

Epiphytische Rindenflechten der Senne als Bioindikatoren der Luftqualität

Mit 9 Abbildungen und 7 Tabellen

G. Masuch

Inhalt:

1. Einleitung	75
2. Methode	76
3. Ergebnisse	77
3.1. Flechtenarten und Toxitolanzreihen der Flechten in der Senne	77
3.2. Einteilung der Senne in Flechtenzonen	81
4. Diskussion	85
4.1. Flechtenzonen und klimatische Verhältnisse	85
4.2. Flechtenzonen und Waldbestand der Senne	90
Literatur	94

1. Einleitung

Die Senne ist von alters her eine Landschaft mit besonderer Naturlausstattung in Ostwestfalen-Lippe. Wie aber steht es mit der Sicherung der Erholungsqualität dieses ökologisch wichtigen Raumes? Welchen Belastungen sind die Trägermedien für die lebenden Organismen, Boden, Wasser und Luft, ausgesetzt? Es ist dazu die Feststellung des Ist-Zustandes notwendig. In dieser Untersuchung sollen Wirkungen gasförmiger Immissionen auf die Populationen epiphytischer Rindenflechten aufgezeigt werden. Rindenbewohnende Flechten haben als Testorganismen gegenüber chemisch-physikalischen Analysemethoden den Vorteil, daß sie langfristig dem Komplex gasförmiger Immissionen ausgesetzt sind und die biologischen Effekte der tatsächlich einwirkenden Schadstoffe anzeigen. Zu den Rindenflechten zählen eine Reihe von Arten, die innerhalb einer bestimmten Schadstoffkonzentration resistentes Vitalverhalten zeigen, andere Arten, die mehr oder weniger toxtolerant sind, und wiederum andere, die bereits auf geringe Schadstoffkonzentrationen empfindlich reagieren. Insofern

sind sie als Bioindikatoren geeignet. Flechten sind das ganze Jahr hindurch stoffwechselaktiv, zeigen jedoch im Winter wegen der höheren Niederschläge eine erhöhte Wachstumsrate. Als symbiontische Organismen aus Pilz und Alge sind Flechten in ihrer Wasserversorgung von Niederschlägen und Luftfeuchtigkeit abhängig. Da sie weder Spaltöffnungen noch eine die Verdunstung reduzierende Kutikula besitzen, werden Gas- und Wasseraufnahme rein physikalisch geregelt. Aufgenommene Schadstoffe werden nicht ausgeschieden, sondern angereichert. Flechten gelten somit als Bioindikatoren über die Langzeitwirkung von Schadstoffen.

2. Methode

Es gibt eine Reihe von Untersuchungsmethoden, um die Wirkung von Schadstoffen auf epiphytische Flechten aufzuzeigen. HAWKSWORTH und ROSE (1970) beschreiben eine zehnstufige Artenskala, die vorerst für England und Wales angewendet wurde und SO_2 -Belastungen anzeigt. GILBERT (1970) legte eine sechsstufige biologische Indikationsskala vor, die aufgrund von Flechten und Moosen als Indikatoren die durchschnittliche jährliche SO_2 -Konzentration der atmosphärischen Luft anzeigen soll. Die am meisten angewandte Methode basiert auf den Untersuchungen von DE SLOOVER und LE BLANC (1968), LE BLANC und DE SLOOVER (1970) und LE BLANC (1971). Diese Autoren entwickelten den »Index of Atmospheric Purity (IAP)«, einen **Luftreinheitsindex**, der mehrere Kriterien des Flechtenbestandes des Untersuchungsgebietes in sich vereint. Nach dieser Methode ist die Region Untermain von KIRSCHBAUM, KLEE und STEUBING (1974) untersucht worden, ferner das südliche Münsterland von HEIDT (1978), das Füllenbruch/Aatal-Werretal im Kreise Herford von GERHARDT und KORFSMEIER (1979). Für die Senne liegen vergleichbare Untersuchungen bislang nicht vor.

Der Naturraum der Senne wurde in 35 Meßstationen aufgeteilt, die mit Ausnahme des gesperrten Truppenübungsplatzes gleichmäßig über das Untersuchungsgebiet verteilt waren. Jede Meßstation umfaßte ein Gebiet von $2,5 \times 2,5$ km. Als freistehende Phorophyten wurden Apfelbäume (*Malus domestica*) und Kirschbäume (*Prunus avium*) gewählt, weil sie einerseits in allen Meßstationen vorkamen, keine extremen pH-Werte auf der Rinde zeigten und vergleichbare Daten mit anderen Untersuchungsgebieten vorliegen. Die Stämme der Phorophyten wurden in der Höhe von 30 cm bis 1,30 m in der Hauptwindrichtung mit einer 20 cm breiten Plastikfolie belegt, die in zehn gleich große, untereinander liegende Felder aufgeteilt war. Die in den Feldern bestimmten Flechten wurden notiert und ihre Frequenz-Deckungsgrade bestimmt. Pro Meßstation wurden je zehn Apfel- und Kirschbäume untersucht, die folgende Prämissen zu erfüllen hatten:

1. Die Bäume sollen senkrecht stehen.
2. Die Bäume sollen frei stehen, d. h. nicht im Waldbestand wachsen.

3. Der NW/SW-Sektor der Bäume soll nicht im Windschatten liegen.
4. Der Baumumfang soll mindestens 40 cm betragen.
5. Die Bäume sollen weder mechanisch noch chemisch behandelt sein.
6. Die Bäume sollen nicht in Viehweiden stehen.

Für jede Meßstation errechnet sich der Luftreinheitsindex wie folgt:

$$IAP = \sum_n^{i=1} Q_i \times f_i.$$

»Q« ist der ökologische Index für jede Flechtenart, der Toxitolanzfaktor der Art gegenüber Schadstoffen im Untersuchungsgebiet, d. h. die durchschnittliche begleitende Artenmenge von epiphytischen Flechten in allen Meßstationen für jede Flechtenart. Der Wert »f« ist der durchschnittliche Frequenz-Deckungsgrad jeder Art pro Meßstation. Mit »n« bezeichnen wir die Menge der Flechtenarten pro Station, »i« ist eine bestimmte Flechtenart innerhalb einer Meßstation.

3. Ergebnisse

3.1. Flechtenarten und Toxitolanzreihen der Flechten in der Senne

Für die Kartierung der epiphytischen Flechten der Senne wurden 350 Apfelbäume und 350 Kirschbäume herangezogen. Auf dem Phorophyten Apfelbaum wurden in den ausgewerteten Meßstationen 26 Flechtenarten festgestellt, auf der Rinde der Kirschbäume wurden 23 Arten nachgewiesen. In dem gesperrten Gebiet des Truppenübungsplatzes konnte nicht kartiert werden. Es ist zu erwarten, daß dort weitere Arten anfallen können. Andere Baumarten sind auf den epiphytischen Flechtenbestand hin nicht untersucht worden. Es ist nicht auszuschließen, daß hier weitere Flechtenarten vorzufinden sind. Bei einigen Arten sind lediglich Sammelarten benannt worden, wie bei *Lecanora varia* und *Lecanora subfusca*, weil eine weitere Bestimmung im Gelände zu zeitaufwendig gewesen wäre. Bei *Cladonia* wurde überhaupt nur der Gattungsname angegeben, weil im senkrechten Stammbereich nur die Primärthalli gefunden wurden.

