechts im Vordergrund Tabak, dahinter Buschbohnen, links Klee und Luzerne.

Typical leaf damage on monitoring plants and example for monitoring sites; a: tobacco Bel W3; b: bush beans; c: subterranean clover; d: site 07: left side exposition rack; right side: in the foreground tobacco (2 boxes), 3 boxes with Italian rye grass and 1 box with alfalfa (EU-project); e: exposition rack with tobacco in the foreground and beans in the back, left side: subterranean clover and alfalfa.

gramm (Optimas 5.2) erfolgte eine genaues Erfassen der geschädigten Blattfläche. Dies wurde dann mit der optischen Ansprache verglichen.

Die Pflanzen des Indikatorfächers wurden in schattierten Expositionsgestellen mit automatischer Wasserversorgung etwa einen Meter über Grund aufgestellt (Abb. 1d, 1e; ARNDT & al. 1987, BERMADINGER & al. 1991). Die Wasserversorgung erfolgte dabei über Glasfaserdochte in den Töpfen, die in das unter den Töpfen liegende Wasserreservoir eintauchen. Damit war eine 14-tägige wartungsfreie Exposition möglich.

## 2.2 Italienisches Raygras (*Lolium multiflorum* LAM.)

Die Pflanzen wurden im Forschungszentrum Seibersdorf (FZS) bereits in den Expositionscontainern angesät und nach Etablierung des Grasbestandes nach 4–5 Wochen in Graz aufgestellt. 1 bis 2 Tage vor der ersten Exposition wurde das Gras (noch im FZS) auf etwa 3 cm Höhe zurückgeschnitten. Die Pflanzcontainer blieben während der gesamten Vegetationsperiode an Ort und Stelle. Das Gras wurde in 4wöchigen Abständen 3 cm über dem Substratniveau abgeschnitten. Frisch- und Trockengewicht wurden in Graz bestimmt. Die chemischen Analysen erfolgten im FZS (Bestimmung von S, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Zn mittels ICP oder AAS; Bestimmung von F mit der ionenselektiven Elektrode). Auch die Expositionsbehälter für die Graskultur waren mit einem Wasserreservoir ausgestattet, das regelmäßig aufgefüllt wurde (Abb. 1d).

Die Anzucht der Pflanzen begann Mitte März 1996. Mit Ausnahme des Italienischen Raygrases, das im FZS angezogen wurde, wurden alle Pflanzen im Gewächshaus



der Magistratsgärtnerei Graz-Straßgang gezogen. Der Aufbau der Expositionseinrichtungen an den Stationen begann Ende April. Ab Anfang Mai wurden die Pflanzen im Freiland exponiert. Für den Indikatorfächer wurden die Pflanzen nach 14 tägiger Expositionsdauer bonitiert und durch neue Pflanzen ersetzt. Die Container mit dem Gras blieben die gesamte Vegetationsperiode an den Standorten. Alle 14 Tage wurde die Hälfte des Topfes einige Zentimeter über Substratniveau abgeschnitten.

Der erste Boniturtermin war der 20. Mai 1996. Letzter Boniturtermin des Indikatorfächers war der 7. Oktober 1996. Die Container mit dem Gras blieben bis November im Freiland.

Die Pflanzen wurden an 11 Stationen im Stadtgebiet von Graz exponiert (Tab. 3, Abb. 3, 4). Ein Teil der Standorte war ident mit Stationen für kontinuierliche Luftschadstoffmessungen.

Tab. 3: Namen der Stationen mit ihren Codebezeichnungen, Höhenlage und Messparameter der direkt benachbarten Luftmess-Stationen; vgl. Abb. 3 und 4.  
Name of the sites, codes, altitude and parameters measured by neighbouring physico-chemical stations; compare Figs. 3 and 4.

Code	Stationsbezeichnung	Messparameter der Luftmessstation	Seehöhe (m)
01	Schloßberg	O <sub>3</sub> , Meteorologie	450
02	Joanneum-Landhausgasse	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , Meteorologie	355
03	Platte	O <sub>3</sub> , Meteorologie	660
04	Weinzödl	Meteorologie	360
05	Umspannwerk STEWEAG	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub>	348
06	Kinderbad Gaswerkstraße	O <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , Meteorologie	370
07	Fa. Miele, Am Jägergrund	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub>	360
08	Herrgottwiesgasse	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , Meteorologie	345
09	Eisteichgasse	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub>	366
10	Observatorium Lustbühl	–	481
11	Villa Malvine/Universität; Johann Fux-Gasse	–	365

### 3. Ergebnisse

Im Untersuchungszeitraum Mai bis Oktober ergaben sich durch die jeweils zweiwöchige Expositionsdauer für die Pflanzen des Indikatorfächers 11 Boniturtermine. Für die Graskultur wurden 7 Erntetermine hier verwertet.

Im Verlauf der Vegetationsperiode waren bei allen Reaktionsindikatoren teilweise deutliche Blattschäden zu beobachten. Beim Tabak BelW3 waren die jüngsten und ältesten Blätter immer unempfindlicher als die mittleren Blätter, die die deutlichsten Schäden erkennen ließen (insgesamt ~ 8 Bezugsblätter). Die größten Blattschäden bei Einzelblättern von Tabak waren auf mehreren Stationen im Hochsommer (August) zu beobachten und waren der Schadklasse 6 (total geschädigt, 60–100 % geschädigte Blattfläche) zuzuordnen. Bei den Buschbohnen Pinto und Lit RS waren die Primärblätter immer stärker geschädigt als das Folgeblatt. Die größten Schäden waren im Frühsommer zu beobachten und waren der Schadstufe 4 zuzuordnen (stark geschädigt, 10–12 % geschädigte Blattfläche). Bei Luzerne und Klee lagen die höchsten Schäden bei 30–40 % und traten verteilt über die ganze Vegetationsperiode bei mehreren Stationen auf.

