

Deutsches Reich
Reichsamt für Wetterdienst

Wissenschaftliche Abhandlungen
Band V

Nr. 6

**Die Bögigkeit in der freien Atmosphäre nach den Beobachtungen
in den Jahren 1931—1935**

von

Wilhelm Pepler

Deutsches Reich
Reichsamt für Wetterdienst

Wissenschaftliche Abhandlungen
Band V

Nr. 6

Die Böigkeit in der freien Atmosphäre nach den Beobachtungen
in den Jahren 1931—1935

von

Wilhelm Pepler

Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

ISBN 978-3-662-01913-9 ISBN 978-3-662-02208-5 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-02208-5

Inhaltsverzeichnis.

Einleitung	3
A. Unter- und Obergrenzen der Schichten mit Bögigkeit	3
I. Die Untergrenzen	3
II. Die Obergrenzen der Bögkeitsschichten mit Bodenanschluß	5
B. Luftruhe, Bögkeitsgrade und mittlere Bögkeit	8
I. Häufigkeit der Luftruhe	8
II. Häufigkeit der Bögkeitsgrade	10
III. Das Vorkommen der Bögkeit	10
C. Schichten starker Bögkeit mit Bodenanschluß	15
I. Beziehungen zwischen den Schichten starker Bögkeit, Luftdruckgradient und Wind	15
II. Beziehungen zur Wetterlage	19
III. Beziehung zur Bewölkung	20
D. Schichten starker Bögkeit ohne Bodenanschluß	21
Tabellen 26–30	24

Aus dem Aerologischen Observatorium Friedrichshafen des Reichsamts für Wetterdienst.

Einleitung.

Gelegentlich einer wolkenstatistischen Bearbeitung¹⁾ der in den Aerologischen Berichten veröffentlichten Klartextbeobachtungen der Wetterflugstellen wurden auch die Angaben über die bei den Wetterflugstellen beobachtete Böigkeit zusammengestellt. Das Hauptziel der nachfolgenden Bearbeitung ist die statistische Erfassung der Häufigkeit der Unter- und Obergrenzen und des Vorkommens der Böigkeitsgrade in der Vertikalen, sowie der allgemeinen Zusammenhänge mit den meteorologischen Verhältnissen.

Man muß sich von vornherein darüber klar sein, daß die nach der sogenannten Darmstädter Böigkeitsskala²⁾ erfolgenden Schätzungen des Grades der Böigkeit keinen Anspruch auf große Genauigkeit machen können, da sie von verschiedenen schwer kontrollierbaren Einflüssen abhängig sind. Die Darmstädter Böigkeitsskala gilt streng genommen für einen bestimmten Flugzeugtyp (Junkers A 20). Da an den einzelnen Wetterflugstellen verschiedene Flugzeugtypen Verwendung finden, kann das Beobachtungsmaterial schon aus diesem Grunde nicht homogen sein. Der Einfluß des Flugzeugtypes ist kürzlich am Reichsamts für Wetterdienst untersucht worden. Da es nicht möglich war, das gesamte Material unter diesem Gesichtspunkt zu bearbeiten, muß er in der vorliegenden Statistik unberücksichtigt bleiben; ebenso ist es unmöglich, die anderen verschiedenen Fehlerquellen, wie die Einflüsse der Flugzeuggeschwindigkeit und ihrer Änderungen, des Blindfluges und der Vereisung, sowie der individuellen Verschiedenheiten der Beobachter — verschiedene Empfindlichkeit des Beobachters, verschiedenes Verhalten des Piloten beim Parieren von Böen usw. — zu berücksichtigen.

Trotz dieser offensichtlichen Mängel und Fehler der Böigkeitsschätzungen dürfte sich eine Bearbeitung des Beobachtungsmaterials sowohl mit Rücksicht auf die Belange der Flugpraxis als auch der Meteorologie lohnen und es lassen sich wichtige Schlüsse ziehen auf die vertikale Verteilung der Böigkeit und die Zusammenhänge mit dem Witterungszustand.

Bei der Untersuchung der letzteren wurden die Fälle herangezogen, bei denen starke Böigkeit beobachtet wurde, da bei diesen mit Sicherheit damit gerechnet werden kann, daß die Böigkeit reell war.

In einer weiteren Bearbeitung sollen die Schichten mit starker Böigkeit in Beziehung zur Wetterlage, besonders der Fronten und Luftmassengrenzen an der Hand von Einzelfällen näher untersucht werden.

Bei der Bearbeitung wurden die Aufstiege der 5 Wetterflugstellen München, Darmstadt, Berlin, Hamburg, Königsberg aus den Jahren 1931–1935 benützt, und zwar nur die Morgenaufstiege. Näheres über den Umfang des benutzten Materials ist ohne weiteres aus den nachfolgenden Tabellen zu entnehmen.

A. Unter- und Obergrenzen der Schichten mit Böigkeit.

I. Die Untergrenzen.

Tabelle 1 enthält die Häufigkeit der Untergrenzen aller Schichten, in denen Böigkeit beobachtet wurde, ohne Berücksichtigung der Stärke der Böigkeit, für die 5 Stationen, Jahreszeiten und Jahressummen.

Die Zahlen bedeuten die Anzahl der innerhalb der 0.4 km-Stufen beobachteten Untergrenzen. Am zuverlässigsten dürften die Werte der Stationen Berlin, Hamburg und Königsberg sein, da diese mit größerer Regelmäßigkeit beobachtet haben.

Die Zahlen geben einen guten Überblick über die vertikale Verteilung der Untergrenzen, da anzunehmen ist, daß keine systematischen Unterschiede in der Regelmäßigkeit und Genauigkeit in verschiedenen Höhen vorhanden sind; dagegen sind die Werte der einzelnen Stationen untereinander nicht gut

¹⁾ Noch nicht veröffentlicht.

²⁾ K. O. Lange, Die Darmstädter Böigkeitsskala. Beitr. z. Phys. d. fr. Atm. Bd. 17 1931, S. 89–101.

vergleichbar. Es ist zu beachten, daß der vertikale Gang der Häufigkeit nur bis ca. 4 km Höhe genügend sicher ist, da darüber die Zahlen wegen der rasch abnehmenden Aufstiegshöhen zu klein erscheinen. Aus der Tabelle sind folgende Tatsachen der vertikalen Verteilung zu entnehmen:

Tabelle 1. Untergrenzen der Schichten mit Bögigkeit.

