



Biomonitoring von Ozonwirkungen in Bayern mit Tabak BEL W3 - Vergleich mit Ozonkonzentrationen

Dr. Ludwig Peichl, Dr. Jutta Köhler*

1 Problemstellung

Die in den bodennahen Luftschichten gebildeten Photooxidantien können bei längeranhaltenden Schönwetterperioden zu Sommersmog-Situationen führen. Da Ozon den Hauptanteil der Oxidantien ausmacht und als Leitparameter in der Luftüberwachung gemessen wird, wird im Weiteren vereinfachend nur noch von Ozon gesprochen, immer im Bewusstsein, dass auch die anderen Komponenten ihren Wirkungsanteil beitragen. Ozon kann prinzipiell sowohl beim Menschen als auch bei Tieren und Pflanzen schädliche Wirkung haben. Aus vielen Untersuchungen ist bekannt, dass die verschiedenen Pflanzenarten sehr unterschiedlich auf Ozon reagieren. So wird in der VDI-Richtlinie 2310/6 (VDI 1989) eine Vielzahl von Gehölz-, Kulturpflanzen und Wildkräutern drei Empfindlichkeitsgruppen zugeordnet:

- weniger empfindlich (z. B. Rübe, Kopfsalat, Gem. Löwenzahn, Spitzahorn)
- empfindlich (z. B. Kohl, Mais, Weißklee, Gem. Kiefer)
- sehr empfindlich (z. B. Gerste, Weizen, Kartoffel, Europ. Lärche).

Die mögliche Pflanzenschädigung ist sowohl aus Sicht des Naturschutzes als auch aus wirtschaftlichem Interesse von Bedeutung. Es ist nicht auszuschließen, dass Wildpflanzen durch Ozonwirkung beeinträchtigt werden und mit Einbußen in der landwirtschaftlichen Produktion gerechnet werden muss. Eine Klärung der quantitativen Zusammenhänge zwischen Ozonkonzentrationen der Luft und Pflanzenschäden ist jedoch äußerst schwierig. Für die Beurteilung der Wirkungssituation ist die alleinige Kenntnis darüber, um wieviel Prozent sich die Ozonkonzentration der Luft verändert, nicht ausreichend. Ent-

scheidend ist, ob unter gegebenen Ozonbelastungen, Witterungsbedingungen und kleinklimatischen Standortverhältnissen Schadwirkungen auf Pflanzen zu erwarten sind. Einflüsse durch Klimaveränderungen müssen bei der Untersuchung dieser Frage einbezogen sein. So können z.B. steigende Temperaturen und sinkende Luftfeuchtigkeit die Ozonempfindlichkeit von Pflanzen herabsetzen, da diese ihre Spaltöffnungen zur Reduzierung des Wasserverlustes länger schließen und damit Ozon nicht in die Blätter eindringen kann.

2 Methode

Die Wirkungsfrage kann letztlich nur mit der Untersuchung lebender Pflanzen im Freiland beantwortet werden. Als geeignete Untersuchungsmethode hat sich die Exposition der sehr ozonempfindlichen Tabaksorte *Nicotiana tabacum* Bel W3 (i.W. „Tabak Bel W3“) bewährt. Diese seit vielen Jahren national und international angewandte Methode wird seit 1993 auch vom LfU eingesetzt und weiterentwickelt. Sie wurde im Jahr 2000 erstmals im Entwurf einer VDI-Richtlinie (VDI 2000) beschrieben. Sechs Tabakpflanzen definierten Alters und Entwicklungszustandes werden in Töpfen bei selbsttätiger Bewässerung über Glasfaserdochte im Freiland exponiert. Die Aufstelldauer beträgt zwei Wochen, dann werden sie gegen neue Pflanzen ausgetauscht. Dies erfolgt 10mal hintereinander von Mitte Mai bis Anfang Oktober. Eine festgelegte Anzahl ausgewählter Blätter wird auf Nekrosen (Gewebezerstörung) untersucht. Aus der visuell abgeschätzten relativen Blattschädigungsfläche werden mittlere Pflanzenschädigungen und aus diesen die mittlere Stationsschädigung pro Expositionsperiode berechnet.