In seinem Flechtenherbarium aus dem Paderborner Raum aus den Jahren 1898 bis 1929 hat der Sanitätsrat Dr. M. BARUCH folgende Artenmengen aufgelistet:

Strauchflechten (<i>Lichenes thamnoblasti</i>)	34 Arten,
Blattflechten (<i>Lichenes phylloblasti</i>)	42 Arten,
Krustenflechten (<i>Lichenes kryoblasti</i>)	82 Arten,
Gallertflechten (<i>Lichenes homoeomerici</i>)	9 Arten.

Die 76 angeführten Strauch- und Blattflechten, die vornehmlich als epiphytische Arten in Frage kommen, sind bis zum heutigen Tage, selbst wenn wir davon ausgehen, daß noch zehn weitere Arten auf anderen Bäumen gefunden werden, auf die Hälfte reduziert. HEIDT (1978) weist für das südliche Münsterland auf eine 90%ige Reduzierung hin.

Der Toxitolanzfaktor Q ist für jede Flechtenart im Untersuchungsgebiet eine für den Untersuchungszeitraum unveränderliche Größe. Sie gibt an, mit wievielen weiteren Arten eine spezielle Art im Untersuchungsgebiet durchschnittlich vorkommt. Ein niedriger Q-Wert drückt aus, daß nur wenige, relativ resistente Arten verblieben sind. Ein hoher Q-Wert gibt einen höheren Geselligkeitsindex wieder, d. h. es sind auch empfindlichere Arten vertreten. Die nach den Q-Werten geordnete Artenliste ist die Toxitolanzreihe für ein bestimmtes Untersuchungsgebiet (Tab. 1 und 2).

Tabelle 1: Artenliste der am Apfelbaum (*Malus domestica*) in der Senne gefundenen epiphytischen Flechten, geordnet nach ihrer Toxitolanz. Mit steigendem Q-Wert nimmt die Toxitolanz ab.

Flechtenart	Q-Wert	Vorkommen in Stationen
<i>Lecanora varia</i> (Ehrh.) Ach.	9 (8,9)	32
<i>Lepraria aeruginosa</i> (Wigg.) Sm	9 (8,9)	32
<i>Parmeliopsis ambigua</i> Nyl.	9 (9,0)	24
<i>Buellia punctata</i> (Hoffm.) Mass.	9 (9,0)	18
<i>Hypogymnia physodes</i> (L.) Nyl.	9 (9,0)	31
<i>Lepraria candelaris</i> (L.) Fr.	9 (9,0)	21
<i>Phycia ascendens</i> (Bitt.)/ <i>tennella</i> (Scop.)	9 (9,1)	10
<i>Phycia grisea</i> (Lam.) Lettau	9 (9,2)	10
<i>Pertusaria amara</i> (Ach.) Nyl.	9 (9,2)	10
<i>Parmelia sulcata</i> Tayl.	9 (9,3)	24
<i>Lecidea macrocarpa</i> (DC.) Steud.	10 (9,7)	19
<i>Pertusaria pertusa</i> (L.) Tuck.	10 (9,8)	7
<i>Xanthoria parietina</i> (L.) Th.Fr.	10 (9,8)	6
<i>Lepraria glauca</i>	10 (9,8)	6
<i>Lecanora subfusca</i> (L.) Ach.	10 (9,9)	8
<i>Parmelia caperata</i> (L.) Ach.	10 (10,0)	9
<i>Arthonia cinnabaria</i> (Dc)	10 (10,0)	1
<i>Graphis scripta</i> L. (Ach.)	10 (10,0)	4
<i>Lecidea scalaris</i> (Ach.) Hook.	10 (10,0)	1
<i>Cetraria glauca</i> (L.) Ach.	10 (10,3)	7
(syn. <i>Platismatica gl.</i> (L.) Culbe. C.		
<i>Parmelia acetabulum</i> (Neck.) Duby	11 (11,4)	5
<i>Cladonia spec.</i>	12 (12,0)	2
<i>Candelariella xanthostigma</i> (Pers.)	13 (12,7)	3
<i>Parmelia exasperatula</i> Nyl.	16 (16,0)	1
<i>Evernia prunastri</i> (L.) Ach.	16 (16,0)	1

Tabelle 2: Artenliste der am Kirschbaum (*Prunus avium*) in der Senne gefundenen epiphytischen Flechten, geordnet nach ihrer Toxizität. Mit steigendem Q-Wert nimmt die Toxizität ab.

Flechtenart	Q-Wert	Vorkommen in Stationen
<i>Lecanora varia</i> (Ehrh.) Ach.	6 (6,4)	30
<i>Lepraria aeruginosa</i> (Wigg.) Sm.	6 (6,3)	32
<i>Pertusaria pertusa</i> (L.) Tuck.	7 (6,7)	6
<i>Buellia punctata</i> (Hoffm.) Mass.	7 (6,7)	5
<i>Hypogymnia physodes</i> (L.) Nyl.	7 (6,8)	24
<i>Parmelia sulcata</i> Tayl.	7 (6,8)	15
<i>Physcia ascendens</i> (Bitt.)/ <i>tenella</i> (Scop.)	7 (6,8)	20
<i>Hypogymnia tubulosa</i> (Schaer.)	7 (7,0)	1
<i>Ramalina fraxinea</i> (L.) Ach.	7 (7,0)	1
<i>Lepraria glauccella</i>	8 (7,6)	5
<i>Lecidea macrocarpa</i> (DC.) Steud.	8 (7,6)	10
<i>Pertusaria amara</i> (Ach.) Nyl	8 (8,2)	6
<i>Graphis scripta</i> L. (Ach.)	8 (8,3)	4
<i>Parmelia caperata</i> (L.) Ach.	8 (8,3)	3
<i>Lecanora subfusca</i> (L.) Ach.	8 (8,4)	7
<i>Parmelia acetabulum</i> (Neck.) Duby	9 (9,4)	5
<i>Parmelia saxatilis</i> (L.) Ach.	9 (9,4)	3
<i>Arthonia cinnabaria</i> (DC.)	10 (9,5)	2
<i>Lepraria candelaris</i> (L.) Fr.	10 (9,8)	4
<i>Cetraria glauca</i> (L.) Ach.	10 (10,0)	1
<i>Thelothrema lepadinum</i> Ach.	10 (10,0)	1
<i>Parmelia elegantula</i>	12 (12,0)	1

Die gefundenen Flechtenarten lassen sich flechtensoziologisch nicht einer bestimmten Assoziation zuordnen. Der Homogenitätskoeffizient als Quotient aus der Gesamtartenzahl und der mittleren Artenzahl der Einzelaufnahmen liegt für den Phorophyten Apfel bei 2,9, für den Phorophyten Kirsche bei 3,66, so daß die Wahrscheinlichkeit groß ist, daß wir es mit Vegetationsgemischen zu tun haben. Dennoch finden wir in Anlehnung an KLEMENT (1955) gehäuft die Assoziation des *Physcietum ascendens* (Ochsner 1928) in reduzierter Artenmenge vor. Diese Assoziation deckt ihren Feuchtigkeitsbedarf ausschließlich aus Niederschlägen und ist relativ widerstandsfähig gegen gasförmige Immissionen.

