©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.biologiezentrum.at

Alexandra Gumpp und Arne Friedmann

Die Luftgüte im Stadtgebiet Augsburg 2008 – Bestimmung mittels Flechtenkartierung und ein Vergleich mit dem Jahr 1985

Kurzfassung
Die Kartierung der Flechtenvegetation (Bioindikation) wurde 2008 im Augsburger Stadtgebiet mit dem Ziel der Beurteilung der lufthygienischen Situation durchgeführt. Die Flechtenkartierung erfolgte nach der neuen VDI-Richtlinie 3957, die Ergebnisse werden in einer Luftgütekarte dargestellt. Die Luftgüte im Untersuchungsgebiet reichte von „sehr gering" über „gering" bis „mäßig" Ein Vergleich mit älteren Kartierungen von 1975 und 1985 zeigt, dass im Stadtzentrum keine Flechtenwüste mehr nachgewiesen werden kann. Die Flechtenvegetation hat auf die veränderte Luftqualität seit den 1980er Jahren reagiert und zeigt, durch die Abnahme der sauren Schadgase und die Zunahme verkehrsbedingter düngender Luftverunreinigungen, einen Anstieg von Eutrophierungszeigern.

Summary
The mapping of lichen vegetation (bioindicator) was conducted in 2008 within the city of Augsburg with the goal of an evaluation of the air quality situation. The lichen mapping was done according to the new VDI Guideline 3957; the results are presented in an air quality map. The air quality in the investigated area ranged from "very low" through "low" to "moderate". A comparison with older mappings from 1975 and 1985 shows that in the center of the city there is no more evidence of a dearth of lichens. The lichen vegetation has reacted to the changed air quality since the 1980's and shows an increase in indicators of good nourishment caused by the reduction of acidic detrimental gases and the increase in fertilizing air contamination caused by vehicle traffic.

1. Einleitung

1.1 Problemstellung und Ziele

Zur Bestimmung der Luftgüte kann neben der technischen Luftanalyse (quantitative Luftschadstoffbestimmung) die Bioindikation eingesetzt werden. Mit dem Einsatz von Bioindikatoren erhält man eine qualitative Abschätzung der Immissionen aus der Luft und die resultierenden Auswirkungen des Luftschadstoffgemisches auf Lebewesen.
Flechten eignen sich als Bioindikatoren zum Nachweis der längerfristigen Auswirkungen von Luftverunreinigungen (u. a. JÜRGING 1975). Saure und eutrophierende Immissionen wirken sich besonders negativ auf die Flechtendiversität und -frequenz aus. Diesem Umstand trägt die neue VDI-Richtlinie 3957 von 2005 Rechnung, indem sie Eutrophierungszeiger gesondert gewichtet.

Anschrift der Verfasser:
Dipl.-Geogr. Alexandra Gumpp und Prof. Dr. Arne Friedmann, Arbeitsgruppe Biogeographie, Institut für Geographie, Universität Augsburg, Universitätsstr. 10, D-86135 Augsburg.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.biologiezentrum.at

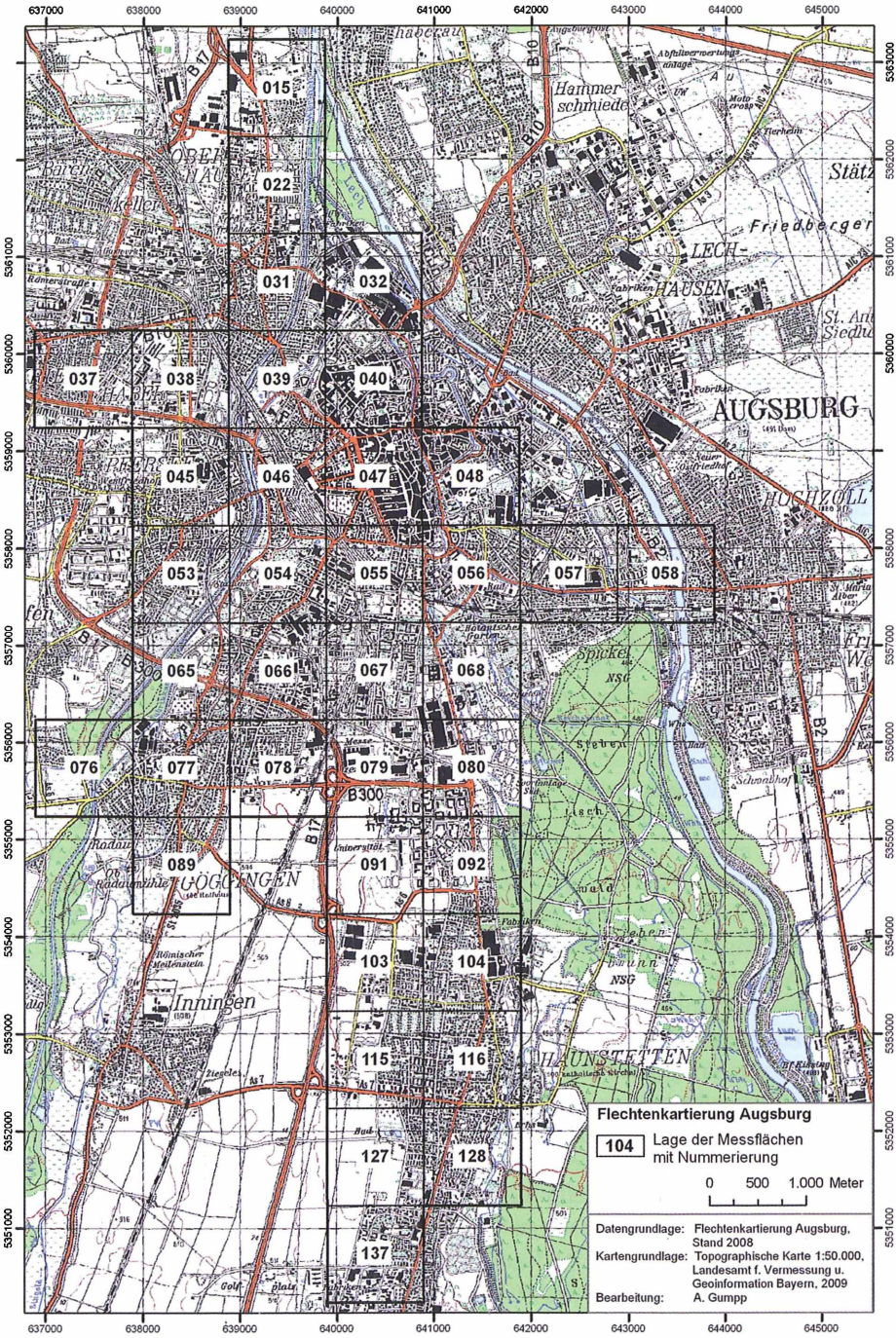

Abb. 1: Karte des Untersuchungsgebiets Stadt Augsburg mit Messflächen

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.biologiezentrum.at

Die erste landesweite Flechtenkartierung Bayerns wurde 1996 durchgeführt (WINDISCH & VORBECK 1996, WINDISCH et al. 1997), wobei sich das Augsburger Gebiet im Vergleich mit ganz Bayern als mäßig belastet zeigte. In Augsburg wurden von SEITZ (1975), WEIDMÜLLER (1980) und WAHNSIEDLER (1986) Flechtenkartierungen zur Bestimmung der Luftgüte vorgenommen. In allen drei Arbeiten wurden Areale, in denen keine epiphytischen Flechten existieren können, sog. Flechtenwüsten, nachgewiesen.
Die Flechtenkartierung 2008 in Augsburg wurde mit folgenden Zielsetzungen durchgeführt:

- einen aktuellen Überblick über die lufthygienische Situation Augsburgs in Form einer Luftgütekarte nach VDI-Richtlinie 3957 geben
- mit Hilfe von Schwermetallanalysen an Flechten eine genauere Beurteilung ausgewählter Ergebnisse ermöglichen
- die Veränderungen der Luftqualität von Augsburg durch einen Vergleich mit älteren Kartierungen dokumentieren
- Interpretation der Ergebnisse im Hinblick auf die Entwicklung verschiedener Schadstoffkonzentrationen im Stadtgebiet Augsburg.

