Ber. Naturwiss. Verein Bielefeld u. Umgegend	30	1989	15–47

Untersuchungen zur Luftgüte im Stadtgebiet von Gütersloh anhand epiphytischer Flechten als Bioindikatoren[1)]

Marion BORGSTEDT, Bielefeld
und
Almut GERHARDT, Bielefeld

Mit 10 Abbildungen und 3 Tabellen

Inhalt

Zusammenfassung 16
1. Zielsetzung 16
2. Das Untersuchungsgebiet 17
3. Methoden 18
   3.1 Auswahl der Untersuchungsbäume 18
   3.2 Aufnahme der Flechtenvegetation 20
   3.3 Ermittlung ausgewählter ökologischer Daten 21
   3.4 Berechnung des IAP–Wertes 21
   3.5 Kritische Anmerkungen zur Anwendung der IAP–Methode 25
4. Ergebnisse und Diskussion 26
   4.1 Kartierte Flechtenarten und ihre Verteilung auf die Untersuchungsbäume 26
   4.2 Verbreitung der Flechtenarten im Untersuchungsgebiet 29
   4.3 Toxitoleranzwerte 31
   4.4 Flechtenzonen 34
      4.4.1 Flechtenzonen und Rinden–pH–Werte 36
      4.4.2 Flechtenzonen und ökologische Einflüsse 39
      4.4.3 Flechtenzonen und Immissionsbelastung 41
5. Hinweise für Immissionsschutzmaßnahmen 43
6. Literatur 45

1) Die Arbeit stellt die gekürzte Fassung einer Staatsexamensarbeit (Fakultät für Biologie der Universität Bielefeld) dar. Einzeldaten können in der Originalarbeit eingesehen werden.

Verfasserinnen:
Prof. Dr. Almut Gerhardt, Universität Bielefeld, Fakultät für Biologie, Postfach 8640, D–4800 Bielefeld 1
Marion Borgstedt, Heidsieker Heide 61, D–4800 Bielefeld 15

Zusammenfassung

- Zur Untersuchung der Luftgüte in Gütersloh wurde in einem 102 qkm großen, das Stadtgebiet umfassenden Untersuchungsgebiet (UG) im Zeitraum von Juni 1986 bis Juli 1987 eine Kartierung der epiphytischen Flechtenvegetation durchgeführt. Erhebung und Auswertung der Daten richteten sich nach der von DE SLOOVER & LE BLANC (1968) entwickelten IAP – Methode.
- Zur Flechtenkartierung wurde das UG in 1 km^2 große Quadranten eingeteilt, und in jedem Quadranten wurden zehn Bäume (Porophyten) entsprechend methodisch vorgegebenen Kriterien ausgewählt. Im UG kamen dazu nur *Malus domestica, Pyrus communis* sowie *Tilia* – Arten in Frage.
- Insgesamt wurden 1020 Bäume untersucht und auf ihnen 45 epiphytische Flechtenarten (19 Krusten –, 18 Blatt – und 8 Strauchflechten) kartiert.
- Zur Charakterisierung der Standortverhältnisse wurden zusätzlich an jedem Untersuchungsbaum die Wind – und Lichtverhältnisse registriert sowie vier Rindenproben zur pH – Wert – Messung entnommen. Die ermittelten Rinden – pH – Werte lagen vorwiegend im Bereich von pH 4,0 – pH 4,9 und weisen auf Ansäuerung der Substrate hin.
- An acht ausgewählten Stationen erfolgten während des Untersuchungszeitraumes einmal wöchentlich Messungen des Niederschlags – pH – Wertes. Die vorwiegend im Bereich von pH 3,30 bis pH 4,50 liegenden Werte zeigen eine Ansäuerung der Niederschläge an.
- Anhand der Kartierungsergebnisse wurden für das UG vier Flechtenzonen ermittelt, die unterschiedlichen Immissionsbelastungen entsprechen. Das Stadtzentrum erweist sich als Zone der höchsten Luftbelastung.
- Auf der Basis der Ergebnisse werden Hinweise für Immissionsschutzmaßnahmen im UG gegeben.

1. Zielsetzung

Bestimmte Flechtenarten können als Bioindikatoren durch ihr Vorkommen, ihren Vitalitätsgrad und durch ihre Verteilung in einem Gebiet Hinweise auf die Luftqualität seiner einzelnen Bereiche geben. Dabei ist eine in einzelne Schadstoffe der Luft differenzierende Analyse aber nicht möglich, denn Flechten zeigen nur die biologisch wirksame Gesamtverunreinigung eines Gebietes an (JOHN 1981, VERHEYEN 1983).
Um eine Aussage über das Ausmaß und die flächenmäßige Verteilung der Luftbelastung in Gütersloh machen zu können, wurde die epiphytische Flechtenvegetation nach der IAP – Methode (IAP = index of atmospheric purity) im gesamten Stadtgebiet kartiert (DE SLOOVER & LE BLANC 1968). Um

mögliche Einflüsse ökologischer Faktoren auf das Vorkommen und die Verbreitung epiphytischer Flechtenarten im Untersuchungsgebiet (UG) zu ermitteln, waren begleitend zur Kartierung Messungen zu ausgewählten ökologischen Parametern durchzuführen.

2. Das Untersuchungsgebiet

Lage und Geologie. Das Untersuchungsgebiet (UG) erstreckt sich über das gesamte Stadtgebiet von Gütersloh und umfaßt eine Fläche von 102 qkm (Abb. 1). Der geologische Aufbau des in einer Kreidemulde liegenden Stadt-

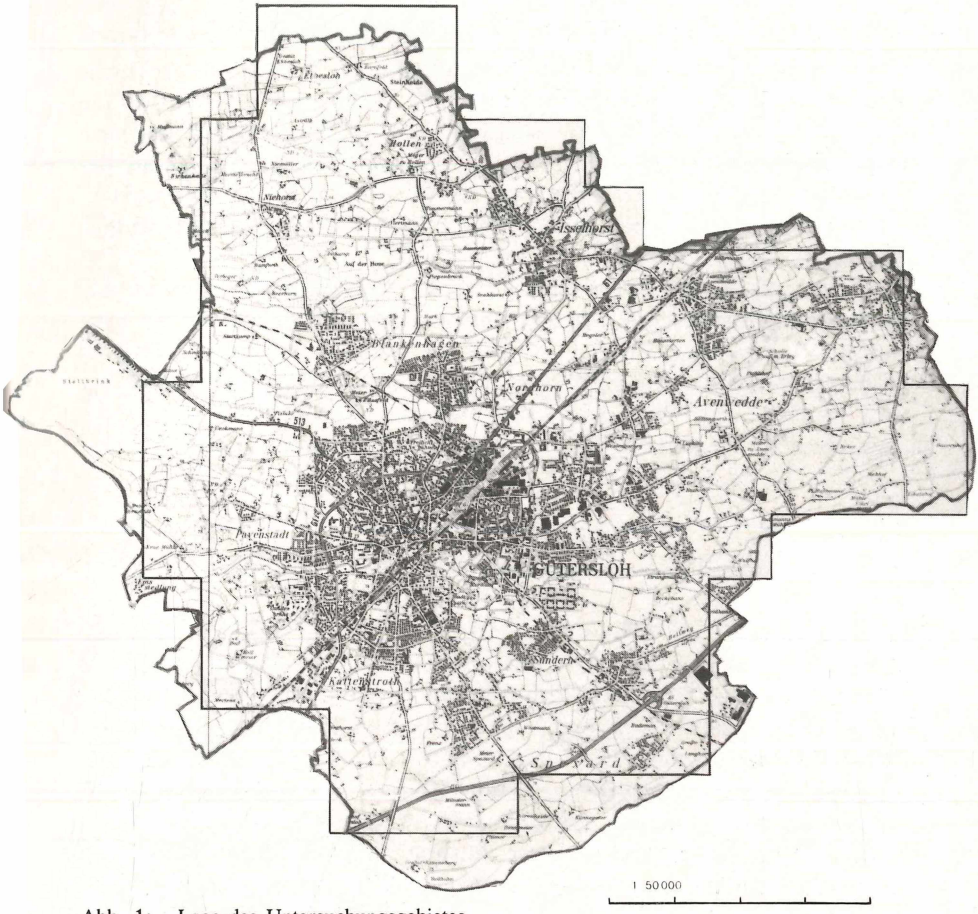


Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebietes

gebietes ist relativ homogen. Als Folge eiszeitlicher Schmelzwassersande durchzieht ein sandiger, basenarmer und nur an wenigen Stellen schwach humoser Boden das UG. Er wird nur in tieferen Schichten geringfügig durch Ton, Lehm und Mergel unterbrochen (STADT GÜTERSLOH 1975).

Klima. Gütersloh liegt im Einzugsbereich eines Klimas mit atlantischem Charakter: Die Temperaturen sind ausgeglichen, und die Luftfeuchtigkeit ist über das ganze Jahr hin relativ hoch und gleichbleibend. Die mittlere Jahrestemperatur beträgt 9,2°C, der Jahresdurchschnitt der Niederschläge 750 – 800 mm. Winde aus südwestlicher Richtung herrschen eindeutig vor (Einzeldaten vgl. BORGSTEDT 1988).

Wirtschaft und Verkehr. In den letzten Jahren hat sich Gütersloh (81000 Einwohner) zu einem bedeutenden Wirtschaftszentrum in Ostwestfalen – Lippe entwickelt. Unter den Industriezweigen sind das Ernährungsgewerbe und die Holzverarbeitung führend. Die meisten Handwerksbetriebe gehören dem Bauhandwerk und dem metallverarbeitenden Handwerk an. Die größte Gewerbefläche der Stadt befindet sich in der Nähe des zentral gelegenen Bahnhofs. Jedoch wird der mit Abstand größte Teil des UGs landwirtschaftlich genutzt.
Als wichtigste Hauptverkehrsstraßen sind im UG die Bundesautobahn A2, die durch den Südosten der Stadt verläuft, und zwei Bundesstraßen, die B 61 und B 513 zu nennen. Die B 61 verläuft mitten durch das UG und trifft im Stadtzentrum auf die, aus dem Nordwesten kommende, B 513. Parallel zur B 61 verläuft die vielgleisige Köln – Mindener – Eisenbahnlinie durch das Stadtgebiet. Im Nordwesten des UGs liegt der Militärflugplatz (Abb. 2).

3. Methoden

3.1 Auswahl der Untersuchungsbäume

Das UG wurde in 102 Quadranten von je 1 qkm Größe, entsprechend einem Viertel einer DGK 5 (Deutsche Grundkarte), eingeteilt. Dabei wurden 32 DGK 5 erfaßt und von Nord nach Süd durchnumeriert, wobei jedem Quadranten durch zusätzliche Numerierung eines jeden Viertels einer DGK 5 eine eindeutige Nummer zugeordnet wird (Abb. 7).
Pro Quadrant wurden 10 Bäume kartiert, die einer der folgenden Arten bzw. Gattung angehören mußten: Apfelbaum *(Malus domestica)*, Birnbaum *(Pyrus communis)* und Linde *(Tilia)*. Diese Auswahl der Untersuchungsbaumarten ergab sich aufgrund einer Voruntersuchung im UG. Apfel – und Birnbäume