Vergleicht man die Toxizitätsreihen aus verschiedenen Untersuchungsgebieten, so ist keine identische Reihenfolge festzustellen (vgl. DE SLOOVER und

LE BLANC 1968, KIRSCHBAUM u. a., 1974, HEIDT 1978). Das ist auf die unterschiedlichen ökologischen Bedingungen zurückzuführen, die es erfordern, daß für jedes Untersuchungsgebiet eine eigene Toxizitätsreihe erstellt werden muß. Toxizitätsreihen sind nur für den gewählten Phorophyten gültig, wie die Gegenüberstellung der Tabellen 1 und 2 für die Senne zeigt, denn von einer Baumart zur anderen liegen unterschiedliche Substratbedingungen vor (Nährstoffangebot, Wasserkapazität, pH-Wert der Borke u. a.). Dennoch ist ein gleichlaufender Trend festzustellen, der es erlaubt, allgemein von resistenten Arten zu sprechen, wie z. B. *Lecanora varia*, *Lepraria aeruginosa*, *Buellia punctata*, denen sensible Arten gegenüberstehen, z. B. *Cetraria glauca*, *Evernia prunastri*, *Cladonia spec.* Eine absolut verstandene lineare Reihenfolge der Toxizitätsreihe ist nur bedingt gegeben, sofern ein Untersuchungsgebiet ökologisch gleichwertige Bedingungen aufweist und abschließend kartiert wird. Für den Senne-Raum stehen noch die durch den Truppenübungsplatz gesperrten Meßstationen aus.

Eine Korrelation der Q-Werte mit der SO₂-Toleranz der Flechtenarten der Senne kann wegen fehlender SO₂-Meßwerte der atmosphärischen Luft nicht hergestellt werden. KIRSCHBAUM u. a. (1974) veröffentlichten eine SO₂-Toleranzreihe von Flechtenarten für das untere Maingebiet (Tab. 3).

Tabelle 3: SO₂-Toleranz verschiedener Flechtenarten, n. KIRSCHBAUM u. a., 1974.

Erstes Auftreten von	SO ₂ -Mittelwert
<i>Lecanora varia</i>	0,150 mg/m ³ Luft
<i>Buellia punctata</i>	0,120 mg/m ³ Luft
<i>Physcia asc./ten.</i>	0,100 mg/m ³ Luft
<i>Parmelia sulcata</i>	0,100 mg/m ³ Luft
<i>Hypogymnia physodes</i>	0,100 mg/m ³ Luft
<i>Candelariella xanthostigma</i>	0,070 mg/m ³ Luft
<i>Lecanora subfusca</i>	0,070 mg/m ³ Luft
<i>Parmelia exasperatula</i>	0,070 mg/m ³ Luft
<i>Evernia prunastri</i>	0,060 mg/m ³ Luft

3.2. Einteilung der Senne in Flechtenzonen

Die für jede Meßstation errechneten IAP-Werte können aus den Abb. 1 und 2 ersehen werden. Um das Sennegebiet in Bewertungszonen aufzugliedern, können publizierte Einteilungsschemata nach IAP-Werten nicht übernommen werden, da regionale Besonderheiten vorliegen. Es hat sich aber bewährt, die Zonen nach folgenden Merkmalen einzuteilen: abnehmender IAP-Wert, mittlere sinkende Artenmenge pro Station innerhalb jeder Bewertungszone (\bar{A}), niedrigere durchschnittliche Frequenz-Deckungsgrade (\bar{f}) und durchschnittliche Q-Werte (\bar{Q}) von Flechtenarten, die in allen Bewertungszonen auftreten, sog. Referenzflechten, sowie die Produkte aus $\bar{Q} \times \bar{f}$ (vgl. DE SLOOVER und LE BLANC 1968, HEIDT 1978).

Für die Berechnung der mittleren f-Werte (\bar{f}) und der mittleren Q-Werte (\bar{Q}) der Senne-Bewertungszone werden für den Phorophyten Apfel folgende sieben Flechtenarten herangezogen, die in Meßstationen aller Bewertungszonen auftreten: *Lecanora varia*, *Physcia ascendens/tenella*, *Hypogymnia physodes* (Abb. 8), *Parmelia sulcata*, *Lecidea macrocarpa*, *Lepraria aeruginosa* und *Lepraria candelaris*.

Für den Phorophyten Kirsche werden folgende sechs Referenzflechten herangezogen: *Lecanora varia*, *Physcia ascendens/tenella*, *Hypogymnia physodes*, *Parmelia sulcata*, *Lecidea macrocarpa*, *Lepraria aeruginosa*.

Aus den charakterisierenden Mittelwerten (Tab. 4) rechtfertigt sich eine Aufteilung der Senne in vier Bewertungszonen; eine 5. Zone, die als Flechtenwüste

Tabelle 4: Charakterisierung der Bewertungszonen nach Mittelwerten.

Zone	\bar{A} mittlere Arten- menge/ Station	\bar{f} mittl. Frequenz- Deckungsgrad der Referenzflechten/ Station	\bar{Q} mittl. Toxitolanz- wert der Referenz- flechten / Station	$\bar{Q} \times \bar{f}$
Phorophyt: Apfel				
1	12,3	3,5	12,5	43,75
2	8,9	2,6	9,0	23,40
3	8,4	2,1	8,6	18,06
4	9	1,9	8,3	15,77
Phorophyt: Kirsche				
1	12	3,7	10,3	38,11
2	5,9	2,9	6,3	18,27
3	5,9	2,4	6,4	15,36
4	6,75	1,8	6,4	11,52