Höhe in km		0	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	2.8	3.2	3.6	4.0	4.4	4.8
		bis 0.4	bis 0.8	bis 1.2	bis 1.6	bis 2.0	bis 2.4	bis 2.8	bis 3.2	bis 3.6	bis 4.0	bis 4.4	bis 4.8	bis 5.2
München	F	—	56	19	7	7	5	5	7	8	8	7	5	4
	S	—	50	15	5	5	6	10	12	12	13	8	7	7
	H	—	36	17	10	9	6	8	9	6	3	4	4	4
	W	—	53	17	6	8	10	12	11	8	6	5	3	3
	Σ	—	195	68	28	29	27	35	39	34	30	24	19	18
Darmstadt	F	128	38	10	15	19	20	18	13	12	14	12	9	8
	S	94	28	7	8	10	11	12	10	11	11	8	6	6
	H	80	32	16	17	18	15	11	12	12	11	10	8	7
	W	94	33	15	17	16	12	12	13	12	13	13	12	10
	Σ	396	132	48	57	63	58	53	48	47	49	43	35	31
Berlin	F	139	43	15	21	23	22	22	23	24	27	24	19	17
	S	139	41	14	20	21	20	19	20	22	22	19	14	11
	H	104	42	23	24	20	16	14	17	23	26	21	14	11
	W	85	29	12	16	16	13	13	16	17	15	12	10	8
	Σ	467	155	74	81	80	71	68	76	86	90	76	57	47
Hamburg	F	129	41	12	12	13	13	13	14	13	10	6	5	5
	S	202	59	14	16	18	18	19	18	15	12	11	10	11
	H	137	42	12	16	17	14	13	16	16	13	11	10	8
	W	111	35	11	10	9	9	11	13	12	9	6	3	—
	Σ	579	177	49	54	57	54	56	61	56	44	34	28	24
Königsberg	F	79	25	9	12	11	8	6	5	4	5	6	6	5
	S	92	30	5	3	5	5	5	6	6	4	5	9	9
	H	102	31	9	13	14	11	10	9	8	9	10	7	5
	W	81	27	7	8	7	7	10	8	6	7	8	6	5
	Σ	354	113	30	36	37	31	31	28	24	25	29	28	24
Summen Be + Ha + Kö	F	347	109	36	45	47	43	41	42	41	42	36	30	27
	S	433	130	33	39	44	43	43	44	43	38	35	33	31
	H	343	115	44	53	51	41	37	42	47	48	42	31	24
	W	277	111	30	34	32	29	34	37	35	31	26	19	13
	Σ	1400	465	143	171	174	156	155	165	166	159	139	113	95

1. Bei allen Stationen und in allen Jahreszeiten sind die Untergrenzen am häufigsten in der bodennahen Luftschicht (Reibungsschicht); dazu ist zu bemerken, daß in über 90% der Aufstiege die Untergrenzen unmittelbar an der Erdoberfläche oder in ganz geringer Höhe darüber liegen.
2. Oberhalb der Reibungsschicht nimmt die Häufigkeit sehr stark ab, sie beträgt in ca. 0.6 km nur noch ca. $\frac{1}{3}$, in 1.0 km nur noch ca. $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{10}$ des Anfangswertes am Boden. In der dritten Schicht (0.8/1.2 km) liegt überall ein Minimum der Häufigkeit der Untergrenzen. Über München wird natürlich das unterste Maximum und Minimum entsprechend der größeren Ausgangshöhe höher angetroffen.
3. In größeren Höhen tritt häufig ein zweites Maximum und ein zweites Minimum der Häufigkeit, aber in wechselnder Höhenlage auf.
4. Faßt man die Werte von Berlin, Hamburg und Königsberg, deren Ausgangshöhe nicht sehr verschieden ist, zusammen, so ergibt sich, daß im Frühjahr und Sommer zwei Maxima bei 0/0.4 und 1.6/2.0 km liegen, getrennt durch ein Minimum bei 0.8/1.2 km, im Herbst und Winter aber 3 Maxima und 2 Minima auftreten, erstere bei 0/0.4, 1.2/1.6 und 2.8/3.2 resp. 3.6/4.0, letztere bei 0.8/1.2 und 2.4/2.8 resp. 2.0/2.4 km. Auch in den Jahressummen tritt diese mehrfache Schichtung hervor, ebenso in den Jahressummen der 3 Stationen. Darmstadt und München zeigen nur 2 Maxima und das dazwischen liegende Minimum.

In Abbildung 1 ist der vertikale Gang der Häufigkeit der Untergrenzen für die Jahressummen der 5 Stationen in der Weise graphisch dargestellt, daß die Häufigkeit der untersten Schicht gleich 1 gesetzt ist. Über den Stationen Darmstadt, Berlin, Hamburg und Königsberg nimmt die Häufigkeit in den bodennahen Schichten bis ca. 1 km Höhe stark ab, über München entsprechend der größeren Höhenlage bis ca. 1.5 km. Darüber bleibt die Häufigkeit annähernd gleich, doch treten bei einigen Stationen Häufungsstellen hervor, besonders bei München in 3 km, Darmstadt in 1.8 km, Berlin in 3.8 km.

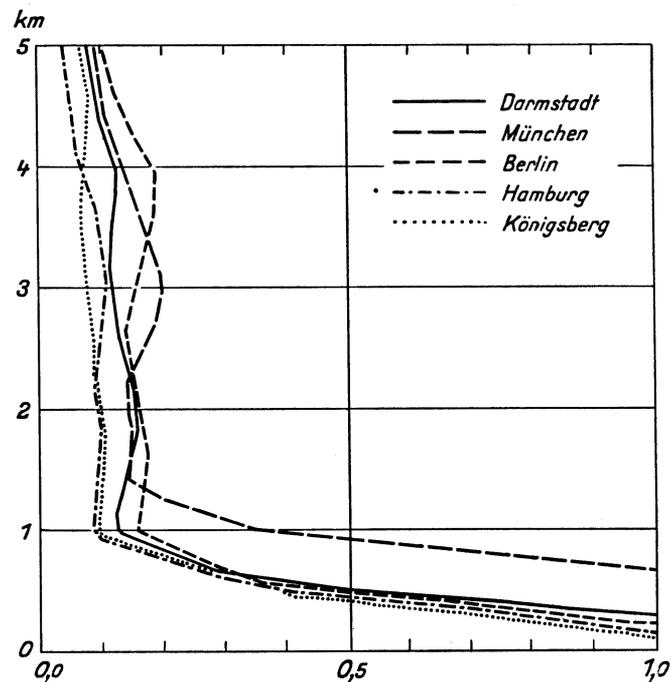


Abb. 1. Vertikaler Gang der Häufigkeit der Untergrenzen.

