

SPONTANVEGETATION AUF DÄCHERN IN OSNABRÜCK*)

SUSANNE BOSSLER und BERND SUSZKA

1. Einführung

In vielen Städten findet man Dächer, auf denen sich im Laufe der Zeit, ohne gärtnerisches Zutun, Pflanzen angesiedelt haben. Im Rahmen einer Diplomarbeit an der Fachhochschule Osnabrück wurden Untersuchungen auf acht Dächern im Stadtgebiet von Osnabrück durchgeführt. Das Interesse der Arbeit galt den Pflanzengemeinschaften und Böden, die sich dort entwickelt haben sowie der Beziehung zwischen Boden und Vegetation.

2. Die Dächer

Fünf der acht untersuchten Gebäude entstanden zwischen 1892 und 1902. Sie erhielten Satteldächer mit geringer Neigung

(3–5°) und Holzzementdachdeckung (Abbildung 1). Die übrigen drei Häuser sind Flachdachbauten aus den 70er Jahren. Alter, Bauweise, Lage und Zustand der Dächer sind in Tabelle 1 aufgeführt. Die Mächtigkeit der Substratschicht und die Vegetationszonierung wird beispielhaft anhand von zwei Dächern in den Darstellungen 1 und 2 gezeigt.

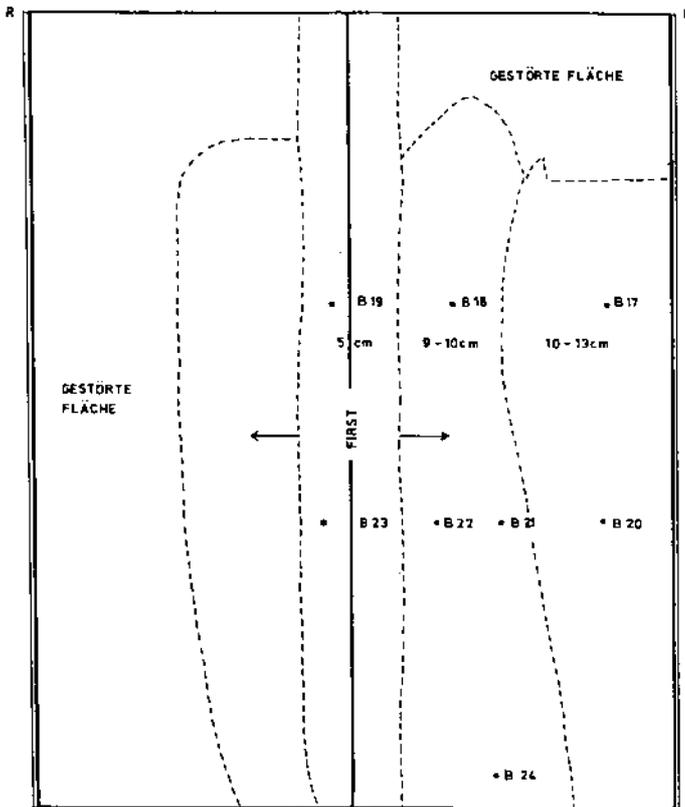
Das Holzzementdach ist eine Dachdeckungsart, die um die Jahrhundertwende häufig ausgeführt wurde. Die Dachdichtung besteht dabei aus mehreren Lagen Pappe und Holzzementanstrich. Sie wird mit Sand, lehmigem Sand und Kies abgedeckt (WASMUTH 1931). Auch in Osnabrück gab es zahlreiche dieser Dächer. Ein Großteil davon wurde im zweiten Weltkrieg zerstört. Etliche fielen in den letzten Jahren Umbauten und Reparaturen zum Opfer, so daß unseres Wissens nur noch sieben Holzzementdächer in Osnabrück erhalten sind.

Bei allen von uns untersuchten Flachdächern sind in den letzten

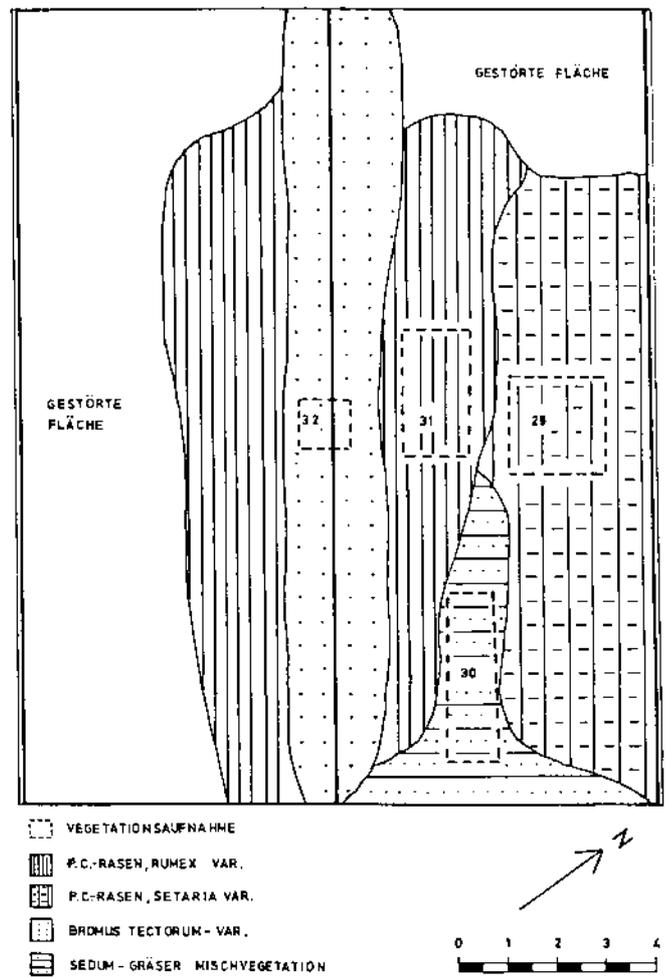
Diplomarbeit im Fachbereich Landespflege an der Fachhochschule Osnabrück, betreut durch Prof. Dr. K. ARNDT und Prof. Dr. H. DÜMMLER.

Tabelle 1: Bauweise, Lage und Zustand der untersuchten Dächer.

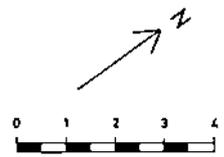
Dach	Grundschule Haste	Weissenburger Straße	Am Kreuzhügel	Pernickelmühle	Nobbenburger Straße	Klarastraße 1	Klarastraße 18	Klarastraße 19
Baujahr	1967	1968	1964	1892	1898	1902	1902	1902
Geschoßzahl	2	1	1	4	4	2	2	2
ges. Dachfläche	442 m ²	60 m ²	433 m ²	213 m ²	195 m ²	45 m ²	45 m ²	45 m ²
substratbedeckte Fläche	299 m ²	60 m ²	433 m ²	213 m ²	150 m ²	25 m ²	25 m ²	45 m ²
Dachform	Flachdach	Flachdach	Flachdach	Satteldach	Pultdach	Satteldach	Satteldach	Satteldach
Dachneigung	0°	0°	0°	5°	3°	5°	5°	5°
Dachkonstruktion	Nicht durchlüftetes Dach	Durchlüftetes Dach	Nicht durchlüftetes Dach	Holzzementdach	Holzzementdach	Holzzementdach	Holzzementdach	Holzzementdach
Dachsubstrat	4–9 cm Mittel- bis Grobkies	1 cm Sand, 2,5–4 cm Mittel- bis Grobkies	2,5–3 cm Fein- bis Mittelkies	5–13 cm Sand Profildifferenzierung: 0–5 cm YAh, dunkler humoser Sand 5–13 cm YC heller Sand	8–15 cm Sand Profildifferenzierung: 0–9 cm YAh, dunkler humoser Sand 9–15 cm YC heller Sand	3–8 cm Sand mit hohem Skelettanteil	5–15 cm Sand	4–9 cm Sand bzw. 12 cm Sand (Anbau) Profildifferenzierung: 0–5 bzw. 9 cm YAh dunkler humoser Sand 5–8 cm bzw. 9–12 cm YC heller Sand
Exposition	freistehend	Teilweise Beschattung durch Bäume und Sträucher	am Südhang in einem kleinen Mischwaldbest.	freistehend am Haseufer	freistehend	Die Gebäude stehen in einer Zeile gleich hoher Gebäude		
Eingriffe	Wegen Dachundichtigkeit wurde der Kies z. T. abgeräumt	keine	keine	1979 wurde der Gehölzaufwuchs entfernt. 1986 Dachreparatur	Dachreparatur 1985. Es wurden Entwässerungsrinnen im Substrat ausgestochen	Dachreparatur im Juli 1986. Das gesamte Substrat wurde umgeschaufelt	An einer Stelle wurde das Substrat für eine Reparatur abgeräumt	Das Dach wurde abgeharkt und mit Herbiziden behandelt
Bemerkungen		Z. T. Bewuchs mit Wilden Wein	Schattigstes Dach der Häusergruppe am Kreuzhügel mit geschlossenstem Bewuchs					