* Herr Dr. Ludwig Peichl ist Leiter des Arbeitsbereiches „Umweltqualität“ in der Stabsstelle
(Telefon 0821/9071-5290, E-mail: ludwig.peichl@lfu.bayern.de)

Frau Dr. Jutta Köhler ist Mitarbeiterin in diesem Arbeitsbereich in der Außenstelle Kulmbach
(Telefon 09221/604-5970, E-mail: jutta.koehler@lfu.bayern.de)

Die Ozonwirkung wird an acht Dauerbeobachtungsstationen (DBS) in Bayern ermittelt. Sechs Stationen sind in ländlichen Gebieten, zwei in Stadtbereichen Münchens und Augsburgs:

Ländliche Stationen Nordbayern

- **DBS Weibersbrunn** (seit 1995)
Diese DBS befindet sich bei Weibersbrunn im Spessart auf einer Mischwaldlichtung, abseits von Industrie, Siedlungen und Verkehr (360 m üNN; Gauß-Krüger-Koordinaten: RW 353225/HW 552985).
- **DBS Weißenstadt** (seit 1995)
Die DBS Weißenstadt im Fichtelgebirge, im Untersuchungsgebiet Lehstenbach auf einem Fichtenwindbruch, unterliegt als Höhenstandort zwar keinen unmittelbaren Belastungen durch Industrie, Siedlungen und Verkehr, allerdings dem gebietstypischen Einfluss des Schadstoff-Ferntransports aus der benachbarten Tschechischen Republik (770 m üNN; RW 449030/HW 555620).

Ländliche Stationen mittleres Bayern

- **DBS Eining** (seit 1993)
Die DBS Eining bei Kelheim im Landschaftsraum Donau/Altmühltal ist ein Trockenrasenstandort auf einer Freifläche in landwirtschaftlich genutztem Areal. Sie befindet sich in Siedlungsnähe und unter möglichem Einfluss von Schadstoff-Ferntransport aus den Industriegebieten Kelheim und Ingolstadt (rund 10 km bzw. 30 km entfernt; Höhe 360 m üNN; Rechtswert RW 448410 /Hochwert HW 541350).
- **DBS Scheyern** (seit 1993)
Die DBS Scheyern, nahe Pfaffenhofen an der Ilm, befindet sich auf dem landwirtschaftlichen Versuchsgut des Forschungsverbundes Agrarökosysteme München (FAM) auf einer Freifläche in Hanglage (Höhe 460 m üNN; RW 445880/HW 537305).

Ländliche Stationen Südbayern

- **DBS Grassau** (seit 1993)
Die DBS Grassau am Chiemsee liegt am Rand des Naturschutzgebietes Kendlmühlfilze, auf einer Feuchtwiesen-Freifläche (530 m üNN; RW 453355/HW 529480).
- **DBS Bidingen** (seit 1998)
Die DBS Bidingen im Allgäu liegt im Bereich ausgedehnter z.T. feuchter Wiesenflächen, 2 bis 4 km von Ortschaft und Bundesstraße entfernt. Die Grünlandflächen werden intensiv (Gülleinsatz), bzw. als Weide genutzt. Im Osten grenzen nach ca. 1 km großflächige Wälder an die Station (760 m üNN; RW 440484/HW 529725).

Stadt-Stationen

- **DBS München** (seit 1994)
Die DBS München repräsentiert die Hintergrundbelastung des Ballungsraumes München. Sie wurde ca.

20 m entfernt vom Mittleren Ring auf einer Wiese im Englischen Garten (520 m üNN; RW 447145/HW 533600) errichtet und ist durch Büsche und Bäume vom Kraftfahrzeugverkehr abgeschirmt.

- **DBS Augsburg** (seit Juni 1998)
Die DBS Augsburg wurde auf einer extensiv genutzten Grünlandfläche am Rand des Siebentischwaldes eingerichtet, ca. 3 km südsüdöstlich des Stadtzentrums. Sie soll neben der Münchner Station die immissionsökologische Belastung des städtischen Hintergrundes beschreiben (485 m üNN; RW 441946/HW 535604).

3 Ergebnisse und Diskussion

Einzelergebnisse sind dem Immissionsökologischen Jahresbericht 1998/99 (LfU 2001) des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz zu entnehmen.

An dieser Stelle soll nur auf eine Zusammenfassung der Ergebnisse anhand der Zeitreihenanalyse eingegangen werden. Aus den Tabak-Schädigungen der 3. - 8. Expositionsserie jeder Station (Mitte Juni bis Ende August) werden Sommermittelwerte gebildet. Diese sind für alle Dauerbeobachtungsstationen als Zeitreihen von 1995 bis 2000 in den **Abbildungen 1 - 4** dargestellt.