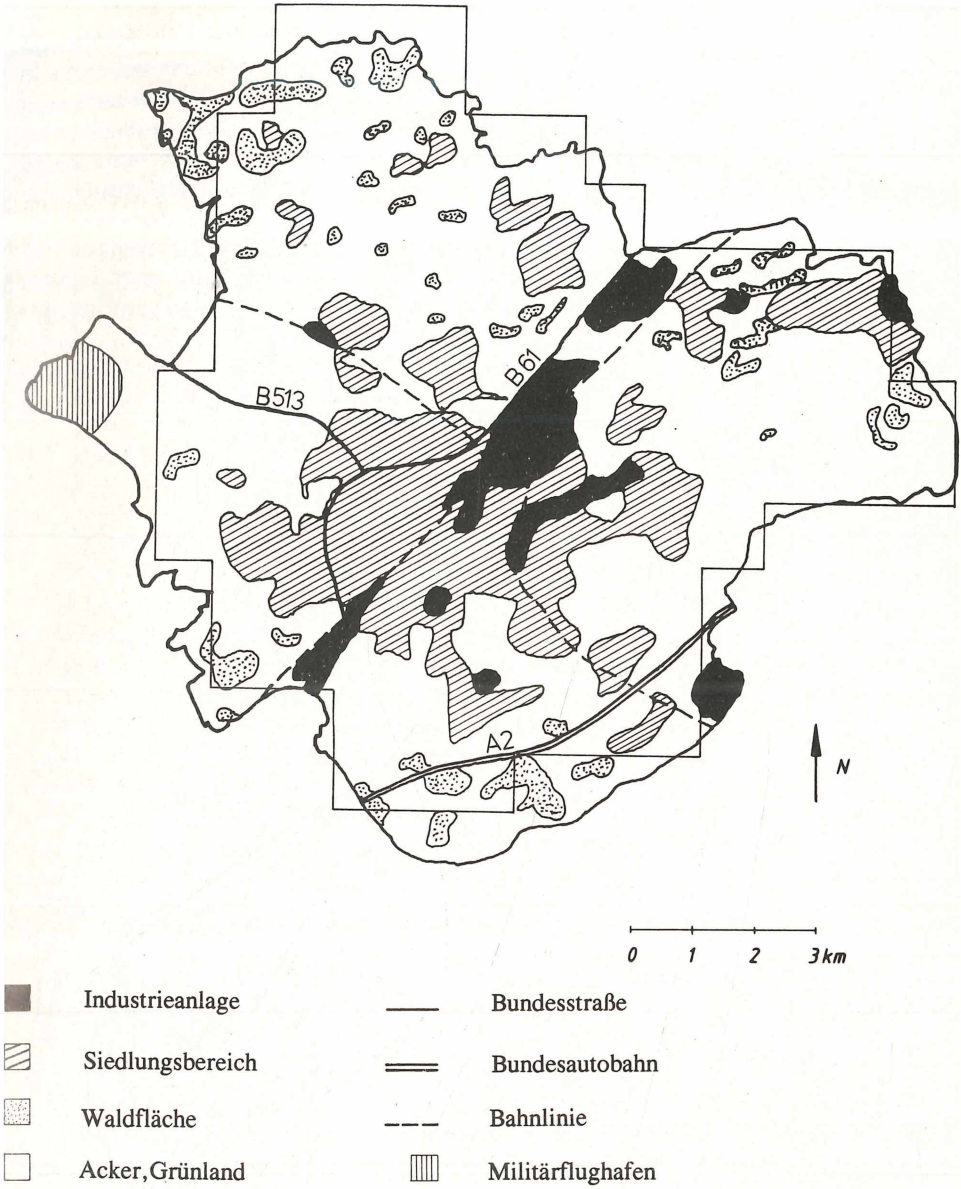


Abb. 2: Die Verteilung von Nutzflächen und Verkehrsadern im Untersuchungsgebiet

waren häufig in Gärten und auf Obstwiesen, die Linden sehr oft auf Bauernhöfen zu finden. Durch die Wahl dieser Baumarten im Stadtzentrum sowie in den Außenbezirken konnte die erforderliche Anzahl von 10 Untersuchungsbäumen pro Quadrant erreicht werden. Um möglichst einheitliche Standortbedingungen zu gewährleisten, mußten die Untersuchungsbäume entsprechend der Methode bestimmte Bedingungen (relativ freistehend, möglichst gerade gewachsen, chemisch unbehandelt, nicht beschädigt oder morsch) und Mindestanforderungen (bis 1,30 m Höhe unbeastet, Umfang bei Apfel– und Birnbaum größer als 50 cm und bei Linde größer als 80 cm) erfüllen (Abb. 3a). Das Gebiet rund um den Militärflugplatz konnte nicht untersucht werden, da hier nicht genügend Bäume vorhanden waren, die den Kartierungsbedingungen entsprachen.

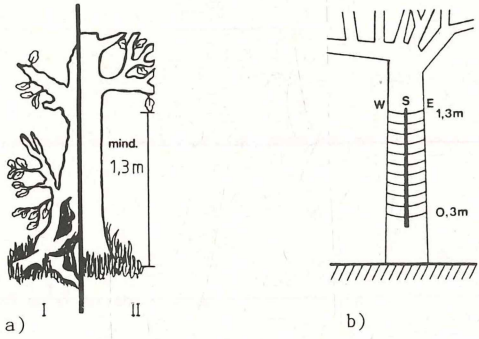


Abb. 3: Informationen zum Untersuchungsbaum
a) Zur Kartierung der Flechtenarten muß der Baum bestimmten Kriterien genügen (s. Text). I: ungeeignet; II: geeignet
b) An einen Baum angelegtes Aufnahmegitter

3.2 Aufnahme der Flechtenvegetation

Der Flechtenbewuchs eines Baumes wurde mit Hilfe eines Aufnahmegitters, das die Stammfläche von 0,30 m bis in 1,30 m Höhe in 40 gleich große Felder einteilt, erfaßt (Abb. 3b). Der Deckungsgrad jeder einzelnen Flechtenart wurde pro Feld nach der folgenden 7–stufigen Skala bewertet und in ein gesondertes Bearbeitungsblatt eingetragen:

Code	Deckungsgrad	Code	Deckungsgrad
0	0 %	4	11–25 %
1	>0–1 %	5	26–50 %
2	2–5 %	6	>50 %
3	6–10 %		

Die Abbildung 6 zeigt ein Beispiel eines ausgefüllten Bearbeitungsblattes, wie es gesondert für jede Art der auf den zehn Bäumen (B1 – B10) des jeweiligen Quadranten vorkommenden Flechten erstellt wurde. Durch Ermittlung des Deckungsgrades konnte gleichzeitig die Frequenz, d.h. in wievielen Feldern am Baum die Flechte vorkommt, erfaßt werden.
Auf einem gesonderten Aufnahmeblatt (Abb. 4), das für jeden Untersuchungsbaum ausgefüllt wurde, wurden dann für jede seiner im Beobachtungsfeld ermittelten Flechtenarten Deckungsgrad (Mittelwert) und Frequenz (Mittelwert) sowie beobachtete Besonderheiten eingetragen. Für den Baum selbst wurden Angaben zu Standortfaktoren sowie zu seiner Rindenbeschaffenheit gemacht. Bei den mit einem + markierten ökologischen Parametern handelt es sich um mit Ziffern codierte Daten. Die Bedeutung der Codierungsziffern kann den Codetabellen in Abbildung 5 entnommen werden.

3.3 Ermittlung ausgewählter ökologischer Daten

Da Kleinklima und pH–Wert einen besonderen Einfluß auf Vorkommen und Ausprägung von Flechten haben, wurden zu diesen Parametern Daten –vor allem im Bereich der Quadrantbäume– erhoben.
Eine besondere Berücksichtigung fand die Ermittlung des Rinden–pH–Wertes, die an Rindenstücken durchgeführt wurde, die jedem Untersuchungsbaum in Brusthöhe und Kniehöhe auf der Wetterseite und der wetterabgewandten Seite entnommen wurden. Die Bestimmung der Rinden–pH–Werte erfolgte im Labor mit Hilfe eines pH–Meters WTW 56 (vgl. JÜRGING 1975, GERHARDT & GRÖßER–HELLRIEGEL 1983).
Darüber hinaus wurden an acht ausgewählten Standorten, die von nordöstlicher nach südwestlicher Richtung entlang drei paralleler Achsen im UG verteilt waren, während des einjährigen Untersuchungszeitraumes wöchentlich Maximum– und Minimum–Temperaturen, Niederschlags–pH–Werte und relative Luftfeuchtigkeit gemessen. Die durch diese Messungen ermittelten Daten können bei BORGSTEDT (1988) eingesehen werden.

3.4 Die Berechnung des IAP–Wertes

Die Auswertung der Kartierungsdaten erfolgte in Anlehnung an DE SLOOVER & LE BLANC (1968, 1970) nach folgender Formel:

$$IAP = 10 \times \sum_{j=1}^{n} (Q_j \times f_j)$$

Dabei bedeuten:
n = Anzahl der Flechtenarten pro Quadrant
Q = Toxitoleranzwert
f = Frequenz–Deckungsgrad jeder Flechtenart pro Quadrant
j = Flechtenart

AUFNAHMEBLATT Bearbeiterin: MB | Datum: 25.5.87

Geographische Lage

Straßenname, Haus-Nr.: Auf der Reihe 30

Koordinaten RW: 3458,4 HW: 5750,6

Höhenlage:	Name der DGK:	Quadrant-Nr.:	Baum-Nr.:
78,75 mÜNN	Gütersloh Südost	28.3	18

Baumart: Malus domestica | Bestand+: 3 | Lage+: 4.2

Anthropogene Einflüsse

nächste Straße	nächstes Gebäude	nächster Emittent
A: II	A: Do	A: Industriegebiet
E: 35m	E: 30m / 25m	E: 300m
R: W	R: S / N	R: E

sonstige Angaben: - kniehohes Gras
- im N Hecke in 6m Entfernung, im E Tannenreihe in 4m Entfernung

Substrateinflüsse

Stammumfang (0,3-1,3m): Max.	Min.	Mittelwert	Stammhöhe:	Stammneigung, Neigungsr.:
1,16	1,06	1,11 (m)	1,65 m	☐ senkrecht — ☒ 12 ° → N

sonstige Angaben: kleine Rinne im S

Borkenbeschaffenh.+: R: 2 F: 2

B.-pH-Wert: Kniehöhe, Wetters.( ): 4,67; Kniehöhe, abgewan.( ): 3,34; Brusth., Wetters.( ): 4,56; Brusth., abgewan.( ): 3,82

Ökologische Einflüsse

Lichtfaktor+: 2

Windfaktor+: 2

Anmerkungen: Baum steht am Dienstweg; im E hinter Tannenreihe landwirtschaftliche Felder

Flechtenarten	Deckungsgrad am Stamm(D_S)●	Frequenz am Stamm(F_S)●	Besonderh. im äußeren Erscheinungsbild fr.	nfr.	
Buellia punctata	0,032	0,425	X		
Candelariella reflexa	0,0011$\bar{6}$	0,025		X	größere Flächen nur in Rinne
Lecanora conizaeoides	0,013$\bar{6}$	0,475	X		
Physcia tenella	0,0041$\bar{6}$	0,175		X	teilweise mit Sorale

+ Codierungsskala im Folgenden
● ergibt sich bei der IAP-Berechnung

fr.:= fruchtend
nfr.:= nichtfruchtend

Abb. 4: Beispiel eines ausgefüllten Aufnahmeblattes

Code	Bestand
1	einzelstehend
2	kleine Baumgruppe (bis 5)
3	große Baumgruppe (> 5)
4	Baumreihe

Code	Lage
1.1	Bundesstraße
1.2	IA – Straße (Straße mit etwa 5 m Fahrbahnbreite)
1.3	IB – Straße (Straße mit etwa 4 m Fahrbahnbreite)
1.4	II – Straße (Fahrweg)
1.5	III – Straße (Feld – und Waldweg)
2	Hoffläche
3	in lichten bzw. am Rande von Parks, Friedhöfen u.ä.
4.1	Obstwiese mit Viehnutzung
4.2	Obstwiese ohne Viehnutzung
5	Garten

Borkenbeschaffenheit			
Code	Rissigkeit	Code	Festigkeit
1	ohne Risse	1	festhaftend
2	leichtrissig Risse bis 0,5 cm	2	stellenweise abblätternd
3	rissig	3	abblätternd
4	stark rissig Risse über 1 cm		

Code	Lichtverhältnisse
1	schattig
2	nicht besonnt, doch hell oder kurze Zeit tagsüber besonnt
3	hell und sonnig

Code	Windeinfluß
1	fehlend, Baum geschützt
2	abgemildert
3	stark, Baum ungeschützt

Abb. 5: Codetabellen zur Charakterisierung der Standort – und Rindenverhältnisse der Untersuchungsbäume

Nach der o.g. Formel wird pro Quadrant der IAP – Wert, ein Luftreinheitsindex, ermittelt. Dabei wird der f – Wert als arithmetischer Mittelwert aus Deckungsgrad und Frequenz für jede einzelne Flechtenart im Quadranten berechnet. Es gilt die Aussage, je höher der f – Wert, desto besser die Luftqualität. Der Toxitoleranzwert Q (Q – Wert) kann als Resistenzgrad jeder einzelnen Flechtenart gegenüber Luftschadstoffen aufgefaßt werden. Die Berechnung dieses Q – Wertes erfolgt nach der Formel:

$$Q = n_1 : n_2$$

Dabei bedeuten:

n_1 = Gesamtzahl der begleitenden Flechten der Quadranten, in denen die zu betrachtende Flechte vorkommt.

n_2 = Anzahl der Quadranten, in denen die zu betrachtende Flechte vorkommt.