II. Die Obergrenzen der Böigkeitsschichten mit Bodenanschluß.

In Tabelle 2 ist die Häufigkeit derjenigen Böigkeitsschichten enthalten, die unmittelbar am Boden beginnen; die böigen Schichten ohne Bodenanschluß sind nicht berücksichtigt.

Man erkennt, daß die Obergrenzen ihre größte Häufigkeit in wenigen Hundert Metern über dem Boden haben, und zwar besonders in der Schicht 0.2/0.6 km. Die Höhe der unteren Reibungsschicht liegt über Berlin, Hamburg und Königsberg bei ca. 0.5–0.6 km, über München und Darmstadt ungefähr in der gleichen Höhe, da die größere relative Höhenlage offenbar durch wesentlich geringere Mächtigkeit der Reibungsschicht infolge geringerer Windstärke ausgeglichen wird. Faßt man die Werte von Berlin, Hamburg und Königsberg zusammen, so liegt das Maximum der Häufigkeit im Frühjahr und Sommer und in der Jahressumme bei 0.5 km, im Herbst und Winter bei 0.3 bis 0.4 km. Oberhalb ca. 0.8 km werden die Obergrenzen rasch seltener, doch findet sich eine kleine Zahl von Fällen, bei denen die Böigkeit vom Boden bis über 3 km Höhe reicht.

Tabelle 3 enthält die prozentische Häufigkeit der vertikalen Mächtigkeit der böigen Schichten ohne Bodenanschluß. (n_a : ausgeglichene Anzahl.) Diese freien „Böigkeitsschichten“, die der Bodenreibung entrückt sind, müssen mit bestimmten Austauschvorgängen in der freien Atmosphäre zusammenhängen.

Es überwiegen solche Schichten, die eine Mächtigkeit von nur wenigen Hundert Meter haben (von 0.6 km), während mit wachsender Mächtigkeit die Häufigkeit rasch abnimmt. In der Größenordnung stimmt die Mächtigkeit dieser böigen Schichten auffallend mit der bestimmter Wolkenformen wie St, Sc und Ac überein. Das Ergebnis erklärt sich durch die später zu erörternden Beziehungen zwischen den Wolken und der Böigkeit und die Tatsache, daß der Austausch im wesentlichen in den Grenzräumen verschiedener Luftmassen stattfindet.

Tabelle 2. Obergrenzen der Bögigkeitsschichten mit Bodenanschluß.

Höhe in km		0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	>3.0
		bis 0.2	bis 0.4	bis 0.6	bis 0.8	bis 1.0	bis 1.2	bis 1.4	bis 1.6	bis 1.8	bis 2.0	bis 2.2	bis 2.4	bis 2.6	bis 2.8	bis 3.0	
Darmstadt .	F	18	23	32	26	11	6	3	2	1	1	1	1	1	1	1	2
	S	16	17	21	15	7	4	2	1	1	1	1	1	1	—	—	3
	H	6	16	17	12	6	2	1	1	1	—	—	—	—	—	—	5
	W	21	15	13	11	8	6	5	4	2	2	1	1	1	1	—	—
	Σ	61	71	83	64	32	18	11	8	5	4	3	3	3	2	1	10
München .	F	—	—	10	8	6	4	4	3	2	2	1	1	1	—	1	7
	S	—	—	10	10	9	5	3	3	2	1	—	—	—	—	—	—
	H	—	—	4	5	4	2	2	2	1	1	—	—	—	—	—	6
	W	—	—	3	4	4	5	6	5	4	3	2	1	1	1	1	6
	Σ	—	—	27	28	23	16	15	13	9	7	3	2	2	1	2	19
Berlin . . .	F	9	22	23	20	14	5	3	3	3	2	1	1	1	1	1	12
	S	4	26	25	15	10	6	4	4	4	2	2	2	2	2	2	9
	H	13	19	16	10	7	4	3	3	3	2	2	2	2	1	1	5
	W	3	20	19	10	5	4	4	4	3	2	1	—	—	—	—	2
	Σ	29	87	83	55	36	19	14	14	13	12	7	5	5	4	4	28
Hamburg .	F	11	29	32	21	12	5	2	2	2	1	—	—	—	—	—	—
	S	11	44	60	39	17	8	3	3	2	1	1	—	—	—	—	—
	H	8	35	38	19	6	2	1	1	1	1	1	1	—	—	—	3
	W	7	26	26	13	5	3	3	3	2	1	1	—	—	1	—	2
	Σ	37	134	156	92	40	18	9	9	7	4	3	1	—	1	—	5
Königsberg .	F	4	16	19	12	6	3	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	S	2	15	20	16	10	4	3	3	1	—	—	—	1	—	—	1
	H	8	28	21	8	5	3	3	3	2	2	1	1	—	—	—	2
	W	6	15	15	9	5	2	1	2	1	1	1	—	—	—	—	2
	Σ	20	74	75	45	26	12	8	8	4	3	2	1	1	—	—	5
Summen Be+Ha+Kö	F	24	67	74	53	32	13	6	5	5	4	2	1	1	1	1	12
	S	17	85	104	70	37	18	10	10	7	5	3	2	3	2	2	10
	H	29	82	75	37	18	9	7	7	6	6	4	4	2	1	1	10
	W	16	61	60	32	15	9	8	9	6	4	3	—	—	1	—	6
	Σ	86	295	313	192	102	49	31	31	24	19	12	7	6	5	4	38

Tabelle 3. Vertikale Mächtigkeit der Bögigkeitsschichten ohne Bodenanschluß.

Mächtigkeit in km		0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9	≥	Zahl der Fälle
		bis 0.2	bis 0.4	bis 0.6	bis 0.8	bis 1.0	bis 1.2	bis 1.4	bis 1.6	bis 1.8	bis 2.0	bis 2.2	bis 2.4	bis 2.6	bis 2.8	bis 3.0	3.1	
München	Na	17	28	34	29	22	13	8	8	6	3	2	1	1	1	1	6	180
	%	9	15	19	16	12	7	4	4	3	2	1	1/2	1/2	1/2	1/2	3	
Darmstadt	Na	113	102	71	40	23	13	7	5	5	4	4	3	2	2	2	2	398
	%	28	26	18	10	6	3	2	1	1	1	1	1	1/2	1/2	1/2	1/2	
Hamburg	Na	45	63	58	38	22	12	6	4	3	2	1	1	1	1	1	2	264
	%	17	24	22	14	8	5	2	2	1	1	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	
Berlin	Na	102	101	82	58	41	28	18	11	8	6	3	2	2	2	2	2	468
	%	22	22	18	12	9	6	4	2	2	1	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	
Königsberg	Na	37	60	62	45	25	14	10	9	8	6	2	1	1	1	2	2	285
	%	13	21	22	16	9	5	4	3	3	2	1	1/2	1/2	1/2	1	1	
Summe	Na	314	355	307	210	133	80	49	37	30	21	12	8	7	7	8	14	1592
	%	20	22	19	15	8	5	3	2	2	1	1	1	1/2	1/2	1	1	