→ = GEFÄLLE
 R = DACHRINNE
 B = BODENPROBE



VEGETATIONSAUFNAHME
 P.C.-RASEN, RUMEX VAR.
 P.C.-RASEN, SETARIA VAR.
 BRIDULUS TECTORUM - VAR.
 SEDUM - GRÄSER MISCHVEGETATION



Darstellung 1: Dachkarten Pernickelmühle (P). Links: Mächtigkeit der Substratschicht; rechts: Vegetation.

Jahren undichte Stellen in der Dachdichtung aufgetreten. Bituminöse Dachdichtungsbahnen sind nicht durchwurzelungsfest (FLL 1986). Teerpappen dagegen enthalten toxische Stoffe, die Durchwurzelungsschäden auf den Holzzementdächern verhindert haben (Abbildung 2).

3. Wetter und Klima in Osnabrück

Das gesamte Stadtgebiet Osnabrücks wird dem Klimabezirk „Unteres Weserbergland“ zugeordnet. Hier herrscht ein humides Übergangsklima, das hauptsächlich ozeanisch und in geringem Maß kontinental beeinflusst ist. Geringe Jahres- und Tages-temperaturschwankungen, kühle Sommer und Winter, hohe Niederschläge und hohe relative Luftfeuchtigkeit, windreiches Wetter mit den Hauptwindrichtungen Südwest und West sowie starke Bewölkung kennzeichnen die ozeanisch bestimmten Wettererscheinungen (Tabelle 2). Seltener, aber zu allen Jahreszeiten möglich, kann das Wetter bei Wind aus östlichen Richtungen (sogenannten Ostlagen) kontinentalen Charakter annehmen. Trockenheiße Sommer und sehr kalte Winterperioden sind dann die Folge (NIEMANN 1974).

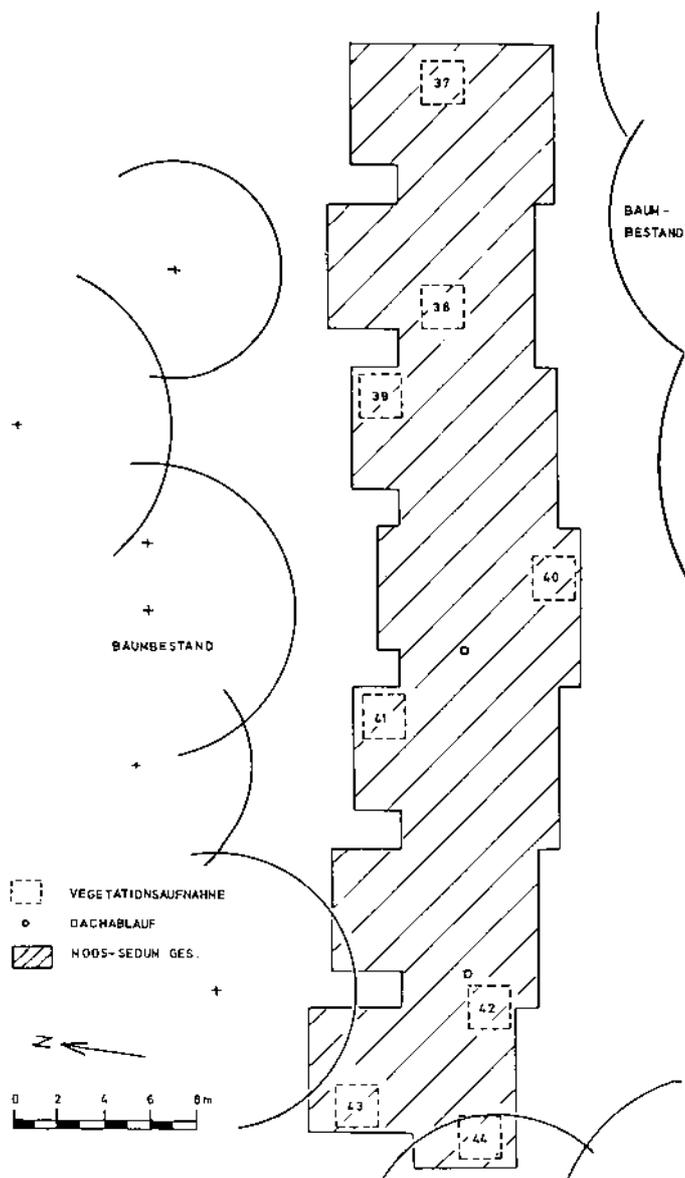
4. Die Dachsubstrate

4.1 Methoden

Auf sechs der untersuchten Dächer wurden im August 1986 Gewichtsproben entnommen. Soweit eine Profildifferenzierung

erkennbar war, wurde aus jedem Horizont eine Probe entnommen (bei der Probennumerierung durch Indizes gekennzeichnet, zum Beispiel 4.1, 4.2 etc.). Im Labor wurden der pH-Wert, der Humusgehalt, die austauschbaren Kationen (Na, K, Mg, Ca, Zn, Cu, Cd, Pb) und die formiatlöslichen Kalium-, Phosphat- und Schwermetallgehalte bestimmt. Zur Bestimmung des Porenvolumens und der Wasserbindung wurden im Dezember 1986 auf dem Holzzementdach in der Nobbenburger Straße unter einem *Poa compressa*-Rasen neun Stechzylinderproben aus 4–10 cm Tiefe entnommen.

- pH-Wert elektrometrisch in Bodensuspension mit 0,01 m CaCl_2 -Lösung.
- Organische Substanz durch Glühverlust bei 105 °C.
- Austauschbare Kationen durch Extraktion mit ungepufferter 0,2 n BaCl_2 -Lösung.
- Verfügbare Kalium-, Phosphor- und Schwermetallgehalte durch Extraktion mit Natriumformiatlösung, Ca, K, Na-Bestimmung am Flammenphotometer, Mg, Zn, Cu, Cd, Pb-Bestimmung am Atomabsorptionsspektrometer, Phosphor nach Phosphormolybdänblau-Methode.
- Porengrößenverteilung und Wasserbindung durch schrittweise Entwässerung der Volumenproben bei 1, 60, 300, 1300 und 15000 cm WS.
- Luftvolumen mit Luftpyknometer nach LANGER.



Darstellung 2: Dachkarte Kreuzhügel 39–51 (K).

4.2 Ergebnisse

Auf den Holzzementdächern liegen 8–15 cm starke Sandschichten mit hohem Skelettanteil vor (Tabelle 3). An durch Reparaturen gestörten Stellen beträgt die Schichtstärke mitunter jedoch nur 1–4 cm. Die Sande sind durch Huminstoffe dunkel gefärbt. Das Bodenskelett besteht aus Piesberg-Sandstein, Ziegelbruchstücken und Mörtelbrocken sowie aus geringen Anteilen von Bitumen. Auf den Flachdächern sind 2,5–9 cm Kies (überwiegend Mittelkies) aufgetragen worden.