1.2 Das Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet umfasst 37 km^2 des Augsburger Stadtgebietes (Abb. 1). Es erstreckt sich auf ein Nord-Süd-Transekt entlang der Donauwörther und Haunstetter Straße, ein Ost-West-Transekt entlang der Bürgermeister-Ackermann-Straße und der Friedberger Straße sowie die Innenstadt und die südlichen Stadtteile Haunstetten und Göggingen.

2. Flechten als Bioindikatoren

Flechten werden von zwei verschiedenen Organismen aufgebaut: Alge und Pilz. Diese bilden eine Symbiose und können extreme Lebensräume erschließen. Die Alge betreibt Photosynthese und liefert so dem Pilz Kohlenhydrate, die zu seiner Existenz notwendig sind. Der Pilz umhüllt die Alge mit einem Geflecht, so dass diese vor raschem Wasserverlust, intensiver Sonneneinstrahlung oder algenfressenden Tieren geschützt ist (Abb. 2). Man unterscheidet Strauch-, Laub-/Blatt- und Krustenflechten. Flechten sind wechselfeucht, wachsen sehr langsam und sind langlebig (WIRTH 1995).
Flechten reagieren empfindlich auf Umweltveränderungen, damit lassen Sie sich zur Beurteilung der lufthygienischen Situation als Bioindikatoren nutzen. Die hohe Empfindlichkeit gegenüber Schadstoffen in der Luft ist durch mehrere Faktoren bedingt (BARTHOLMESS 1987, HERZIG & URECH 1991, KIRSCHBAUM & WIRTH 1997):

- das Stoffwechselsystem zwischen Pilz und Alge ist sehr gut aufeinander abgestimmt und damit leicht anfällig für Störungen
- Schädigungen können wegen der niedrigen Stoffwechselrate nur eingeschränkt regeneriert werden
- da Flechten keine Spaltöffnungen besitzen, können sie ihren Gasaustausch nicht anpassen oder einstellen. Schadstoffe können ungehindert und ungefiltert über die gesamte Oberfläche in das Flechtenlager eindringen, da Flechten keine schützende Wachsschicht besitzen

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.biologiezentrum.at

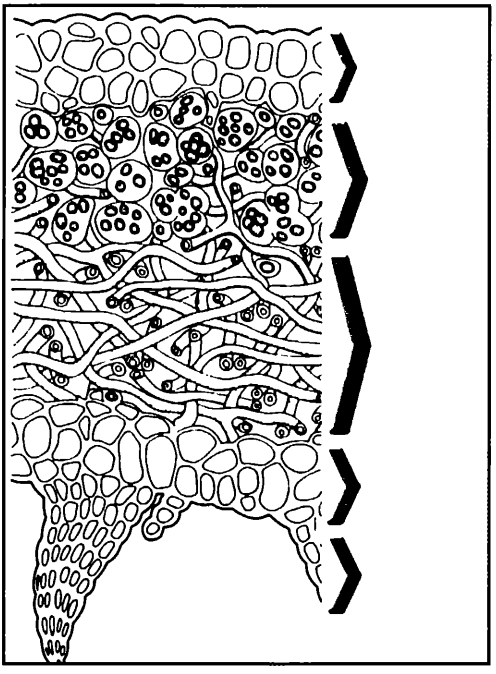

Abb. 2: Schematischer Querschnitt durch eine Blattflechte (Quelle: http://www.kepi.de/fileadmin/flechten/infotext.html)

- eine Absonderung aufgenommener Schadstoffe ist nicht möglich, da Flechten keine Ausscheidungsorgane besitzen, deshalb werden alle Schadstoffe akkumuliert
- auch bei niedrigen Temperaturen bleibt der Stoffwechsel aktiv, so dass auch im Winter bei erhöhten Emissionen phytotoxische Schadstoffe auf das Flechtenlager einwirken.

3. Methoden

Die Kartierung der Flechtenvegetation ermöglicht die Feststellung der durch Luftschadstoffe über mehrere zurückliegende Jahre hervorgerufenen langfristigen pflanzenschädigenden Gesamtwirkung am untersuchten Standort unter gleichzeitiger Berücksichtigung aller anderen einwirkenden Standortfaktoren (u. a. Feuchte und Temperatur). Anhand des Vorkommens und der Häufigkeit der vorhandenen epiphytischen Flechten, lassen sich daher in einem Untersuchungsgebiet Flächen unterschiedlicher Luftgüte abgrenzen. Die wiederholte Flechtenkartierung (passives Biomonitoring) erlaubt es, zeitliche Veränderungen der Immissionssituation anhand der Wirkungen zu dokumentieren (BARTHOLMESS 1987).

Die hier verwendete Kartierung der Flechten nach VDI-Richtlinie 3957 ersetzt seit 2005 die seit 1995 geltende VDI-Richtlinie 3799. Ein Messnetz mit der Maschenweite von 1 x 1 km wurde über das Stadtgebiet von Augsburg gelegt und umfasst 37 Messflächen (Abb. 1). Auf jeder dieser Messflächen wurde der Flechtenbewuchs von sechs bis zehn Bäumen kartiert.

Um die Bedingungen und Einflussfaktoren für die Flechtenkartierung möglichst konstant zu halten wurden nur freistehende Bäume ausgewählt, so dass die Baumstämme

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.biologiezentrum.at

zumindest während eines Teils des Tages direktem Sonnenlicht ausgesetzt sind. Der Umfang der Stämme muss in 1,5 m Höhe zwischen 70 cm und 280 cm betragen und die Bäume dürfen nicht mehr als 10° geneigt sein. Einen besonders großen Einfluss auf den Flechtenbewuchs haben die Rindeneigenschaften wie pH-Wert, Wasserspeicherungsvermögen und Nährstoffgehalt. Deshalb werden nach der VDI-Richtlinie 3957 die Baumarten entsprechend ihres Borken-pH-Wertes in zwei Gruppen eingeteilt, wodurch die Bäume innerhalb einer Gruppe als vergleichbar behandelt werden können und eine gemeinsame Kartierung ermöglichen. Die 285 kartierten Bäume im Stadtgebiet Augsburg können vier Baumgattungen zugeordnet werden (Abb. 3), womit sie in Baumartengruppe eins (mit subneutraler Rinde) nach VDI-Richtlinie 3957 fallen.