B. Luftruhe, Böigkeitsgrade und mittlere Böigkeit.

I. Häufigkeit der Luftruhe.

Um einen zahlenmäßigen Ausdruck der Häufigkeit der Luftruhe, also der Fälle ohne jede Böigkeit zu erhalten, sind die Häufigkeitswerte der am Schluß gegebenen Tabellen 26 bis 30 in Beziehung gesetzt worden zur Anzahl aller Aufstiege, die an den 5 Stationen in den Jahren 1931–1935 ausgeführt wurden. In

Tabelle 5. Prozentische Häufigkeit der Böigkeitsgrade 1, 2 und 3.

Höhe in km			0 bis 0.5	0.6 bis 1.0	1.1 bis 1.5	1.6 bis 2.0	2.1 bis 2.5	2.6 bis 3.0	3.1 bis 3.5	3.6 bis 4.0	4.1 bis 4.5	4.6 bis 5.0
München	F	B 1	—	24	21	29	37	40	40	41	25	15
		B 2	—	60	66	66	59	55	54	58	71	79
		B 3	—	16	13	5	4	5	6	1	4	6
	S	B 1	—	19	17	32	32	40	41	42	28	15
		B 2	—	60	61	60	58	51	48	46	58	77
		B 3	—	21	22	8	10	9	11	12	14	8
	H	B 1	—	17	20	19	14	17	15	18	22	17
		B 2	—	58	63	71	84	80	75	76	71	72
		B 3	—	25	17	10	2	3	10	6	7	11
	W	B 1	—	10	15	15	13	17	15	25	23	25
		B 2	—	53	55	67	71	72	74	58	63	61
		B 3	—	37	30	18	16	11	11	17	14	14
	J	B 1	—	17	18	22	22	26	27	33	24	18
		B 2	—	57	60	67	70	68	63	58	66	72
		B 3	—	26	22	11	8	6	10	9	10	10
Darmstadt	F	B 1	51	59	71	62	69	74	67	69	63	49
		B 2	40	36	29	36	31	26	33	31	36	42
		B 3	9	5	0	2	0	0	0	0	1	9
	S	B 1	73	61	53	66	68	77	76	88	73	77
		B 2	24	31	29	22	25	19	18	8	13	9
		B 3	3	8	18	12	7	4	6	4	14	14
	H	B 1	61	71	84	90	90	91	84	82	74	68
		B 2	24	22	13	10	10	9	16	18	25	23
		B 3	15	7	3	0	0	0	0	0	1	9
	W	B 1	43	42	49	47	65	63	61	64	76	76
		B 2	38	37	36	53	35	23	33	36	24	24
		B 3	19	21	15	0	0	14	6	0	0	0
	J	B 1	57	59	66	68	75	78	74	77	72	69
		B 2	32	32	26	28	23	18	24	22	24	24
		B 3	11	9	8	4	2	4	2	1	4	7
Berlin	F	B 1	15	28	47	44	43	47	49	51	43	50
		B 2	54	50	45	54	54	51	48	46	54	46
		B 3	31	22	8	2	3	2	3	3	3	4
	S	B 1	22	35	56	58	52	48	48	51	46	45
		B 2	60	48	38	40	44	48	48	47	53	55
		B 3	18	17	6	2	4	4	4	2	1	0
	H	B 1	27	28	39	42	49	49	55	45	52	47
		B 2	34	52	52	55	49	47	39	47	42	46
		B 3	39	20	9	3	2	4	6	8	6	7
	W	B 1	14	22	35	42	43	40	38	41	49	61
		B 2	43	51	52	53	45	50	53	49	35	29
		B 3	43	27	13	5	12	10	9	10	16	10
	J	B 1	20	29	46	46	47	46	48	48	39	49
		B 2	49	50	46	50	48	49	47	47	55	47
		B 3	31	21	14	4	5	5	5	5	6	4

Tabelle 5. (Fortsetzung.)

Höhe in km			0	0.6	1.1	1.6	2.1	2.6	3.1	3.6	4.1	4.6
			bis 0.5	bis 1.0	bis 1.5	bis 2.0	bis 2.5	bis 3.0	bis 3.5	bis 4.0	bis 4.5	bis 5.0
Hamburg	F	B 1	36	32	42	39	35	40	45	45	29	19
		B 2	52	56	49	55	54	42	42	43	53	51
		B 3	12	12	9	6	11	18	13	12	18	30
	S	B 1	29	28	35	20	29	33	42	41	33	35
		B 2	54	58	53	72	63	58	43	42	53	54
		B 3	17	14	12	8	8	9	15	17	14	11
	H	B 1	19	29	31	25	14	18	21	29	23	12
		B 2	62	51	63	66	72	57	50	47	68	79
		B 3	19	20	6	9	14	25	29	24	9	9
	W	B 1	25	18	19	25	24	37	52	47	49	51
		B 2	48	63	73	61	56	58	47	49	43	43
		B 3	27	19	8	14	20	5	1	4	8	6
	J	B 1	27	27	32	27	26	32	40	40	33	31
		B 2	54	57	59	64	62	54	45	45	54	57
		B 3	19	16	9	9	12	14	15	15	13	12
Königsberg	F	B 1	4	1	0	7	5	6	0	3	18	22
		B 2	58	69	74	74	81	78	78	74	63	64
		B 3	38	30	26	19	14	16	22	23	19	14
	S	B 1	10	11	19	12	7	6	13	21	22	16
		B 2	64	61	47	39	32	38	47	55	64	74
		B 3	26	28	34	39	61	56	40	24	14	10
	H	B 1	10	13	22	23	22	24	25	27	24	23
		B 2	56	63	63	63	59	50	52	52	49	53
		B 3	34	24	15	14	19	26	23	21	27	24
W	B 1	5	5	4	0	6	11	13	13	5	5	
	B 2	57	72	75	77	63	71	71	71	78	79	
	B 3	38	23	21	23	31	18	16	16	17	16	
J	B 1	8	8	12	12	12	13	15	19	17	18	
	B 2	59	66	65	66	60	59	60	60	61	65	
	B 3	33	26	23	22	28	28	25	21	22	17	

Tabelle 4 ist unter N die Anzahl aller Aufstiege, unter P die prozentische Häufigkeit der Fälle, in denen in den betr. Höhenstufen keine Bögigkeit beobachtet worden ist, enthalten. Die so erhaltenen Prozentzahlen der Luftruhe sind wahrscheinlich zu hoch, da die Regelmäßigkeit der Beobachtung nicht gewährleistet ist und außerdem die in der Einleitung erwähnten Beobachtungsschwierigkeiten ins Gewicht fallen.