Außerdem enthalten diese Abbildungen die Ozonverläufe als mittlere 8-Stunden-Mittelwerte (von 10 – 18 Uhr MEZ) im Zeitraum 10.06. bis 31.08. jeden Jahres. Die Ozondaten stammen von Messstationen des Lufthygienischen Landesüberwachungssystems Bayern (LÜB, LfU 2000) und sind damit nicht unmittelbar am Ort der Tabak-Exposition gemessen. Nahezu alle LÜB-Stationen liegen in Ortschaften. Um der ländlichen Ozonbelastung nahe zu kommen, wurden LÜB-Stationen ausgewählt, die in Grünbereichen von Ortschaften abseits stark befahrener Straßen liegen. Die Werte für Nordbayern (**Abb. 1**) wurden als Mittelwerte von zwei LÜB-Stationen (West- und Ost-Nordbayern) errechnet, deren Messwerte sich um max. 10 % voneinander unterscheiden. Die Werte für das mittlere Bayern (**Abb. 2**) stammen von der LÜB-Station Eining, eine der wenigen Stationen im ländlichen Bereich außerhalb von Ansiedlungen. Sie ist nur ca. 500 m vom Tabak-Expositionsort DBS Eining entfernt. Zur Charakterisierung der südbayerischen Ozonbelastung (**Abb. 3**) schien nur die LÜB-Station Trostberg, nordöstlich des Chiemsees geeignet. Zur Beschreibung des städtischen Ozonverlaufs (**Abb. 4**) wurden die Messwerte einer Wohngebiets-Station und einer Stadtmitte-Station Münchens gemittelt, in der Annahme, dass damit die Ozonverhältnisse im städtischen, relativ stark verkehrsbelasteten Wohnbereich abgebildet werden. In einer derart zu charakterisierenden Lage befindet sich die DBS München mit den Tabak-Exponaten.

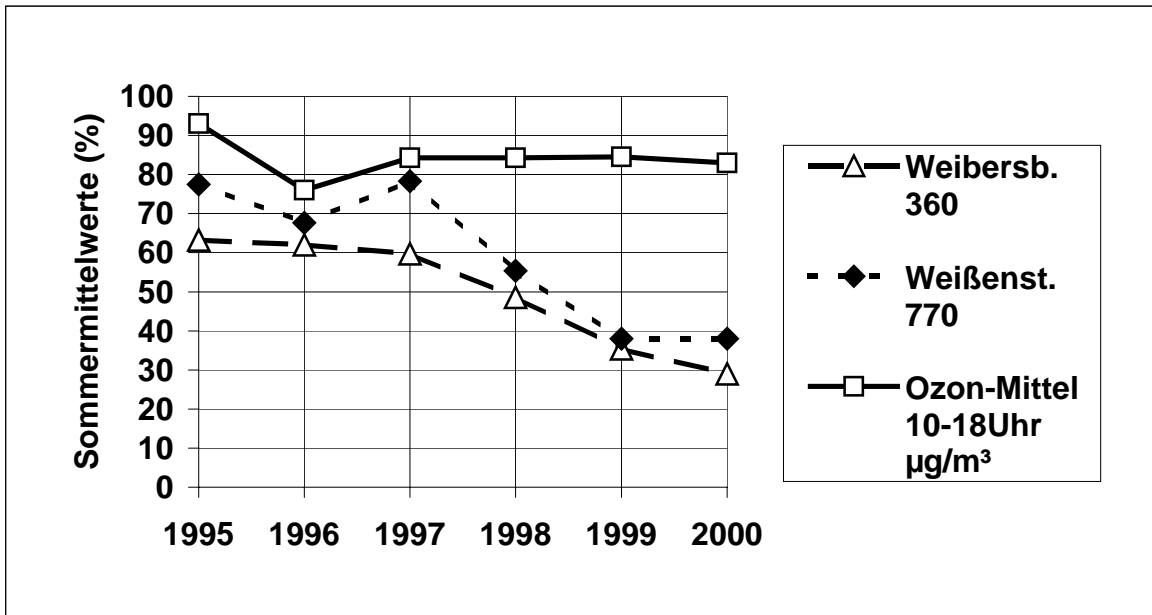


Abb. 1: Sommermittelwerte der Tabakschädigung in Nordbayern mit Verlauf der mittleren 8h-Ozonmittelwerte im Expositionszeitraum (Angaben der Stationshöhen üNN hinter Stationsnamen)