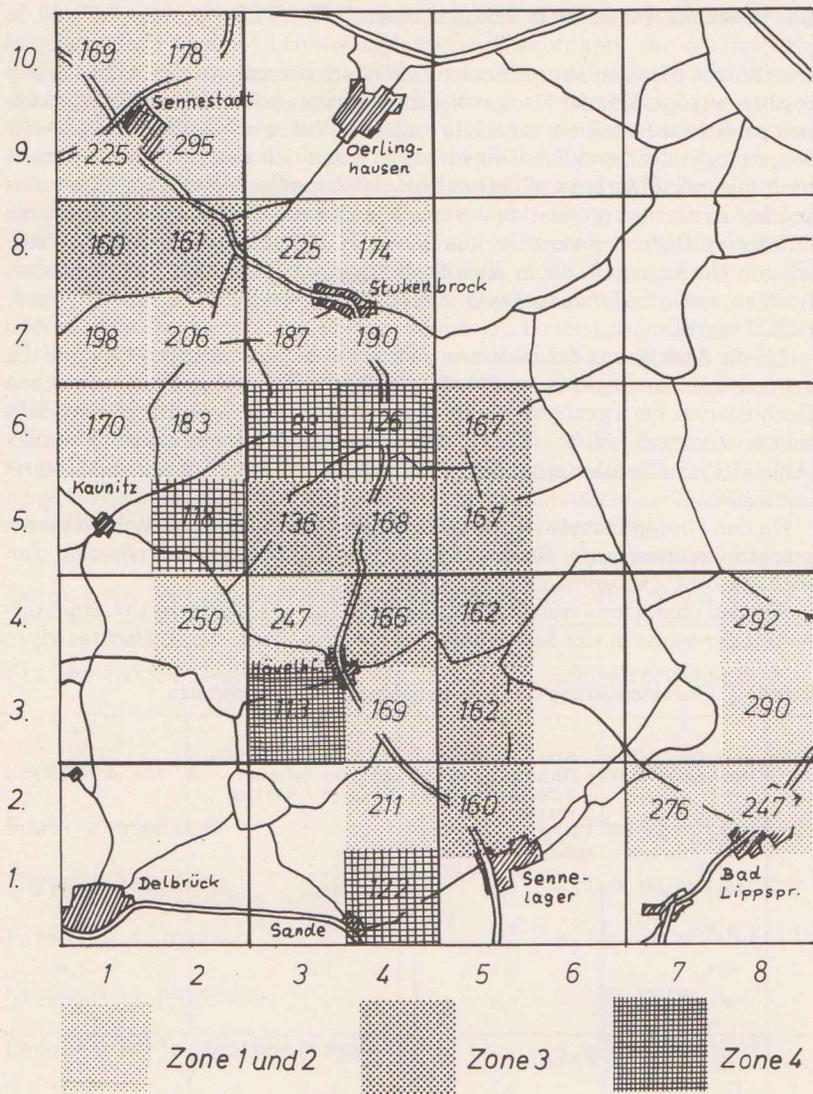


Abbildung 1: Flechtenzonierung der Senne am Phorophyten Apfel (*Malus domestica*). Die Seite eines Gitterrasters entspricht 5 km. Zoneneinteilung: Zone 1 (IAP \geq 290), Zone 2 (IAP 289-169), Zone 3 (IAP 168-130), Zone 4 (IAP < 130).

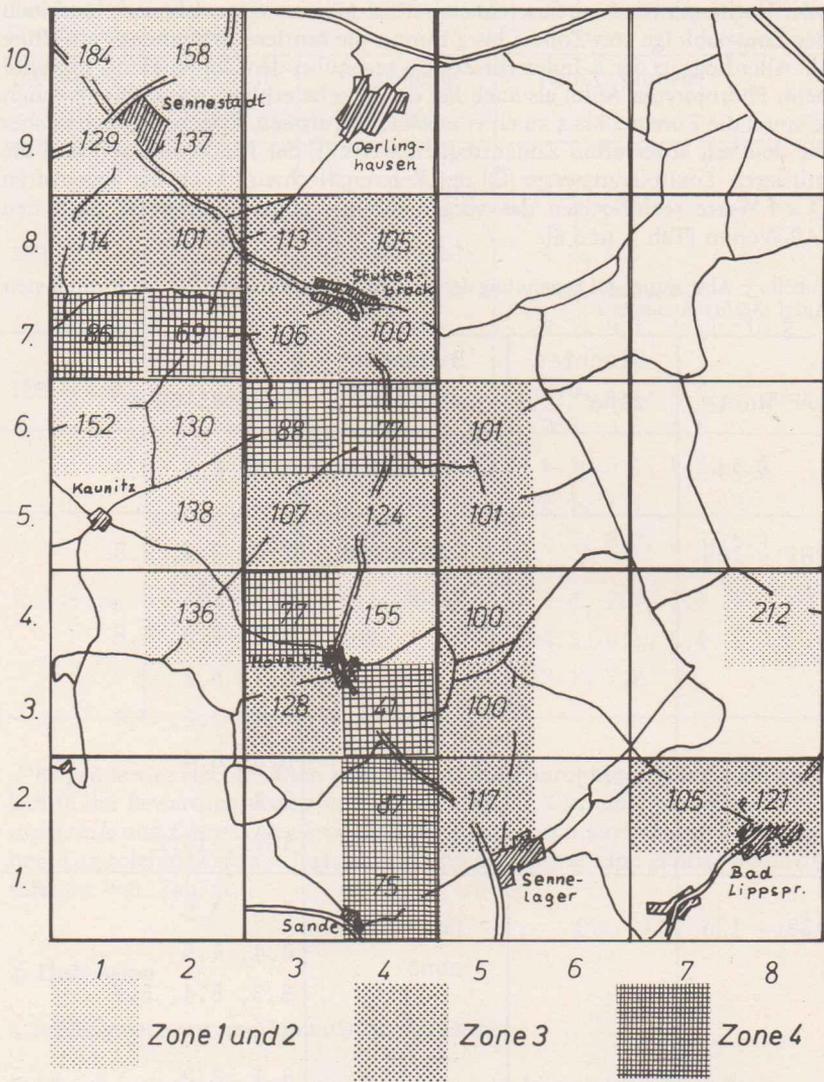


Abbildung 2: Flechtenzonierung der Senne am Phorophyten Kirsche (*Prunus avium*). Die Seite eines Gitterrasters entspricht 5 km. (Zoneneinteilung: Zone 1 (IAP ≥ 200), Zone 2 (IAP 199-129), Zone 3 (IAP 128-100), Zone 4 (IAP < 100).

oder flechtenarme Zone bezeichnet werden könnte, tritt nicht auf. Innerhalb der Zonenabfolge von Zone 1 bis 4 nimmt die mittlere Artenmenge pro Zone ab. Allerdings ist der \bar{A} -Index für Zone 4 gegenüber den Zonen 2 und 3 sowohl beim Phorophyten Apfel als auch bei der Kirsche erhöht, was dafür sprechen könnte, die Zonen 2 bis 4 zu einer zusammenzufassen. Dagegen sprechen aber die deutlich abgestuften Zonenfrequenzwerte (\bar{f}) der Rindenflechten und die mittleren Toxizoleranzwerte (\bar{Q}) der Referenzflechten. Auch die abgestuften $\bar{Q} \times \bar{f}$ -Werte rechtfertigen das vorgenommene Einteilungsschema nach den IAP-Werten (Tab. 5 und 6).

Tabelle 5: Abstufung und Benennung der Flechtenzonen der Senne für den Phorophyten Apfel (*Malus domestica*).

IAP-Werte	Flechtenzone	Benennung der Zone	Meßstationen
≥ 290	1	Optimalzone	3.8, 4.8, 9.2
289 - 169	2	Suboptimalzone	2.4, 2.7, 2.8 3.4, 3.8, 4.2, 4.3, 4.8 6.1, 6.2 7.1, 7.2, 7.4 8.3, 8.4 9.1 10.1, 10.2
168 - 130	3	Übergangszone	2.5, 3.5 4.4, 4.5 5.3, 5.4, 5.5 6.5 8.1, 8.2
< 130	4	Belastete Zone	1.4, 3.3 5.2, 6.3, 6.4

Tabelle 6: Abstufung und Benennung der Flechtenzonen der Senne für den Phorophyten Kirsche (*Prunus avium*).

IAP-Werte	Flechtenzone	Benennung der Zone	Meßstationen
≥ 200	1	Optimalzone	4.8
199 - 129	2	Suboptimalzone	4.2, 4.4 5.2, 6.1, 6.2 9.1, 9.2, 10.1, 10.2
128 - 100	3	Übergangszone	2.5, 2.7, 2.8 3.3, 3.5, 4.5 5.3, 5.4, 5.5, 6.5 7.3, 7.4 8.1, 8.2, 8.3, 8.4
< 100	4	Belastete Zone	1.4, 2.4, 3.4 4.3, 6.3, 6.4 7.1, 7.2

Folgende vier Flechtenarten kommen für den Phorophyten Apfel ausschließlich in der Bewertungszone 1 vor: *Cetraria glauca*, *Cladonia spec.*, *Parmelia exasperatula* und *Evernia prunastri* (Abb. 9). Sie alle zeichnen sich durch einen hohen Toxizitätswert aus (vgl. Tab. 1) und zeigen nur eine geringe SO_2 -Toxizität (vgl. Tab. 3).