Was zunächst die Anzahl aller Aufstiege anbetrifft, so ist zu bemerken, daß das Beobachtungsmaterial bereits sehr umfangreich ist und für die vorliegenden statistischen Zwecke ausreichend sein dürfte. Im Ganzen stehen für die unteren Schichten an den einzelnen Stationen 1100 bis 1500 Aufstiege, in den Jahreszeiten 260–400 Aufstiege zur Verfügung. Bis 3 km Höhe nimmt die Anzahl nur wenig ab, oberhalb 4 km rascher, oberhalb 4.8 km aber sehr stark, mit Annäherung an die normale Steighöhe der Flugzeuge. Im Winter zeigt sich bei einigen Stationen eine stärkere Abnahme der Anzahl der Aufstiege mit der Höhe, infolge ungünstiger Witterungsverhältnisse (besonders Vereisung).

Aus den Prozentzahlen der Luftruhe ergibt sich, daß die Häufigkeit in der bodennahen Schicht bis ca. 1–2 km bei allen Stationen und in allen Jahreszeiten mehr oder weniger stark zunimmt, darüber bleibt sie annähernd konstant oder nimmt nur noch langsam zu bis zur Maximalhöhe. Im allgemeinen unterscheiden sich die Zahlen für die Häufigkeit der Luftruhe an den einzelnen Stationen nur wenig voneinander, nur Berlin macht eine Ausnahme, wo die Zahlen oberhalb 1–2 km um ca. 10% geringer sind. Es ist natürlich nicht anzunehmen, daß tatsächlich die Luftruhe über Berlin kleiner ist als beispielsweise über Hamburg und Königsberg, es wäre eher das Umgekehrte zu erwarten. Offenbar ist über Berlin die Bögigkeit mit größerer Regelmäßigkeit beobachtet worden und auch geringe Bögigkeit häufiger notiert worden. Der jährliche Gang der Luftruhe ist, abgesehen von den bodennahen Luftschichten, meist nicht stark ausgesprochen und auch nicht einheitlich.

Über Berlin und Hamburg fällt das Maximum der Häufigkeit der Luftruhe meist auf Herbst und Winter, das Minimum auf den Sommer, bei München, Darmstadt und Königsberg das Maximum überwiegend auf Frühjahr oder Sommer, das Minimum auf Winter oder Herbst.

II. Häufigkeit der Böigkeitsgrade.

In Tabelle 5 sind die prozentischen Häufigkeiten der 3 Böigkeitsgrade für die Jahreszeiten und das Jahr nach Höhenstufen von 0,5 km enthalten. Betrachtet man zuerst die Prozentanteile für die Jahressummen, so sieht man, daß ein gemeinsamer Zug in der Häufigkeitsverteilung bei allen Stationen zwar vorhanden ist, aber auch gewisse Unterschiede hervortreten. Im allgemeinen liegt die größte Häufigkeit bei dem Grad 2 (mäßige Böigkeit), besonders bei München, Hamburg und Königsberg. Eine Ausnahme macht Darmstadt, wo der Grad 1 (schwache Böigkeit) am häufigsten ist, während bei Berlin oberhalb 1 km Grad 1 und 2 ungefähr gleich häufig sind. Der Grad 3 (starke Böigkeit) ist mit Ausnahme der bodennahen Schichten in allen Höhen relativ selten, nur bei Hamburg und besonders Königsberg häufiger; bei letzterer Station ist die Häufigkeit von B_3 sogar größer als von B_1 . Der höhere Wert des Grades 3 an den beiden Küstenstationen dürfte reell sein, in Anbetracht der größeren Windgeschwindigkeiten und größeren Zyklonenhäufigkeit, was auch mit der später zu besprechenden Beziehung zwischen der Böigkeit und dem Luftdruckgradienten am Boden in Einklang steht. Aus dem vertikalen Gang der stärkeren Böigkeitsgrade geht hervor, daß sie im wesentlichen durch die stärkere Bodenreibung verursacht sind.

Ein jährlicher Gang der Häufigkeit der 3 Böigkeitsgrade ist in großen Zügen vorhanden, besonders bei B_3 , wo das Maximum überwiegend auf den Winter fällt, während B_1 in dieser Jahreszeit ein Minimum hat.

Faßt man die Werte von München–Darmstadt (Süddeutschland) und Berlin–Hamburg–Königsberg (Norddeutschland) zu zwei Gruppen zusammen, so findet man folgende Häufigkeitsverteilung in den Jahressummen (Tabelle 6). Bei der Gruppe der 3 norddeutschen Stationen fällt das Maximum der

Tabelle 6.

Höhe in km		0	0.6	1.1	1.6	2.1	2.6	3.1	3.6	4.1	4.6
		bis 0.5	bis 1.0	bis 1.5	bis 2.0	bis 2.5	bis 3.0	bis 3.5	bis 4.0	bis 4.5	bis 5.0
München und Darmstadt . .	B_1	—	36	40	46	49	50	50	56	47	45
	B_2	—	46	45	47	47	45	45	39	45	46
	B_3	—	18	15	7	4	5	5	5	8	9
Berlin, Hamburg und Königsberg.	B_1	20	23	34	34	33	35	38	40	32	37
	B_2	54	56	54	57	55	53	49	49	57	54
	B_3	26	21	12	9	12	12	13	11	11	9

Häufigkeit in allen Höhen auf B_2 , der Unterschied zwischen B_1 und B_2 ist am größten am Boden und nimmt mit der Höhe ab, in Bodennähe ist sogar B_3 häufiger als B_1 .

Bei der Gruppe der süddeutschen Stationen ist der Unterschied der Häufigkeit von B_1 und B_2 wesentlich geringer, das Maximum fällt teilweise sogar auf B_1 . Die Häufigkeit von B_3 ist in allen Höhen geringer als bei der ersten Gruppe.