An vier Stationen (01, 03, 05, 06) waren die Standorte des Indikatorfächers ident mit Stationen, an denen kontinuierlich Ozon gemessen wurde. Hier war ein direkter



Vergleich der Blattschäden beim Tabak mit Ozonmesswerten möglich. Die Ozonmessdaten (Halbstunden-Mittelwerte) wurden für den Zeitraum der Exposition, also für jeweils 2 Wochen, gemittelt und mit dem Schadstufenmittelwert (Stationsmittelwert) von Bel W3 verglichen. Der jeweils erste und letzte Boniturtermin für Tabak wurde dabei nicht berücksichtigt. Im Frühjahr reagierte Tabak trotz hoher Ozonwerte noch nicht sehr stark, bei der letzten Bonitur waren schon klimatisch bedingte Schäden zu beobachten. Mit steigenden Ozonwerten war auch eine Steigerung bei den Blattschädigungen zu beobachten (Abb. 2a).

Die Verlässlichkeit der optischen Ansprache wurde durch eine Auswertung mittels digitaler Bildverarbeitung überprüft. Dazu wurden Blätter unterschiedlichen Schädigungsgrades optisch geschätzt, anschließend eingescannt und mit Hilfe eines Bildbearbeitungsprogrammes (Optimas 5.2) wurde der genaue Anteil geschädigter Blattfläche ermittelt. Diese genauen Prozentwerte wurden dann in die entsprechenden Schadklassen eingeteilt (vgl. Tab. 2) und mit der optischen Ansprache verglichen (Abb. 2b). Es besteht ein deutlicher Zusammenhang zwischen beiden Verfahren. Der Vergleich mit der Computerauswertung lässt erkennen, dass gering geschädigte Blätter (Schadstufen 1–3) bei der optischen Ansprache tendenziell leicht überbewertet werden, während stark geschädigte Blätter (Schadstufen 5–6) dagegen eher unterbewertet werden. Im mittleren Schädigungsbereich (Schadstufen 3–5) zeigt sich eine sehr gute Übereinstimmung (Abb. 2b).

Die Stationsmittelwerte (Mittelwerte für die gesamte Expositionsperiode) aller Reaktionsindikatoren sind in Tab. 4 zusammengefasst. Die Ergebnisse der Gehaltsbestimmungen des Italienischen Raygrases finden sich in Tab. 5.

Eine Bewertung für die jeweiligen Stationen erfolgt durch einen Vergleich mit dem Gesamtmittelwert der Stadt (Mittel der Belastung aller Stationen) für die jeweilige Indikatorart (vgl. DUGAUQUIER & al. 1997).

Die Ergebnisse für die jeweilige Indikatorart können dann für eine übersichtliche grafische Darstellung in drei Klassen eingeteilt werden.

- Klasse 1: Stationswerte liegen deutlich unter dem Gesamtmittelwert (unterdurchschnittlich belastet; große leere Kreisfläche)
- Klasse 2: Stationsmittelwerte liegen im Bereich des Gesamtmittelwertes (durchschnittlich belastet; kleiner leerer Kreis)
- Klasse 3: Stationsmittelwerte liegen deutlich über dem Bereich des Gesamtmittelwertes (überdurchschnittlich belastet; schwarzer Kreis).

Abb. 2a

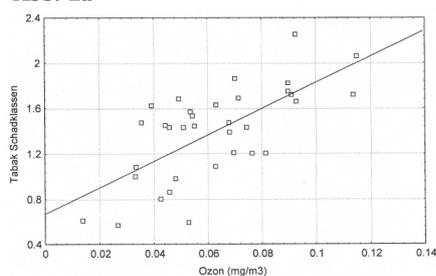


Abb. 2a: Vergleich der Schadstufenklassen der Tabaksorte BelW3 mit den Ozonkonzentrationen an den Stationen 01, 03, 05 und 06; n = 34, Spearman'scher Korrelationskoeffizient = 0,66,  $p << 0,001$   
Comparison of mean damage classes of tobacco BelW3 with ozone concentration at sites 01, 03, 05 and 06; n = 34, correlation coefficient (Spearman) = 0.66,  $p << 0.001$

Abb. 2b

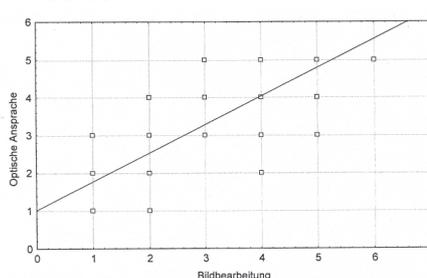


Abb. 2b: Vergleich der optischen Ansprache der geschädigten Blattfläche mit einer genauen Auswertung durch Bildverarbeitung; n = 77, Spearman'scher Korrelationskoeffizient = 0,78,  $p << 0,001$   
Comparison of mean damage classes of tobacco BelW3 with optical image analysis of damaged leaf area; n = 77, correlation coefficient (Spearman) = 0.78,  $p << 0.001$



In den Abb. 3a bis 3e sind die Ergebnisse entsprechend der angeführten Klasseneinteilung für die Pflanzen des Indikatorfächers dargestellt.