Der Toxitoleranzwert, als mittlere Anzahl der begleitenden Flechten einer Flechtenart im gesamten UG, stellt eine Konstante dar und wird somit nicht quadrantweise berechnet. Je niedriger der Q–Wert, d.h. mit je weniger Arten eine Flechtenart im Mittel vorkommt, um so größer ist ihre Toxitoleranz. Gegenüber Luftverschmutzung empfindliche Arten siedeln erst dort, wo schon andere weniger sensible Arten vorkommen und weisen somit einen höheren Q–Wert auf. In einem Gebiet mit erhöhter Luftbelastung sind toxitolerante Flechtenarten mit niedrigeren Q–Werten zu vermuten. Insgesamt gilt die Aussage: Je niedriger der IAP–Wert, desto niedriger der Q– und f–Wert und desto größer die wahrscheinliche Luftbelastung.

Im folgenden soll in einer Beispielrechnung der IAP–Wert für den Quadranten 2.4 berechnet werden. In diesem Quadranten wurden 4 Flechtenarten kartiert. Anhand des Beispiels von *Buellia punctata* soll zunächst die f–Wert–Bestimmung erläutert werden (vgl. Abb. 6).

ART: *Buellia punctata* QUADRANT-NR.: 2.4 Bearbeiterin: HB Datum: 3.6.–5.6.84

B1	SW	NW	NE	SE
1	0	1	1	0
2	0	1	0	1
3	0	0	0	1
4	0	1	0	0
5	0	0	0	0
6	1	0	0	0
7	1	0	0	0
8	1	0	0	0
9	2	0	0	0
10	3	0	0	0

B2	SW	NW	NE	SE
1	6	1	0	4
2	6	1	1	4
3	4	1	0	3
4	6	0	0	2
5	4	0	0	2
6	4	0	0	1
7	3	1	0	1
8	4	0	0	1
9	5	0	0	1
10	5	1	0	3

B3	SW	NW	NE	SE
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

B4	SW	NW	NE	SE
1	3	2	4	3
2	4	2	4	4
3	3	1	5	3
4	3	2	5	2
5	3	2	5	4
6	3	0	5	4
7	3	0	5	4
8	2	0	3	4
9	2	0	2	0
10	0	0	1	0

B5	SW	NW	NE	SE
1	3	0	0	1
2	3	0	0	2
3	3	0	0	2
4	3	0	0	2
5	4	0	0	4
6	6	0	0	4
7	5	1	0	4
8	5	1	0	3
9	4	0	0	3
10	3	0	0	4

B6	SW	NW	NE	SE
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

B7	SW	NW	NE	SE
1	3	4	0	0
2	4	4	0	0
3	4	3	0	0
4	3	4	0	0
5	4	4	0	0
6	4	4	0	0
7	4	4	1	1
8	3	3	0	0
9	3	2	0	0
10	3	3	1	0

B8	SW	NW	NE	SE
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

B9	SW	NW	NE	SE
1	1	0	0	0
2	2	0	0	0
3	0	0	0	0
4	1	0	0	0
5	1	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0

B10	SW	NW	NE	SE
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

Abb. 6: Beispiel eines ausgefüllten Blattes zur Bewertung des Flechten–Deckungsgrades

1. Ermittlung der Frequenz

In dem Quadranten 2.4 waren die Bäume 1,2,4,5,7,9 von dieser Flechte besiedelt.

Für Baum 1 z.B., wo in 11 von 40 Feldern die Flechte registriert wurde, ergibt sich folgender

Stamm–Frequenzwert: $F_s = 11 : 40 = 0{,}275$

Für den Quadranten 2.4 ergibt sich unter Berücksichtigung aller Bäume folgender:
Quadrant – Frequenzwert: $F_Q = 1/10 \times (0{,}275 + 0{,}65 + 0{,}8 + 0{,}55 + 0{,}575 + 0{,}1) = 0{,}295$

2. Ermittlung des Deckungsgrades

Bei Berücksichtigung aller Bäume erhält man für den Deckungsgrad:
$D_Q = 0{,}04983$

3. Ermittlung des f – Wertes

$f = (D_Q + F_Q) : 2 = (0{,}04983 + 0{,}295) : 2 = \underline{0{,}172415}$

Es folgen beispielhaft für *Buellia punctata* die Ermittlung des Q – Wertes und danach die Bestimmung des IAP – Wertes für den Quadranten 2.4.

4. Ermittlung des Q – Wertes

Buellia punctata konnte in 99 Quadranten gefunden werden, die Summe aller begleitenden Flechten in diesen Quadranten beträgt 601. Danach erhält man folgenden Toxitoleranzwert:
$Q = n_1 : n_2 = 601 : 99 = \underline{6{,}07}$

5. Ermittlung des IAP – Wertes

Nach dem obigen Rechenschema erhält man für die 4 Flechtenarten im Quadranten 2.4 folgende Werte:

Flechtenarten	Q – Wert	f – Wert	Q x f
Buellia punctata	6,07	0,172415	1,046681
Candelariella reflexa	6,174603	0,025842	0,159564
Lecanora conizaeoides	5,990196	0,278625	1,669018
Physcia tenella	6,02	0,105421	0,634656
			$\sum$ 3,509919

Also ergibt sich für den IAP – Wert:
$IAP = 10 \times \sum_{j=1}^{4} (Q_j \times f_j) = 10 \times 3{,}509919 = 35{,}09919$
$IAP = \underline{35{,}10}$

3.5 Kritische Anmerkungen zur Anwendung der IAP – Methode

Charakteristikum der IAP – Methode ist die Berechnung eines IAP – Wertes, eines Luftreinheitsgrades unter Verwendung einer feststehenden Formel. Die Art und Weise der Aufnahme der Flechtenvegetation wird jedoch, je nach Untersuchungsgebiet und Autor, immer wieder abgeändert, so daß man nicht von einer standardisierten Untersuchungsmethode sprechen kann. Daher lassen sich einerseits verschiedene nach der IAP – Methode durchgeführte Untersuchungen nicht vergleichen, andererseits ist jedoch die Möglichkeit gegeben, die Methode dem jeweiligen Untersuchungsgebiet anzupassen. So wurden im Rahmen dieser Untersuchung drei Baumarten als Untersuchungsbäume ausgewählt, um das UG in relativ kleine Quadranten von 1 qkm Größe einteilen zu können. Bei einer Festlegung auf weniger als drei Baumarten hätte der gefor-

derten Anzahl von zehn Bäumen pro Quadrant nicht mehr entsprochen werden können. Diese Festlegung auf zehn Untersuchungsbäume dient gesicherten, repräsentativen Aussagen.
Manche Untersuchungsbäume entsprachen nicht in allen Punkten den gestellten Anforderungen. So wiesen einige kartierte Apfelbäume starke Inklinationen auf, bei anderen Bäumen war ein biotischer Einfluß, z.B. Viehverbiß oder Kalkung, sichtbar, manche Porophyten standen nicht frei, sondern zu nah an Gebäuden oder anderen Bäumen. Abgesehen von den wenigen Bäumen, die nicht in allen Punkten den methodischen Vorgaben entsprachen, konnte jedoch im UG auf ein großes Angebot geeigneter Untersuchungsbäume zurückgegriffen werden, so daß bei dieser Untersuchung den Vorgaben weitgehend entsprochen werden konnten.

4. Ergebnisse und Diskussion

4.1 Kartierte Flechtenarten und ihre Verteilung auf die Untersuchungsbäume

Insgesamt wurden 45 verschiedene epiphytische Flechtenarten im UG gefunden. Dazu kommt ein aufgrund seiner verkümmerten Ausprägung nur bis zur Gattung bestimmbarer *Usnea*–Fund (Tab. 1).
Die Zahl der kartierten epiphytischen Flechten erscheint nicht sehr hoch. Da –methodisch bedingt– nur drei Baumarten untersucht wurden, ist es durchaus möglich, daß nicht alle epiphytischen Flechtenarten im UG erfaßt wurden. Auch sind die oftmals sehr unscheinbaren Krustenflechten im Gelände leicht zu übersehen.
Bei einer weiteren Kartierung epiphytischer Flechtenarten, die nach einer anderen Methode 1986/87 in Gütersloh durchgeführt wurde (HIPPE 1988), wurden jedoch auch nur 44 Arten, diesmal aber auf 16 verschiedenen Baumarten, kartiert. Obwohl in dieser Untersuchung keine Festlegung auf bestimmte Baumarten erfolgte, sondern jeweils die flechtenreichsten Porophyten pro Quadrant aufgenommen wurden, wurden bis auf wenige Ausnahmen (*Buellia griseovirens, Cladonia rei, Cladonia glauca, Evernia prunastri, Phlyctis argena*) dieselben Flechtenarten wie in der vorliegenden Untersuchung registriert.
Von den in dieser Untersuchung kartierten 45 Flechtenarten lassen sich nach ihrer Wuchsform 19 den Krustenflechten, 18 den Blattflechten und 8 den Strauchflechten zuordnen. Die in der Kartierung in der Artenzahl dominierenden Krustenflechten sind gegenüber Immissionen zumeist nicht sehr empfindlich. Die kartierten Blatt– und Strauchflechten, die relativ empfindlich gegenüber Immissionen sind, zeichnen sich vor allem bei den in Ostwestfalen selten vorkommenden Gattungen, wie *Usnea, Ramalina* und *Evernia* durch eine geringe Vitalität aus.

Tab. 1: Die im Untersuchungsgebiet kartierten Flechtenarten und ihre Verteilung auf die Baumarten
M: Malus domestica; P: Pyrus communis; T: Tilia–Arten
B: Blattflechte; St: Strauchflechte; K: Krustenflechte
+: bei der IAP–Berechnung berücksichtigte Art
(Nomenklatur nach WIRTH 1980)

Flechtenart	Häufigkeit an Bäumen insgesamt	davon M	P	T	Wuchs–form
+ *Buellia punctata* (Hoffm.) Massal.	617	351	195	71	K
Caloplaca citrina (Hoffm.) Th. Fr.	2	1	–	1	K
Caloplaca holocarpa (Hoffm.) Wade	7	–	–	7	K
+ *Candelariella aurella* (Hoffm.) Zahlbr.	50	3	3	44	K
+ *Candelariella reflexa* (Nyl.) Lettau	131	126	5	–	K
+ *Candelariella vittelina* (Hoffm.) Müll. Arg.	41	4	5	32	K
+ *Candelariella xanthostigma* (Ach.) Lettau	17	5	9	3	K
Cladonia anomaea Athi & P. James	9	3	6	–	St
Cladonia chlorophaea (Flörke ex Sommerf.) Sprengel	1	1	–	–	St
+ *Cladonia coniocraea* (Flörke) Sprengel	14	11	3	–	St
Cladonia fimbriata (L.) Fr.	4	4	–	–	St
Cladonia squamosa (Scop.) Hoffm.	1	1	–	–	St
(*Cladonia spec.*	4	3	1	–	St)
Cyphelium inquinans (Sm.) Trevisan	1	1	–	–	K
+ *Hypocenomyce scalaris* (Ach.) Choisy	21	–	8	13	K
+ *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.	46	28	11	7	B
Hypogymnia tubulosa (Schaerer) Havaas	2	1	–	1	B
+ *Lecanora conizaeoides* Nyl. ex Crombie	756	366	282	108	K
+ *Lecanora dispersa* (Pers.) Sommerf.	83	14	10	59	K
Lecanora expallens Ach.	42	10	31	1	K
Lecanora hageni (Ach.) Ach	5	1	–	4	K
Lecanora muralis (Schreber) Havaas	5	–	1	4	K
Lecanora saligna (Schrader) Zahlbr.	9	4	3	2	K
Lecanora umbrina (Ehrh.) Massal.	5	1	–	4	K
Lepraria incana (L) Ach.	112	91	19	2	K
Parmelia acetabulum (Necker) Duby	1	–	1	–	B
Parmelia elegantula (Zahlbr.) Szat.	1	1	–	–	B
Parmelia exasperatula Nyl.	3	3	–	–	B
Parmelia glabratula (Lamy) Nyl.	1	1	–	–	B
+ *Parmelia saxatilis* (L.) Ach.	13	6	1	6	B
Parmelia subrudecta Nyl.	4	1	3	–	B
Parmelia sulcata Taylor	8	6	1	1	B
(*Parmelia grau spec.*	8	6	1	1	B)
(*Parmelia braun spec.*	1	1	–	–	B)
+ *Physcia adscendens* (Fr.) H. Olivier	57	38	6	13	B
+ *Physcia caesia* (Hoffm.) Fürnrohr	50	18	9	23	B
+ *Physcia dubia* (Hoffm.) Lettau	15	–	3	12	B
+ *Physcia orbicularis* (Necker) Poetsch	118	62	8	48	B
+ *Physcia tenella* (Scop.) DC.	496	363	96	37	B
Physconia grisea (Lam.) Poelt	1	–	–	1	B
Pseudevernia fufuracae (L.) Zopf	2	–	–	2	St
Ramalina farinacea (L.) Ach.	1	1	–	–	St
Scoliciosporum chlorococcum (Graewe ex Stenh.) Vezda	1	1	–	–	K
Strangospora pinicola (Massal.) Koerber	2	1	–	1	K
Usnea spec.	1	1	–	–	St
+ *Xanthoria candelaria* (L.) Th. Fr.	33	8	14	11	B
+ *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr.	24	1	–	23	B
Xanthoria polycarpa (Hoffm.) Rieber	4	–	–	4	B