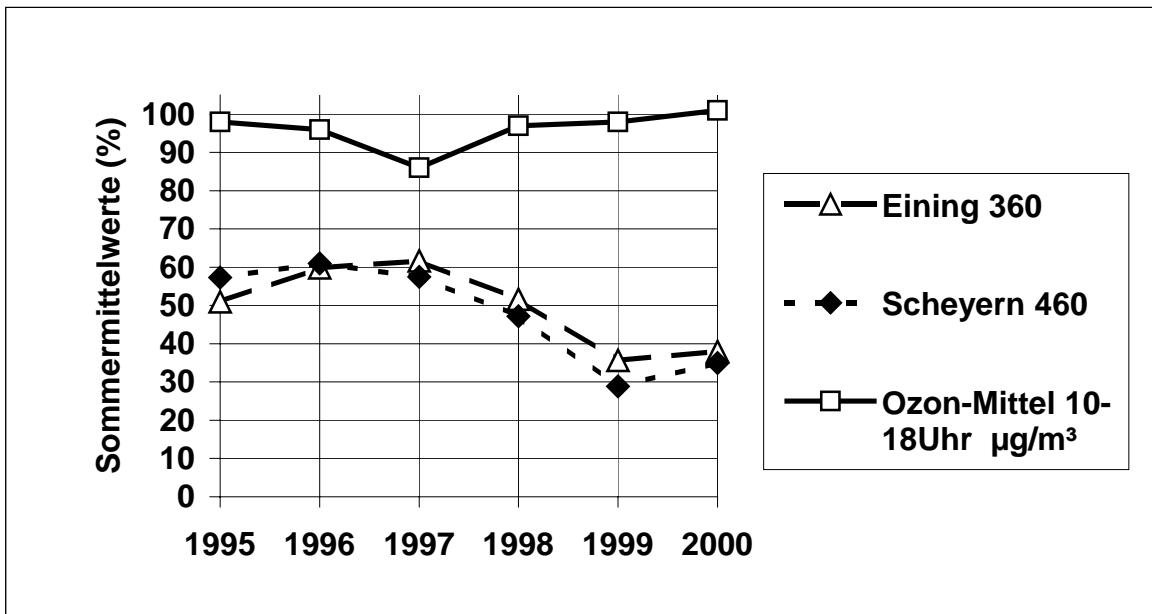


Abb. 2: Sommermittelwerte der Tabakschädigung im mittleren Bayern mit Verlauf der mittleren 8h-Ozonmittelwerte im Expositionszeitraum (Angaben der Stationshöhen üNN hinter Stationsnamen)