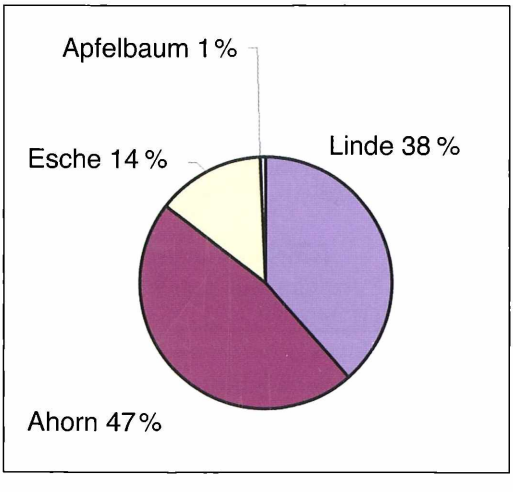

Abb. 3: Anteile der Baumgattungen an den kartierten Trägerbäumen (n= 285)

Zur Erfassung der epiphytischen Flechten wurde ein Flechtenaufnahmegitter, das aus vier unabhängigen Gitterstreifen mit je fünf 10 cm x 10 cm großen Quadraten besteht, in 150 cm Höhe am Baum angebracht. Danach wurden die Flechtenarten, die in den einzelnen Gitterstreifen vorkommen, bestimmt und gezählt in wie vielen Quadraten sie zu finden waren. Als Frequenz wird die Anzahl der Quadrate bezeichnet, in denen eine Flechtenart vorkommt, diese bildet die Grundlage der quantitativen Erfassung der Flechtenvegetation. Als Literatur zur Bestimmung der Flechtenarten wurden KIRSCHBAUM & WIRTH (1997) und WIRTH (1995) verwendet.

Die Diversität (Artenanzahl) und Häufigkeit (Frequenz) der Arten in einer Messfläche sind die Grundlage zur Bestimmung des Luftgüteindex. Daraus leitet sich der **Flechtendiversitätswert** (FDW) ab, welcher als statistischer Schätzwert der lufthygienischen Belastungen verwendet wird. Mit Hilfe der Vielfalt und Artenzusammensetzung der Flechtenvegetation wird die Luftgüte in verschiedene Stufen eingeteilt. Diese werden abhängig vom Einfluss der Eutrophierungszeiger mit dem so genannten **Luftgüteindex** (LGI) versehen und für die kartographische Darstellung einer Farbe zugeordnet. Zur kartographischen Darstellung der Untersuchung wird das Messnetz auf eine Karte übertragen und die Messflächen entsprechend der ihnen zugewiesenen Luftgüteindizes eingefärbt (Abb. 5). Weitere Details zur Methode siehe VDI-Richtlinie 3957 (2005).

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Eingangsdaten der Flechtenkartierung Augsburg 2008.

Tab. 1: Eingangsdaten der Flechtenkartierung Augsburg 2008.

Anzahl der untersuchten Messflächen	37
Anzahl der ausgewerteten Messflächen	37
Anzahl der in die Bewertung eingegangenen Bäume	285
Mittlere Anzahl kartierter Bäume pro Messfläche	7,7
Messflächengröße	1 x 1 km
Abstand der Messflächen	1 km
Kleinster Flechtendiversitätswert für die Referenzarten	0,88
Größter Flechtendiversitätswert für die Referenzarten	26,50
Kleinster Flechtendiversitätswert für die Eutrophierungszeiger	4,25
Größter Flechtendiversitätswert für die Eutrophierungszeiger	40,00

Tab. 2: Im Stadtgebiet Augsburg 2008 kartierte Flechtenarten.

Flechtenart	**Bewachsene Bäume (absolut)**	**Bewachsene Bäume in %**
Buellia griseovirens	10	3,5
Buellia punctata	5	1,8
Candelariella reflexa/xanthostigma	174	61,1
Evernia prunastri	12	4,2
Hypogymnia physodes	54	18,9
Lecanora argentata	5	1,8
Lecanora carpinea	3	1,1
Lecanora chlarotera	23	8,1
Lecanora conizaeoides	25	8,8
Lecanora expallens	5	1,8
Lecanora hagenii	3	1,1
Lecanora pulicaris	8	2,8
Lecidella elaeochroma	24	8,4
Lepraria incana	33	11,6
Parmelia acetabulum	8	2,8
Parmelia exasperatula	68	23,9
Parmelia flaventior	2	0,7
Parmelia saxatilis	15	5,3
Parmelia sulcata	110	38,6
Parmelia tiliacea	3	1,1
Phaeophyscia orbicularis	207	72,6
Phlyctis argena	3	1,1
Physcia adscendens/tenella	145	50,9
Physcia stellaris/aipolia	43	15,1
Physconia grisea	90	31,6
Platismatia glauca	3	1,1
Pseudoevernia furfuracea	7	2,5
Ramalinia farinacea	3	1,1
Usnea spec./hirta	6	2,1
Xanthoria candelaria	1	0,4
Xanthoria parietina	207	72,6
Xanthoria polycarpa	11	3,9

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.biologiezentrum.at

4. Ergebnisse

4.1 Aufgefundene Flechten im Untersuchungsgebiet

Im Untersuchungsgebiet wurden insgesamt 32 verschiedene Flechtenarten auf den kartierten Bäumen bestimmt (Tab. 2).

In Augsburg besonders häufig gefundenen Arten sind *Candelariella reflexa/C. xanthostigma, Hypogymnia physodes, Lepraria incana, Parmelia exasperatula, Parmelia sulcata, Phaeophyscia orbicularis, Physcia adscendens/Ph. tenella, Physconia grisea* und *Xanthoria parietina* (siehe Abb. 4).

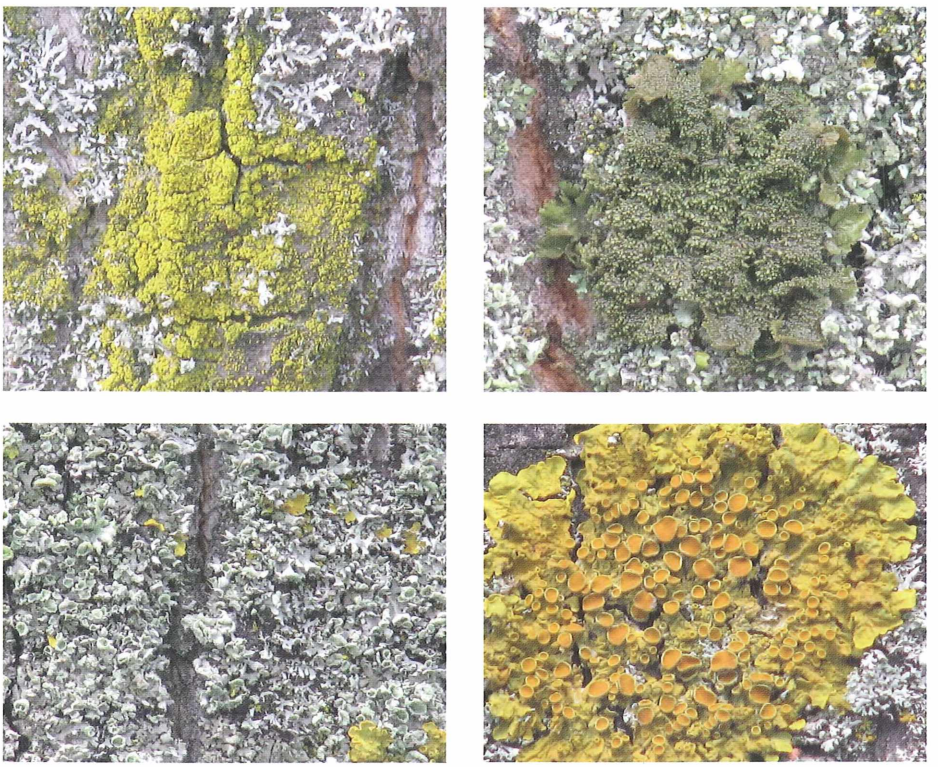

Abb. 4: Einige häufig in Augsburg vertretene Flechtenarten: (oben links) Candelariella reflexa/C. xanthostigma, (oben rechts) Parmelia exasperatula, (unten links) Physcia adscendens/Ph. tenella und (unten rechts) Xanthoria parietina.