Abgesehen von den Krustenflechten *Lepraria incana* und *Lecanora expallens* wurden nur 18 Flechtenarten an mehr als 1 % der untersuchten Bäume gefunden (1020 Bäume = 100 %). Um Zufallsfunde auszuschließen und die Aussagen besser abzusichern, wurden nur diese Arten (in Tabelle 1 mit + gekennzeichnet) bei der IAP – Berechnung berücksichtigt. Weiterhin konnten zehn Flechtenarten nur einmal registriert werden, und nur die folgenden fünf Flechtenarten wurden an mehr als 10% der Bäume kartiert: *Buellia punctata, Candelariella reflexa, Lecanora conizaeoides, Physcia orbicularis* und *Physcia tenella*. Sie können im UG als häufige Arten gelten. Vergleicht man die Bäume im Hinblick auf die Häufigkeit der Kartierung, so ist festzustellen: Der Apfelbaum stellt mit 54,3 % die am häufigsten kartierte Baumart dar, es folgen Birnbäume mit 33,7 % und Linden mit 12 %. Einige Flechtenarten siedelten im UG, bezogen auf die drei Baumarten, nur auf bestimmten Substraten. So wurden (unter den häufiger kartierten Flechten) *Cladonia* – Arten nie auf Linde und *Hypocenomyce scalaris* sowie *Physcia dubia* nie auf Apfelbäumen gefunden. *Candelariella reflexa* und *Physcia tenella* kamen vorwiegend auf *Malus domestica* vor, während *Candelariella aurella, Candelariella vittelina, Lecanora dispersa* und *Xanthoria parietina Tilia* – Arten bevorzugten. Diese Bevorzugung bestimmter Substrate kann als Folge unterschiedlicher Standortansprüche der verschiedenen Flechtenarten verstanden werden. So können einerseits artspezifische Charakteristika (z.B. Rinden – pH – Wert, Oberflächenstruktur), andererseits unterschiedlich ökologische Standortbedingungen (Klima, biotischer Einfluß) der kartierten Bäume Ursachen für die Verteilung der Flechtenarten auf die Untersuchungsbäume sein. Die Oberflächenstruktur, meist wurden Bäume mit leicht rissiger Rinde kartiert, ist von geringerer Bedeutung für die Flechtenverbreitung im UG.
Eine entscheidende Rolle dagegen spielt der Rinden – pH – Wert der Untersuchungsbäume. Die kartierten Bäume sind durch artspezifische Rinden – pH – Werte charakterisiert. So ist in Reinluftgebieten die Rinde von Apfelbaum und Linden mäßig sauer (pH 4,9 – 5,6) von Birnbäumen ziemlich sauer (pH 4,1 – 4,8) (WIRTH 1980). Auch im UG wurden artspezifische Rinden – pH – Werte für die unterschiedlichen Baumarten ermittelt (Apfel vorwiegend pH 4,6 – 5,1, Birne vorwiegend pH 3,9 – 4,2, Linde vorwiegend pH 4,4 – 4,9). Sie sind als Ursache für die Flechtenverbreitung bzw. – zonierung mit heranzuziehen (vgl. dazu Kap. 4.4.1).
Die im UG untersuchten Baumarten waren häufig durch eine charakteristische Lage gekennzeichnet. Apfel – und Birnbäume standen sehr häufig in Gärten und Obstwiesen. Vor allem bei Flächen mit landwirtschaftlicher Nutzung, z.B. bei Obstwiesen mit Viehnutzung, wird die Ausbreitung nitrophytischer (stickstoffliebender) Arten wie *Buellia punctata, Candelariella reflexa* oder *Physcia tenella* begünstigt (vgl. dazu Kap. 4.4.2). Die Linden im UG wurden

oft in der Nähe landwirtschaftlicher Wege oder an Straßen registriert. Als Folge sind einige der in die IAP – Untersuchung eingehenden Linden durch herausragende ökologische Standortbedingungen gekennzeichnet: Die "Staubimprägnierung" von Straßenbäumen fördert z.B. die Ansiedlung coniophytischer, d.h. staubertragender, Flechtenarten wie z.B. *Candelariella aurella, Candelariella vittelina, Physcia dubia, Xanthoria parietina, Xanthoria polycarpa.*

4.2 Verbreitung der Flechtenarten im Untersuchungsgebiet

Neben der Verteilung der Flechtenarten auf die verschiedenen Baumarten ist die Verbreitung der Flechten im UG von Interesse.
Die Abbildung 7 gibt eine Übersicht über die Zahl der in den einzelnen Quadranten des UGs gefundenen Flechtenarten. Bezogen auf die 18 in die IAP – Rechnung eingehenden Flechtenarten wurden maximal 13 Flechtenarten (Quadrant 11.3), minimal 3 Flechtenarten (Quadranten 3.4, 21.4, 22.2, 23.3) pro Quadrant kartiert. Auffällig ist die geringe Anzahl gefundener Flechtenarten im ländlichen Norden des UGs. Hier wurden hauptsächlich nitrophytische Flechtenarten (*Buellia punctata, Candelariella reflexa, Physcia tenella*) gefunden, die nur kleine Flächen am Baum besiedelten. Dieses Gebiet kann daher als auffallend flechtenarm bezeichnet werden (vgl. Kap. 4.4). Auch im Stadtzentrum (Quadranten 14.1 – 4, 15.1 – 4, 21.1 – 4, 22.1 – 4, 27.1 – 4, 28.1 – 4) konnten meistens nur sehr wenige Flechtenarten gefunden werden. Einige Quadranten (15.3, 15.4, 27.1) in diesem Bereich sind jedoch durch das Vorkommen einer relativ hohen Anzahl von Flechtenarten gekennzeichnet. Dabei handelte es sich vor allem um coniophytische Krustenflechten (*Candelariella aurella, Candelariella vittelina, Lecanora dispersa*), die mit geringer Deckung auf staubimprägnierten Linden gefunden wurden. Auch die hohe Anzahl von Flechtenarten in den östlichen Quadranten (17.1 – 4, 18.1 – 4) erklärt sich vor allem durch die Kartierung von Linden an landwirtschaftlichen Wegen oder Straßen; diese Bäume zeichneten sich durch ein relativ reiches Flechtenarteninventar aus (vgl. Kap. 4.4.2).
Ähnliche Aussagen über die Flechtenverbreitung im UG erhält man bei Berücksichtigung aller gefundenen Flechtenarten (Abb. 7). Danach wurden maximal 17 Flechtenarten (Quadrant 8.4), minimal 4 Flechtenarten (Quadranten 6.3, 12.4, 13.3, 21.4, 22.3) pro Quadrant kartiert. Im Schnitt konnten pro Quadrant zusätzlich zwei weitere Arten gefunden werden.
Bei der IAP – Berechnung werden mehrere Faktoren (Anzahl, Deckungsgrad, Toxitoleranz) berücksichtigt, so daß aus der Anzahl der Flechtenarten pro Quadrant allein nur eine Tendenz über die flächenmäßige Verteilung der Luftbelastung in Gütersloh abgelesen werden kann. So können einerseits

			1.4 3/5	2.3 4/6	2.4 4/6						
			3.2 5/5	4.1 5/7	4.2 4/6						
	3.3 10/12	3.4 9/10	4.3 6/8	4.4 7/8	5.3 5/6	5.4 5/6					
	6.1 10/13	6.2 6/8	7.1 9/12	7.2 7/9	8.1 7/7	8.2 8/11	9.1 11/13				
	6.3 4/4	6.4 8/10	7.3 7/7	7.4 8/9	8.3 8/12	8.4 12/17	9.3 10/11	9.4 10/11	10.3 11/12	10.4 8/9	11.3 13/15
	13.1 5/6	13.2 7/8	14.1 7/7	14.2 5/6	15.1 4/5	15.2 7/7	16.1 6/8	16.2 8/8	17.1 7/7	17.2 12/14	18.1 8/9
12.4 4/4	13.3 4/4	13.4 5/8	14.3 7/8	14.4 6/8	15.3 12/14	15.4 11/12	16.3 5/5	16.4 8/9	17.3 12/16	17.4 11/14	18.3 12/13	18.4 6/7
19.2 5/8	20.1 7/10	20.2 6/7	21.1 6/9	21.2 7/8	22.1 5/5	22.2 3/4	23.1 4/5	23.2 4/7	24.1 9/11	24.2 12/15	25.1 9/11	25.2 7/8
19.4 8/10	20.3 5/7	20.4 6/9	21.3 7/8	21.4 3/4	22.3 7/9	22.4 6/6	23.3 3/5	23.4 8/9	24.3 8/8			
	26.1 6/9	26.2 7/9	27.1 10/13	27.2 4/7	28.1 7/8	28.2 8/10	29.1 5/7	29.2 10/12				
	26.3 8/11	26.4 10/13	27.3 7/8	27.4 4/5	28.3 6/9	28.4 4/5	29.3 8/9	29.4 6/7				
			30.1 5/6	30.2 4/6	31.1 9/11	31.2 4/7	32.1 5/6	32.2 8/10				
			30.3 4/6	30.4 6/8	31.3 10/12							