4. Diskussion

4.1. Flechtenzonen und klimatische Verhältnisse

Die Ergebnisse müssen auf dem Hintergrund der klimatischen Verhältnisse der Senne interpretiert werden. Die Senne wird im Osten durch die Egge begrenzt. Letztere verursacht einen Stau der atlantischen Westwinde, die durch den Teutoburger Wald und den Haarstrang vor der Egge zusammengetrieben werden. Die Folgen der Luftstauung machen sich im Niederschlag bemerkbar (MAAS-JOST 1962). Die mittleren jährlichen Niederschlagsmengen liegen im SW der

Senne bei 800 mm (Winterhalbjahr 350 mm) und steigern sich in nordöstlicher Richtung im Untersuchungsgebiet über 850 mm (Winterhalbjahr 400 mm) auf 900 mm (Winterhalbjahr 450 mm), um schließlich auf dem Eggekamm 1000 mm, in Veldrom sogar 1132 mm zu erreichen. Niederschlagsmaxima liegen im Dezember und Januar sowie im Juli/August. Die mittleren Häufigkeiten

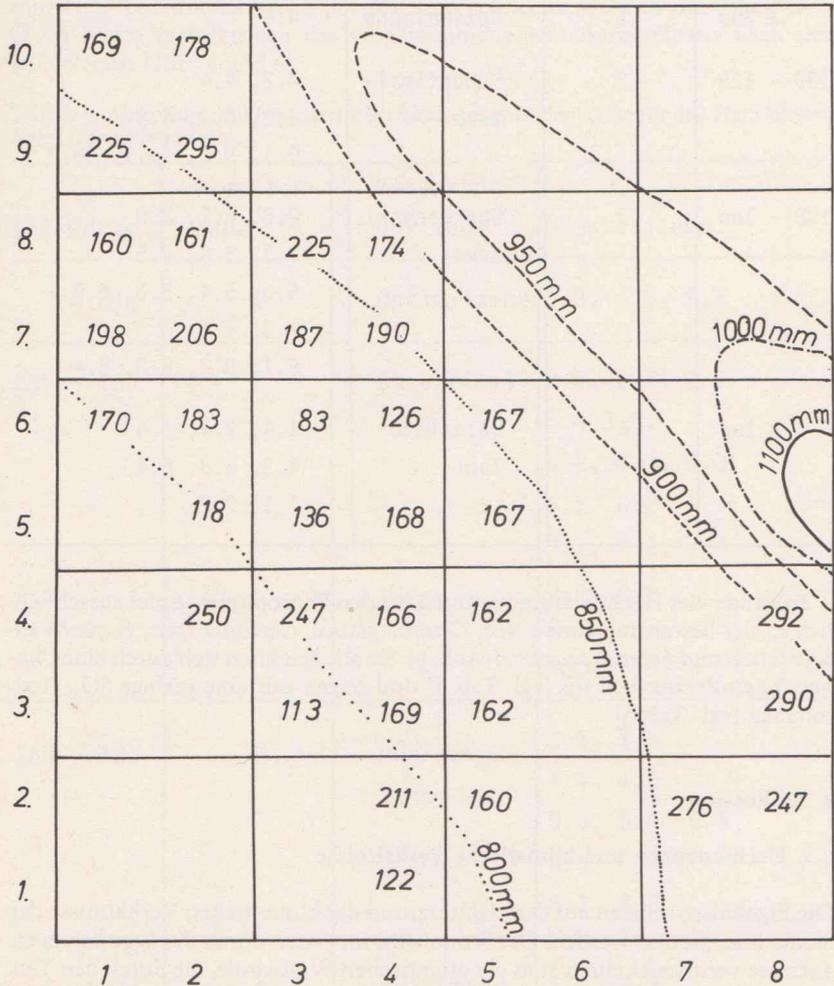


Abbildung 3: Lage der Meßstationen mit den IAP-Werten am Phorophyten Apfel in Beziehung zu den mittleren Niederschlagsmengen in mm im Jahr (Periode 1891-1930), nach Klima-Atlas von Nordrhein-Westfalen, Blatt 51.

der Windrichtungen im Jahr liegen für die Meßstation Bad Driburg nach Angaben des Deutschen Wetteramtes bei 20% aus SW, 17% aus W und 13% aus NW.

Die Wachstumsbedingungen verbessern sich für die Flechten in der Senne aus klimatischer Sicht mit zunehmender Nähe zum Teutoburger Wald und zur Egge. Hier finden wir Meßstationen der Zonen 1 und 2 (Abb. 3 und 4). Die Ab-

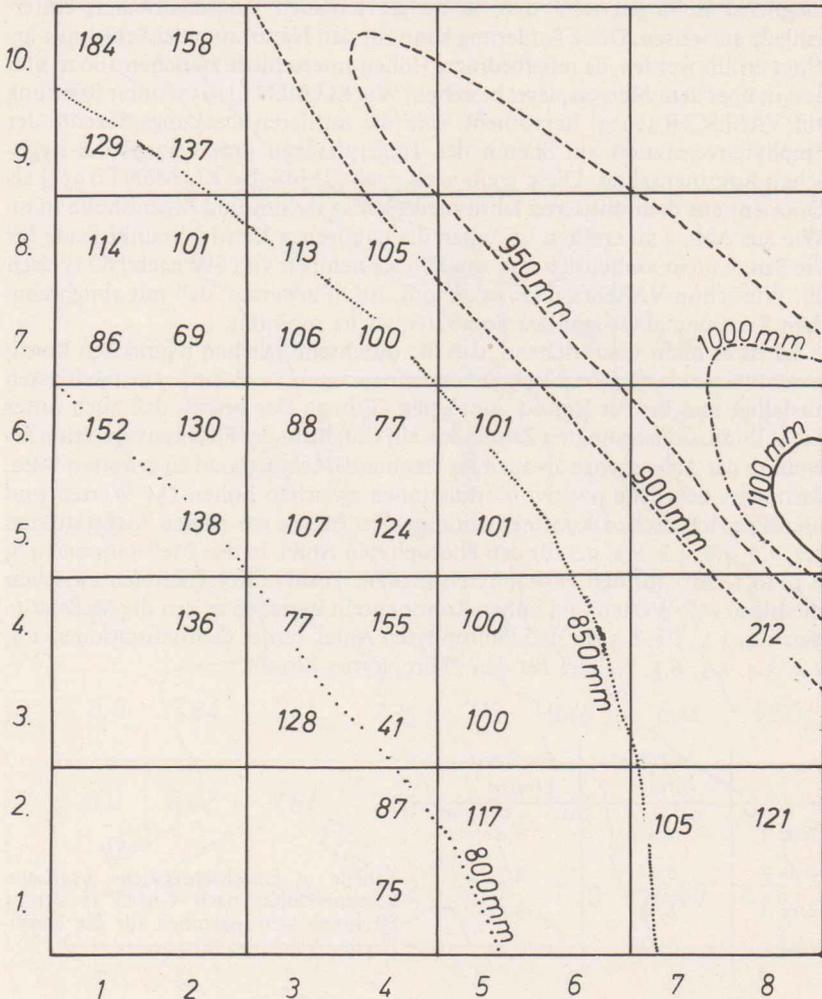


Abbildung 4: Lage der Meßstationen mit den IAP-Werten am Phorophyten Kirsche in Beziehung zu den mittleren Niederschlagsmengen in mm im Jahr (Periode 1891-1930), nach Klima-Atlas von Nordrhein-Westfalen, Blatt 51.