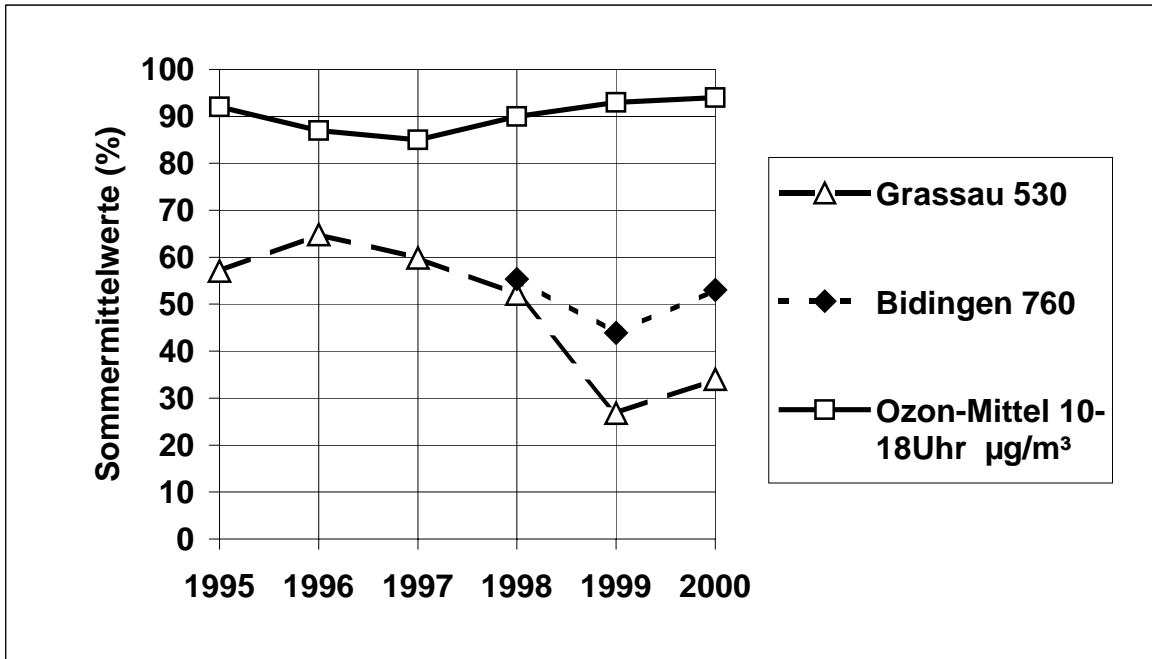


Abb. 3: Sommermittelwerte der Tabakschädigung in Südbayern mit Verlauf der mittleren 8h-Ozonmittelwerte im Expositionszeitraum (Angaben der Stationshöhen üNN hinter Stationsnamen)

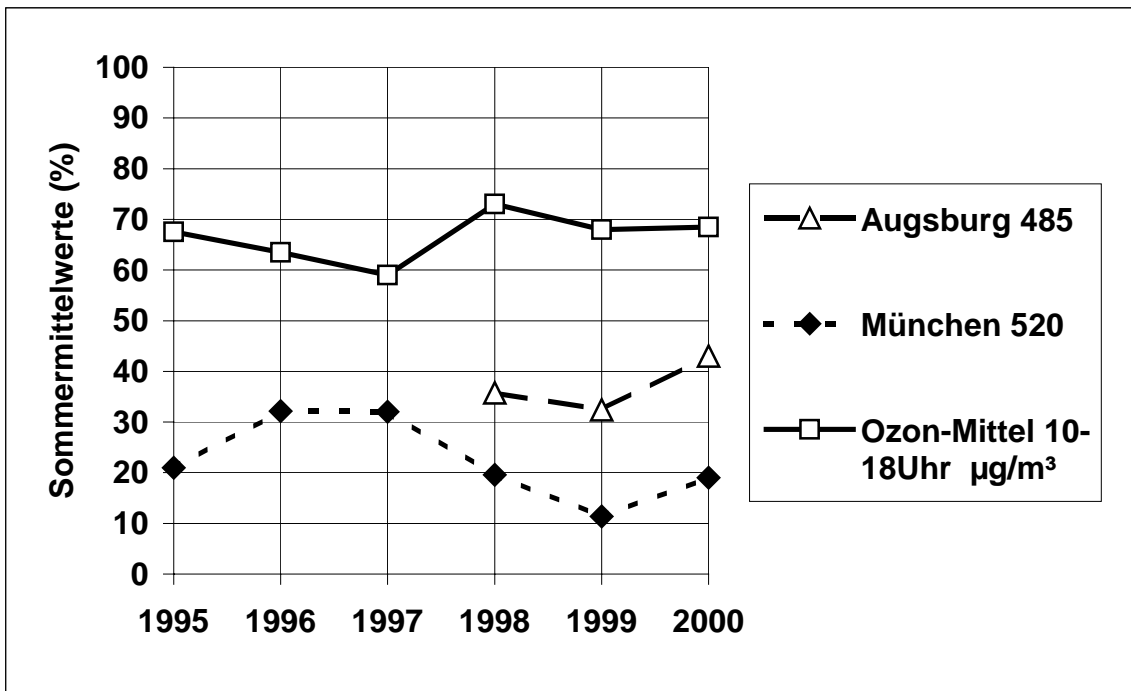


Abb. 4: Sommermittelwerte der Tabakschädigung an Stadt-Standorten mit Verlauf der mittleren 8h-Ozonmittelwerte im Expositionszeitraum (Angaben der Stationshöhen üNN hinter Stationsnamen)

Alle Schädigungsverläufe zeigen eine abnehmende Tendenz ab 1997, die sich 1999/2000 in Nordbayern abschwächt (**Abb. 1**), im mittleren Bayern stagniert (**Abb. 2**) und in Südbayern (**Abb. 3**) und an den beiden Stadt-Standorten (**Abb. 4**) umkehrt. Die Schädigungsverläufe sind in sich schlüssig:

- Die höher gelegenen Standorte Weißenstadt bzw. Bidingen zeigen jeweils etwas höhere Schädigungen als die tiefer gelegenen DBS Weibersbrunn bzw. Grassau.
- An den nur ca. 50 km voneinander entfernten, auf ähnlicher Meereshöhe in Ackerbaugebieten liegenden DBS Eining und Scheuern verlaufen die Tabak-Schädigungen nahezu deckungsgleich.
- An der DBS München mit höherer Verkehrs- und damit niedrigerer Ozonbelastung betragen die Tabak-Schäden nur ca. 50 % der Schäden im ländlichen Bereich.
- Die Schäden an der Stadt-DBS Augsburg liegen auf dem Niveau der ländlichen Schäden, da sich die DBS im Süden und damit auf der der Frischluftzufuhr zugewandten Seite der Stadt befindet.