Gefüge und Wasserbindung

In den Dachsubstraten besteht ein ausgeprägtes Gefüge. Das Gesamtporenvolumen ist hoch. Es beträgt im Mittel 53 Prozent (Tabelle 4). Der Anteil an Grobporen ($pF < 2,5$) ist, wie für Sandböden typisch, höher als der der Mittel- ($pF 2,5–4,2$) und Feinporen ($pF > 4,2$). Daher ergibt sich aus den untersuchten Proben eine sehr geringe Wasserkapazität ($nWK = \text{Differenz der Wassergehalte bei } pF 2,5 \text{ und } 4,2$) von im Mittel 9 Vol-%. Bei nur 15 cm Substratstärke entspricht das 13,6 l Bodenwasser/m². Die Dichte des Substrates beträgt 2,69 g/cm³.

Tabelle 2: Langjährige Mittelwerte für das Wetter und Klima in Osnabrück. (Quelle: Fachhochschule Osnabrück, Fachbereich Gartenbau, Witterungsverlauf 1986).

Niederschläge 1)	756,8 mm
Mittlere Temperatur 1)	9,1 °C
Relative Luftfeuchtigkeit 1)	81 %
Potentielle Verdunstung	517,3 mm
Sonnenscheindauer 2)	1274,4 Stunden
Sommertage (Maximum mind. 25 °C)	23,5 Tage
Frosttage (Minimum 2m 0 °C)	66,4 Tage

1) 30 jähriges Mittel (1954–1983)

2) 28 jähriges Mittel (1956–1983)

Tabelle 3: Feinbodenanteil, Humusgehalt und pH-Wert der Dachsubstrate.

Dach*)	Tiefe in cm	Probe-Nr.	Korngröße > 2 mm %	Korngröße < 2 mm %	Humusgehalt Feinboden %	Humusgehalt Gesamtprobe %	pH (CaCl ₂)
Ha	0–5	1	96,3	3,7	10,5	0,4	6,9
Ha	0–5	2	95,3	4,7	9,0	0,4	7,0
N	0–4	3	7,7	92,3	4,3	4,0	5,6
N	0–9	4,1	14,3	85,7	4,7	4,0	4,6
N	9–15	4,2	5,3	94,7	11,4	10,8	5,0
N	0–9	5,1	17,3	82,7	5,7	4,7	5,4
N	9–15	5,2	8,8	91,2	5,2	4,7	5,8
Wi	0–10	6	18,0	82,0	7,7	6,3	6,4
Wi	0–12	7	16,1	83,9	8,2	6,9	6,7
Bu	0–8	8	26,6	73,4	3,8	2,8	6,9
Bu	0–8	9	14,0	86,0	6,9	5,9	6,7
Fl	0–5	10,1	16,1	83,9	11,1	9,3	6,3
Fl	5–8	10,2	26,9	73,1	3,1	2,3	6,8
Fl	0–8	11	14,7	85,3	3,5	3,0	6,3
Fl	0–8	12	8,6	91,4	3,2	2,9	6,9
Fl	0–7	13,1	13,8	86,2	2,6	2,2	6,1
Fl	7–12	13,2	19,2	80,8	2,1	1,7	6,9
Fl	0–12	14	40,1	59,9	2,5	1,5	7,1
P	0–8	15,1	24,3	75,7	8,8	6,7	6,2
P	8–13	15,2	21,9	78,1	2,8	2,2	7,2
P	0–7	16,1	17,0	83,0	26,0	21,6	6,0
P	7–12	16,2	18,4	81,6	1,5	1,2	7,4
P	0–3	17,1	12,7	87,3	18,4	16,1	7,0
P	3–5	17,2	33,4	66,6	2,4	1,6	7,3
P	0–4	18,1	52,1	47,9	5,1	2,4	6,8
P	4–10	18,2	14,6	85,4	1,3	1,1	7,5
P	0–5	19,1	0,6	99,4	3,8	3,7	5,1
P	5–10	19,2	23,5	76,5	4,9	3,7	7,2
P	0–4	20,1	13,3	86,7	3,9	3,4	6,9
P	4–9	20,2	26,3	73,7	4,9	3,6	7,0
P	0–3	21,1	15,6	84,4	4,2	3,5	6,9
P	3–7	21,2	41,3	58,7	4,9	2,9	7,2
P	0–4	22,1	24,3	75,7	3,9	3,0	6,9
P	4–8	22,2	31,8	68,2	4,9	3,3	7,3

*) Ha = Grundschiele Haste
 N = Nobbenburger Straße
 Wi = Klarastraße 18
 Bu = Klarastraße 1
 Fl = Klarastraße 19
 P = Pernickelmühle

Humusgehalt

Der Humusgehalt der Dachsubstrate, bezogen auf den Gesamtboden, liegt zwischen 0,4 und 21,6 Prozent (Tabelle 3). Er schwankt auf den einzelnen Dächern ziemlich stark. Die meisten Proben sind mittelhumos. Ein sehr humusarmes Substrat liegt lediglich auf dem Dach der Grundschule Haste vor.

pH-Wert

Die pH-Werte der Dachsubstrate liegen überwiegend im schwach sauren bis neutralen Bereich (Tabelle 3). Auf den Holzzementdächern wird die Bodenreaktion durch den CaCO_3 -Gehalt der Mörtelreste und wahrscheinlich auch durch basische Flugasche beeinflusst. Auf dem Dach der Grundschule Haste fanden wir weder Mörtel noch sind Kohleheizungen in diesem Gebiet häufig. Trotzdem erreichen auch hier die pH-Werte den Neutralpunkt. Die pH-Werte des Dachsubstrates in der Nobbenburger Straße liegen etwa um eine pH-Stufe niedriger als auf den übrigen Dächern. Das deutet darauf hin, daß auf diesem Dach die Reserven an reaktionsfähigem Carbonat aufgebraucht sind.

Nährstoffgehalte

Die Gehalte der Dachsubstrate an formiatlöslichem Kalium liegen zwischen 0,2 und 18 mg $\text{K}_2\text{O}/100$ g Boden (Tabelle 5). Nach den Gehaltsklassen und Düngungsempfehlungen der LUFA für Sande besteht ein schwacher Kaliummangel. Die Angaben sind aber nicht ohne weiteres auf die Dachstandorte übertragbar, da sich die Empfehlungen der LUFA nach dem Bedarf landwirtschaftlicher Kulturpflanzen richten. Demgegenüber haben sich auf den Dächern Pflanzen angesiedelt, die auch unter ungünstigen Bedingungen existieren können.

Die Gehalte an effektiv austauschbarem Kalium (Tabelle 6) sind sehr niedrig. Nur in 5 von 33 Proben war Kalium in Mengen von 1–8 mg $\text{K}^+/100$ g Boden nachweisbar.

Die Gehalte an formiatlöslichem Phosphat liegen im Durchschnitt bei 5,5 mg $\text{P}_2\text{O}_5/100$ g Boden. Nach den Gehaltsklassen und Düngungsempfehlungen der LUFA bedeutet das starken Phosphormangel.

Die Calciumgehalte liegen zwischen 50 und 600 mg $\text{Ca}^{++}/100$ g Boden. Die hohen Gehalte sind weitgehend auf den CaCO_3 -Gehalt des Mörtels zurückzuführen. Die Magnesiumversorgung ist überwiegend gut. Die Gehalte liegen zwischen 0,8 und 7,8 mg $\text{Mg}^{++}/100$ g Boden.