4.2 Ermittelte Luftgüte in Augsburg 2008 und Auswertung

Die Luftgütekarte ist das zentrale Ergebnis der Flechtenkartierung, die die klimatisch-lufthygienische Situation des Untersuchungsgebietes darstellt. Die Immissionsbelastungen und lokalklimatischen Bedingungen werden integriert und die räumliche Verteilung der Luftgütestufen farbig abgebildet. Es werden keine absoluten Werte dargestellt, sondern die Abstufung der Luftgüte innerhalb eines Gebietes verdeutlicht. Die abgeleitete Luftgüte nach VDI 3957 für das Stadtgebiet Augsburg zeigt Abb. 5.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.biologiezentrum.at

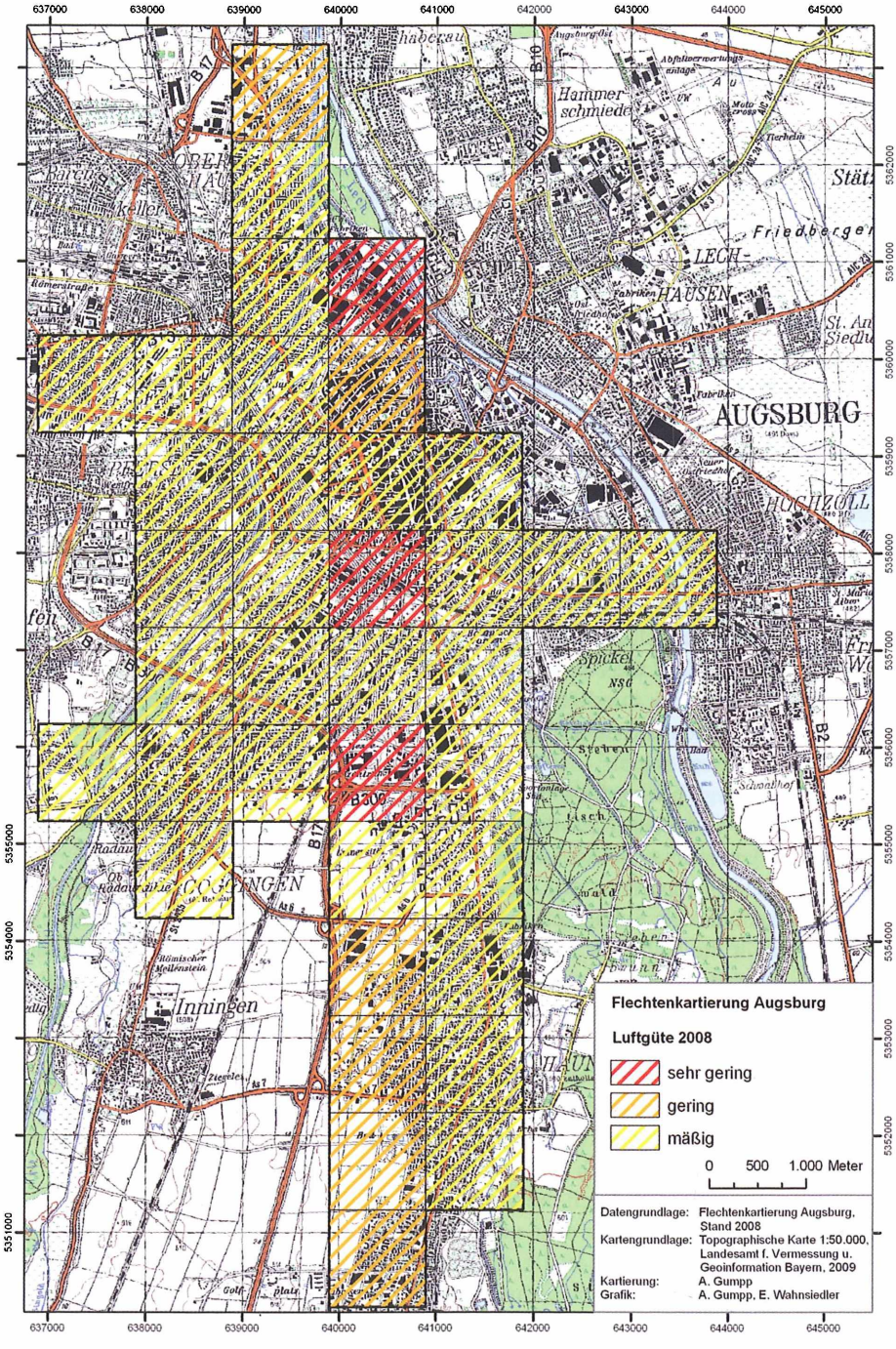

Abb. 5: Karte der Luftgüte von Augsburg 2008

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.biologiezentrum.at

Die Luftgütekarte zeigt für Augsburg drei verschiedene Luftgütestufen, sehr gering (rot), gering (orange) und mäßig (gelb). Ihre Verteilung lässt sich durch den Einfluss der eingangs angeführten Parameter erklären. Die Interpretation der Ergebnisse erfolgt im Hinblick auf die Schadstoffbelastung, wobei zu berücksichtigen ist, dass eine große Breite an Umwelteinflüssen auf die Flechten einwirkt und nicht immer eindeutig eine Ursache oder Schadstoffquelle klar zu identifizieren ist.

Die schlechtesten Werte und damit die Luftgütestufe sehr gering wurden im Nordosten des Untersuchungsgebietes (Messfläche 032), im Bismarckviertel in der Stadtmitte (Messfläche 055) und im Bereich der Messe (Messfläche 079) ermittelt. Für Messfläche 032 lässt sich eine sehr schlechte Luftgüte bei sehr geringem Einfluss eutrophierender Luftverunreinigungen feststellen. Auf dem Areal im nordöstlichen Untersuchungsgebiet befinden sich große Industriebetriebe, durch deren Emissionen die niedrige Anzahl gefundener Flechten erklärt werden kann. Ähnliches gilt für die Messfläche 055, auch hier ist die Luftgüte sehr gering bei sehr geringem Einfluss eutrophierender Luftverunreinigungen. Im Gegensatz zu Messfläche 032 sind in diesem Teil keine Industriebetriebe zu finden, sondern die Gleisanlagen der Deutschen Bahn, die einen großen Bereich der Messfläche bedecken und zerschneiden. Die entstehenden Emissionen (einschließlich Schwermetallbelastungen) wirken sich negativ auf den Flechtenbewuchs des Areals aus. Die Messfläche 079 weist ebenfalls eine sehr geringe Luftgüte auf, allerdings ist hier der Einfluss eutrophierender Luftverunreinigungen sehr stark. Dies lässt sich auf den Verkehr als Schadstoffquelle zurückführen, da sich auf der Messfläche 079 die Abfahrt zur Messe und Universität von der Bundesstraße 17 befindet, was zu einem erhöhten Verkehrsaufkommen führt. Dadurch werden vermehrt nährstoffbeladene Stäube und Umwandlungsprodukte aus den Stickstoffoxiden der Autoabgase eingetragen.