Abb. 7: Die Anzahl der kartierten Flechtenarten pro Quadrant
(Die Quadrantnummern beziehen sich auf die Durchnumerierung der DGK 5, vgl. Text, dort auch weitere Erläuterungen)

z x/y

x: Anzahl der in die IAP-Rechnung eingehenden Flechtenarten pro Quadrant

y: Anzahl der gefundenen Flechtenarten pro Quadrant

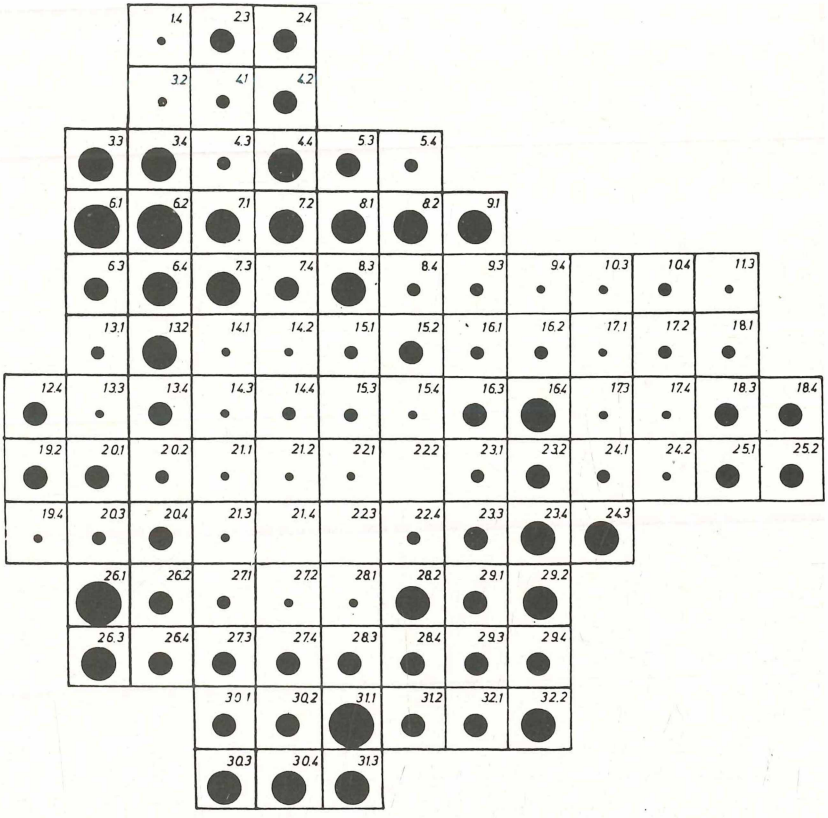
z: Quadrant-Nummer

Quadranten (bezogen auf die in die Rechnung eingehenden 18 Arten) mit einer relativ hohen Anzahl von Flechtenarten (z.B. 13.2, 14.1, 14.3, 15.2, 21.3, 22.3 mit 7 Arten) der Zone "schlechtester" Luftqualität (Zone IV) und andererseits Quadranten mit einer ähnlichen Anzahl von Arten (z.B. 26.1 mit 6 Arten) der Zone "bester" Luftqualität (Zone I) zugeordnet werden. Ganz generell gilt jedoch die Aussage: Je flechtenreicher ein Gebiet ist, desto besser ist seine Luftqualtät (vgl. Kap. 4.4).
Eine differenziertere Aussage erhält man, wenn man nicht nur die Frequenz, d.h. Vorkommen und Nichtvorkommen, sondern zusätzlich auch den Deckungsgrad der einzelnen Flechtenarten am Baum berücksichtigt. Aus

diesem Grund wurde für jede der 18 häufiger vorkommenden Flechtenarten eine Verbreitungskarte (Punktkarte) erstellt, wobei die Markierung eines Quadranten mit einem Punkt das Vorkommen der betreffenden Art angibt, und zusätzlich durch die Größe des Markierungspunktes ein Hinweis auf die Höhe des f – Wertes (Mittelwert aus Deckung und Frequenz) gegeben ist. Dabei gilt die Aussage, je größer der Punkt, desto größer der f – Wert. Die Abbildung 8 zeigt als ein Beispiel die Verbreitung von *Buellia punctata*, der zweithäufigsten Flechtenart im UG. *Buellia punctata* wurde in 99 der 102 Quadranten kartiert. Die auf der Basis der f – Werte eingeführte Symbolik (Punktgröße) macht deutlich, daß diese Flechtenart besonders im Stadtzentrum sehr selten und mit geringer Deckung gefunden wurde. Mögliche Ursachen (Mikroklima, Immissionen) der Flechtenverbreitung werden im Kapitel 4.4 diskutiert.

4.3 Toxitoleranzwerte

Für die 18 bei der IAP – Berechnung berücksichtigten Flechtenarten sind in Tabelle 2 die Toxitoleranzwerte angegeben.
Danach kann *Lecanora conizaeoides* mit dem niedrigsten Q – Wert als unempfindlichste Art und *Xanthoria parietina* mit dem höchsten Q – Wert als empfindlichste Art des UGs gelten.
Da die Berechnung der Toxitoleranzwerte in der Literatur auf unterschiedlichste Art und Weise durchgeführt wird und zudem die Werte für die einzelnen Flechtenarten in jedem UG neu ermittelt werden, ist ein Ergebnisvergleich für unterschiedliche Untersuchungsgebiete nur unter Vorbehalt möglich. Infolge der verschiedenen Bestimmungsweisen sind einzelne Q – Zahlenwerte weniger interessant. Dagegen ist der Rang einer Flechte innerhalb einer nach zunehmenden Zahlenwerten geordneten Toxitoleranzreihe der in einem Untersuchungsgebiet kartierten Flechten von größerem Interesse (Je höher der Q – Wert, desto empfindlicher ist die Art.). Bei vielen Kartierungen nach der IAP – Methode nehmen *Buellia punctata, Hypogymnia physodes, Lecanora conizaeoides* und *Physcia tenella* einen vorderen Rangplatz ein und werden demnach als ziemlich toxitolerante Flechtenarten eingestuft (z.B. HEIDT 1978, JOHN 1981, VERHEYEN 1983, WOELM 1986, STÖPPELMANN 1988). *Candelariella aurella, Candelariella vittelina, Physcia dubia* und *Xanthoria parietina* dagegen werden aufgrund vieler IAP – Untersuchungen als immissionsempfindliche Arten bezeichnet, da sie relativ hohe Q – Werte aufweisen und somit am Ende einer Toxitoleranzreihe stehen. Auffallend ist die Tatsache, daß es sich bei den "immissionsempfindlichen" Arten um coniophytische Flechten handelt. Es liegt somit die Vermutung nahe, daß der ökologische Faktor der "Staubimprägnierung", der die Verbreitung einiger



Punktgröße	f-Wert	Anzahl der Quadranten
•	1-50	22
●	51-100	20
●	101-200	32
●	201-350	21
●	>350	4

Abb. 8: Die Verbreitung von *Buellia punctata* im Untersuchungsgebiet
(Die Quadrantnummern beziehen sich auf die Durchnumerierung der DGK 5)

Tab. 2: Toxitoleranzwerte (Q – Werte) der bei der IAP – Berechnung berücksichtigten 18 Flechtenarten (Ordnung nach Höhe der Q – Werte)

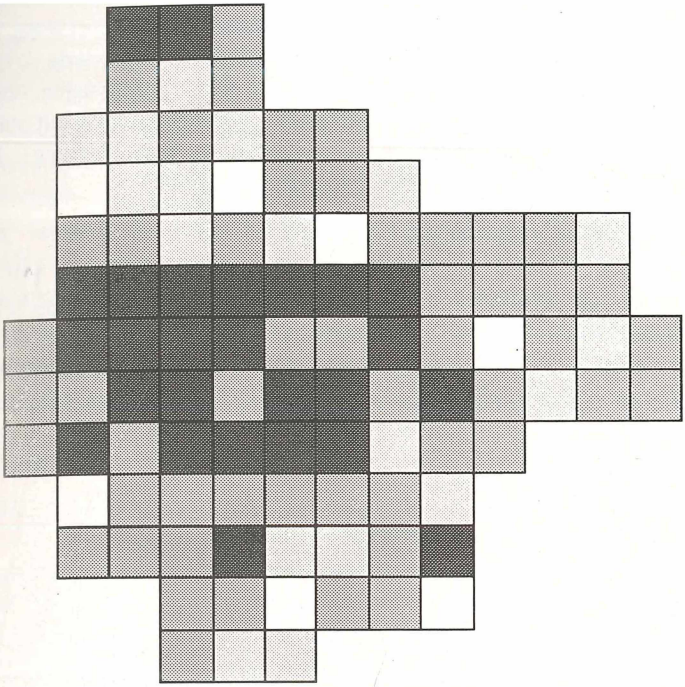
Flechtenart	Anzahl der Quadranten	Anzahl begleitender Flechten	Q – Wert (gerundet)
Lecanora conizaeoides	102	611	5,99
Physcia tenella	99	596	6,02
Buellia punctata	99	601	6,07
Candelariella reflexa	63	389	6,17
Hypogymnia physodes	29	195	6,72
Cladonia coniocraea	10	69	6,90
Physcia orbicularis	58	408	7,03
Physcia adscendens	38	275	7,24
Xanthoria candelaria	24	177	7,38
Parmelia saxatilis	9	67	7,44
Physcia caesia	33	248	7,52
Hypocenomyce scalaris	13	101	7,77
Lecanora dispersa	42	327	7,79
Candelariella xanthostigma	13	103	7,92
Candelariella vittelina	29	240	8,28
Candelariella aurella	22	203	9,23
Physcia dubia	11	102	9,27
Xanthoria parietina	17	161	9,47

Flechtenarten fördert, einen Einfluß auf die Q – Wert – Berechnung hat. Eine vergleichbare Berechnung der Q – Werte stellt sicherlich ein Problem der IAP – Methode dar.

Die Tatsache, daß bei der Untersuchung nach der IAP – Methode die Immissionsempfindlichkeit der einzelnen Flechtenarten individuell für jedes UG neu ermittelt wird und dadurch die Vergleichbarkeit von IAP – Untersuchungen beeinträchtigt ist, hat zur Entwicklung einer abgewandelten IAP – Methode, der sogen. LUGI – Methode, geführt (RABE 1987). Im Gegensatz zur IAP – Methode ordnet die LUGI – Methode (LUGI: = Luftgüteindex) jeder Flechtenart einen festen Empfindlichkeitswert zu, der anhand des maximalen SO_2 – Gehaltes (in Laborversuchen ermittelt), den eine Flechtenart noch toleriert, festgesetzt wurde. Die unempfindlichste Flechtenart (*Lecanora conizaeoides*) erhält den Empfindlichkeitswert 1.0. Auf diesen Wert werden alle anderen Empfindlichkeitswerte bezogen. Auch dieser methodische Ansatz ist jedoch mit Vorbehalt zu sehen, denn das Maß der Resistenz verschiedener Flechtenarten gegenüber Schadstoffen ist umstritten (vgl. z.B. HAWKSWORTH & ROSE 1970, KIRSCHBAUM et al. 1974, JÜRGING 1975).

4.4 Flechtenzonen

Auf der Basis der für die einzelnen Quadranten des UG berechneten IAP–Werte läßt sich eine sogenannte Zonenkarte erstellen, die eine arealmäßige Übersicht über die relative Luftbelastung vermittelt. In dieser Untersuchung wurde aufgrund der Bandbreite der IAP–Werte eine Einteilung in vier Klassen (Zone I–IV) vorgenommen. Dies entspricht der üblichen Unterteilung in vier oder fünf IAP–Zonen (vgl. z.B. KIRSCHBAUM 1972, HEIDT 1978, GRÜNINGER 1984, HIRSCHMANN 1986).
Von Zone I mit den höchsten IAP–Werten bis zu Zone IV (oder V) mit den niedrigsten IAP–Werten ist eine quantitative und qualitative Abnahme des Flechtenbewuchses zu verzeichnen und parallel dazu eine Abnahme der Luftqualität.
Im UG kommen in den Quadranten, die der Zone I zuzuordnen sind (Abb. 9), alle ermittelten Flechtenarten bis auf *Lecanora conizaeoides* und *Cladonia coniocraea* überdurchschnittlich häufig vor. Während die Strauchflechte *Cladonia coniocraea* im UG insgesamt relativ selten gefunden wurde (Tab. 1), wurde die im UG insgesamt am häufigsten kartierte Krustenflechte *Lecanora conizaeoides* (Tab. 1), die als eine gegenüber an Schwefeldioxid reichen Immissionen sehr resistente Flechtenart eingestuft wird (vgl. z.B. JÜRGING 1975, WIRTH 1976), am häufigsten in den Quadranten des UGs kartiert, die der Zone IV zuzuordnen sind. Im Gegensatz zur Zone I, in der alle 18 in die IAP–Rechnung eingehenden Arten kartiert worden sind, wurden in den Quadranten der Zone IV nur 14 der 18 häufigeren Flechtenarten gefunden. Insgesamt nimmt im UG, ganz ähnlich wie in entsprechenden Untersuchungen, die durchschnittliche Artenzahl pro Untersuchungsbaum kontinuierlich von Zone I bis Zone IV ab. In der Zone I konnten im Durchschnitt 3,5, in Zone II 2,9, in Zone III 2,6 und in Zone IV nur noch durchschnittlich zwei Flechtenarten pro Untersuchungsbaum kartiert werden.
Im Hinblick auf die Zuordnung der Stadtbereiche zu den einzelnen IAP–Zonen (vgl. Abb. 1 u. 9) fällt besonders das große zusammenhängende Gebiet der Zone IV in den Quadranten (13.3, 13.4, 14.3, 14.4, 20.2, 21.1, 21.3, 21.4, 22.1, 22.4) auf, das auf schlechte Luftverhältnisse im Stadtzentrum hinweist. Die nördlich des Zentrums gelegenen Quadranten 13.1 – 16.1 (Blankenhagen, Nordhorn) gehören ebenfalls zur Zone IV mit der schlechtesten Luftqualität. In den Außenbezirken ist eine mosaikartige Verteilung der Zonen I–III festzustellen, wobei alle Quadranten der Zone I und II in eher ländlichen Gebieten zu finden sind. Diese Korrelation von besseren Luftverhältnissen und fehlender Besiedlung bzw. Industrie kann einerseits durch günstigere klimatische Bedingungen, andererseits durch fehlende Immissionen hervorgerufen worden sein (vgl. dazu Kap. 4.4.2, 4.4.3). Schwerpunktmäßig



Zone	IAP-Wert	Anzahl der Quadranten
I	> 50	7
II	> 40 - 50	18
III	> 30 - 40	51
IV	> 20 - 30	26

Abb. 9: Die Verteilung der auf der Basis der IAP – Methode ermittelten vier Flechtenzonen über das Untersuchungsgebiet

sind im Südosten (Spexard) und im Norden (Niehorst) Zonen guter Luftqualität erkennbar. Auffallend in diesem Bereich des UGs sind die Quadranten 1.4 und 2.3 im ländlichen Norden (Hollen, Ströhen), die der Zone IV angehören (vgl. dazu Kap. 4.4.3).