III. Das Vorkommen der Böigkeit.

Zur genaueren Erfassung des Vorkommens der Böigkeit in den verschiedenen Höhen der freien Atmosphäre wurde ausgezählt, wie oft in den einzelnen Höhen nach 0,1 km-Stufen Böigkeit beobachtet worden ist. Die auf diese Weise ermittelten numerischen Häufigkeitswerte wurden zunächst nach der Formel $\frac{a+2b+c}{4}$ ausgeglichen, um die bei den Zahlenreihen hervortretende Überbewertung der vollen

Höhenstufen 1,0, 1,5 usw. zu eliminieren. Es muß außerdem beachtet werden, daß die bei den Flugzeugaufstiegen erreichten Maximalhöhen in größeren Höhen stark abnehmen, was besonders im Winter bei Blindflug und Vereisung stark ins Gewicht fällt. Die Ungleichheit der Aufstiegshöhe ist bis ca. 4 km Höhe nicht erheblich, sie nimmt aber stark zu mit Annäherung an die bei 5–6 km Höhe liegende normale Steig-

höhe. Um diesen Fehler in der Statistik zu beseitigen, wurde das Vorkommen der Böigkeit in Prozent der Aufstiege ausgedrückt, die die betreffende Höhe jeweils erreichten. Diese Werte, nämlich unter n die ausgeglichene Anzahl der Fälle mit Böigkeit, unter p die prozentische Häufigkeit, ermittelt aus der Anzahl derjenigen Aufstiege, bei denen in irgend einer Höhe Böigkeit beobachtet wurde, sind für die 3 Böigkeitsgrade und die 5 Wetterflugstellen für die Jahreszeiten und das Jahr berechnet worden. Dabei ist zu beachten, daß aus rechnerischen Gründen der in den Aerologischen Berichten veröffentlichte Böigkeitsgrad 0 mit 1 (schwach), 1 mit 2 (mäßig), 2 mit 3 (stark) bezeichnet wurde. Waren Zwischenstufen, z. B. B_{0-1} , B_{1-2} , B_{2-3} angegeben, so ist der höhere Böigkeitsgrad eingesetzt worden. Unterschieden sind nur 3 Böigkeitsgrade, da in den Berichten der Grad 3 nur selten angegeben ist. Unter B_m ist die mittlere Böigkeit

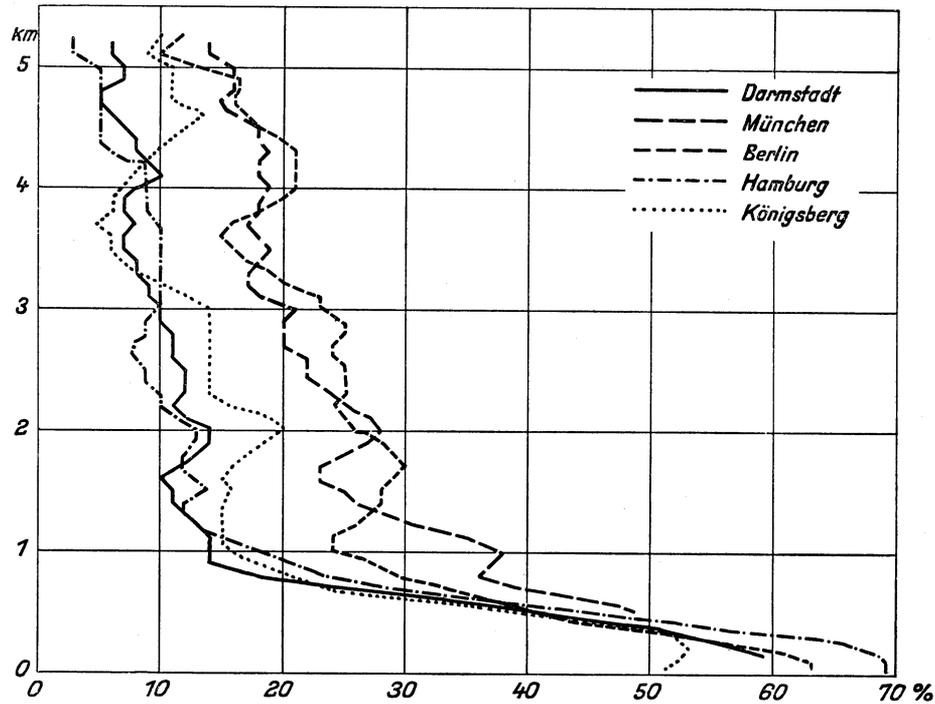


Abb. 2 a. Vertikaler Gang der Häufigkeit der Böigkeit im Frühjahr.

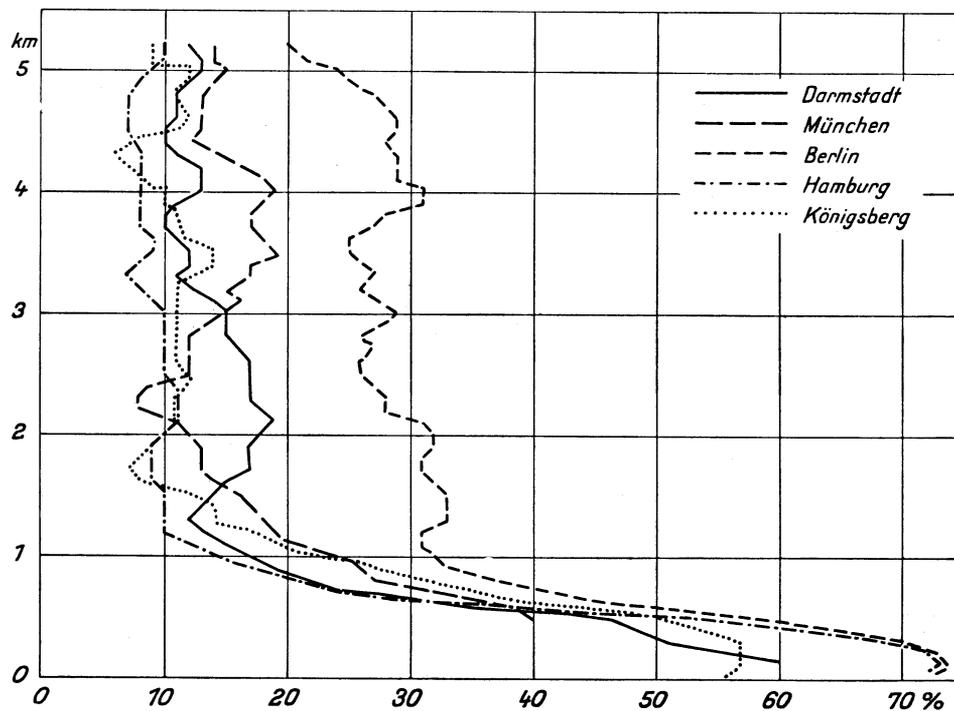


Abb. 2 b. Vertikaler Gang der Häufigkeit der Böigkeit im Sommer.

aus der Anzahl und der Summe der Bögigkeitsgrade berechnet worden, wobei angenommen wurde, daß die Stärke der Bögigkeit proportional mit dem angegebenen Bögigkeitsgrad wächst, also B_2 der doppelten, B_3 der dreifachen Stärke von B_1 entspricht. Diese Annahme ist willkürlich, dürfte aber der Wirklichkeit nahekommen. Unter N ist die Zahl der Aufstiege angegeben, die die betreffende Höhe erreicht haben.