Die Gehalte an formiatlöslichem Kupfer betragen zwischen 0,1 und 15,5 mg Cu^{++}/kg Boden (Tabelle 7). Die Zinkgehalte schwanken zwischen 1,5 und 28 mg Zn^{++}/kg Boden, die Cadmiumgehalte zwischen 0,1 und 0,4 mg Cd^{++}/kg Boden. Die Blei-gehalte liegen zwischen 0,8 und 4,9 mg Pb^{++}/kg Boden.

4.3 Diskussion

Die Holzzementdächer bestehen seit neunzig Jahren, die Kiesflachdächer seit etwa zwanzig Jahren. In Abhängigkeit vom Alter und Ausgangsmaterial haben sich auf den alten und neuen Dächern unterschiedliche Böden entwickelt.

Auf den Holzzementdächern entstand durch Humusakkumulation und Verlagerung von Carbonaten innerhalb des Bodens von oben nach unten eine Profildifferenzierung in einen YAh- und einen YC-Horizont. Wir ordnen diesen Boden den Pararendzinen zu. Als Pararendzinen aus geringmächtigem Auftrag benennen wir die Böden, bei denen sich im Laufe der Zeit das gesamte Ausgangsmaterial zu einem einheitlichen YAh-Horizont entwickelt hat, so daß kein zweiter Horizont mehr zu erkennen ist.



Abbildung 1: Die bewachsenen Dächer in der Klarastraße.

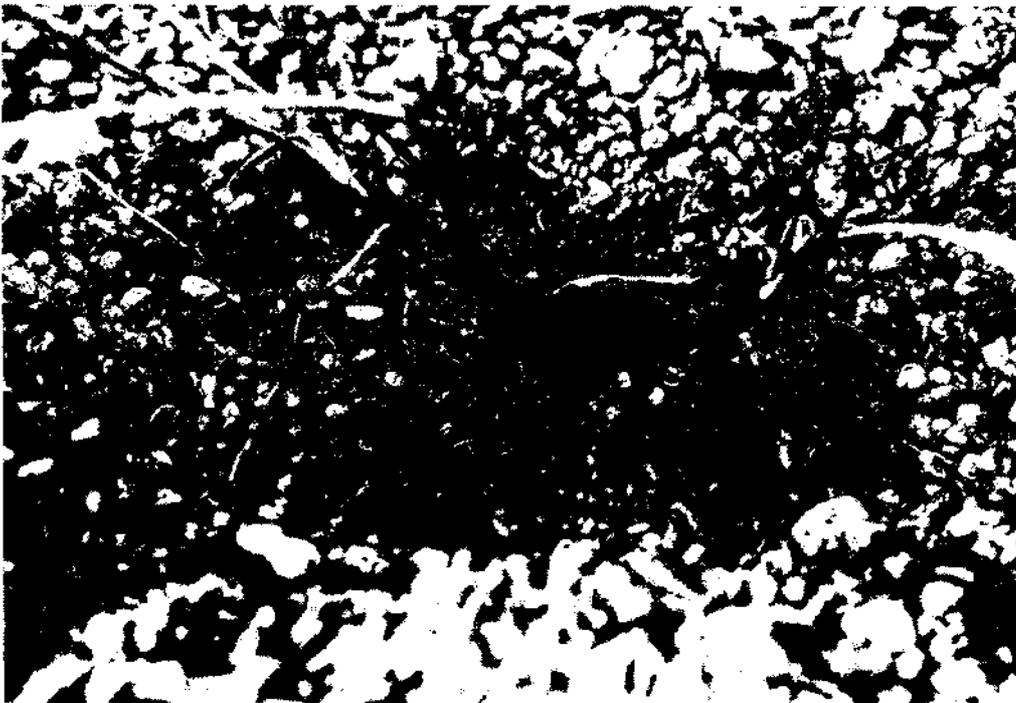


Abbildung 2: Durchwurzelung der Dachdichtung auf dem Dach der Grundschule Haste.

Tabelle 4: Raumbgewicht, Dichte, Porung und Wasserbindung des Dachsubstrates der Nobbenburger Straße (N)

Probe-Nr.	Raumbgewicht g/cm ³	Porenvolumen %	Substratvolumen %	Dichte g/cm ³	Wassergehalt						entnommene feucht. Vol.-%	nutzbare Wasserkapazität Vol.-%
					pF 4,2 Vol.-%	pF 3,3 Vol.-%	pF 2,5 Vol.-%	pF 1,8 Vol.-%	pF 0 Vol.-%			
1	1,23	52,9	47,1	2,61	9,16	13,15	17,44	23,36	34,62	37,67	8,28	
2	1,23	54,8	45,2	2,71	5,07	11,32	15,38	22,19	37,66	37,96	10,31	
3	1,31	52,3	47,7	2,75	5,43	10,64	14,03	20,28	35,57	36,59	8,60	
4	1,06	60,0	40,0	2,65	8,23	11,67	15,85	22,02	40,69	39,20	7,62	
5	1,42	47,1	52,9	2,69	7,65	10,45	13,34	17,60	31,94	28,54	5,69	
6	1,19	55,7	44,3	2,68	4,81	13,04	17,70	25,70	40,61	46,33	12,89	
7	1,33	50,6	49,4	2,70	6,27	10,45	14,12	18,62	34,28	27,26	7,85	
8	1,44	47,6	52,4	2,78	6,61	9,76	15,15	19,13	30,84	33,04	8,54	
9	1,25	53,7	46,3	2,69	6,31	12,29	18,00	21,18	37,33	34,16	11,69	
\bar{X}	1,27	52,7	47,3	2,69	6,62	11,45	15,66	21,12	35,95	35,60	9,05	

Tabelle 5: Gehalt der Dachsubstrate an formiatlöslichem Kalium und Phosphat in mg/100 g Boden

Probe-Nr.	K ₂ O mg/100 g	P ₂ O ₅ mg/100 g	Probe-Nr.	K ₂ O mg/100 g	P ₂ O ₅ mg/100 g
1	18,0	10,6	14	1,6	3,2
2	7,7	6,8	15,1	4,6	4,7
3	6,8	18,6	15,2	2,9	6,1
4,1	3,9	5,9	16,1	11,3	2,7
4,2	3,9	3,6	16,2	0,2	2,9
5,1	16,4	5,1	17,1	5,6	2,0
5,2	5,2	3,4	17,2	1,0	2,8
6	8,7	17,8	18,1	3,9	4,6
7	8,0	23,4	18,2	0,2	3,5
8	5,2	6,4	19,1	6,6	1,8
9	9,3	5,5	19,2	0,3	3,0
10,1	14,2	4,8	20,1	6,6	2,6
10,2	5,3	6,3	20,2	0,3	3,1
11	6,2	9,3	21,1	8,4	3,2
12	2,4	3,0	21,2	0,2	3,0
13,1	9,6	2,9	22,1	8,4	3,5
13,2	2,2	2,7	22,2	0,2	3,7

Tabelle 6: Gehalt der Dachsubstrate an austauschbarem Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺ in mg/100 Boden.

Probe Nr.	Ca ⁺⁺ mg/100 g	Mg ⁺⁺ mg/100 g	K ⁺ mg/100 g	Probe Nr.	Ca ⁺⁺ mg/100 g	Mg ⁺⁺ mg/100 g	K ⁺ mg/100 g
1	n.b	n.b	n.b	14	124,7	2,1	0,0
2	358,3	5,8	0,0	15,1	153,1	1,9	0,0
3	100,2	2,9	3,1	15,2	127,9	1,4	1,0
4,1	63,7	1,9	0,0	16,1	451,4	6,5	0,0
4,2	109,8	2,3	0,0	16,2	102,4	0,8	0,0
5,1	95,0	3,0	8,6	17,1	606,6	5,9	0,0
5,2	128,9	2,2	0,0	17,2	150,0	1,0	0,0
6	325,4	4,4	0,0	18,1	193,6	2,5	0,0
7	200,8	3,2	0,0	18,2	84,2	0,8	0,0
8	252,5	3,1	1,4	19,1	270,5	4,1	0,0
9	358,3	6,2	0,0	19,2	113,1	1,2	0,0
10,1	165,6	2,6	0,0	20,1	606,6	7,9	0,0
10,2	153,1	3,1	0,0	20,2	136,3	1,3	0,0
11	145,8	2,8	0,0	21,1	587,9	6,4	0,0
12	50,7	0,9	0,0	21,2	130,0	1,2	0,0
13,1	199,7	4,5	2,5	22,1	538,4	7,9	0,0
13,2	112,0	1,9	0,0	22,2	136,3	1,2	0,0

Tabelle 7: Schwermetallgehalte der Erdkruste, Normalgehalte in Böden, Grenzwerte der Klärschlammverordnung und Meßwerte für die Dachsubstrate.