Überraschend ist, dass kein Zusammenhang zwischen der Abnahme der Tabak-Schäden von 1997 bis 1999 und dem Verlauf der Ozonbelastung zur photosynthetisch relevanten Tageszeit von 10 – 18 Uhr erkennbar ist. Die Vergleiche der Ozonwerte mit den Schädigungen in den **Abbildungen 1 – 4** sind natürlich nur von eingeschränktem Wert, da die hier dargestellten Ozonkonzentrationen regionale Verhältnisse widerspiegeln und nicht unmittelbar am exponierten Tabak gemessen wurden. Es gibt jedoch keinen Grund für die Annahme, dass der zeitliche Trend der Ozonbelastung an den Tabak-Exponaten anders verlaufen könnte, als regional gemessen. In **Abbildung 5** sind die mittleren Tages - AOT 40 – Werte¹, bestimmt zwischen 10 und 18 Uhr, für den Zeitraum 10.06. bis 31.08. des jeweiligen Jahres, der LÜB-Station Eining aufgetragen. Der zeitliche Verlauf dieser AOT 40 – Werte ist dem Tabak-Schädigungsverlauf an der 500 m entfernten DBS Eining (**Abb. 2**) sogar gegenläufig. In **Abbildung 6** sind mittleren Tages - AOT 40 – Werte (10 – 18 Uhr) einzelner Tabak-Expositionsperioden (14 Tage) gegen die dazugehörigen Tabak-Schädigungen aufgetragen. Es ist keine Korrelation erkennbar. Erst wenn man diese Abbildung mit analog ermittelten Daten der Stadt-DBS München ergänzt (**Abb. 7**) wird im Bereich kleiner ca. 50 ppb mittlerer Tages - AOT 40 eine Korrelation wahrscheinlich.

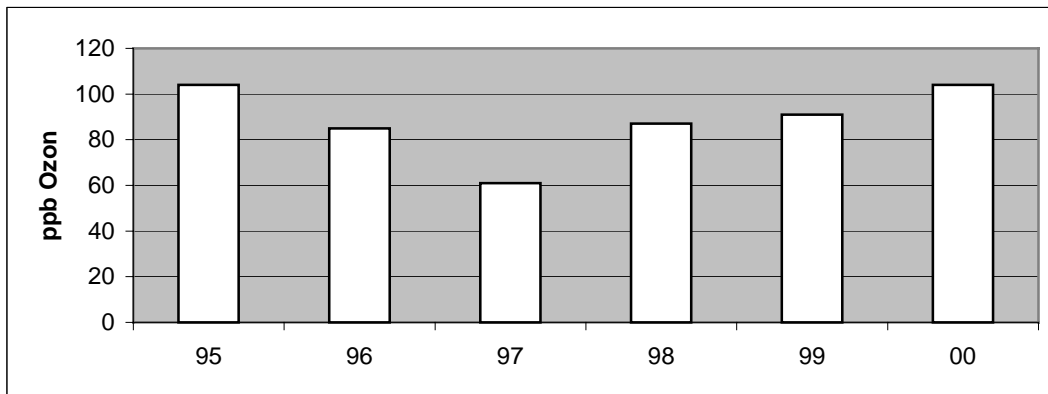


Abb. 5: Mittlere Tages-AOT 40 – Werte (10 – 18 Uhr MEZ) von 10.06. bis 31.08. jeden Jahres an der LÜB-Station Eining

¹ Summe der Differenzen zwischen den stündlichen Ozonkonzentrationen und 40 ppb, in den Stunden, in denen die Ozonkonzentration 40 ppb übersteigt