Die Werte für n , p , B_m und N sind in den Tabellen 26–30 mitgeteilt. Die Zahl der Beobachtungen ist selbstverständlich noch nicht ausreichend, besonders bei München und Darmstadt, doch werden die Werte in extenso mitgeteilt, damit sie leicht ergänzt werden können, wenn eine größere Zahl von Flugzeugaufstiegen vorliegt. Es ist ferner zu beachten, daß es sich nur um Morgenaufstiege handelt, bei denen

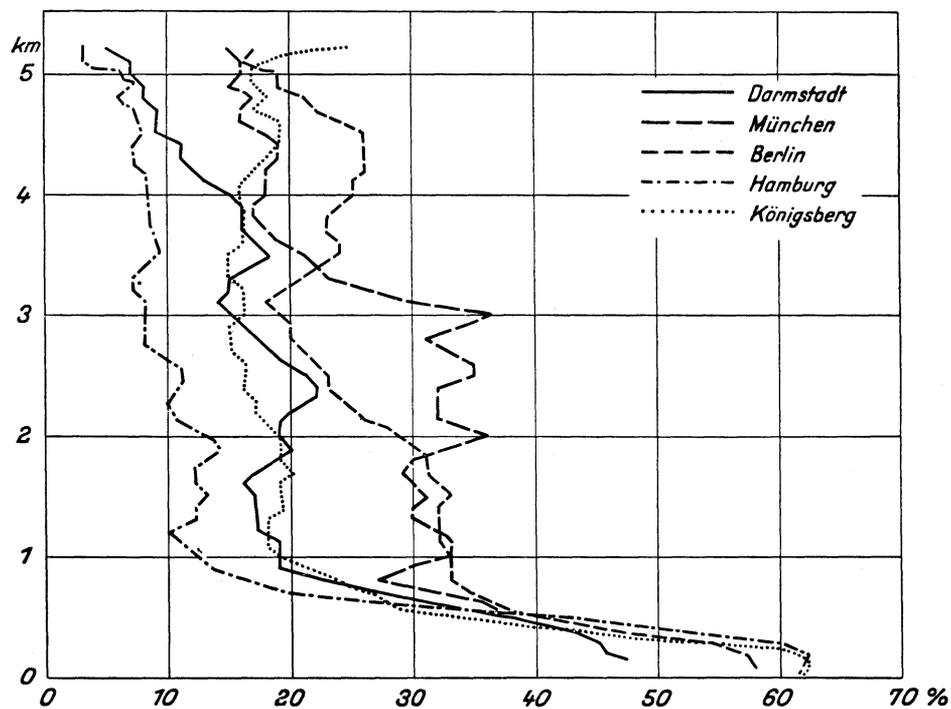


Abb. 2 c. Vertikaler Gang der Häufigkeit der Bögigkeit im Herbst.

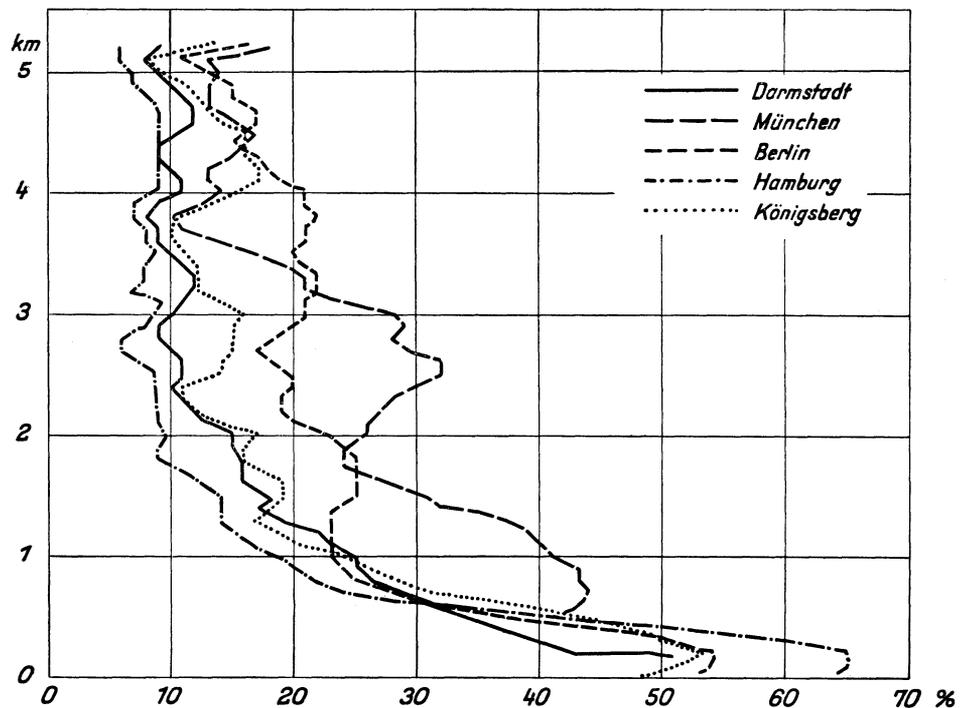


Abb. 2 d. Vertikaler Gang der Häufigkeit der Bögigkeit im Winter.

der Einfluß der thermischen, durch die tägliche Erhitzung des Erdbodens verursachten Bögigkeit zurücktritt gegen den dynamischen Einfluß infolge Bodenreibung oder Austausch an Schichtflächen und Luftmassengrenzen. Eine Untersuchung der bei den Nachmittagsaufstiegen beobachteten Bögigkeit soll später durchgeführt werden, wenn mehr Material vorliegt.

Man erkennt aus den Tabellen 26–30, daß der vertikale Gang der Häufigkeit an den einzelnen Stationen und in den Jahreszeiten im Großen übereinstimmende Gesetzmäßigkeit aber auch viele Unregelmäßigkeiten aufweist, welche letztere zum Teil reell, zum Teil aber auch durch die noch nicht ausreichende Zahl der Beobachtungen verursacht sein werden. Die Diskussion möge sich daher zunächst auf die Häufigkeit aller Bögigkeitsgrade (B_{1-3}) an der Hand der Abbildungen 2 a bis e beschränken.