	Cu	Zn	Cd	Pb
Mittlerer Gehalt der Erdkruste mg/kg	1	58	0,18	16
Normale Gehalte in Böden mg/kg Trs.	4-40	10-80	0,5	2-60
Grenzwerte der Klärschlammverordnung 1) mg/kg Trs.	100	300	3	100
Formiatlösliche Schwermetall- gehalte der Dachsubstrate mg/kg	0,1-15,5	1,5-28	0,1-0,4	0,8-4,9

1) Aus SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL (1982).
Die angegebenen Werte beziehen sich auf Gesamtgehalte. Sie sind nur bedingt mit den Meßergebnissen für die formiatlöslichen Schwermetallgehalte vergleichbar.

Auf den Flachdächern hat im Laufe der vergangenen zwanzig Jahre eine, wenn auch geringe, Feinerdeanreicherung stattgefunden (Tabelle 3). Die Bodenreaktion hat sich zum neutralen Bereich verschoben. Wir fassen den Boden als Lockersyrosem auf. Wichtige Faktoren der Bodenbildung auf Dächern sind der Niederschlag, der Staubeintrag und die Vegetation. Die Menge, die Verteilung und der pH-Wert des Niederschlags wirken sich auf die Bodenreaktion, die Höhe der Nährstoffauswaschung und die Wasserversorgung der Pflanzen aus.

Die pH-Werte des Regenwassers liegen in der Bundesrepublik Deutschland im Jahresmittel bei 4,3 (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1982). Im Regenwasser von Osnabrück-Haste wurde von Februar bis Juli 1982 ein pH-Wert von 4,6 bestimmt (Fachhochschule Osnabrück, Fachbereich Gartenbau). Trotz des sauren Regens hat mit einer Ausnahme (Nobbenburger Straße) noch keine nennenswerte Versauerung eingesetzt. Ähnlich hohe pH-Werte haben auch BORNKAMM (1961) und DARIUS/DREPPER (1983) auf den von ihnen untersuchten Dächern gemessen. Die Böden sind ausreichend bis gut mit Calcium, Magnesium, Phosphor und den Spurenelementen Zink und Kupfer versorgt. Es besteht aber ein starker Kaliummangel (Tabelle 5 und 6).

Auf Grund der Zielsetzung der Arbeit, den Boden im Hinblick auf seine Wechselbeziehung zur Vegetation zu untersuchen, wurden bei den Schwermetallen nicht die Gesamtgehalte, sondern die pflanzenverfügbaren Gehalte bestimmt. Die in Tabelle 7 angegebenen Werte für Normalgehalte und die Grenzwerte der Klärschlammverordnung beziehen sich auf Gesamtgehalte. Sie sind mit den Meßergebnissen für die formiatlöslichen Schwermetalle nur bedingt vergleichbar. Bezogen auf die absoluten Mengen weist Zink unter den Schwermetallen die höchsten Gehalte auf. Im Verhältnis zu den Normalgehalten in Böden hat sich Cadmium am stärksten und Blei am wenigsten angereichert.

Die nutzbare Wasserkapazität ist mit 13,6 l/m² sehr gering. DARIUS/DREPPER (1983) haben auf den von ihnen untersuchten Holzzementdächern in Berlin nutzbare Wasserkapazitäten von 30-60 l/m² festgestellt. Die geringe Wasserkapazität der Osnabrücker Dächer kann zum Teil durch die rund 200 mm höheren Jahresniederschläge ausgeglichen werden.

Mit dem Staubeintrag erhöht sich der Feinerdeanteil der Dachsubstrate. Gleichzeitig gelangen sowohl Nähr- als auch Schadstoffe in den Boden. Im Rahmen dieser Arbeit wurden keine Messungen zur Staubbmission durchgeführt. Nach den Untersuchungen des Niedersächsischen Umweltministeriums entspricht die Menge des Staubbiederschlags in Osnabrück der anderer Industriestädte. 1978/79 wurden durchschnittlich 93 mg Staub/m² x Tag eingetragen. Über die Inhaltsstoffe des Staubs liegen uns keine Angaben vor.

Die auf den Dächern anfallende Streu stammt überwiegend von der Dachvegetation. Lediglich auf zwei Dächern (Weißburger Straße, Kreuzhügel) gelangen durch den Laubfall der umstehenden Bäume zusätzlich organische Stoffe auf die Dächer.

Auf den Holzzementdächern hat sich unter der langjährig stabilen Vegetation vermutlich schon ein Gleichgewicht von Streuproduktion, Humusbildung und Mineralisierung eingestellt (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1982). Die meisten Dachsubstrate erwiesen sich als mittel humos. Auf den Kiesflachdächern befindet sich die Humusbildung noch im Anfangsstadium. Die untersuchten Proben waren sehr humusarm. Die Humusbildung läuft unter einer Pionierv egetation von Moosen und Flechten ab (Tabelle 3).



Abbildung 3: Wasserlache auf dem Dach der Grundschule Haste.



Abbildung 4: Flechtenvegetation auf dem Dach der Grundschule Haste.

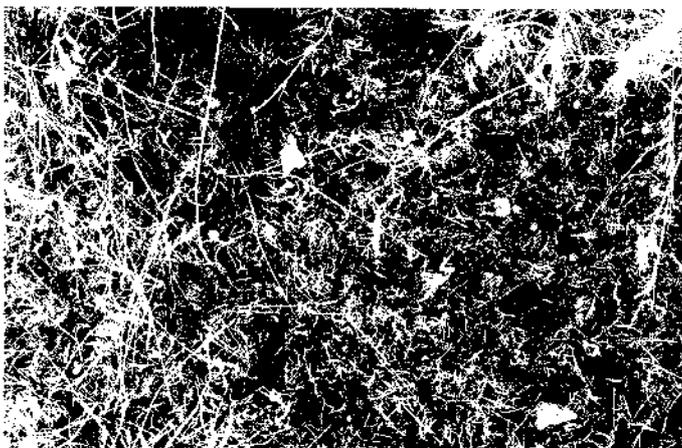


Abbildung 5: Rentierflechten-Moosrasen auf dem Dach der Klarastraße 18.

Aufnahmen, in denen *Poa compressa* und *Bromus mollis* stark vertreten sind, kommen sehr hohe Reaktionszahlen von 8 bis 9 vor.

Mit der durchschnittlichen *Stickstoffzahl* von 2,9 kommt die Tendenz zu Magerkeitszeigern zum Ausdruck. Das Dach am Kreuzhügel (K, Sto 36—Sto 44) fällt durch niedrigere Werte auf. Es ist daher nach ELLENBERG zu den stickstoffärmsten Standorten zu rechnen.

Anatomischer Bau

Die Pflanzenbestände der alten Holzzementdächer setzen sich hauptsächlich aus mesomorphen und skleromophen Pflanzenarten zusammen, wobei der Skleromorphismus dominiert. Die Pflanzengemeinschaften der jüngeren Kiesflachdächer bestehen überwiegend aus mesomorphen und sukkulenten Arten. In geringem Maße sind hygromorphe Pflanzen an schattigeren Standorten oder feuchteren Flachdachsenken vertreten.