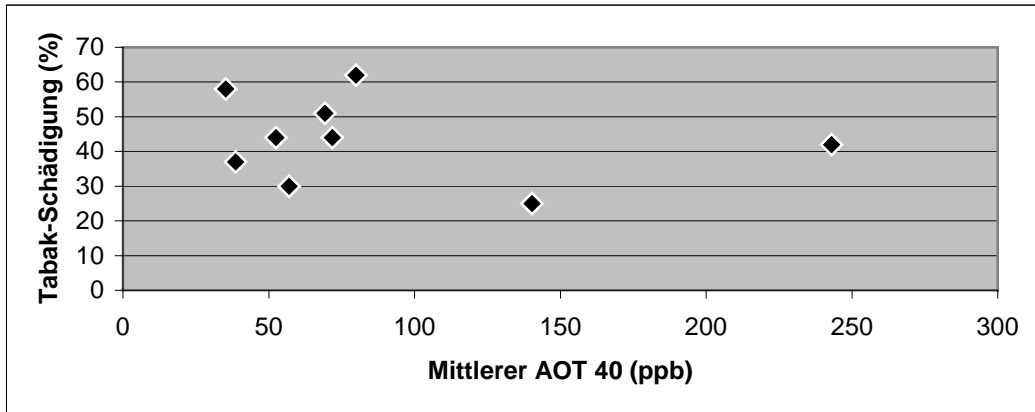


Abb. 6: Tabak-Schädigung in Abhängigkeit vom mittleren Tages-AOT 40 – Wert während der Expositionszeit von jeweils 14 Tagen an der DBS Einig

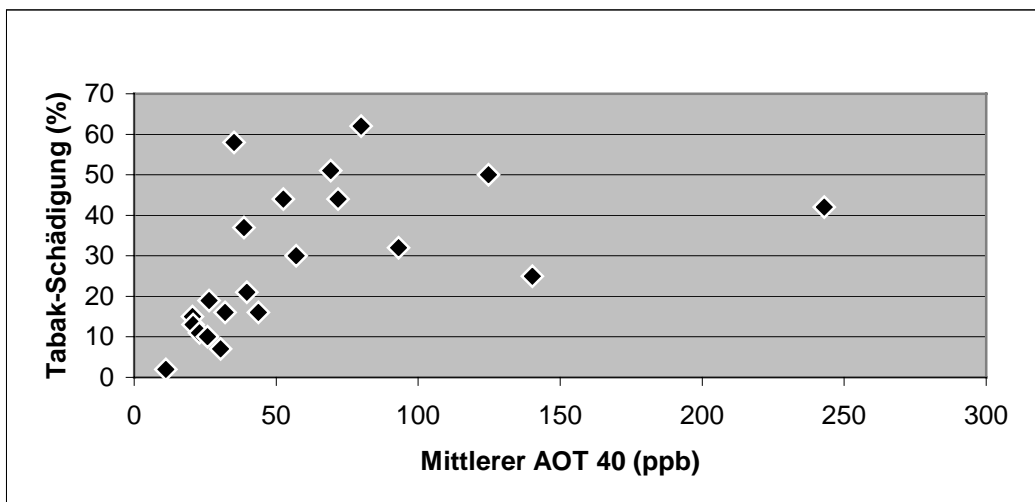


Abb. 7: Tabak-Schädigung in Abhängigkeit vom mittleren Tages-AOT 40 - Wert während der Expositionszeit von jeweils 14 Tagen an den DBS Einig und München

4 Fazit

Das Biomonitoring der Photooxidantien-Wirkung mit Tabak BEL W3 zeigt eine Abnahme der Schadwirkungen von 1997 bis 1999 um ca. 50 % (20 - 30 Prozentpunkte) an. Die Ergebnisse erscheinen in sich plausibel. Dass es sich um systembedingte zufällige Schwankungen handelt ist unwahrscheinlich, da an allen Dauerbeobachtungsstationen, die gleichen Tendenzen vorliegen. Die regional gemessenen mittleren Ozonmittelwerte zwischen 10 und 18 Uhr (MEZ) in der Tabak-Untersuchungszeit von 10.06. bis 31.08. jeden Jahres sind von 1997 bis 1999 konstant bis ansteigend, die mittleren Tages - AOT 40 – Werte in unmittelbarer Nähe der DBS Einig (mittleres Bayern) eindeutig ansteigend.