Tab. 4: Ergebnisse des Indikatorfächers: Stationsmittelwert für die Periode Mai–Oktober (11 Boniturtermine); bei Tabak und Buschbohne Angabe der mittleren Schadklassen; bei Luzerne und Klee Angabe der mittleren geschädigten Blattfläche in Prozent; Erläuterungen siehe Text.  
Results of the monitoring plants: Means of sites from May–October (11 evaluations); tobacco and bush beans: mean damage class; alfalfa and clover: mean percentage (%) of foliar surface affected; comments see text.

Station	BelW3	BelB	Pinto	Lit RS	Luzerne	Klee
01	1,44	0,31	1,75	1,40	10,91	10,91
02	1,11	0,22	1,80	1,60	16,82	17,27
03	1,53	0,30	2,00	1,90	10,00	21,82
04	0,90	0,32	2,35	1,90	11,36	12,73
05	1,05	0,24	2,10	1,80	9,55	10,91
06	1,11	0,16	1,75	1,40	13,64	14,09
07	1,20	0,23	2,15	2,00	23,18	12,73
08	1,22	0,27	1,95	1,75	15,46	20,91
09	1,07	0,24	1,65	1,50	5,00	16,82
10	1,44	0,30	1,85	2,11	4,55	18,18
11	1,08	0,21	1,70	1,60	4,50	13,00
<b>Mittelwert</b>	<b>1,20</b>	<b>0,25</b>	<b>1,91</b>	<b>1,72</b>	<b>11,36</b>	<b>15,40</b>

### 3.1 Schadbilder und Verteilungsmuster der Belastungsintensität

#### Virginischer Tabak BelW3 (Abb. 3a)

Die höher gelegenen Stationen am Stadtrand (03, 10) und auf dem Schloßberg (01) weisen überdurchschnittliche Blattschäden an Tabakblättern auf und lassen damit eine stärkere Ozonbelastung dieser Standorte erkennen. Die Station im Süden (08), jene im Südwesten (06, 07) und im Zentrum (02) sind als durchschnittlich belastet einzustufen, während die Stationen im Norden (04, 05) und im Osten der Stadt (09, 11) aufgrund der unterdurchschnittlichen Blattschädigung auch die geringste Ozonbelastung dieser Standorte erkennen lassen.

#### Buschbohnen (Abb. 3b, 3c)

Die beiden Buschbohnen Sorten Pinto und Lit RS, die als Indikatoren für Ozon und Stickoxide eingesetzt wurden, zeigen ein anderes Verteilungsmuster der Blattschäden als Tabak und reagieren mit Ausnahme der Stationen 03 (Lit RS: stark, Pinto: mittel) und 10 (Lit RS: stark; Pinto: gering) gleich. Die Stationen im Westen (06), im Stadtzentrum (01, 02) und im Osten der Stadt (09, 11) weisen unterdurchschnittliche Blattschäden auf, während die Stationen im Norden (04), im Südwesten (07) und die höher gelegenen Stadtrandbereiche (Lit RS: 03, 10) durch überdurchschnittliche Blattschäden charakterisiert sind. Das im Vergleich zum Tabak BelW3 teilweise andere Verteilungsmuster lässt auf Reaktion dieser Indikatorpflanzen auf Stickoxide schließen.

#### Luzerne (Abb. 3d) und Bodenfrüchtiger Klee (Abb. 3e)

Luzerne und Klee wurden beide als SO<sub>2</sub>-Indikatoren eingesetzt. Die beiden Indikatorpflanzen weisen aber ein unterschiedliches Reaktionsmuster auf. Bei Klee weisen die Station auf der Platte (03) und die Station im Süden (08) überdurchschnittliche Blattschäden, die Station im Zentrum (02) und die Stationen im Osten (09, 10) durchschnittlich

Tab. 5: Ergebnisse der Untersuchungen der Graskultur; Stationsmittelwerte für die Periode Mai–Oktober (jeweils 4–wöchige Exposition; Fluor: Mitte Juli–Ende Oktober); Angabe in mg je kg Trockengewicht; Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung.  
Results of rye grass culture; mean of the sites from May–October (exposition: 4 weeks; fluoride: July–October); mg per kg dry weight; mean  $\pm$  standard deviation.