hängigkeit epiphytischer Flechtengesellschaften von der Niederschlagsmenge ist bereits von OCHSNER (1928) hervorgehoben worden. So benötigt das Parmelietum acetabulae einen mittleren Jahresniederschlag oberhalb der 750-mm-Grenze. Mit erhöhtem Niederschlag wird eine verstärkte Reinigung der Luft von Schadstoffen erreicht.

Nach DE SLOOVER und LE BLANC (1968) sollte das Untersuchungsgebiet möglichst homogen sein, d. h. keine gravierenden landschaftlichen Unterschiede aufweisen. Diese Forderung kann für den Naturraum der Senne nur bedingt erfüllt werden, da reliefbedingte Höhenunterschiede zwischen 100 m und 200 m über dem Meeresspiegel bestehen. Wie KLEMENT (1955) unter Berufung auf VARESCHI (1933) hervorhebt, sind die mittleren Deckungsprozent der Epiphytenvegetation am Stamm der Trägerpflanzen proportional der hygrischen Kontinentalität. Diese ergibt sich nach GAMS (bei KLEMENT 1955) als Quotient aus dem mittleren Jahresniederschlag in mm und Meereshöhe in m. Wie aus Abb. 5 zu ersehen ist, fallen die hygrischen Kontinentalitätsgrade für die Senne nicht einheitlich aus, sondern sie nehmen von SW nach NO typisch ab. Wie schon VARESCHI (1933) betont, ist zu erwarten, daß mit abnehmendem Kontinentalitätsgrad der Epiphytenwuchs zunimmt.

So ist es nicht überraschend, daß die durchschnittlichen hygrischen Kontinentalitätsgrade für die Flechtenbewertungszonen in Zone 1 am niedrigsten ausfallen und bis zur Zone 4 zunehmen (Tab. 7). Das besagt, daß auch unter nicht immissionsbedingten Zuständen ein Gefälle in der Flechtenvegetation sowohl in der Artenmenge als auch im Frequenz-Deckungsgrad zu erwarten wäre. Besonders deutliche positive Korrelationen zwischen hohen IAP-Werten und niedrigen hygrischen Kontinentalitätsgraden finden wir in den Meßstationen 2.7, 2.8, 3.8, 4.8, 8.3, 9.2 für den Phorophyten Apfel, in den Meßstationen 4.8, 9.2, 10.1, 10.2 für den Phorophyten Kirsche. Positive Korrelationen zwischen niedrigen IAP-Werten und hohen Kontinentalitätsgraden zeigen die Meßstationen 1.4, 3.3, 5.2, 6.3 für den Phorophyten Apfel, ferner die Meßstationen 1.4, 2.4, 3.4, 4.3, 6.3, 7.1, 7.2 für den Phorophyten Kirsche.

	Phorophyt Apfel	Phorophyt Kirsche
Zone 1	5,4	5,0
Zone 2	6,64	6,7
Zone 3	6,91	6,67
Zone 4	7,24	7,47

Tabelle 7: Durchschnittliche hygrische Kontinentalität nach GAMS in den 4 Flechtenbewertungszonen für die Phorophyten Apfel und Kirsche.

Hieraus läßt sich ableiten, daß die Meßstationen mit niedrigen hygrischen Kontinentalitätsgraden den schädigenden Einflüssen emissionsbelasteter Luft

weniger stark ausgesetzt sind als die Meßstationen mit hohen hygrischen Kontinentalitätsgraden.

Entscheidend dürfte hierbei der reinigende Effekt der erhöhten Niederschläge sein.

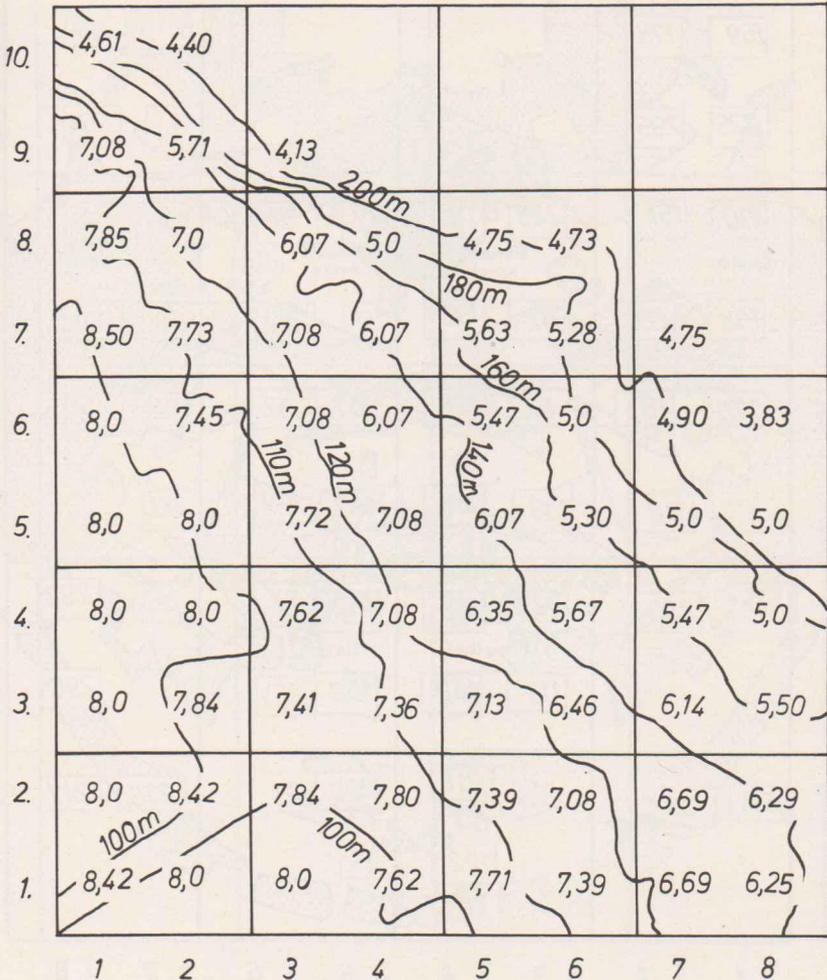


Abbildung 5: Hygrische Kontinentalitätsgrade nach GAMS als Quotient aus Jahresniederschlag in mm und Meereshöhe in m. Die eingetragenen Iso-Linien sind Isohypsen.

4.2. Flechtenzonen und Waldbestand der Senne

Setzt man die Meßstationen der belasteten Zone (4) mit einer Karte des geschlossenen Waldbestandes in Beziehung, so finden wir positive Korrelationen.