Eine geringe Luftgüte kann für Gebiete im Norden des Untersuchungsgebietes (Messfläche 015), im Nordosten (Messfläche 040) und im Südwesten (Messflächen 103, 115, 127, 137) ausgewiesen werden. Auf der Messfläche 015 ist die Luftgüte gering bei geringem Einfluss eutrophierender Luftverunreinigungen, was auf die Kombination von Industrieemissionen als Schadstoffquelle und die verkehrsreiche Lage im Norden der Stadt und damit die Nähe zur Bundesautobahn 8 zurückzuführen ist. Die Messfläche 040 weist ebenfalls eine geringe Luftgüte bei geringem Einfluss eutrophierender Luftverunreinigungen auf. Dies ist durch die Lage im nordöstlichen Bereich des Untersuchungsgebiets in der Nähe großer Industriebetriebe zu erklären. Die Messflächen 103, 115, 127 und 137 befinden sich im südwestlichen Teil und zeigen eine geringe Luftgüte, allerdings bei starkem Einfluss eutrophierender Luftverunreinigungen. Hier wirken sich die Einträge aus den westlich gelegenen landwirtschaftlichen Nutzflächen und der sich ebenfalls westlich befindenden Bundesstraße 17 mit ihren Verkehrsemissionen aus. Diese werden durch die vorherrschende südwestliche Windrichtung in die genannten Messflächen eingetragen und wirken eutrophierend.

Für die restlichen Messflächen im Untersuchungsgebiet wurde eine mäßige Luftgüte ermittelt mit geringem bzw. mäßigem Einfluss eutrophierender Luftverunreinigungen für die meisten Gebiete, was durch den überall vorhandenen Verkehr als Schadstoffemittent und über das gesamte Gebiet verteilte Industriebetriebe erklärt werden kann.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.biologiezentrum.at

Lediglich auf der Messfläche 054 kann nur ein sehr geringer Einfluss eutrophierender Luftverunreinigungen festgestellt werden, was an dem sich auf der Messfläche befindenden Wittelsbacher Park liegt. Diese Grünfläche ist durch ihre Transpiration an heißen Tagen deutlich kühler als vegetationsfreie Bereiche und wirkt durch ihre Fähigkeit zur Wasserspeicherung mildernd auf die Trockenheit des Stadtklimas. Durch die erhöhte Luftfeuchte wird weniger Staub aufgewirbelt und eingetragener Staub sedimentiert durch den Auskämmeffekt der Pflanzen schnell.
Eine weitere Besonderheit stellen die Messflächen 078 und 091 dar, da die eutrophierenden Luftverunreinigungen hier einen starken Einfluss haben. Dies liegt an der unmittelbaren Nähe zur vorher beschriebenen Messfläche 079. Messfläche 078 befindet sich westlich, Messfläche 091 südlich dieses Bereichs. Hier wirkt der Verkehr als Schadstoffquelle noch deutlich. Bei Messfläche 091 kann die starke Eutrophierung noch durch den Einfluss aus Eintragungen durch die südwestliche Windrichtung erklärt werden.

4.3 Schwermetallanalyse von Flechten

Um die bisher gewonnen Ergebnisse genauer beurteilen zu können, wurde am Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) eine Schwermetallanalyse von Flechten in Auftrag gegeben. Dabei wurden verschiedene Flechtenarten nach Mikrowellendruckaufschluss mittels ICP-Massenspektrometrie auf ihren Schwermetallgehalt (Aluminium, Antimon, Arsen, Barium, Bismut, Blei, Cadmium, Cer, Chrom, Eisen, Kobalt, Kupfer, Lanthan, Mangan, Molybdän, Nickel, Titan, Vanadium, Zink, Zinn) untersucht. Bei den analysierten Flechten handelt es sich um die Arten *Xanthoria parietina*, *Parmelia sulcata* und *Hypogymnia physodes*, da diese Blattflechten häufig vorkommen, um genügend Material für die Untersuchung sicherzustellen. Sie wurden aus Messflächen mit unterschiedlicher Luftgüte entnommen, der Messfläche 079 (sehr geringe Luftgüte), der Messfläche 091 (mäßige Luftgüte) und der Messfläche 103 (geringe Luftgüte). Für die Schwermetallanalyse wurden aus jeder Messfläche drei Flechtenarten als Doppelbeprobung untersucht, in der Messfläche 079 konnte nur *Xanthoria parietina* in ausreichender Menge gefunden werden, so dass auf *Parmelia sulcata* und *Hypogymnia physodes* verzichtet werden musste.
Die Beobachtungen sollen am Beispiel des Elements Arsen erläutert werden, da sich die anderen in der Schwermetallanalyse gefundenen Elemente in vergleichbarer relativer Verteilung in den Flechten nachweisen ließen (weitere Informationen siehe in Gumpp 2009). Die in Abbildung sechs verwendeten Abkürzungen sind aus der folgenden Tabelle 3 zu entnehmen.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.biologiezentrum.at

Tab. 3: Kenndaten der auf Arsen untersuchten Flechten aus Augsburg

Probe-Nr.	Mess-fläche	Luftgüte	Flechtenart	Abkür-zung	Exposi-tion	Entnahme-höhe in cm	Baum-art
1	079	sehr gering	Xanthoria parietina	A1	S	100 – 150	Ahorn
2	079	sehr gering	Xanthoria parietina	A2	S	100 – 150	Ahorn
3	091	mäßig	Xanthoria parietina	A1	W	100 – 150	Linde
4	091	mäßig	Xanthoria parietina	A2	W	100 – 150	Linde
5	091	mäßig	Parmelia sulcata	B1	W	100 – 150	Linde
6	091	mäßig	Parmelia sulcata	B2	W	100 – 150	Linde
7	091	mäßig	Hypogymnia physodes	C1	W	100 – 150	Linde
8	091	mäßig	Hypogymnia physodes	C2	W	100 – 150	Linde
9	103	gering	Xanthoria parietina	A1	SW	100 – 150	Linde
10	103	gering	Xanthoria parietina	A2	W	100 – 150	Linde
11	103	gering	Parmelia sulcata	B1	W	100 – 150	Linde
12	103	gering	Parmelia sulcata	B2	W	100 – 150	Linde
13	103	gering	Hypogymnia physodes	C1	W	100 – 150	Linde
14	103	gering	Hypogymnia physodes	C2	W	100 – 150	Linde

Abbildung 6 zeigt, dass die höchsten Arsen- und Schwermetallbelastungen nicht in der Messfläche mit der niedrigsten, sehr geringen Luftgüte (Messfläche 079) zu messen sind, sondern in der Messfläche mit der geringen Luftgüte (Messfläche 103). Die Messfläche 079 wird durch ihre hohe Frequenz an Eutrophierungszeigern, die in der VDI-Richtlinie von besonderer Gewichtung sind, mit einer sehr schlechten Luftgüte ausgewiesen. Bei der Analyse der Schwermetalle stellt sich der Standort als in nicht so hohem Maße belastet dar, da hier die absoluten Werte gemessen werden, die für alle analysierten Elemente unter dem Mittelwert liegen. Allerdings wird der Vergleich dadurch erschwert, dass nur eine Flechte in ausreichender Menge entnommen werden konnte.