Der Vergleich von mittleren Tages – AOT 40 – Werten, bestimmt während der 14tägigen Tabak-Expositonsperioden, mit den dazugehörigen Tabak-Schädigungen deutet

darauf hin, dass die Tabak-Reaktion im Bereich der derzeit üblichen ländlichen Ozonbelastung keine Korrelation dazu aufweist. Lediglich bei niedrigeren Ozonbelastungen im städtischen Bereich ist eine Abhängigkeit anzunehmen. Die Tabak-Schädigungen werden unter den gegebenen ländlichen Ozonkonzentrationen offensichtlich von anderen Parametern entscheidend mitbestimmt. Bekannt für eine Beeinflussung der Ozonaufnahme über die Spaltöffnungen der Blätter sind die Größen Lufttemperatur und relative Luftfeuchte. Ein Vergleich der Schädigungsverläufe mit regional bestimmten mittleren Messwerten dieser Parameter des Deutschen Wetterdienstes (hier nicht dargestellt) ließ jedoch auch keine Zusammenhänge erkennen: Angesichts großer örtlicher und zeitlicher Schwankungen waren keine Trends der regionalen mittleren Tagestemperatur und –luftfeuchte von 1995 bis 2000 mit diesem Datenmaterial nachweisbar.

Bewertet man die Tabak-Schädigungen auf Basis der von ARNDT et al. (1987) veröffentlichten Schadstufen (Stufe 1: 0 – 5 %, Stufe 2: 5 – 10 %, Stufe 3: 10 – 25 %, Stufe 4: 25 – 60 %, Stufe 5: 60 – 100 %) würde dies bedeuten, dass an den ländlichen Stationen seit 1995 nahezu unverändert Schäden der Stufe 4 vorliegen und in München der Stufen 3 und 4. Aber auch dieses Vorgehen führt bezüglich der Korrelation mit den Ozonkonzentrationen nicht weiter, da die mehr oder weniger willkürlich festgelegten Stufen-Grenzen in dem einen oder anderen Untersuchungsjahr knapp über- oder unterschritten wurden und ein daraus abzuleitender Wechsel in die jeweilige höhere oder tiefere Stufe nicht sinnvoll erscheint.

Letztlich bleibt nur festzustellen, dass der Schädigungsverlauf des Bioindikators Tabak BEL W3 in ganz Bayern eine Abnahme der Ozonwirkung von 1997 bis 1999/2000 impliziert, ein kausaler Zusammenhang zu bekannten Ursachen-Parametern auf Basis des vorhandenen Datenmaterials aber nicht hergestellt werden kann. Ob Tabak BEL W3 ein geeigneter Bioindikator für Photooxidantienwirkungen auf ökosystemarer Ebene ist, kann letztlich nur geklärt werden, wenn zeitgleiche und ortsnahe Paralleluntersuchungen über Schäden im Ökosystem vorgenommen werden, die dieser Stoffgruppe zugeordnet werden können. Der kausale Zusammenhang zwischen Tabak-Schädigung und physikalisch-chemischen Parametern wie Ozonkonzentrationen, Temperatur oder Luftfeuchte müsste durch Vergleichsmessungen im Freiland innerhalb der Tabak-Expositionsvorrichtung und durch Kurzzeit-(Tages)-Tabak-Bonituren ermittelt werden.

Es muss festgestellt werden, dass eine Abnahme der Tabak-Schäden beim derzeitigen Kenntnisstand über die Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge keine Entwarnung hinsichtlich umweltpolitischer Maßnahmen zur Ozonreduktion geben kann.

Literatur

ARNDT, U., NOBEL, W., SCHWEIZER, B. 1987: Bioindikatoren – Möglichkeiten, Grenzen und neue Erkenntnisse. Ulmer Verlag, 1. Auflage, Stuttgart.

VDI 1989: VDI-Richtlinie 2310/6, Maximale Immissionskonzentrationen für Ozon.

VDI 2000: VDI-Richtlinie Entwurf 3957/6, Verfahren der standardisierten Tabak-Exposition. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf; Beuth Verlag, Berlin.

LfU 2000: Lufthygienischer Jahresbericht 1999, Schriftenreihe Heft 159, Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg.

LfU 2001: Immissionsökologischer Jahresbericht 1998/99. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg.

Danksagung

Besonderer Dank gilt den Kollegen Heiner Binniker, Dieter Piechaczek und Michael Raasch, die mit ihrer Planungsarbeit, praktischen Arbeit vor Ort und der Datenbearbeitung für die einwandfreie Abwicklung der Untersuchungen und zuverlässige Messergebnisse sorgen. Außerdem sei Herrn Ulrich Böllman von der Abteilung Luftreinhaltung dafür gedankt, dass er unseren vielfältigen Sonderwünschen zu Berechnungen und der Bereitstellung der Ozondaten in so kurzer Zeit nachgekommen ist.