Station	Arsen	Cadmium	Chrom	Kupfer	Eisen	Quecksilber	Nickel	Blei	Schwefel	Zink	Fluor
01	0,08 $\pm$ 0,05	0,06 $\pm$ 0,03	0,76 $\pm$ 0,80	6,79 $\pm$ 1,60	126,29 $\pm$ 38,10	0,03 $\pm$ 0,01	5,81 $\pm$ 1,70	0,53 $\pm$ 0,39	5086 $\pm$ 1142	38,43 $\pm$ 10,10	9,83 $\pm$ 1,70
02	0,10 $\pm$ 0,07	0,08 $\pm$ 0,03	0,97 $\pm$ 0,96	9,47 $\pm$ 1,96	155,86 $\pm$ 33,22	0,04 $\pm$ 0,00	7,07 $\pm$ 1,58	0,58 $\pm$ 0,34	5986 $\pm$ 1353	48,86 $\pm$ 7,13	8,55 $\pm$ 3,70
03	0,09 $\pm$ 0,05	0,08 $\pm$ 0,04	0,71 $\pm$ 0,93	7,10 $\pm$ 1,94	123,43 $\pm$ 27,07	0,03 $\pm$ 0,01	6,69 $\pm$ 1,58	0,54 $\pm$ 0,58	5300 $\pm$ 1083	42,29 $\pm$ 11,6	8,08 $\pm$ 2,87
04	0,09 $\pm$ 0,04	0,07 $\pm$ 0,04	0,50 $\pm$ 0,20	6,69 $\pm$ 1,51	181,71 $\pm$ 78,21	0,03 $\pm$ 0,01	7,89 $\pm$ 1,66	0,49 $\pm$ 0,32	5386 $\pm$ 1447	39,57 $\pm$ 8,40	9,78 $\pm$ 4,47
05	0,10 $\pm$ 0,05	0,08 $\pm$ 0,04	0,63 $\pm$ 0,47	6,84 $\pm$ 1,90	123,14 $\pm$ 40,09	0,03 $\pm$ 0,01	6,67 $\pm$ 0,95	0,55 $\pm$ 0,41	5414 $\pm$ 1644	41,71 $\pm$ 5,91	8,78 $\pm$ 4,54
06	0,10 $\pm$ 0,06	0,06 $\pm$ 0,03	0,61 $\pm$ 0,39	7,04 $\pm$ 3,21	165,86 $\pm$ 65,73	0,03 $\pm$ 0,01	5,83 $\pm$ 2,85	0,76 $\pm$ 0,65	5114 $\pm$ 1556	43,14 $\pm$ 8,65	9,35 $\pm$ 3,99
07	0,10 $\pm$ 0,07	0,06 $\pm$ 0,02	0,57 $\pm$ 0,34	7,04 $\pm$ 0,79	158,29 $\pm$ 42,31	0,03 $\pm$ 0,01	5,87 $\pm$ 0,96	0,55 $\pm$ 0,38	4886 $\pm$ 939	42,14 $\pm$ 3,98	10,10 $\pm$ 4,42
08	0,08 $\pm$ 0,05	0,07 $\pm$ 0,03	0,45 $\pm$ 0,20	6,19 $\pm$ 1,30	131,43 $\pm$ 48,26	0,03 $\pm$ 0,01	5,80 $\pm$ 1,49	0,73 $\pm$ 0,52	4341 $\pm$ 908	42,00 $\pm$ 7,56	10,98 $\pm$ 6,03
09	0,09 $\pm$ 0,05	0,07 $\pm$ 0,04	0,39 $\pm$ 0,22	7,77 $\pm$ 1,47	125,29 $\pm$ 42,41	0,03 $\pm$ 0,01	7,36 $\pm$ 1,41	0,49 $\pm$ 0,40	5957 $\pm$ 2926	44,43 $\pm$ 8,54	7,45 $\pm$ 3,13
10	0,07 $\pm$ 0,05	0,09 $\pm$ 0,08	0,34 $\pm$ 0,16	6,30 $\pm$ 1,77	107,14 $\pm$ 44,76	0,02 $\pm$ 0,01	6,27 $\pm$ 1,04	0,47 $\pm$ 0,41	4700 $\pm$ 993	39,14 $\pm$ 10,61	7,25 $\pm$ 2,50
11	0,08 $\pm$ 0,04	0,08 $\pm$ 0,05	0,43 $\pm$ 0,21	6,77 $\pm$ 1,81	115,29 $\pm$ 49,97	0,03 $\pm$ 0,01	6,93 $\pm$ 1,30	0,49 $\pm$ 0,37	5343 $\pm$ 1505	41,00 $\pm$ 9,87	7,05 $\pm$ 3,38
<b>Mittelwert</b>	<b>0,09<math>\pm</math>0,01</b>	<b>0,07<math>\pm</math>0,01</b>	<b>0,58<math>\pm</math>0,18</b>	<b>7,09<math>\pm</math>0,89</b>	<b>137,61<math>\pm</math>23,79</b>	<b>0,03<math>\pm</math>0,003</b>	<b>6,56<math>\pm</math>0,71</b>	<b>0,56<math>\pm</math>0,10</b>	<b>5226<math>\pm</math>495</b>	<b>42,06<math>\pm</math>2,87</b>	<b>8,83<math>\pm</math>1,29</b>

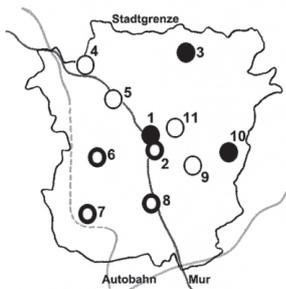


liche Blattschäden auf. Bei allen anderen Stationen waren unterdurchschnittliche Blattschäden zu beobachten. Bei der Luzerne weist nur die Station im Südwesten (7) eine überdurchschnittliche Blattschädigung auf, die Stationen im Norden (03, 05) und Osten (09, 10, 11) weisen unterdurchschnittliche Blattschäden auf. Die Blattschäden der anderen Stationen (01, 02, 04, 06, 08) bewegen sich im Bereich des Gesamtmittelwertes. Da sich das Verteilungsmuster der Luzerne aber nicht mit den Ergebnissen der Schwefeluntersuchungen beim Italienischen Raygras deckt, liegen auch hier offensichtlich Mischreaktionen vor.