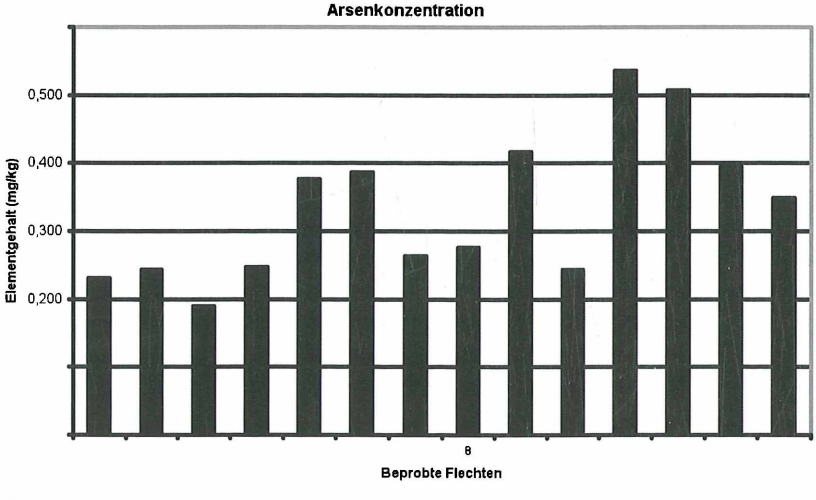

Abb. 6: Arsenkonzentration in den beprobten Flechten (Quelle: LfU)

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.biologiezentrum.at

Die Messfläche 091 zeigt bei allen Elementen eine ähnliche Verteilung wie in der Grafik für Arsen. Die Werte für *Xanthoria parietina* und *Hypogymnia physodes* sind durchgängig niedriger bzw. nahe am Mittelwert, *Parmelia sulcata* liegt deutlich darüber. Dies liegt am Standpunkt der Entnahme, da sich dort eine Straßenbahnhaltestelle befindet, die durch ihre Schadstoffabgabe als Quelle wirkt. Vor allem das Element Kupfer konnte in auffallend großer Menge nachgewiesen werden, da dies in der Oberleitung der Straßenbahn zu finden ist.
Auch die Messfläche 103 zeigt für alle Elemente ein ähnliches Verteilungsbild. Auffallend ist hier der große Unterschied der beiden Werte von *Xanthoria parietina*. Dies ist auf die verschiedene Exposition der beiden Standorte zurückzuführen. Die Belastung der Messfläche mit Schwermetallen ist für alle drei Flechten hoch. Dies liegt zum einen an der verkehrsexponierten Stelle, zum anderen an den ansässigen Industriebetrieben, die als Schadstoffquelle wirken. Dies geht aus der Analyse hervor, da sowohl industrielle Schadstoffe wie Nickel, Cadmium und Titan als auch verkehrsbedingte wie Kupfer, Molybdän, Antimon und Wismut sowie Zinn aus dem Reifenabrieb in erhöhtem Maße vorkommen.
Die Schwermetallanalyse ermöglicht eine detailliertere Betrachtung der eingetragenen Schadstoffe. In allen drei Messflächen spielt der Verkehr eine wichtige Rolle als Schadstoffquelle. Aber auch andere Emittenten wie industrielle Betriebe haben einen flächendeckenden Einfluss, während sich die Straßenbahn eher punktuell auswirkt. Es bleibt noch der genaue Einfluss der Flechten bei der Analyse zu klären. Bisher ist nicht bekannt, wie sich die einzelnen Arten bei der Anreicherung von Schwermetallen unterscheiden und ob eine Selektion stattfindet und einzelne Schwermetalle in erhöhtem Maßstab gespeichert werden (RAO et al. 1977, DIETL et al. 1998).

4.4 Vergleich mit älteren Flechtenkartierungen Augsburgs

Das Stadtgebiet Augsburg wurde erstmals 1973-1975 von SEITZ (1975) und dann im Jahr 1980 von WEIDMÜLLER (1980) auf seinen Flechtenbewuchs hin untersucht. Eine genauere Kartierung erfolgte 1985 von WAHNSIEDLER (1986). Hierbei kam jeweils die Schätzmethode nach JÜRGING (1979), die maßgeblich mit dem Bedeckungsgrad als Merkmal arbeitet, zum Einsatz. Der Bedeckungsgrad ergibt sich aus der Relation der mit Flechten bedeckten Rindenoberfläche zur gesamten Aufnahmefläche, als diese wird der Bereich zwischen 50 cm und 150 cm über der Bodenfläche betrachtet. Bei dieser Methode wurden für die Flechtenkartierung 1985 neun Blattflechtenarten kartiert, weswegen zur besseren Vergleichbarkeit die Ergebnisse der Kartierung von 1985 in die Form der neuen Kartierung von 2008 übertragen worden sind.
Dabei werden die einzelnen Bedeckungsgrade mit den Luftgütestufen gleichgesetzt. Ein Bedeckungsgrad von null bis unter zwei Prozent, die sog. Flechtenwüste und innere Kampfzone, entspricht der Luftgütestufe sehr gering, von zwei bis unter fünf Prozent, die sog. mittlere Kampfzone, der Luftgütestufe gering und von fünf bis unter zehn Prozent, die sog. äußere Kampfzone, der Luftgütestufe mäßig.
Der Vergleich der beiden Kartierungen von 1985 und 2008 zeigt Veränderungen der Luftgüte (Abb. 7). Eine Verschlechterung ist im Norden Augsburgs zu erkennen. Diese lässt sich durch das zunehmende Verkehrsaufkommen erklären, da hier Industrieflächen in vorher unbebautem Gebiet ausgewiesen wurden und die Nähe zur Autobahn