Lebensform

Die Pflanzenbestände der Dächer enthalten vorwiegend krautige Chamaephyten, Hemikryptophyten und Therophyten. Auf den jüngeren Kiesdächern dominiert die Gruppe der Chamaephyten gegenüber den Therophyten. Die Bestände der alten Holzzementdächer setzen sich hingegen überwiegend aus Hemikryptophyten und Therophyten zusammen. Geophyten sind mit *Rumex acetosella* und *Holcus mollis* vertreten.

Substrathöhe und Artenzahl

In der Beziehung zwischen Substrathöhe und Artenzahl ergibt sich ein lineares Ansteigen der Artenzahl mit zunehmender Substrathöhe (Darstellung 3). Starken Einfluß auf dieses Ergebnis hat die relativ artenreiche Ruderalflora an den gestörten Stellen der Kiesflachdächer mit untypisch starken Kiesauflagen bis zu 30 cm Höhe. Nicht deutlich wird die Artenverarmung, die mit der Entwicklung der *Poa compressa*-Wiese auf alten Holzzementdächern einhergeht. Im Klimaxstadium dieser Gesellschaft bei Substratstärken von ca. 15 cm treten nur wenige Pflanzenarten auf.

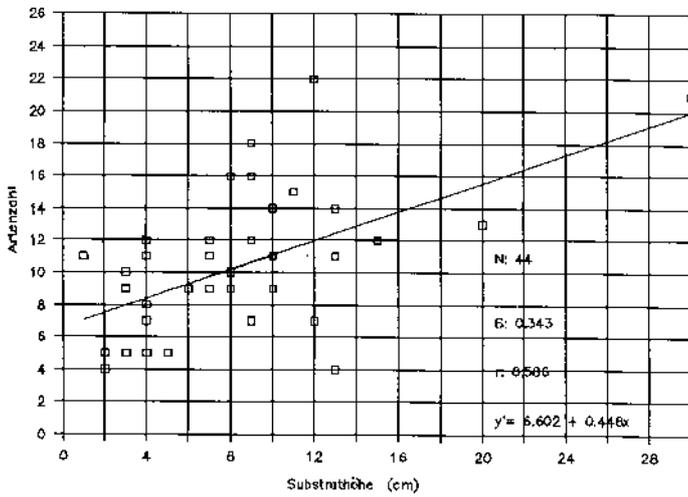
X²-Test

Die Ergebnisse des X²-Tests mit Blütenpflanzen werden in Darstellung 4 wiedergegeben. Im Diagramm, das nach zunehmender Stetigkeit geordnet ist, kristallisieren sich drei Artengruppen mit positiver Korrelation heraus.

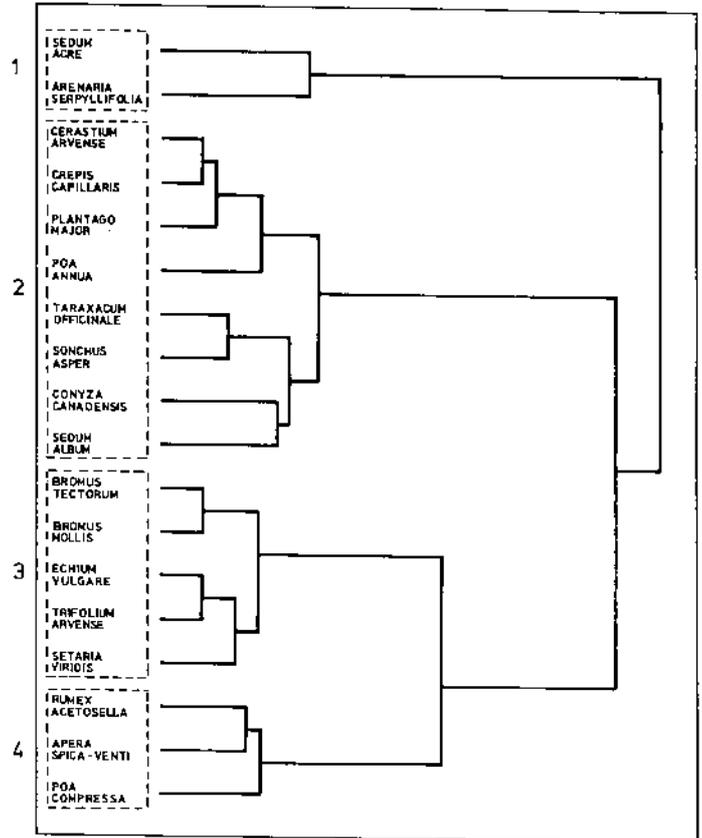
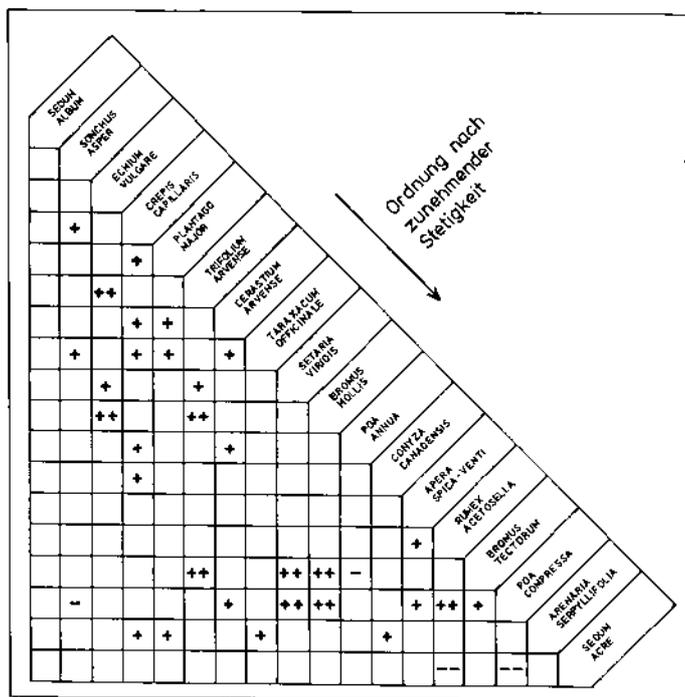
- Die eine Gruppe besteht aus den Gräsern *Setaria viridis*, *Bromus mollis*, *Apera spicaventi*, *Bromus tectorum* und *Poa compressa* sowie aus *Rumex acetosella*.
- Die zweite Gruppe umfaßt die „Unkräuter“ *Sonchus asper*, *Crepis capillaris*, *Plantago major*, *Cerastium arvense*, *Arenaria serpyllifolia* und *Taraxacum officinale*.
- In der dritten Gruppe befinden sich *Echium vulgare*, *Trifolium arvense*, *Setaria viridis* und *Bromus mollis*.

Auch wenn diese Gruppen nicht immer in ihrer Gesamtheit auf den Dächern anzutreffen sind, bestätigen die Verknüpfungen doch weitgehend unsere Beobachtungen. *Bromus mollis* und *Setaria viridis* haben eine *Verbindungsfunktion* zwischen der „Gräsergruppe“ und der *Echium-Trifolium*-Gruppe.

Für die Pflanze mit der höchsten Stetigkeit, *Sedum acre*, ergibt sich mit keiner anderen Blütenpflanze eine positive Korrelation. Die häufige Vergesellschaftung mit *Arenaria serpyllifolia* wird nicht deutlich. Zwischen *Rumex acetosella* und *Poa compressa* einerseits und *Sedum acre* andererseits liegt eine negative Korrelation vor. Diese Arten meiden sich.



Darstellung 3: Beziehung zwischen der Substrathöhe und der Artenzahl der Standorte.



Darstellung 5: Ergebnisse einer Clusteranalyse (R-Matrix).

Darstellung 4: Ergebnisse eines χ^2 Testes.