Im Hinblick auf die Ausweisung des Stadtzentrums als ein an Flechtenarten armes und luftbelastetes Gebiet stimmt das Ergebnis dieser Kartierung überein

mit den Ergebnissen der o.g. Flechtenkartierung von HIPPE (1988), die in Gütersloh 1986/87 nach einer anderen Methode durchgeführt wurde.
Bei der Betrachtung der räumlichen Verteilung der Flechtenzonen über das UG erhebt sich die Frage nach den möglichen Zusammenhängen mit standörtlichen Gegebenheiten (z.B. Kleinklima, Immissionen, Eutrophierung). Dieser Frage soll in den folgenden Kapiteln nachgegangen werden.

4.4.1 Flechtenzonen und Rinden – pH – Werte

Die Tatsache, daß Bäume – im Bereich einer gewissen Amplitude schwankende – artspezifische Rinden – pH – Werte aufweisen, hat zu einer Gruppierung der Rinden – Substrate nach ihrem pH – Wert von extrem sauer bis neutral geführt (Wirth 1980). Die in Tabelle 3 dargestellte Gruppierung

Tab. 3: Gruppierung von Substraten und epiphytischen Flechten nach verschiedenen pH – Wert – Bereichen

Substrat	pH – Bereich	Flechte
extrem sauer	< 3,3	extrem acidophytisch
sehr sauer	3,4 – 4,0	sehr acidophytisch
ziemlich sauer	4,1 – 4,8	ziemlich acidophytisch
mäßig sauer	4,9 – 5,6	mäßig acidophytisch
subneutral	5,7 – 6,9	subneutrophytisch
neutral	um pH 7	neutrophytisch

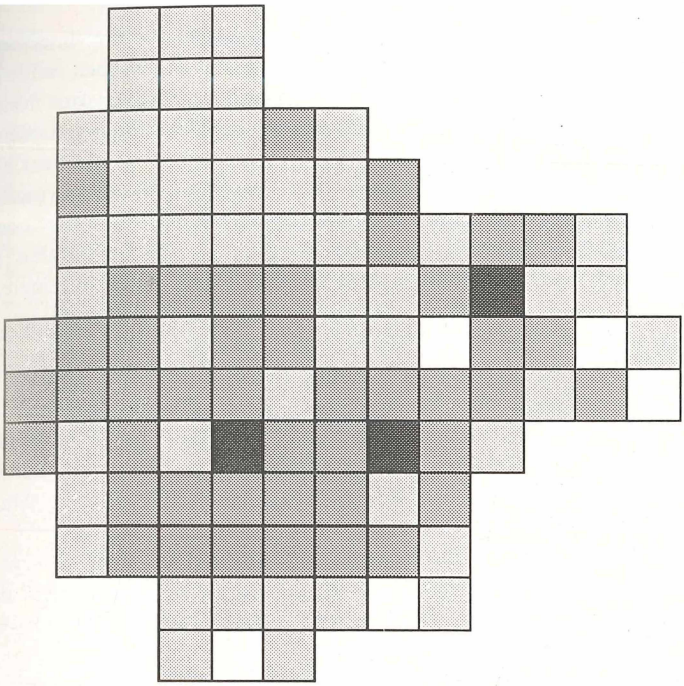
basiert auf Daten, die in Reinluftgebieten ermittelt wurden. Ähnlich, wie sich Rinden – Substrate entsprechend ihrem pH – Wert gruppieren lassen, ist das auch für epiphytische Flechtenarten möglich, je nach ihrem Anspruch an den Rinden – pH – Wert der von ihnen besiedelten Baumarten. So läßt sich entsprechend der in Tabelle 3 aufgeführten Gruppierungen für epiphytische Flechten im Hinblick auf ihre pH – Wert – Ansprüche auch eine Reihe von sehr acidophytischen bis neutralen Flechten aufstellen.
Aufgrund dieses Zusammenhanges zwischen Rinden – pH – Wert einer Baumart und siedelnder Flechtenart, ist bei der Analyse der Luftgüte eines Gebietes mit Hilfe von Flechten als Bioindikatoren auch die Erfassung der Rinden – pH – Werte der auf "ihre" Flechtenarten kartierten Bäume wichtig, denn durch saure Immissionen verändert sich auch der pH – Wert der Rinde.
Im UG hat sich bei der Analyse der Rinden – pH – Werte für die drei Baumarten folgendes ergeben:

Malus domestica. In Abbildung 10 sind die für die im UG kartierten Apfelbäume ermittelten Rinden–pH–Werte als Mittelwerte für die einzelnen Quadranten dargestellt. Geht man davon aus, daß die nicht eutrophierte und nicht wesentlich durch saure Luftverunreinigungen veränderte Rinde von Apfelbäumen mäßig sauer (pH 4,9–5,6) ist, so fällt auf, daß viele Bäume der Quadranten in den äußeren Bezirken des UGs entsprechende Werte aufweisen, während vor allem im Stadtzentrum niedrigere Rinden–pH–Werte für *Malus* gemessen wurden. Die Apfelbäume im Zentrum der Stadt zeigen also deutliche Ansäuerungstendenzen der Rinde. Insgesamt wiesen die kartierten Apfelbäume von 47 der 102 Quadranten einen mittleren Rinden–pH–Wert unter pH 4,9 auf und liegen damit im ziemlich bis sehr sauren pH–Bereich. Dementsprechend waren an diesen Substraten ziemlich bis sehr acidophytische Flechtenarten zu erwarten. Von den im UG kartierten Flechtenarten konnten 37, vorwiegend ziemlich acidophytische Flechtenarten (z.B. *Cladonia coniocraea, Hypogymnia physodes, Lecanora conizaeoides*) auf *Malus* kartiert werden. Subneutrophytisch bis mäßig acidophytisch geltende Flechtenarten, z.B. *Parmelia exasperatula, Ramalina farinacaea*, kamen im UG auf *Malus* nur noch als Kümmerform vor. *Hypocenomyce scalaris*, eine als extrem bis ziemlich acidophytisch eingestufte Blattflechte, konnte im UG auf *Malus* jedoch nicht gefunden werden (vgl. Kap. 4.1).

Tilia. Die in Reinluftgebieten als mäßig sauer (pH 4,9–5,6) geltende Rinde von Linde zeigte im UG ebenfalls erste Ansäuerungstendenzen (in 34 Qudaranten pH–Mittelwert der Rinde unter pH 4,9), entsprechend war auch der Bewuchs mit ziemlich acidophytischen Arten, z.B. *Hypogymnia physodes, Lecanora conizaeoides, Parmelia saxatilis, Physcia orbicularis*. Ein Flechtenbewuchs mit mäßig acidophytischen Flechtenarten dagegen konnte nur bei an Straßen stehenden Linden registriert werden. Hier führen die von Autos aufgewirbelten Stäube zu einer Eutrophierung und damit zu einer Erhöhung des Rinden–pH–Wertes. Bei den mäßig acidophytischen Flechtenarten handelt es sich in dieser Untersuchung zusätzlich um coniophytische Arten, z.B. *Candelariella aurella, Candelariella vittelina, Lecanora dispersa, Physcia caesia, Xanthoria parietina* (vgl. Kap. 4.4.2).

Pyrus communis. Die Tendenz der Ansäuerung der Baumrinde konnte auch für die untersuchten Birnbäume festgestellt werden, vor allem im Stadtzentrum. Die Rinde von *Pyrus communis* gilt in Reinluftgebieten als ziemlich sauer (pH 4,1–4,8). In 56 Quadranten des UGs wurde jedoch ein pH–Mittelwert der Rinde unter pH 4,1 festgestellt. Entsprechend wurden auf den Birnbäumen meistens ziemlich bis extrem acidophytische Flechtenarten, z.B.

Cladonia coniocraea, Hypocenomyce scalaris, Hypogymnia physodes, Lecanora conizaeoides, Xanthoria candelaria gefunden. Mäßig acidophytische Flechtenarten waren im UG auf Birnbäumen dagegen nur in wenigen Fällen und zwar auf Bäumen mit eutrophierter Rinde zu finden.
Die Birnbäume wiesen mit 2,1 Arten die geringste mittlere Artenanzahl pro Baum und mit 25 Arten das kleinste Artenspektrum auf, obwohl sie zahlenmäßig vor den Linden standen, die ein Artenspektrum von 30 Arten und mit 4,5 Arten die größte mittlere Artenanzahl pro Baum aufweisen (Apfelbaum: 37 Flechtenarten, mittlere Artenanzahl: 2,8 Arten). Zusammenfassend kann für den Flechtenbewuchs aller drei kartierten Baumarten festgestellt werden, daß mäßig acidophytische bis neutrophytische Flechtenarten im UG nur sehr schwach vertreten sind und daß das Artenspektrum an epiphytischen Flechten im gesamten UG, insbesondere aber im Stadtzentrum relativ gering ist. Ursache dafür dürften u.a. die im Vergleich zu entsprechenden Werten aus Reinluftgebieten, d.h. relativ immissionsfreien Gebieten, niedrigeren pH–Werte der kartierten Bäume sein (BARKMANN 1958, KLEMENT 1966, SKYE 1968).
Ähnlich durchgeführte Rinden–pH–Wert–Messungen im Stadtgebiet von Gütersloh führten zu einem entsprechendem Ergebnis (HIPPE 1988).
Auch die während des Untersuchungszeitraumes durchgeführten Messungen des Niederschlag–pH–Wertes ergaben im Vergleich zu entsprechenden Werten aus Reinluftgebieten eine Ansäuerungstendenz (BORGSTEDT 1988), so daß eine Korrelation mit den Verhältnissen bei den Rinden–pH–Werten gegeben erscheint.
Zahlreiche Autoren, z.B. SKYE 1968, GRODZINKA 1971, LÖTSCHERT & KÖHN 1973 vertreten die Ansicht, daß der Rinden–pH–Wert als Indikator für Luftverunreinigungen gewertet werden kann, da sich in einer Reihe von Untersuchungen eine signifikante Übereinstimmung zwischem dem allgemeinem Grad der Luftverschmutzung und der Höhe des Rinden–pH–Wertes gezeigt hat. Dies ist einleuchtend, denn Immissionen (z.B. SO_2) führen zu einer Absenkung des Rinden–pH–Wertes (BARKMANN 1958, DOLL & ZIEBOLD 1976, KRÜGER–DANIELSON 1982). Auch im UG Gütersloh können Übereinstimmungen zwischen den Rinden–pH–Wert–Messungen und der IAP–Zonenkarte festgestellt werden (vgl. Abb. 9,10). So nehmen die Rinden–pH–Mittelwerte aller Baumarten von Zone I bis Zone IV kontinuierlich ab, und die anhand der ermittelten Rinden–pH–Werte für die drei Baumarten erstellten Karten (in dieser Arbeit exemplarisch für *Malus*: Abb. 10) zeigen eine ähnliche Zonierung wie die IAP–Zonenkarte (Abb. 9). Das Stadtzentrum wird in beiden Karten als "schlechteste" Zone ausgewiesen.



pH-Wert		Anzahl der Quadranten
pH 5,7 - 7,0	subneutral	5
pH 4,9 - 5,6	mäßig sauer	50
pH 4,1 - 4,8	ziemlich sauer	44
pH 3,4 -4,0	sehr sauer	3

Abb. 10: Rinden – pH – Werte von *Malus domestica*
(Pro Quadrant jeweils der Mittelwert der kartierten Apfelbäume)

4.4.2 Flechtenzonen und ökologische Einflüsse

Mikroklimatische Einflüsse. Der Grad der Wirkung toxischer Immissionen (z.B. SO_2) auf die Flechtenvegetation kann durch mikroklimatische Einflüsse beeinflußt werden (vgl. z.B. TÜRK & WIRTH 1975, WIRTH 1980a, HIPPE 1987). In diesem Zusammenhang sind hygrisch günstige Standorte, d.h.