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.biologiezentrum.at

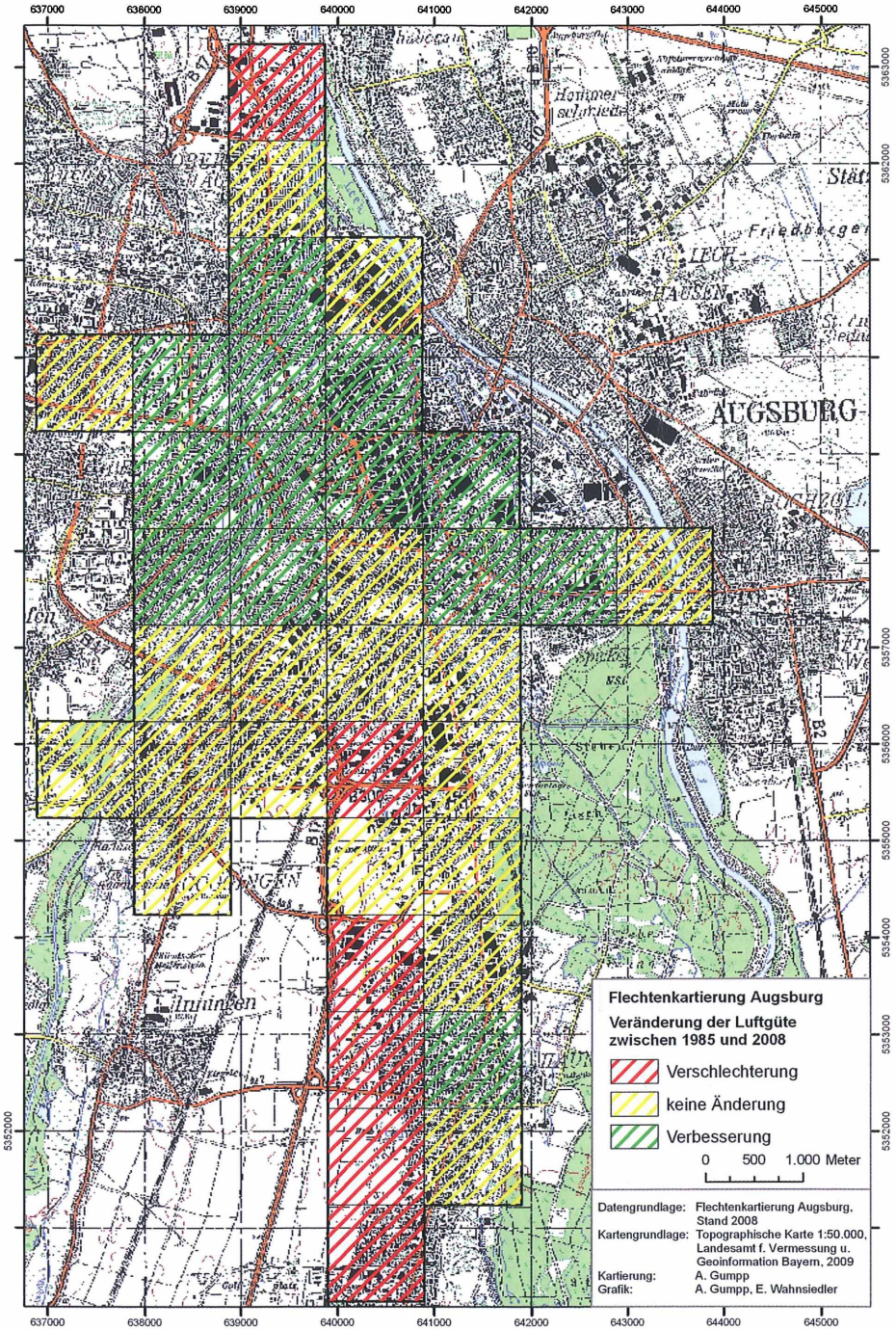

Abb. 7: Veränderungen der Luftgüte im Stadtgebiet Augsburg zwischen 1985 und 2008

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.biologiezentrum.at

A8, da sich der Individualverkehr seit 1985 deutlich verstärkt hat. Ebenfalls eine Verschlechterung der Luftgüte ist im Bereich der Messe Augsburg zu verzeichnen, was sich ebenfalls durch das erhöhte Verkehrsaufkommen der 1988 eröffneten Messe erklären lässt. Eine weitere Verschlechterung findet sich im Süden Augsburgs entlang der neuen Bundesstraße B17. Hierbei erfolgte eine Verlegung der Trasse nach Westen, wodurch sich auch der Einfluss von Verkehrsausstößen verschob und damit eine Reduzierung der Luftqualität zur Folge hatte.
Eine Verbesserung der Luftqualität zeigt sich im Westen Augsburgs im Stadtteil Pfersee. Hier zeigt sich die Auflösung der US-Garnison Augsburg und der damit verbundene Rückgang des hohen Verkehrsaufkommens und Schwerölverbrauchs. Seit 1998 werden die aufgegebenen Kasernen sukzessive in Wohn- und Geschäftsviertel sowie Areale für den Kulturbetrieb umgewandelt. In Bereichen der Stadtteile Oberhausen und Stadtmitte erfolgte ebenfalls eine Verbesserung der lufthygienischen Situation, da sich die Emissionen durch die Industrie sowie im Fahrzeugbereich durch technische Maßnahmen mehr als halbiert haben. Auf den Rückgang des Verkehrsaufkommens ist auch die Verbesserung im Süden Augsburgs zurückzuführen, da hier wie bereits erwähnt die Trasse der B17 verlegt wurde. In den anderen Messflächen zeigt sich keine Veränderung der Luftgüte zwischen 1985 und 2008 (Abb. 7).
Eine „Flechtenwüste" ist 2008 nicht mehr festzustellen, wie auch schon WAHNSIEDLER (1986) anmerkte, dass zwischen der Kartierung von SEITZ (1975) und 1985 ein Rückgang der flechtenlosen Flächen zu verzeichnen war.

5. Diskussion

Die hohe Belastung im gesamten Untersuchungsgebiet Augsburgs wird durch die hohen Immissionsverhältnisse in Kombination mit der dichten Bebauung verursacht. Der verdichtete Verkehr hat erhöhte Schadstoffkonzentrationen zur Folge. Stickstoffoxide, Kohlenmonoxid, Ruß, Staub und gasförmige organische Verbindungen spielen als Emissionen durch den Verkehr eine wichtige Rolle, aber auch Schwefeldioxid aus Dieselmotoren ist noch von gewisser Bedeutung. Zur Freisetzung von Stickstoff kommt es vor allem durch die Verbrennung in Kraftfahrzeugmotoren. Bei genügend Sauerstoff in den Abgasen und in der Atmosphäre wird daraus das giftigere Stickstoffdioxid gebildet, Salpetersäure entsteht bei weiteren Reaktionen. Nähere Informationen zu den Beeinträchtigungen von Flechten durch gasförmige Schadstoffe, Schwermetalle und Stäube finden sich in GUMPP (2009) und HERZIG et al. (1987).
Zudem fehlen lokale Windsysteme in Augsburg, die durch die Bebauung in der Umgebung nicht mehr wirksam sind. Die hohe Bebauungsdichte und der Versiegelungsgrad führen zu typischen Stadtklimaeffekten. Die klimatischen Faktoren haben eine direkte und indirekte Wirkung. Der verringerte Luftaustausch in der Stadtmitte hat eine Schadstoffanreicherung zur Folge. Die Aufheizung durch Abwärmeemission im Zusammenspiel mit der geringen nächtlichen Abkühlung und die verringerte relative Luftfeuchte führen zusammen mit der Schadstoffbelastung zu negativen Auswirkungen auf das Wachstum der Flechten. Die Bildung von Staub wird durch die geringe Luftfeuchte unterstützt, da dieser durch fehlende Grünflächen kaum ausgefiltert und gebunden werden kann.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.biologiezentrum.at

Zum besseren Verständnis der Veränderungen der Flechtenvegetation in Augsburg soll ein Vergleich der Emissionen zwischen 1985 und 2008 für das Stadtgebiet Augsburg erfolgen. Die langfristige Entwicklung der Luftqualität ist anhand von Langzeitverläufen an den Messstationen des Bayerischen Landesamt für Umwelt ersichtlich, hier werden u. a. die Werte für Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid, Stickstoffmonoxid, Stickstoffdioxid, Feinstaub und Ozon erfasst (LfU 2009a). An den Messstationen Königsplatz und Bourgesplatz werden seit 1975 bzw. 1986 und an der Messstation LfU seit 2000 kontinuierliche Messungen durchgeführt.
Schon 1985 war der Straßenverkehr in Augsburg die größte Schadstoffquelle, was aus dem Emissionskataster für das Stadtgebiet Augsburg (LfU 1988) aus dem Jahr 1985 hervorgeht: 64,6 % der gesamten Kohlenmonoxid-, 58 % der Stickstoffoxid-, 4 % der Schwefeloxidbelastung und 52,7 % der gasförmigen organischen Verbindungen stammen aus dieser Emittentengruppe. Die Schwefeloxidbelastung ist jedoch durch die Emittenten Industrie mit 70,7 % und Hausbrand mit 25,3 % deutlich höher als durch den Straßenverkehr.
Für das Jahr 2008 (LfU 2009 a,b) sind in Augsburg insgesamt geringe SO_2- und CO-Werte gemessen worden und es zeigt sich ein deutlicher Rückgang der Schwefeldioxid- und Kohlenmonoxid-Belastung seit den 1980er Jahren. Dieser SO_2-Rückgang ist auf emissionsmindernde Maßnahmen in sämtlichen Sektoren, insbesondere aber im Bereich der Kraft- und Heizwerke, zurückzuführen. Als Hauptverursacher der Kohlenmonoxidemissionen gelten der Kfz-Verkehr und der Hausbrand. Der Rückgang der Schadstoffbelastung ist trotz steigenden Verkehrsaufkommens insbesondere durch die Verminderung der Emissionen im Verkehrsbereich (u. a. Einführung 3-Wege-Kat, moderne Dieselmotoren) verursacht. Die Stickstoffoxid-Konzentrationen sind 2008 mäßig bis hoch mit einer Zunahme Richtung Innenstadt und werden überwiegend durch den Verkehr verursacht. Der Stickstoffmonoxidtrend ist dabei seit den 1980er Jahren nur leicht rückläufig, bei der Stickstoffdioxidmessung kann nur ein minimaler Rückgang beobachtet werden. Die Feinstaub- und Partikelwerte nehmen Richtung Innenstadt zu und sind großteils auch direkt oder indirekt durch den Verkehr bedingt. Insgesamt zeigen diese aber einen Rückgang seit den 1990er Jahren (LfU 2009 a,b), was in jüngerer Zeit auch durch die Einführung des Dieselrußpartikelfilters begünstigt wurde. Die Ozonwerte steigen seit den 1980er Jahren leicht an.