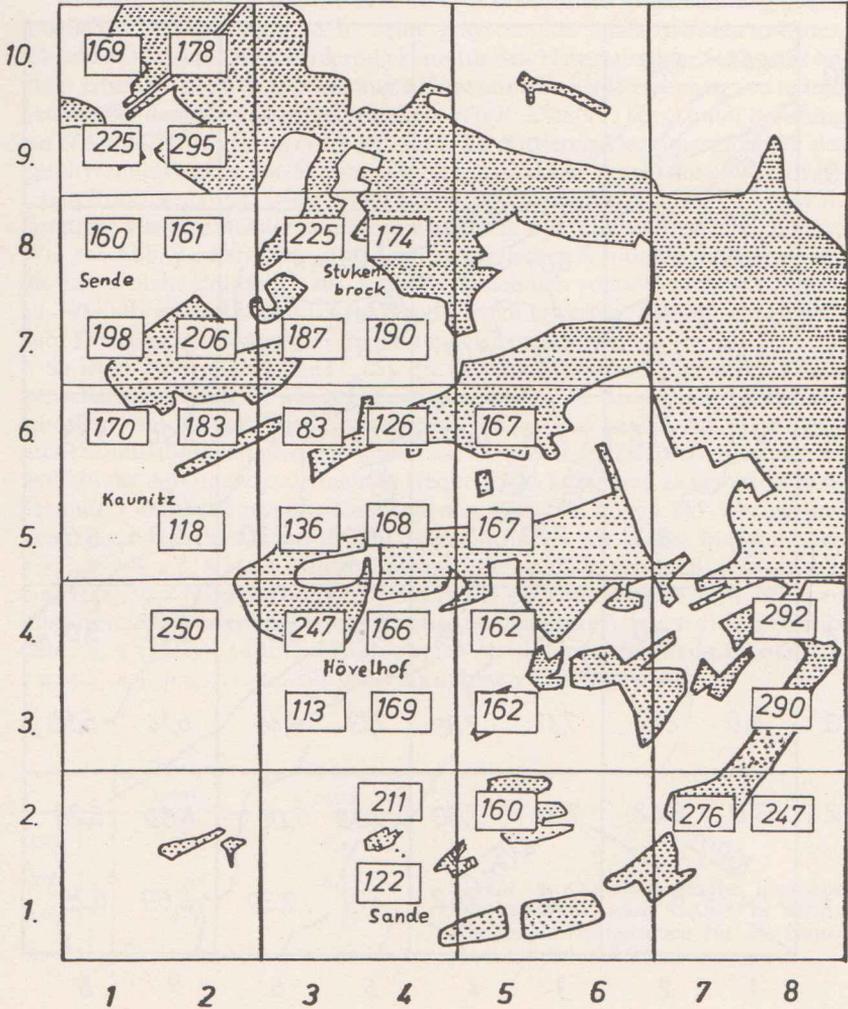


Abbildung 6: Lage der Meßstationen mit den IAP-Werten am Phorophyten Apfel in Beziehung zum geschlossenen Waldbestand der Senne.

Die Ergebnisse am Phorophyten Apfel zeigen, daß solche Meßstationen der Flechtenzone 4 zugeordnet sind, die den vorherrschenden südwestlichen Winden den geöffnet sind (Abb. 6). Es lassen sich drei nach Westen und Südwest geöffnete Schneisen herausstellen:

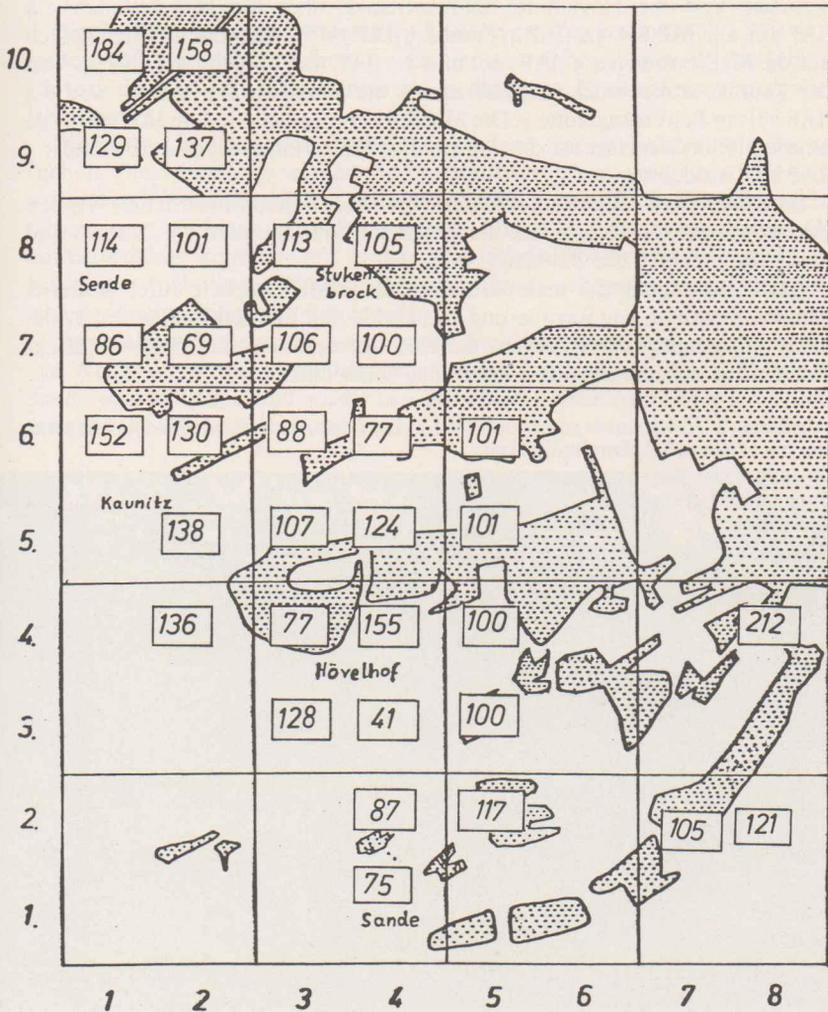


Abbildung 7: Lage der Meßstationen mit den IAP-Werten am Phorophyten Kirsche in Beziehung zum geschlossenen Waldbestand der Senne.

1. die Kaunitz-Stukenbrock-Schneise mit den Meßstationen 5.2 (IAP 118), 6.3 (IAP 83) und 6.4 (IAP 126),
2. die Hövelhofer Südwestflanke mit der Meßstation 3.3 (IAP 113),
3. die Sander Schneise mit der Meßstation 1.4 (IAP 122).

Die Ergebnisse am Phorophyten Kirsche deuten darauf hin, daß die Sander Schneise und die Hövelhofer Südwestflanke über die Meßstationen 1.4 (IAP 75), 2.4 (IAP 87), 3.4 (IAP 41) und 4.3 (IAP 77) vereint sind und sich östlich auf die Meßstationen 4.5 (IAP 100) und 3.5 (IAP 100) ausdehnen (Abb. 7). Von der Kaunitz-Stukenbrock-Schneise zählen die Stationen 6.3 (IAP 88) und 6.4 (IAP 77) zur Bewertungszone 4. Die Meßstation 7.4 zeigt mit dem IAP-Wert 100 eine kritische Grenzlage an, die sich auf die Meßstationen 6.5 (IAP 101) und 5.5 (IAP 101) ausdehnt.