Standorte mit relativ hoher Luftfeuchtigkeit von besonderem Interesse. So fördern z.B. Grünanlagen und die Nähe von Teichen und Bächen indirekt den Flechtenbewuchs. Im UG wurden vor allem seltenere Flechtenarten häufig an solchen Standorten mit einem hygrisch günstigen Kleinklima gefunden. Als ein Beispiel sei Quadrant 14.4 genannt: In diesem Gebiet wurde trotz dichter Besiedlung ein Exemplar einer *Usnea*–Art gefunden, allerdings mit derart reduzierter Vitalität, daß diese Kümmerform nicht bis zur Art bestimmt werden konnte. Die Gattung *Usnea* ist heute in Nordrheinwestfalen relativ selten. Der von dieser Flechte besiedelte Apfelbaum stand in einem, von hohen Fichten und alten Bäumen umgebenen Garten, der wiederum am Rande eines Freizeitparkes und in der Nähe eines kleinen Teiches lag, d.h. an diesem Standort war außer einer relativ hohen Luftfeuchte zusätzlich ein Immissionsschutz durch die Filterwirkung anderer Pflanzen gegeben. Dort, wo dieses Zusammenspiel von erhöhter Luftfeuchtigkeit und Filterschutz als eine für den Flechtenbewuchs günstige Bedingung gegeben war, konnte im UG häufiger ein gefördertes Flechtenwachstum beobachtet werden (Standortangaben dazu s. BORGSTEDT 1988).
Die Korrelation zwischen Flechtenbewuchs, Mikroklima und Filterwirkung durch Vegetation konnte auch im Raum Bielefeld beobachtet werden (GERHARDT & GRÖßER–HELLRIEGEL 1983, GERHARDT & HIPPE 1987).
Bei der Gesamtbeurteilung der Luftbelastung des UG nach der IAP–Methode spielen seltenere Flechtenarten, die im Gebiet nur an für sie mikroklimatisch besonders günstigen Standorten vorkommen, keine Rolle, da bei der Berechnung solche Funde nicht berücksichtigt wurden.
Während des Untersuchungszeitraumes wurden an acht Standorten innerhalb des UGs wöchentliche Klimamessungen (relative Luftfeuchtigkeit, Max.–Min.–Temperatur, Niederschlags–pH–Wert) durchgeführt. Sie deuten darauf hin, daß das Stadtzentrum von einem typischen Stadtklima (EMONDS 1978) mit relativ hohen Temperaturen und niedriger Luftfeuchtigkeit geprägt ist. Die niedrige Luftfeuchte im Stadtzentrum des UGs könnte ein limitierender Faktor für das Vorkommen von Bartflechten (z.B *Usnea*) sein. In den flächenmäßig dominierenden ländlichen Quadranten jedoch läßt sich die Flechtenverbreitung bzw. –zonierung nicht mittels klimatischer Unterschiede erklären. Wäre im Untersuchungsgebiet vor allem das relativ trockene Stadtklima ausschlaggebender Faktor für das Vorkommen oder Fehlen von Flechten im Stadtzentrum, so hätten dem Klima angepaßte, d.h. z.B. xerophytische Flechtenarten (Trockenheit ertragende Arten) wie *Parmeliopsis ambigua, Physconia grisea, Parmelia sulcata* auftreten müssen. Diese Arten konnten in der Zone IV der schlechtesten Luftqualität jedoch nicht beobachtet werden, so daß als wesentliche Ursache der Flechtenzonierung wohl eher eine Schadstoffbelastung der Luft angenommen werden muß (vgl. auch HIPPE 1988).

Eutrophierende Einflüsse. Die Untersuchung ergab, daß an Straßen stehende Bäume (im UG vor allem Linden) durch ein –relativ gesehen– besonders reiches Flechtenarteninventar ausgezeichnet sind. Vor allem coniophytische, d.h. "Staubimprägnierung" ertragende Arten sind hier vorherrschend: wie z.B: *Candelariella aurella, Candelariella vittelina, Physcia dubia, Xanthoria parietina, Xanthoria polycarpa.*

Um die geforderte Anzahl der Untersuchungsbäume zu erreichen, konnte auf die Kartierung dieser Straßenbäume nicht verzichtet werden. Da der Anteil der Straßenbäume mit 7,3 % an der Gesamtzahl der Untersuchungsbäume jedoch relativ gering war, hatten sie nur einen geringen Einfluß auf die IAP–Berechnung.

Neben diesem Einfluß durch eutrophierende Straßenstäube sind –vor allem für die ländlichen Bereiche des UGs– Düngung und Harnimprägnierung als Einflüsse auf das Artenspektrum zu nennen: Die weite Verbreitung von nitrophytischen Arten (*Buellia punctata, Candelariella reflexa, Physcia adscendens, Physcia tenella, Physcia orbicularis, Xanthoria candelaria* in den Quadranten 1.4, 2.3–4, 3.2–4, 4.1–4, 28.1–4, 30.1–4, 31.1–4) und coniophytischen Arten (*Candelariella aurella, Candelariella vittelina, Lecanora dispersa, Physcia caesia, Physcia dubia, Xanthoria parietina* in den Quadranten 10.1–4, 17.1–4, 18.1–4) an den entsprechenden Standorten spiegelt das wider.

4.4.3 Flechtenzonen und Immissionsbelastung

Wie auch bei anderen Untersuchungen nach der IAP–Methode (vgl. z.B. DIEBITSCH 1982, GRÜNINGER 1984, VERHEYEN 1987) wurde im UG eine besonders flechtenarme Zone im Stadtzentrum festgestellt (Abb. 9). Die Abbildung 2 macht deutlich, daß im dicht besiedelten Kerngebiet Gütersloh auch zahlreiche Industriestandorte zu finden sind. Da Flechten auf die Gesamtheit der Luftschadstoffe reagieren, ist es schwierig, Rückschlüsse auf bestimmte Emissionsquellen zu ziehen. Ingesamt kann für das UG jedoch ein Zusammenhang zwischen Emittenten– und Flechtenvorkommen festgestellt werden. So umfaßt z.B. die nördlich des Stadtzentrums (Blankenhagen, Nordhorn) verlaufende Zone IV ein Industriegebiet (vgl. Abb. 9 und 2). Auffallend ist jedoch die Tatsache, daß die Zone schlechtester Luftqualität nördlich des Stadtzentrums in ländlichen Gegenden (Quadranten 1.4, 2.3, 2.4, 3.2, 4.2) weiterverläuft. Hierfür könnte der Flugverkehr des im Nordwesten der Stadt liegenden Militärflugplatzes verantwortlich sein. Diese Aussage wird besonders durch eine von HIPPE (1988) nach einer anderen Methode erstellte Flechtenzonenkarte für das Stadtgebiet Gütersloh bekräftigt. Danach erstreckt sich die Lage der Zone schlechtester Luftqualität (in Gütersloh Zone IV) zum einen über den dicht bebauten Innenstadtbereich, zum anderen befindet sich die Zone IV rund um das Gebiet des Militärflughafens

und im Bereich der Haupteinflugschneise.
Neben der Industrie werden immer wieder Hausbrand und Verkehr als Hauptverursacher der Luftverschmutzung genannt (TÜV Stuttgart 1986). Dies gilt auch für den Raum Bielefeld (HALSTENBERG 1983, GERHARDT & GRÖßER – HELLRIEGEL 1983). Dieser Zusammenhang kann auch für Gütersloh angenommen werden, eindeutig bewiesen werden kann er jedoch nicht.
Die spärlichen Daten aus einer Immissionsmessung in Gütersloh helfen auch nicht viel weiter: Nach einer mobilen Sondermessung der Landesanstalt für Immissionsschutz in Essen aus dem Jahr 1986 kann im UG bei einem geschätzten Jahresmittelwert von 0,03 mg/m^3 die SO_2 – Belastung der Luft als gering angesehen werden (LIS 1986). Eine SO_2 – Belastung der Luft von dieser Größenordnung kann von einer Vielzahl von Flechtenarten toleriert werden (vgl. z.B. HAWKSWORTH & ROSE 1970, VERHEYEN 1983). Leider wurden nur an einem einzigen Standort (Quadrant 15.3) – laut IAP – Karte ein mäßig belasteter – Daten erfaßt. Somit haben die Immissionsmessungen der LIS für diese Untersuchung kaum Aussagewert. Erst regelmäßige und an mehreren Standorten durchgeführte chemisch – physikalische Messungen von Luftschadstoffen können zu gut abgesicherten Aussagen über die Luftbelastung zum Zeitpunkt der Messung an einem Ort führen. Sie wären dringend nötig.
In diesem Zusammenhang muß aber auch unbedingt die Tatsache berücksichtigt werden, daß Flechten als Langzeitindikatoren durch ihre derzeitige Verbreitung nicht nur eine augenblickliche, sondern immer auch eine vergangene Schadstoffbelastung in einem Gebiet widerspiegeln. Und darin liegt beim Einsatz von Bioindikatoren der Vorteil gegenüber einer punktuellen chemisch – physikalischen Messung.
Das geringe Flechteninventar und vor allem die große Anzahl ziemlich acidophytischer Arten deuten auf eine Immissionsbelastung des UGs hin (vgl. Kap 4.4.1). Insbesondere das häufige Vorkommen der Krustenflechte *Lecanora conizaeoides*, einer in allen Quadranten und besonders in der Zone IV mit großer Deckung kartierten Flechte, die gegenüber SO_2 eine hohe Resistenz zeigt, läßt auf eine bereits lange vorhandene erhöhte Schadstoffbelastung (vor allem in Zone IV) schließen. Mäßig acidophytische bis subneutrale Flechten (z.B. *Usnea, Ramalina*), die extrem empfindlich auf Luftschadstoffe reagieren, wurden nur noch an mikroklimatisch günstigen Standorten, die das Flechtenwachstum begünstigen, gefunden.
Im Hinblick auf längerfristige Immissionswirkungen sollte auch beachtet werden, daß die Flechtenvegetation sehr wahrscheinlich auch in Folge der im

Gebiet vorherrschenden Windrichtung aus Südwesten durch Transmissionen aus dem Ruhrgebiet geschädigt worden ist. Besonders in dieser Region ist nach dem 2. Weltkrieg, aufgrund der starken Industrialisierung, eine erhebliche Emittentenzunahme zu verzeichnen gewesen (vgl. GERHARDT & KORFSMEIER 1979, WOELM 1986).
Die Bedeutung des Stadtklimas als Mitursache für das verminderte Flechtenvorkommen und für die Zonierung im UG wurde bereits in Kapitel 4.4.2 kurz erörtert.
Zusammenfassend kann gesagt werden, daß das Zusammenspiel mehrerer Faktoren (Mikroklima, Eutrophierung, Immissionen) für die Flechtenverbreitung im UG verantwortlich ist, jedoch dem Immissionsfaktor das größte Gewicht zuzusprechen ist. Entsprechende Ergebnisse liegen auch von anderen IAP – Untersuchungen vor (vgl. z.B. VERHEYEN 1987, WOELM 1988, KIRSCHBAUM & SIEGMUND 1988).
Im Zusammenhang mit der geringen Anzahl epiphytischer Flechtenarten, die für Gütersloh ermittelt wurde, soll auch das Problem des Artenrückganges kurz angeschnitten werden: In dieser Untersuchung wurden 45 Arten, in der Untersuchung von HIPPE (1988) 44 Arten ermittelt, wobei 39 Arten die gleichen waren, so daß für das Gebiet nach dem derzeitigen Stand der Untersuchungen 50 epiphytische Flechtenarten bekannt sind. Aufgrund der Beobachtungen von LAHM (1885, s. dazu auch GAYK 1984) kann für den Raum Bielefeld/Ravensberger Land ein historischer Flechtenbestand von 103 epiphytischen Arten angenommen werden. Es ist – mit Vorsicht – zu vermuten, daß sich entsprechende Verhältnisse auch auf den Raum Gütersloh übertragen lassen.