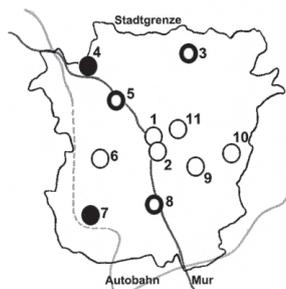
**Italienisches Raygras (Abb. 3f)**

Beim Italienischen Raygras wurden 11 Elemente bestimmt: As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, S, Zn, F. Die Stationsmittelwerte für jedes dieser Elemente finden sich in Tab. 5. Auch hier gibt es teilweise deutliche Unterschiede zwischen den Stationen. Um die Ergebnisse der Graskultur zusammengefasst darstellen und bewerten zu können, wurde eine Einteilung gewählt, die sich nach der Anzahl der Überschreitungen der Stationsmittelwerte richtet.

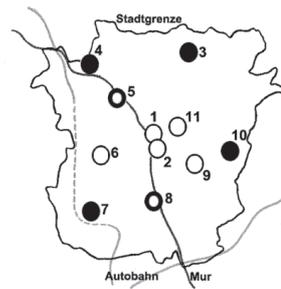
**Abb. 3a**



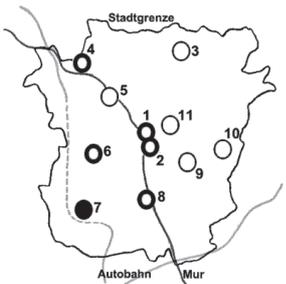
**Abb. 3b**



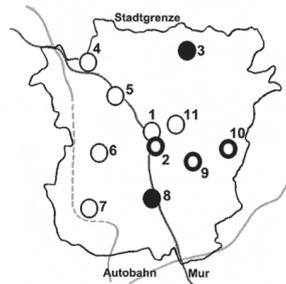
**Abb. 3c**



**Abb. 3d**



**Abb. 3e**



**Abb. 3f**

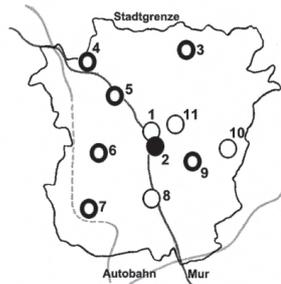


Abb. 3: Darstellung der Ergebnisse der einzelnen Indikatorpflanzen im direkten Vergleich mit dem Gesamtmittelwert aller Stationen; großer leerer Kreis: Stationsmittelwert unter dem Gesamtmittelwert; kleiner leerer Kreis: Stationsmittelwert im Bereich des Gesamtmittelwertes; schwarzer Kreis: Stationsmittelwert über dem Gesamtmittelwert; a: Tabak BelW3; b: Buschbohne Pinto; c: Buschbohne Lit RS; d: Luzerne; e: Bodenfrüchtiger Klee; f: Raygraskultur  
Results of monitoring plants in direct comparison with total mean of all sites; large white circle: side mean below total mean; small white circle: side mean in the range of the total mean; black circle: side mean above total mean; a: tobacco BelW3; b: bush bean Pinto; c: bush bean Lit RS; d: alfalfa; e: subterranean clover; f: Italian rye grass



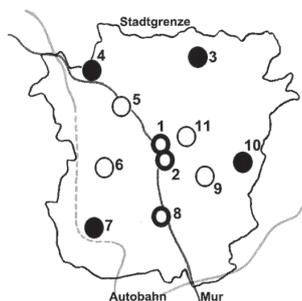


Abb. 4: Gesamtbewertung unter Einbeziehung der Ergebnisse aller Indikatorpflanzen, Bewertung vgl. Text; großer leerer Kreis: geringe Belastung; kleiner leerer Kreis: mittlere Belastung; schwarzer Kreis: starke Belastung  
 Evaluation of the influence of air pollutants using all bio-indicator results; detailed description compare text; large white circle: small influence; small white circle: medium influence; black circle: clear influence

Klasse 1: Bei 0–3 Substanzen Überschreitung des Gesamtmittelwertes (geringe Belastung; großer leerer Kreis)

Klasse 2: Bei 4–7 Substanzen Überschreitung des Gesamtmittelwertes (mittlere Belastung; kleiner leerer Kreis)

Klasse 3: Bei 8–11 Substanzen Überschreitung des Gesamtmittelwertes (deutliche Belastung; schwarzer Kreis)

Die Innenstadtstation (02) weist hierbei die meisten Überschreitungen auf (insgesamt 10, davon 5 sehr deutliche Überschreitungen). Die Stationen 01, 08, 10 und 11 weisen die geringste Anzahl an Überschreitungen auf, während die noch verbleibenden Stationen (03, 04, 05, 06, 07 und 09) mit 4–7 Überschreitungen bereits als mäßig belastet gelten können.

### 3.2 Rückschlüsse auf die Luftgüte im Stadtgebiet

Es wurde nun versucht, die Einzelergebnisse der einzelnen Bioindikatorpflanzen zu einer Gesamtbewertung für die Luftgüte der einzelnen Stationen zusammenzuführen. Die Stationen, bei denen keiner der eingesetzten Bioindikatoren eine Überschreitung des Gesamtmittelwertes aufweist, werden in der Klasse 1 (gering belastet; großer leerer Kreis) zusammengefasst. Es sind dies die Stationen 05, 06, 09 und 11.