Im Nordwesten öffnet sich die Senne bei Sende den nordwestlichen Winden bis nach Stukenbrock hin. Die hier liegenden Meßstationen 7.1 (IAP 86) und 7.2 (IAP 69) zählen zur Bewertungszone 4.

Die Herabsetzung der makroklimatischen Luftfeuchtigkeit durch Kultivierungsmaßnahmen wie Regulierung von Flußläufen und Kahlschläge im Waldbestand begünstigt den Rückgang der Flechtenvegetation und steigert indirekt den Einfluß schadstoffhaltiger atmosphärischer Luft.

Abbildung 8: *Hypogymnia physodes* L. (Nyl.), eine epiphytische Rindenflechte mit geringer bis mittlerer SO_2 -Empfindlichkeit.



Zusammenfassend ergeben sich für den Westrand der Senne von Norden nach Süden vier belastende, windoffene Flanken:

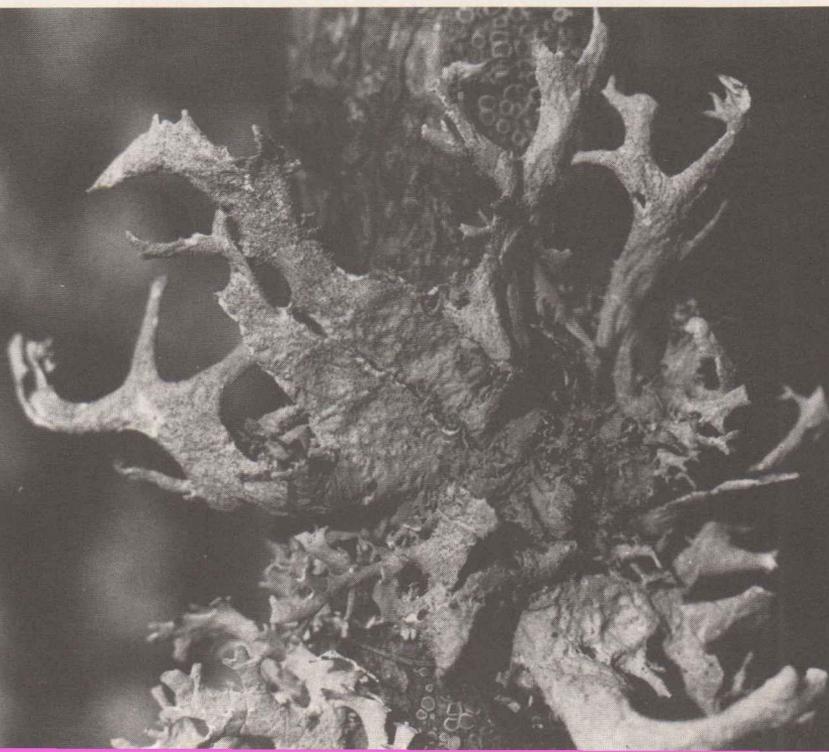
1. die Sende-Stukenbrock-Schneise,
2. die Kaunitz-Stukenbrock-Schneise,
3. die Hövelhofer Südwestflanke,
4. die Sander Schneise.

Die Zuordnung dieser windoffenen Flanken zur Bewertungszone 4 läßt vermuten, daß die nordwestlichen, westlichen und südwestlichen Winde Schadstoffe in die westliche Senne hineintragen, die zu der Flechtenverarmung Anlaß geben.

Die Herkunftsgebiete der Immissionen sind weniger im Senneraum selbst zu suchen. Die Schadstoffe werden mit den nordwestlichen, westlichen und südwestlichen Winden importiert, denn nur so sind die westlichen Windeinbruchschneisen in die Senne der Bewertungszone 4 zugehörig zu interpretieren. Als Emissionsherde kommen mit großer Wahrscheinlichkeit das Ruhrgebiet in Frage, aber auch die im Westen und Nordwesten vorliegende Stadt Gütersloh und der Stadtteil Bielefeld-Brackwede.

Zum Schutz der Senne als Naturraum wäre daher zu empfehlen, keine weiteren Waldrodungen im westlichen Teil der Senne zuzulassen und in den windoffenen südwestlichen und westlichen Schneisen gezielt Aufforstungen vorzunehmen.

Abbildung 9: *Evernia prunastri* (L.) Ach., eine strauchig verzweigte epiphytische Rindenflechte mit hoher SO₂-Empfindlichkeit. Ober- und unterhalb derselben *Lecanora subfusca* (L.) Ach., eine ebenfalls empfindliche, napfförmige epiphytische Rindenflechte.



Literatur

- DE SLOOVER, J. und LE BLANC, F. (1968): Mapping of atmospheric pollution on the basis of lichen sensitivity.-Proc. Symp. Recent Advanc. Trop. Ecol.: 42-56.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (1960): Klima-Atlas von Nordrhein-Westfalen. - Offenbach.
- GERHARDT, A. und KORFSMEIER, K. (1979): Untersuchungen zur Luftverunreinigung im Kreis Herford mit Flechten als Bioindikatoren. - Mitt. Landesanst. Ökolog. Landschaftsentw. u. Forstplanung NW, 4: 4-12.
- GILBERT, O. L. (1970): A biological scale for the estimation of sulphur dioxide pollution. - New Phytol. 69: 629-634.
- HAWKSWORTH, D. L. und ROSE, F. (1970): Qualitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. - Nature 227: 145-148.
- HEIDT, V. (1978): Flechtenkartierung und die Beziehung zur Immissionsbelastung des südlichen Münsterlandes. - Biogeographica, 12, The Hague, Boston, London.
- KIRSCHBAUM, U., KLEE, R. und STEUBING, L. (1974): Luftqualitätsmessungen infolge von Immissionswirkungen auf Flechten - Flechten als Bioindikatoren. - In: Lufthygienisch-meteorologische Modelluntersuchung in der Region Untermain, 5. Arbeitsbericht: 116-127.
- KLEMENT, O. (1955): Prodromus der mitteleurop. Flechtengesellschaften. - Feddes Reper. spec. novarum regni vegetabilis, Beih. 135: 5-194.
- LE BLANC, F. und DE SLOOVER, J. (1970): Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. - Can. J. Bot., 48: 1485-1496.
- LE BLANC, F. (1971): Possibilities and methods for mapping air pollution on the basis of lichen sensitivity. - Mitt. forstl. Bundes-Versuchsanstalt, 92: 103-126.
- MAASJOST, L. (1962): Das Eggegebirge. - Landschaftsführer des Westfäl. Heimatbundes, 4, 2. Aufl., Münster 1952.
- OCHSNER, F. (1928): Die Epiphytenvegetation der Schweiz. - Jahrb. Naturf. Ges. St. Gallen, 63.
- VARESCHI, V. (1933): Meereshöhe, Kontinentalität und Epiphytenverbreitung. - Ber. Geobot. Forsch. Inst. Rübel f. d. Jahr 1933, Zürich.

Anschrift des Verfassers: Studien-Prof. Dr. G. Masuch, Römerstraße 19, D 4790 Paderborn