Clusteranalyse

Die Anordnung in R-Matrix-Form (Darstellung 5) ergibt ein Dendrogramm mit vier Pflanzengruppierungen, deren Arten schon nach relativ kurzen Distanzen fusionieren. Diese Pflanzengruppen sind den im χ^2 -Test herausgestellten Artengruppen sehr ähnlich.

Setaria viridis und *Bromus mollis* stehen mit *Bromus tectorum*, *Echium vulgare* und *Trifolium arvense* in Gruppe 3. Die Verbindungsfunktion beider Arten zur Gruppe 4, wie sie der χ^2 -Test zeigte, ist nicht erkennbar. Die Pflanzengruppierungen 3 und 4 fusionieren noch bei mittlerer Distanz. Weitere Verbindungen von Gruppen finden erst nach größeren Entfernungen statt, die Ähnlichkeit dieser Gruppen ist somit gering. Dieses Ergebnis bestätigt unsere Beobachtungen.

Die Arten der Gruppe 2 treten vorwiegend auf den neuen Kiesflachdächern an gestörten Stellen auf, während die Arten der Gruppen 3 und 4 hauptsächlich auf den alten Holzzementdächern vorkommen.

In Gruppe 1 wird die Vergemeinschaftung von *Sedum acre* und *Arenaria serpyllifolia*, die der χ^2 -Test nicht aufzeigte, deutlich. Beide Arten stehen isoliert.

5.3 Pflanzengesellschaften

Moos- und Flechtengesellschaften

Auf den extrem feinerdearmen Standorten an den Rändern der Kiesflachdächer verschwinden höhere Pflanzen fast völlig. Hier entstehen bei Kiesschichtstärken bis zu maximal 5 cm Moos- und Flechtengesellschaften.

Die *Thallophyten*-Gesellschaften setzen sich im unauffälligen Pionierstadium aus *Lecanora muralis*, der Kuchenflechte, und *Hypogymnia physodes*, der Hornblattflechte, einer Charakterart des *Hypogymnietalia physodo-tubulosae*, zusammen. Regelmäßige Flechtenrasen mit hohen Deckungsgraden werden von *Cladonia chlorophaea* und *Cladonia sulphuriana* gebildet. Nur *Sedum acre* vermag hier einzudringen (Abbildung 4).



Abbildung 6: Moos-Sedum-Vegetation auf dem Dach am Kreuzhügel.

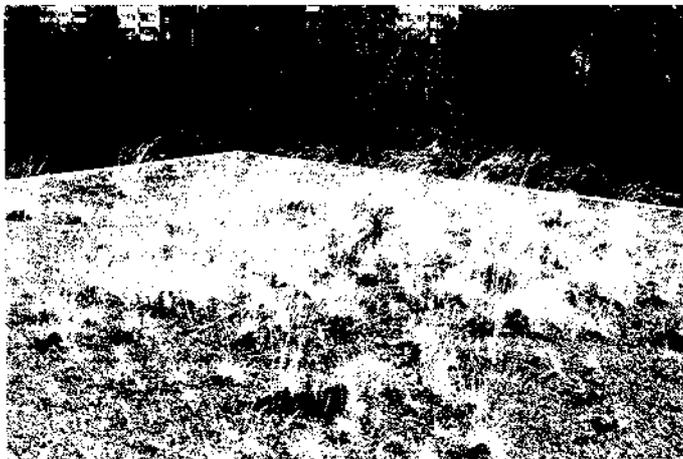


Abbildung 7: Rotschwengel-Honiggras-Wiese auf dem Dach der Grundschule Haste (Juli 1986).

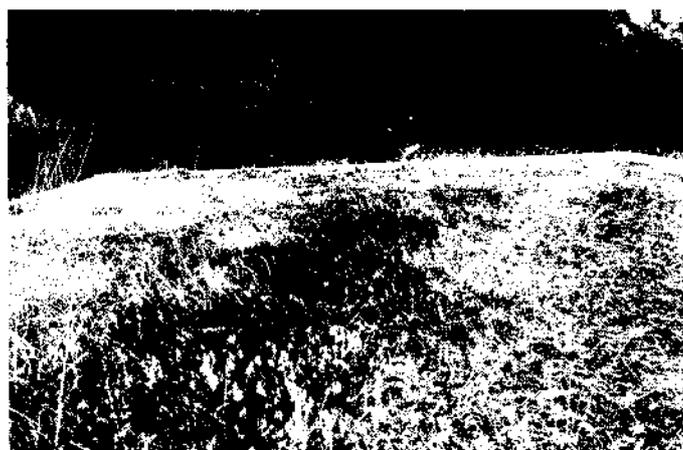


Abbildung 8: Vegetationszonierung auf dem Dach der Pernickel-Mühle:

- Erosionszone mit *Sedum acre*, *Bromus tectorum*, Flechten und Moosen.
- *Poa compressa*-Rasen, *Rumex acetosella*-Variante.
- *Poa compressa*-Rasen, *Setaria*-Variante. (Fotos: Verfasser).

Auf den alten Holzzementdächern spielen Flechtengemeinschaften eine geringe Rolle. Nur an gestörten Stellen und Substratabbruchkanten kommen sie zu nennenswerten Deckungsgraden. (Abbildung 5).

Die *Bryophyten*-Gesellschaften der Kiesflachdächer sind geprägt von *Ceratodon purpureus*, dem Kornzahnmoos. Als absolut dominierende Art von hoher Stetigkeit kommt es in großflächigen Moosrasen mit Deckungsgraden bis zu 90 Prozent vor. Auf voll sonnigen Standorten ist es häufig mit *Bryum argenteum*, dem Silbermoos, vergesellschaftet. BORNKAMM (1961) beschreibt diese Gesellschaften als letzte, stark verarmte Ausbildung einer *Sedum*-Gesellschaft (*Sedo-Sempervivetum ceratodontosum*). An Standorten, die von Straßenbäumen oder Laubwald beschattet sind, tritt *Brachythecium rutabulum* mit relativ hohen Deckungsgraden auf. Auf einem Dach fanden wir einen homogenen Bestand von *Polytrichum piliferum*, das durch Lamellenassimilationsgewebe, Blatthaare und blaugrüne Farbe sehr gut an trockene Standortverhältnisse angepaßt ist.

Spezifische Eigenschaften der Moos- und Flechtenvegetation

Wie bereits erwähnt, stellen Moose und Flechten die Erstbesiedler auf Dächern dar. Als poikilohydre Pflanzen haben sie auf extrem trockenen Standorten gegenüber den Phanerogamen einen physiologischen Vorteil. Bei fehlender Wasserversorgung stellen sie ihre Lebensfunktion vorübergehend ein (Trockenschlaf), ohne Schaden zu nehmen. Moose und Flechten nehmen Wasser über die gesamte Oberfläche direkt aus Luftfeuchtigkeit und Niederschlag auf. Moose können in ihren Polstern große Wassermengen speichern (STRASBURGER 1983). Das macht sie relativ unabhängig vom Bodenwasserhaushalt.

Das von ihnen gespeicherte Wasser wirkt sich günstig auf die Keimbedingungen der höheren Pflanzen aus. Während also das Vorhandensein von Moosen die Keimung der Phanerogamen fördert, vermutet man bei Flechten auf Grund verschiedener Ausscheidungen eine keimhemmende Wirkung (ELLENBERG 1986), FOLLMANN/NAKAGAVA 1963).

Moose und Flechten leiten auf Mineralböden die Humusbildung ein. Besonders unter Strauchflechtenrasen geht dieser Prozeß durch das schwache Wachstum sehr langsam vonstatten. *Cladonia chlorophaea* wächst pro Jahr nur etwa 0,5–1,4 mm (RUNGE 1986).