Die Stationen 01 (Tabak BelW3: Ozon), 02 (Graskultur: Schwermetalle) und 08 (Klee: Stickoxide, SO<sub>2</sub>) weisen bei einer eingesetzten Bioindikatorart eine Überschreitung des Gesamtmittelwertes auf und werden der Klasse 2 (mittlere Belastung; kleiner weißer Kreis) zugeordnet.

Die 4 Stationen im Stadtrandbereich weisen bei zwei bis drei Bioindikatoren Überschreitungen des Gesamtmittelwertes auf und werden der Klasse 3 (starke Belastung; schwarzer Kreis) zugeordnet. Dies sind die Stadtrandlagen 03 (Tabak BelW3, Bohne LitRS, Klee: Ozon, Stickoxide), 10 (Tabak Bel W3, Bohne LitRS: Ozon), 04 (Bohne Pinto, Bohne Lit RS: v.a. Stickoxide) und 07 (Bohne Pinto, Luzerne: Stickoxide und ev. SO<sub>2</sub>).

## 4. Diskussion

Die Luftgüteüberwachung ist wahrscheinlich der Bereich, der sich die Bioindikation am intensivsten nutzbar gemacht hat. Physikalisch-chemische Messgeräte analysieren



einzelne Komponenten, während die Bioindikatoren die biologische Wirkung eines Schadstoffes bzw. eines Schadstoffgemisches anzeigen (ARNDT & al. 1987, SCHUBERT 1991).

Für die hier vorliegende Studie wurden mehrere Reaktionsindikatoren für die Indikation von Ozon, Stickoxiden und SO<sub>2</sub> (Sorten des Virginischen Tabaks, Buschbohnen-sorten, Luzerne, Bodenfrüchtiger Klee) und ein Akkumulationsindikator für den Nachweis von Schwermetallen, Schwefel und Fluor (Italienisches Raygras) eingesetzt. Der Einsatz verschiedener Bioindikatorarten erlaubt im Idealfall eine differenzierte Aussage über die Wirkung mehrerer gleichzeitig vorhandener Schadstoffe.

Die Bioindikationsstudie in Graz wurde 1996 im Rahmen einer europaweiten Studie durchgeführt, an der neben Graz noch acht andere europäische Städte beteiligt waren (DUGAUQUIER & al. 1997). Die höchsten ozon-bedingten Schäden waren in den italienischen Städten Modena, Florenz und Bologna, die geringsten Schäden waren in Charleroi (Belgien) und Lille (Frankreich) zu beobachten. Graz lag gemeinsam mit Nürnberg (Deutschland) und Tampere (Finnland) im Mittelfeld. Bei der Belastung durch primäre Luftschadstoffe (Italienisches Raygras: Schwermetalle, Fluor und Schwefel) war Graz gemeinsam mit Florenz, Nürnberg und Tampere generell als gering belastet einzustufen. Die stärker industrialisierten Städte (Charleroi, Lille, Bologna und Modena) wiesen deutlich höhere Belastungen auf (DUGAUQUIER & al. 1997).

Für die EU-Studie (DUGAUQUIER & al. 1997) wurde Tabak (BelW3, BelB) und Luzerne in Kisten direkt am Boden für vier Wochen exponiert, während bei der hier vorgestellten Studie die Indikatorpflanzen in einem schattierten Gestell für jeweils zwei Wochen exponiert wurden (vgl. Abb. 1e; GROSS 2001). Die Ergebnisse beider Ansätze waren generell gut vergleichbar. Die 14-tägige Exposition im Indikatorfächer hat sich in der Durchführung allerdings besser bewährt als der Ansatz der EU-Studie (GROSS 2001). Hier werden nur die Ergebnisse des Indikatorfächers präsentiert.

Ein direkter Vergleich der Ergebnisse der vorliegenden Studie mit früheren Studien in Graz (REGAR 1989, BERMADINGER & al. 1991) bzw. mit Untersuchungen aus anderen Gebieten (z.B. ARNDT & al. 1987, KLUMPP & KLUMPP 1993, REITHOFER & STEINER 2000) ist nicht möglich, da die Bonituren nicht einheitlich erfolgten. Unterschiede zwischen den einzelnen Ansätzen gibt es v.a. in der unterschiedlichen Anzahl an Bezugsblättern und der unterschiedlichen Zuordnung zu den Schadklassen. Damit ist eine direkte Vergleichbarkeit nicht mehr möglich. Um diesem Problem entgegenzuwirken wurde kürzlich eine Richtlinie des Verein Deutscher Ingenieure publiziert (VDI 2000), in der die Anzucht, Exposition sowie die Art und Anzahl der Bezugsblätter genau festgelegt ist.

Die Tabaksorte BelW3 wird im aktiven Monitoring bereits sehr lang zur Bioindikation von Ozon eingesetzt (ARNDT & al. 1987, HEGGESTAD 1991, VDI 1999, VDI 2000) und kann als sicherer und bewährter Indikator für Ozon gelten, solange die Ansprüche dieser Sorte an Licht und Temperatur berücksichtigt werden.

Die optische Ansprache der Anteile der geschädigten Blattfläche ist als sehr zuverlässig einzustufen (vgl. auch ARNDT & al. 1987). Dies wurde in der vorliegenden Studie mit einem direkten Vergleich durch eine computergestützte Bildanalyse bestätigt.