5. Hinweise für Immissionsschutzmaßnahmen

Neben dem mehr wissenschaftlichen Zweck einer Ermittlung des Flechtenbestandes und der Verbreitung von Flechtenarten in einem Gebiet soll durch die Beurteilung der Luftgüte anhand von Flechten als Bioindikatoren auch ein umweltpolitischer Zweck verfolgt werden: Es soll eine Verbesserung des Reinheitsgrades der Luft in den als stark belastet (vor allem Zone IV) erkannten Bereichen erreicht werden. Dies geschieht im Interesse einer Verbesserung der Lebensqualität und zum Schutz der bedrohten Arten.
Was kann in Gütersloh getan werden? Da die beste Lösung des Problems – eine drastische Absenkung der Emissionen – nicht so schnell im optimalen Umfang möglich sein wird, ist es notwendig, ökologisch wirksame Hilfsmaßnahmen durchzuführen. Die im folgenden aufgeführten Punkte stellen Hinweise für Immissionsschutzmaßnahmen dar:

- Der alte Baumbestand im Innenstadtbereich ist sorgfältig zu pflegen und zu erhalten.[1)]
  In diesem Zusammenhang sind die im Stadtgebiet befindlichen Parks (Mohn Park, Stadtpark) aus lufthygienischer Sicht besonders positiv zu bewerten.
- Zur Windbremsung und Luftfilterung sollten verstärkt Hecken, Einzelsträucher und Bäume gepflanzt werden, insbesondere im Innenstadtbereich.
- Bei der Schließung von Baulücken sollten das Stadtklima ertragende, möglichst einheimische Bäume und Sträucher wie z.B. Ahorn, Eiche, Weißdorn, Hartriegel, Schlehe vermehrt angepflanzt werden.
- Um eine gute Luftzirkulation im Stadtkern zu gewährleisten, ist die Anlage einer von Bebauung freien und mit Bäumen und Sträuchern besetzten Schneise in Hauptwindrichtung durch das Stadtgebiet sinnvoll. Hier bietet sich z.Zt. vor allem im Bereich des Dalkebaches eine Freihaltung von Bebauung an.
- Auf eine Ausweitung von Bebauung im Südwesten von Gütersloh sollte verzichtet werden, da ein Rückstau der im Stadtgebiet auftretenden Luftschadstoffe zu befürchten ist. Die aus dem Südwesten durch den Wind herangetragenen Schadstoffe würden im Innenstadbereich infolge der geringen Luftzirkulation nicht gut genug verdriftet.
- Es ist empfehlenswert, weitere Industriebetriebe nur im neuen Gewerbegebiet im Zuge der B 61 ostwärts des Stadtkerns anzusiedeln.
- Aus luftklimatischer Sicht ist eine neue Wohnbebauung in der Gegend zwischen Spexard und Sundern im Südosten Güterslohs zu befürworten. Dieses Gebiet (Quadranten 31.1, 28.3, 28.4), das nach der vorliegenden IAP – Untersuchung eine relativ gute Luftqualität aufweist (Abb. 9), liegt weit genug entfernt von den Hauptemittenten im Stadtinnenbereich.

Danksagung. Den Herren E. WOELM, Osnabrück, und H. SIEPMANN, Berlin, sei für ihre freundliche Hilfe beim Bestimmen kritischer Formen sowie für eine Revision der bestimmten Arten herzlich gedankt, der Stadt Gütersloh für finanzielle Unterstützung. Sehr anregend waren die Diskussionen mit Frau A. HIPPE – SCHUSTER, auch ihr gilt unser herzlicher Dank.

In diesem Zusammenhang sei daran erinnert, daß noch in den sechziger Jahren von der Landwirtschaftskammer Rheda – Wiedenbrück die Abholzung von Obstbäumen in Gütersloh subventioniert wurde. Gerade in den letzten Jahrzehnten sind zahlreiche Bäume den Siedlungs – und Straßenbaumaßnahmen sowie der intensivierten Landwirtschaft zum Opfer gefallen. Diese Fällung alter Baumbestände führt direkt zur Vernichtung der an ihnen siedelnden Flechten, und die stetige Abnahme der Populationen ist eine unausweichliche Folge.

6. Literatur

BARKMANN, J.J. (1958): Phytosociology und ecology of cryptogamic epiphytes. – van Gorcum & Company, Assen (Holland).

BORGSTEDT, M. (1988): Untersuchungen zu Luftverunreinigungen im Stadtgebiet von Gütersloh mit Hilfe epiphytischer Flechten als Bioindikatoren. – Staatsexamensarbeit, Univ. Bielefeld.

DE SLOOVER, J. & LE BLANC, F. (1968): Mapping of atmospheric pollution on the basis of lichen sensitivitiy. – Proc. Symp. Recent Advanc. Trop. Ecol. 5: S. 42–56.

DE SLOOVER, J. & LE BLANC, F. (1970): Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. – Can. J. Bot. 48: S. 1485–1496.

DIEBITSCH, J. (1982): Einfluß von Boden– und Klimafaktoren auf die epiphytische Flechtenvegetation im Raum südlich von Aachen. – Diplomarbeit, Aachen.

DOLL, R. & ZIEBOLD, A. (1976): Flechten als lufthygienische Bioindikatoren. – Biologische Rundschau 14: S. 78–94.

EMONDS, H. (1978): Stadtklima. – Parey, Hamburg, Berlin.

GAYK, L. (1984): Untersuchungen zur Flechtenvegetation im Ravensberger Hügelland. – Staatsexamensarbeit, Univ. Bielefeld.

GERHARDT, A. & KORFSMEIER, K. (1979): Untersuchungen zur Luftverunreinigung im Kreis Herford mit Flechten als Bioindikatoren. – Mitt. LÖLF 4: S. 4–12.

GERHARDT, A. & GRÖßER–HELLRIEGEL, C. (1983): Untersuchungen zur epiphytischen Flechtenvegetation im Raum Bielefeld. – Ber. naturwiss. Ver. Bielefeld 26: S. 161–206.

GERHARDT, A. & HIPPE, A. (1987): Untersuchungen zur epiphytischen Flechtenvegetation in der Stadt Bielefeld. – In: Umwelt und Biologiedidaktik, Aulis, Köln, S. 122–144.

GRODZINKA, K. (1971): Acidification of tree barks as a measure of air pollution in Southern Poland. – Bull. Acyd. Pol. Sci. 19: S. 198–195.

GRÜNINGER, R. (1984): Flechten als Bioindikatoren der Luftverschmutzung: IAP–Verfahren. – Reutlingen.

HALSTENBERG, R. (1983): Untersuchungen zur Immissionsbelastung im Raum Bielefeld mit Flechten als Bioindikatoren. – Staatsexamensarbeit, Univ. Bielefeld.

HAWKSWORTH, D.L. & ROSE, F. (1970): Qualitative scale for estimating sulphur dioxid air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. Nature 227: S. 145–148.

HEIDT, V. (1979): Flechtenkartierung und Beziehung zur Immissionsbelastung des südlichen Münsterlandes. – Biogeographica Vol. III: S. 1–93.

HIPPE, A. (1987): Untersuchungen zur epiphytischen Flechtenvegetation im Stadtgebiet von Bielefeld. – Staatsexamensarbeit, Univ. Bielefeld.

HIPPE, A. (1988); Untersuchungen zur epiphytischen Flechtenvegetation Güterslohs im Hinblick auf die Luftsituation der Stadt. – Arbeitsgruppe Umweltschutz, Gütersloh.

HIRSCHMANN, L. (1986): Kartierung der epiphytischen Flechten als Bioindikatoren der Luftqualität im Süden der Stadt Münster. – Diplomarbeit, Univ. Münster.

JOHN, V. (1981): Untersuchungen zur epiphytischen Flechtenvegetation der Städte Ottweiler und Bexbach (Saarland). – Diplomarbeit, Univ. Saarbrücken.

JOHN, V. (1986): Verbreitungsypen von Flechten im Saarland. – Natur und Landschaft im Saarland 15, Saarbrücken.

JÜRGING, P. (1975): Epiphytische Flechten als Bioindikatoren der Luftverunreinigung. Bibliotheca Lichenologica, Cramer, Vaduz.

KIRSCHBAUM, U. (1972): Flechtenkartierung in der Region Untermain zur Erfassung von Immissionsbelastungen. – Diss. Univ. Giessen.

KIRSCHBAUM, U. & KLEE, R. & STEUBING, L. (1974): Luftqualitätsmessungen infolge von Immissionsbelastungen auf Flechten: Flechten als Bioindikatoren. – Lufthygienische meterologische Modelluntersuchung , Arbeitsbericht 5: S. 116–127, Frankfurt.

KIRSCHBAUM, U. & SIEGMUND, A. (1988): Beurteilung der lufthygienischen Situation zwischen Köln und der Nordeifel anhand der epiphytischen Flechtenvegetation. – In: Arbeitsber. AG Angew. Geogr. Münster e.V. 13: S. 71–86.

KLEMENT, O. (1966): Vom Flechtensterben im nördlichen Deutschland. – Ber. naturhist. Ges. Hannover 110: S. 54–67.

KRÜGER–DANIELSON, H. (1982): Epiphytische Flechten als Bioindikatoren. – Staatsexamensarbeit, Univ. Berlin.

LANDESANSTALT FÜR IMMISSIONSSCHUTZ (LIS) (Hrsg.) (1986): Bericht über die Luftqualität in NRW: Sondermessungen Gütersloh. – Essen.

LÖTSCHERT, W. KÖHN & H.J. (1973): Baumborke als Anzeiger für Luftverunreinigungen. – Umschau 73: S. 403–404.

RABE, R. (1987): Flächenbedeckende Luftgütebeurteilung mit Flechten als Bioindikatoren: Anwendungsmöglichkeiten für die Planung. – VDI–Bericht 609: S. 671–677.

SKYE, E. (1968): Lichens and air pollution. – Acta Phytogeographica, Scenia 52: S. 8–112.

STADT GÜTERSLOH (Hrsg.) (1975): Erläuterungsbericht zum Flächennutzungsplan. – Gütersloh.

STÖPPELMANN, R. (1988): Untersuchungen zur Luftqualität im südlichen Bielefelder Raum mit epiphytischen Flechten als Bioindikatoren. – Staatsexamensarbeit, Univ. Bielefeld.

TÜRK, R. & WIRTH, V. (1975): Zur SO_2–Resistenz von Flechten verschiedener Wuchsformen. – Flora 164: S. 113–143.

TÜV STUTTGART (Hrsg.) (1986): Ökotoxikologische Begutachtung der Belastungssituation im Stadtkreis Gütersloh mit dem Verfahren der standardisierten Flechtenexposition. – Stuttgart.

VERHEYEN, T. (1983): Erfassung der qualitativen und quantitativen Verbreitung der epiphytischen Flechtenflora als Indikator für die lufthygienischen Verhältnisse im Raum Münster: IAP–Methode. – Diplomarbeit, Univ. Münster.

VERHEYEN, T. & HIRSCHMANN, L. & SCHREIBER, K.F. (Hrsg.) (1987): Bioindikation und Luftqualität: Die epiphytische Flechtenvegetation als Bioindikator für die Luftqualität im Stadtgebiet von Münster. – Münster.

WIRTH, V. (1976): Über den Einfluß des SO_2 auf die Flechtenvegetation in urbanen Räumen und die Indikation der SO_2–Belastung durch Flechten. Schriftenreihe. f. Vegetationsk. 10: S. 203–213.

WIRTH, V. (1980): Flechtenflora. – Ulmer, Stuttgart.

WIRTH, V. (1980a): Flechten. – Beitr. z. Naturk. C12, Stuttgart.

WOELM, E. & FUHRMANN, B. (1986): Flechtenverbreitung und Luftverunreinigungen im Forstamt Steinfurt. – Steinfurt.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte des Naturwissenschaftlichen Verein für Bielefeld und Umgegend

Jahr/Year: 1989

Band/Volume: 30

Autor(en)/Author(s): Borgstedt Marion, Gerhardt Almut

Artikel/Article: Untersuchungen zur Luftgüte im Stadtgebiet von Gütersloh anhand epiphytischer Flechten als Bioindikatoren 15-47