6. Schlussfolgerungen

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass für den Flechtenwuchs die SO_2-Belastung nur noch von geringem Einfluss ist und stickstoffhaltige Luftverunreinigungen an Bedeutung gewonnen haben. Dazu zählen insbesondere NO, NO_2 und NH_3 als trockene Deposition sowie NO_3^- und NH_4^+ als nasse Deposition. Weitere wichtige eutrophierende Einträge stammen aus der Landwirtschaft, von Schlachthöfen und aus dem Straßenverkehr (Ammoniak, Ammonium u. a.).
Möglichkeiten zur Verbesserung der Luftqualität in Augsburg liegen besonders in der Reduzierung von Verkehrsemissionen. Hier könnte durch das Fördern von Erdgas- und Elektro-Fahrzeugen, dem Car-Sharing, der Einführung einer Innenstadt-Maut, neuen Verkehrsleitsystemen und Geschwindigkeitsbegrenzungen sowie einer weiteren För-

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.biologiezentrum.at

derung des ÖPNV und der Radwegeinfrastruktur eine nachhaltige Verbesserung der Luftgüte erreicht werden. Die Auswirkungen der Einführung der Umweltzone sind noch nicht abzuschätzen, sollten sich aber auch positiv bemerkbar machen.

Fazit

Durch die deutliche Verbesserung der Luftqualität seit 1985 sind inzwischen im gesamten Stadtgebiet Augsburgs Flechten zu finden. Diese positive Entwicklung ist vor allem Emissionsminderungen und dem Rückgang saurer Schadgase zu verdanken. Allerdings steht dem der Anstieg verkehrsbedingter Emissionen entgegen. Stickstoffoxide und Stäube wirken düngend auf die Flechten und führen zu einer Verschiebung des Artenspektrums hin zu Eutrophierungszeigern. Die Flechtenkartierung zeigt sich als verlässliche Methode eines passiven Biomonitorings.

Danksagung

Wir danken Frau Elli Wahnsiedler für die Zurverfügungstellung der Flechtenkartierungsergebnisse von 1985 und für ihre Unterstützung bei der kartographischen Umsetzung. Herrn Joachim Nittka (LfU) danken wir für die Ermöglichung der Schwermetallanalysen.

Literatur

BARTHOLMESS, H. (1987): Untersuchungen über den Zusammenhang von Flechtenvegetation, Immissionsbelastung und Waldschäden in Baden-Württemberg. Nagelschmid, Stuttgart, 290 S.

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (Hrsg., 1988). Emissionskataster für das Belastungsgebiet Augsburg. München.

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (Hrsg., 2008). Fortschreibung des Emissionskatasters Bayern für das Jahr 2004. Augsburg.

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (Hrsg., 2009a): Entwicklung der Luftqualität: Langzeitauswertungen. http://www.lfu.bayern.de/luft/daten/langzeitverläufe/

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (Hrsg., 2009b): Lufthygienische Berichte 2008. http://www.lfu.bayern.de/luft/daten/lufthygienische_berichte/

DIETL, C., FAUS-KESSLER, TH., WEGENKE, M. & PEICHL, L. (1998): Verkehrsbezogene Immissionen und Immissionswirkungen von Antimon und anderen Metallen. LfU, Schriftenreihe 153.

GUMPP, A. (2009): Flechtenkartierung der Stadt Augsburg. Unveröff. Diplomarbeit, Univ. Augsburg, 96 S.

HERZIG, R., LIEBENDÖRFER, L. & URECH, M. (1987): Flechten als Bioindikatoren der Luftverschmutzung in der Schweiz. Methoden-Evaluation und Eichung mit wichtigen Luftschadstoffen. VDI-Berichte 609, S. 619-639.

HERZIG, R. & URECH, M. (1991): Flechten als Bioindikatoren. Integriertes biologisches Messsystem der Luftverschmutzung für das Schweizer Mittelland. Bibliotheca Lichenologica 43.

JÜRGING, P. (1975): Epiphytische Flechten als Bioindikatoren der Luftverunreinigung, dargestellt an Untersuchungen und Beobachtungen in Bayern. Bibliotheca Lichenologica 4.

JÜRGING, P. (1979): Kartierungsanleitung zur Flechtenkartierung Ingolstadt; Methodenvergleich. Institut für Landschaftsökologie, TU München.

KIRSCHBAUM, U. & WIRTH, V. (1997): Flechten erkennen – Luftgüte bestimmen. Ulmer, Stuttgart, 128 S.

RAO, D. N., ROBITAILLE, G. & LE BLANC, F. (1977): Influence of heavy metal pollution on lichens and bryophytes. Journal of the Hattori Botanical Laboratora 42, 213-239.

SEITZ, W. (1975): Luftverunreinigung und Flechtenwuchs. Umwelt-Saar, Saarbrücken.

VDI-RICHTLINIE 3957, Blatt 13 (2005): Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen mit Flechten (Bioindikation). VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft 1a, Beuth-Verlag, Berlin.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.biologiezentrum.at

VDI-RICHTLINIE 3799, Blatt 1 (1995): Ermittlung und Beurteilung phytotoxischer Wirkungen von Immissionen mit Flechten: Flechtenkartierung zur Ermittlung des Luftgütewertes. VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft 1, Beuth-Verlag, Berlin.

WAHNSIEDLER, E. (1986): Beurteilung der lufthygienischen Situation von Augsburg durch Flechten als Bioindikatoren. In: FISCHER, K. [Hrsg.]: Beiträge zur physischen Geographie des Raumes Augsburg, Augsburger Geographische Hefte 8, S. 121-152.

WEIDMÜLLER, R. (1980): Epiphytische Flechtenkartierung Augsburg – Ein Versuch zur Beurteilung der lufthygienischen Situation. Unveröff. Diplomarbeit, TU München.

WINDISCH, U. & VORBECK, A. (1996): Flechten als Bioindikatoren der Luftgüte in Bayern. Unveröff. Gutachten im Auftrag des LfU, München.

WINDISCH, U., VORBECK, A. & PEICHL, L. (1997): Landesweite immissionsbezogene Flechtenkartierung in Bayern, die VDI-Richtlinie 3799 in der praktischen Prüfung. Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung 6, S. 397-402.

WIRTH, V. (1995): Flechtenflora: Bestimmung und Ökologische Kennzeichnung der Flechten Südwestdeutschlands und angrenzender Gebiete. 2. Aufl., Stuttgart: Ulmer, 661 S.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte des naturwiss. Vereins für Schwaben, Augsburg

Jahr/Year: 2010

Band/Volume: 114

Autor(en)/Author(s): Gumpp Alexandra, Friedmann Arne

Artikel/Article: Die Luftgüte im Stadtgebiet Augsburg 2008 - Bestimmung mittels Flechtenkartierung und ein Vergleich mit dem Jahr 1985 56-72