Auch der Zusammenhang der Blattschäden bei Tabak BelW3 mit steigenden Ozonkonzentrationen war zu beobachten. Dieser Zusammenhang wurde bereits mehrfach festgestellt (z.B. ARNDT & al. 1987) und konnte auch in fast allen Städten der parallelen EU-Studie bestätigt werden (DUGAUQUIER & al. 1997). Im Frühjahr (bis Ende Mai) war diese Korrelation allerdings noch nicht zu beobachten. Die Ansprüche an Wärme und Licht sind offensichtlich der begrenzende Faktor für die Einsetzbarkeit von Tabak und beschränken diese in unseren Breiten sinnvoller Weise auf die Zeit von Anfang Juni bis spätestens Ende September.



Bei den Untersuchungen in Graz 1996 war bei BelW3 eine deutliche Abhängigkeit der Blattschädigung von der Seehöhe und einer gewissen Entfernung von Primärquellen zu beobachten, wie sie auch aus anderen Studien bekannt ist (ARNDT & al. 1987, KRUPA & al. 1992, KLUMPP & KLUMPP 1993, GODZIK 1997) und auch im Rahmen einer früheren Studie in Graz bereits festgestellt werden konnte (BERMADINGER & al. 1991). Die stärksten Blattschädigungen waren an den erhöhten Stadtrandlagen (Platte, Lustbühel) und am Schloßberg zu beobachten, während die ozonbedingten Blattschäden in unmittelbaren Stadtbereich geringer waren. Dies deckt sich sehr gut mit den Ozonmessungen im Stadtgebiet. Die Messstation Graz-Platte (Station 3) wies in den letzten Jahren stets die höchsten Ozonwerte aller Stationen auf (LUIS 2000).

Die Buschbohnen reagieren als Mischindikatoren sowohl auf primäre (v.a. Stickoxide) als auch auf sekundäre Luftverunreinigungen wie Ozon (ARNDT & al. 1987). Diese Mehrfachreaktionen erschweren die Interpretation, wenn nicht gleichzeitig auch Tabak für die reine Ozonindikation eingesetzt wird. Die beiden eingesetzten Buschbohnsorten reagieren auch offensichtlich etwas unterschiedlich. Im direkten Vergleich mit den Tabakergebnissen scheint die Sorte Lit RS etwas stärker auf Ozon zu reagieren, während bei der Sorte Pinto die Reaktion auf Stickoxide dominiert. Im Gesamten betrachtet stimmen aber die Ergebnisse beider Buschbohnen-Sorten gut überein und können durch die Ergebnisse der Schadstoffmessungen durchaus bestätigt werden. Die Belastungen mit Stickoxiden sind im Süden und Südwesten der Stadt deutlich höher als im Norden, Osten oder im Stadtzentrum (LUIS 1999).

Luzerne und Klee wurden als  $\text{SO}_2$ -Indikatoren eingesetzt, wobei sich im Verlauf der Studie herausgestellt hat, dass v.a. Klee nicht als  $\text{SO}_2$ -Indikator sondern als Mischindikator (Ozon, Stickoxide,  $\text{SO}_2$ ) reagiert. Mit wenigen Ausnahmen war die Blattschädigung bei diesen Indikatorpflanzen durchschnittlich bis unterdurchschnittlich, was keine deutliche  $\text{SO}_2$ -Belastung während der Expositionsperiode annehmen lässt. Die  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen sind ja während der Sommermonate generell als gering zu bezeichnen (LUIS 1999, 2000).

Das Italienische Raygras wurde eingesetzt, um akkumulierbare Schadstoffe (Schwermetalle, Schwefel, Fluor), die als Marker für primäre Schadstoffe gelten, zu erfassen. Im Vergleich zu den stark industrialisierten Städten Charleroi, Lille, Bologna und Modena war die Belastung in Graz sehr gering (DUGAUQUIER & al. 1997). Hier stehen genauere Bewertungen allerdings noch aus.

Fast man die Ergebnisse aller Indikatorpflanzen zusammen, so erhält man ein differenziertes Bild der Wirkung von Luftschadstoffen auf die Indikatorpflanzen im Stadtgebiet von Graz. Vor allem die Stadtrandlagen weisen eine stärkere Belastung auf, wobei bei den erhöhten Stadtrandlagen Platte (03) und Lustbühel (10) die Ozonbelastung dominiert, während bei den auf Stadtniveau gelegenen Stationen im Norden (04) und Südwesten (07) Stickoxide in der Gesamtbelastung dominieren. Auch die Stationen im Stadtzentrum und südlich davon weisen auf eine bereits stärkere Belastung hin, wobei am Schloßberg (01) Ozon dominiert, während bei der Innenstadtstation (02) und jener südlich des Zentrums (08) primäre Schadstoffe überwiegen.

Die vorliegende Arbeit hat gezeigt, dass der fachkundige Einsatz von Bioindikatoren eine Fülle von Erfahrungen und wertvollen Erkenntnissen bringt, die zur Überwachung von Schadstoffen in der Umwelt und zum Nachweis von Immissionswirkungen ergänzend herangezogen werden können.