Sedum-Gesellschaften

An den erodierten Rändern der Holzzementdächer mit geringmächtiger Substratschicht und auf den 2 bis 6 cm starken Kiesauflagen der Flachdächer treten *Sedum*-Gesellschaften auf. Sie enthalten neben *Sedum acre* nur wenige charakteristische Arten. Durch „Windwanderer“, wie zum Beispiel *Sonchus*-Arten, *Coryza canadensis*, *Senecio viscosus*, *Taraxacum officinale* und *Plantago maior* sind sie leicht ruderal beeinflusst. Hohe Stetigkeit in der Begleitung von *Sedum*-Beständen haben lediglich *Ceratodon purpureus* und *Arenaria serpyllifolia*. Diese *Sedum*-Bestände lassen sich dem *Sedum-Sempervivetum tectorum* zuordnen (BORNKAMM 1961, DARIUS/DREPPER 1983).

Sempervivum tectorum tritt zwar in unseren Aufnahmen nicht auf, es wurde jedoch auf einem unzulänglichem Dach beobachtet. Nur auf einem Dach (Kreuzhügel) fanden wir das etwas wärmeliebendere *Sedum album* (Abbildung 6).

Unkrautgesellschaften

Auf relativ stark gestörten Dächern bzw. Dachteilen findet sich eine Unkrautgesellschaft ein. Ihre Pflanzen gehören hauptsächlich zur Klasse der Hackkraut- und Ruderalgesellschaften (Chenopodieta). Zwei Dächer (Pernickelmühle, Klarastraße 19) wiesen mit *Echium vulgare* und *Melilotus officinalis* Arten der Natterkopfflor (*Echio-Melilotetum*) auf (BORNKAMM 1974, RUNGE 1973, TÜXEN 1937). Die Natterkopfflor ist eine der häufigsten Eseldistelgesellschaften Mitteleuropas und sowohl wärmeliebend als auch gegen Trockenheit wenig empfindlich.

Gräsergesellschaften

Auf den Kiesflachdächern haben wir nur einmal eine lückige Grasgesellschaft gefunden (Abbildung 7). Mit *Holcus mollis* und *Festuca ribra* kam eine Art der Eichenmischwälder (*Quercetia robori*) und eine Art der Grünlandgesellschaften (*Molinio-Arrhenatheretea*), vor allem deren mageren Ausprägungen, vor (ELLENBERG 1986, OBERDORFER 1983). Das Dach liegt in Stadtrandlage, umgeben von Grünflächen und Wald. Aus diesen benachbarten Pflanzengesellschaften können die Gräser zugewandert sein.

Auf den alten Holzzementdächern hat sich an ungestörten Stellen mit mindestens 10 bis 12 cm Substratstärke ein artenarmer *Poa compressa*-Rasen ausgebildet. In seinem dichten Wurzelfilz können sich außer *Ceratodon purpureus* kaum andere Pflanzen durchsetzen. Gesellschaften mit hohem *Poa compressa*-Anteilen sind mehrfach beschrieben worden (TÜXEN 1937, BORNKAMM 1974, RUNGE 1979). Auf den Dächern erreicht *Poa compressa* mitunter eine noch höhere Dominanz als in den oben genannten Veröffentlichungen. DARIUS/DREPPER (1983) kommen für Berliner Dächer zu ähnlichen Ergebnissen.

Die von uns vorgefundenen *Poa compressa*-Wiesen können am besten der *Poa angustifolia*-Variante des *Poetum pratensis-compressae* (BORNKAMM 1974) zugeordnet werden. In Abhängigkeit von der Substrathöhe bestehen verschiedene Übergangsgesellschaften zum reinen *Poa compressa*-Rasen (Abbildung 8).

Zusammenfassung

Auf fünf Holzzementdächern und drei Kiesflachdächern wurden im Sommer 1986 Untersuchungen an Vegetation und Substrat durchgeführt.

Auf den Holzzementdächern entwickelten sich aus 8–15 cm starken Sandschichten Pararendzinen. Auf den Flachdächern befindet sich die Bodenbildung noch im Anfangsstadium. Der Boden aus 2–8 cm Kiesauftrag kann als Lockersyrosem aufgefaßt werden. Bei der Beurteilung der Böden als Pflanzenstandort stellt

die äußerst geringe nutzbare Feldkapazität den Minimumfaktor dar. Dementsprechend haben sich sehr trockenresistente Pflanzen angesiedelt, wie zum Beispiel einige Moose, Flechten, *Sedum acre* und *Poa compressa*. Es können folgende Pflanzengesellschaften unterschieden werden:

- Auf Kiesdächern überwiegen die Moos- und Sedumgesellschaften.
- Auf den Holzzementdächern kommen in Abhängigkeit von der Substrathöhe verschiedene Varianten des *Poa compressa*-Rasens vor.
- Auf gestörten Dachflächen entwickeln sich mehr oder weniger kurzlebige Ruderalgesellschaften.

Literatur

- BORNKAMM, R.: Vegetation und Vegetationsentwicklung auf Kiesdächern. Vegetatio 10, 1961, 1–25.
- BORNKAMM, R.: Die Unkrautvegetation im Bereich der Stadt Köln. Decheniana 126, 1974, 267–332.
- DARIUS, F. u. J. DREPPER: Ökologische Untersuchungen auf bewachsenen Kiesdächern in Berlin. Diplomarbeit TU Berlin 1983. Kurzfassung: Rasendächer in West-Berlin. DAS GARTENAMT 33 (1984) H. 5, S. 309–315.
- DÜMMLER, H.: Programm zur Errechnung pflanzenökologischer Kennwerte nach ELLENBERG auf der Basis eines Tabellenkalkulationsprogramms. Osnabrück 1986.
- ELLENBERG, H.: Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas. Scripta Geobotanica 9, 1979, Göttingen.
- ELLENBERG, H.: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht. Ulmer Verlag, Stuttgart 1986.
- FH Osnabrück, FB Gartenbau: Witterungsverlauf 1986.
- FH Osnabrück, FB Gartenbau: Aufzeichnungen zum pH-Wert im Regenwasser 1982.
- FOLLMANN, G. u. M. NAKAGAWA: Keimhemmung von Angiospermensamen durch Flechtenstoffe; Naturwiss. 50, 1963, 696–697.
- Forschungsgesellschaft Landwirtschaftsentwicklung Landschaftsbau (FLL): Grundsätze für Dachbegrünungen. Bonn 1986.
- KEUCK, G.: EDV-Programm. Schriftliche Mitteilung, Frankfurt 1985.
- KREBB, K. H.: Vegetationskunde. Ulmer Verlag, Stuttgart 1983.
- Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt (LUF): Gehaltsklassen und Düngungsempfehlungen.
- Niedersächsisches Umweltministerium: Umweltschutz in Niedersachsen. Reinhaltung der Luft, Heft 6.
- NIEMANN, J.: Ergebnis der zwanzigjährigen meteorologischen Untersuchungen in Osnabrück-Haste, o. J.
- OBERDORFER, E.: Pflanzensoziologische Exkursionsflora f. Sdtl. und die angrenzenden Gebiete. Ulmer Verlag, Stuttgart 1983.
- PIETL, L. u. G. SPATZ: Biometrische Klassifikation und Ordination von vegetationskundlichen Bestandsaufnahmen und Standortmerkmalen auf Allgäuer Alpweiden. Informationsverarbeitung Agrarwiss., Heft 2. Ulmer Verlag Stuttgart 1981.
- RUNGE, F.: Die Pflanzengesellschaften Deutschlands. Münster 1973.
- SCHAEFFER, F. u. P. SCHACHTSCHABEL: Lehrbuch der Bodenkunde. Enke Verlag, Stuttgart 1982.
- STRASBURGER, E.: Lehrbuch der Botanik. Fischer Verlag, Jena 1983.
- TÜXEN, R.: Die Pflanzengesellschaften Nordwestdeutschlands. 1937.
- WASMUTH, G.: Wasmuths Lexikon der Baukunst. Bd. 3. Wasmuth Verlag, Berlin 1931.