## 5. Dank

Ohne die Mitarbeit und Unterstützung der folgenden Stellen und Personen wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen:

180





Magistratsabteilung 23 (Amt für Umweltschutz), Bereitstellung der Expositionseinrichtungen; Hr. KRACHLER (Mag. Abt. 23), Hr. SCHLÖGL (FZS) und Hr. TRUMMER (Inst. f. Pflanzenphysiologie): Hilfe beim Aufbau der Stationen; Stadtgartenamt der Stadt Graz (Mag. Abt. 10/5), zur Verfügungstellung der für die Pflanzenanzucht benötigte Fläche im Gewächshaus der Magistratsgärtnerei und Hilfestellung bei der Anzucht; Stadt Graz, Fa. Miele und Hr. Alois TÜCHLER, Genehmigung für die Aufstellung der Expositionsgestelle; Dr. SEMMELROCK und Fr. ZELISKO (Referat für Luftgüteüberwachung in Graz), Bereitstellung der Immissionsdaten und der meteorologischen Daten; Prof. Dr. GUTTENBERGER (Inst. f. Pflanzenphysiologie) für die Hilfestellung bei der Bildauswertung; Fr. HERTL (Inst. f. Pflanzenphysiologie) für die Formatierung des Manuskriptes. Ihnen allen gebührt ein herzlicher Dank.

## 6. Literatur

- ARNDT U., NOBEL W., SCHWEIZER B. 1987: Bioindikatoren: Möglichkeiten, Grenzen und neue Erkenntnisse. – Ulmer Verlag Stuttgart.
- BERMADINGER E., GRILL D., REGAR A. 1991: Luftgüte in Graz – Bioindikation mit aktivem Monitoring. – Mitteilung des Naturwissenschaftlichen Verein Steiermark 121: 29–41.
- DUGAUQUIER F., IMPENS R., PAUL R., DELCARTE E. 1997: Bio-indication of Air Quality in Urban Areas – European Pilot Project. Final Report, Synthesis, October 1997; Coordination: S.A. Agrer.
- EHRENDORFER F., MAURER W., KARL F., KARL E. 1971: Rindenflechten und Luftverunreinigung im Stadtgebiet von Graz. – Mitt. naturwiss. Verein Steiermark 100: 151–189.
- ELLENBERG H. 1974: Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas. Scripta Geobotanica 9: 1–97.
- ELLENBERG H. 1979: Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas. 2. Verbesserte und erweiterte Auflage. Scripta Geobotanica 9: 1–122.
- GODZIK B. 1997: Ground level ozone concentrations in the Krakow region, Southern Poland. – Environmental Pollution 98: 273–280.
- GRILL D., HAFELLNER J., KASCHNITZ A., PONGRAZ W. 1988: Neuerliche Erhebung der epiphytischen Flechtenvegetation in Graz. – Mitt. naturwiss. Verein Steiermark 118: 145–155.
- GROSS A. 2001: Bioindikation in Graz 1996. Diplomarbeit, KFU Graz.
- HEGGESTAD H.E. 1991: Origin of Bel-W3, Bel-C and Bel-B Tobacco Varieties and Their Use as Indicators of Ozone. – Environmental Pollution 74: 264–291.
- KLUMPP A., KLUMPP G. 1993: Plants as bioindicators of air pollution at the Serra Do Mar near the industrial complex of Cubatao, Brazil. – Environmental Pollution 85: 109–116.
- KRUPA S.V., MANNING W.J., NOSAL M. 1992: Use of tobacco cultivars as biological indicators of ambient ozone pollution: An analysis of exposure-response relationships. – Environmental Pollution 81: 137–146.
- LUIS 1999: Landesumweltinformationssystem Steiermark. Jahresbericht der Luftgütesituation 2000. Quelle: <http://www.stmk.gv.at/umwelt/luis/index.htm>
- LUIS 2000: Landesumweltinformationssystem Steiermark. Jahresbericht der Luftgütesituation 2000. Quelle: <http://www.stmk.gv.at/umwelt/luis/index.htm>
- MAIER W., SOMMER B., FINKBEINER M., REIML D. 1997: Immissions-Wirkungserhebung mit dem Grünkohlverfahren in Graz und Leoben. Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung Ia. Bericht Nr. 6/98.
- REGAR A. 1989: Bioindikation in Graz 1988. – Diplomarbeit an der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Karl-Franzens-Universität Graz.
- REITHOFER C., STEINER U. 2000: Ozon-Biomonitoring mit dem Indikatorfächer in Salzburg. – Bericht 2000. Amt der Salzburger Landesregierung, Abteilung 16 – Umweltschutz.
- SCHUBERT R. 1991: Bioindikation in terrestrischen Ökosystemen. – Gustav Fischer Verlag, Jena.
- VDI 1999: Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen (Bioindikation) – Grundlagen und Zielsetzung. VDI 3957, Blatt 1. Verein Deutscher Ingenieure. VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 1a.
- VDI 2000: Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen (Bioindikation) – Ermittlung und Beurteilung der phytotoxischen Wirkung von Ozon und anderen Photooxidantien – Verfahren der standardisierten Tabak-Exposition. VDI 3957, Blatt 6, Entwurf. Verein Deutscher Ingenieure. VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 1a.



# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mitteilungen des naturwissenschaftlichen Vereins für Steiermark](#)

Jahr/Year: 2002

Band/Volume: [132](#)

Autor(en)/Author(s): Stabentheiner Edith, Gross Andrea, Soja Gerhard, Grill Dieter

Artikel/Article: [Bewertung der Luftgüte in Graz mit Hilfe von Pflanzen als Bioindikatoren. 169-181](#)