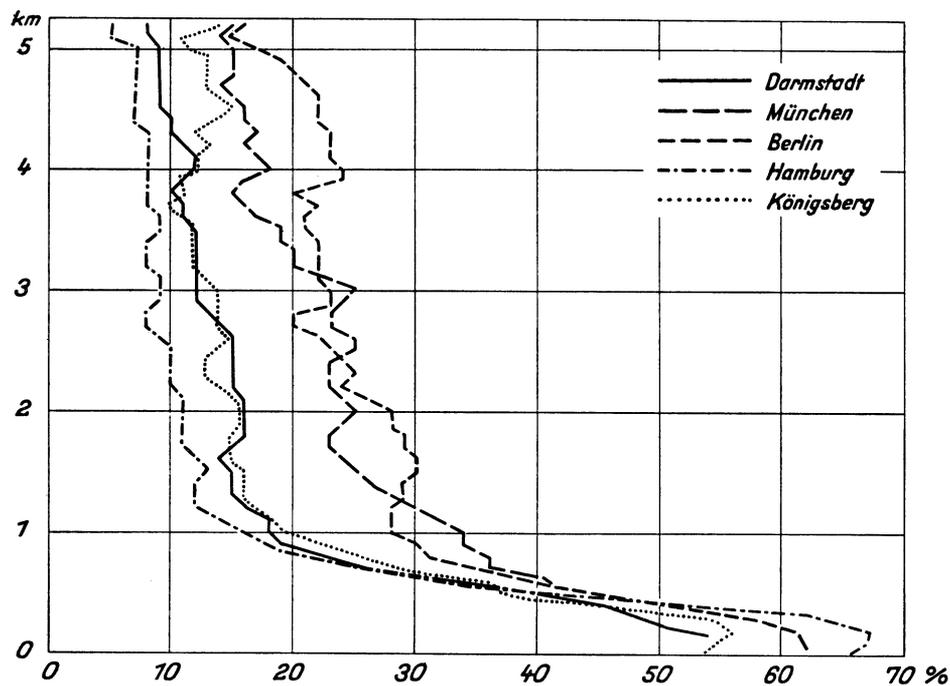


Abb. 2 e. Vertikaler Gang der Häufigkeit der Bögigkeit im Jahre.

München :

Frühjahr: Vom Boden bis 1.6 km starke Abnahme, darüber Zunahme zu einem sekundären Maximum bei 2 km, über dem die Häufigkeit unregelmäßig bis zur Maximalhöhe abnimmt.

Sommer: Vom Boden bis 2.2 km starke Abnahme, darüber Zunahme zu einem Maximum bis 4 km, darüber wieder Abnahme.

Herbst: Auf mäßige Abnahme vom Boden bis 0.8 km folgt zwischen 1 und 3 km eine Schicht mit größerer Häufigkeit, darüber rasche und starke Abnahme bis zur Maximalhöhe.

Winter: Vom Boden bis 1.7 km starke Abnahme, darüber Zunahme zu einem sekundären Maximum bis 2.5 km, darüber starke Abnahme zum Hauptminimum bei 3.8 km. Darüber erneute Zunahme.

Jahressumme: Abnahme vom Boden bis 1.7 km, darüber gleichbleibend bis 3 km und erneute allmähliche Abnahme bis zur Maximalhöhe.

Darmstadt :

Frühjahr: Vom Boden bis 0.9 km sehr starke Abnahme, darüber unregelmäßige, allmähliche Abnahme bis zur Maximalhöhe.

Sommer: Vom Boden bis 1.3 km sehr starke Abnahme, darüber Zunahme zu einem Maximum bei 2.1 km, dann langsame unregelmäßige Abnahme bis zur Maximalhöhe.

Herbst: Vom Boden bis 1.6 km sehr starke Abnahme. Darüber Zunahme bis zu einem Maximum bei 2.3 km, dann Abnahme bis zur Maximalhöhe.

Winter: Vom Boden bis 2.4 km starke Abnahme, darüber langsame Abnahme bis zur Maximalhöhe, unterbrochen durch kleine Maxima bei 3.2, 4.0 und 4.7 km.

Jahressumme: Sehr starke Abnahme vom Boden bis 1.6 km, darüber langsame, allmähliche Abnahme bis zur Maximalhöhe.

Berlin:

Frühjahr: Sehr starke Abnahme bis 1 km, darüber Zunahme zu einem sekundären Maximum bis 1.7 km, allmähliche Abnahme zu einem sekundären Minimum bei 3.7 km, erneute Zunahme zu einem Maximum bei 4.2 km, darüber Abnahme bis Maximalhöhe.

Sommer: Starke Abnahme vom Boden bis 1.1 km, darüber langsame Abnahme bis 3.6 km, bei 4 km sekundäres Maximum, darüber Abnahme bis Maximalhöhe.

Herbst: Starke Abnahme vom Boden bis 0.8 km, geringe Abnahme bis 1.8 km, darüber starke Abnahme bis 3.1 km, dann Zunahme zu einem Maximum bei 4 km und Abnahme bis Maximalhöhe.

Winter: Starke Abnahme bis 1.1 km, darüber langsame Abnahme bis 2.7 km, zwischen 3 und 4 km sekundäres Maximum, darüber Abnahme bis Maximalhöhe.

Jahressumme: Starke Abnahme bis 1 km, darüber unregelmäßige, langsame Abnahme bis Maximalhöhe, unterbrochen durch zwei sekundäre Maxima bei 1.5 und 4 km.

Hamburg:

Frühjahr: Sehr starke Abnahme bis 1.3 km. Darüber langsame unregelmäßige Abnahme bis Maximalhöhe.

Sommer: Sehr starke Abnahme bis 1.2 km, darüber unregelmäßige Abnahme bis Maximalhöhe.

Herbst: Sehr starke Abnahme bis 1.2 km. Darüber langsame unregelmäßige Abnahme bis Maximalhöhe.

Winter: Sehr starke Abnahme bis 1.8 km, darüber fast gleichbleibende Häufigkeit bis Maximalhöhe.

Jahressumme: Sehr starke Abnahme bis 1.2 km, darüber langsame Abnahme bis Maximalhöhe.

Königsberg:

Frühjahr: Starke Abnahme bis 1.1 km, darüber Zunahme zu einem Maximum bei 2 km, dann kräftige Abnahme bis 3.7 km und erneute Zunahme zu einem Maximum bei 4.6 km, darüber langsame Abnahme bis Maximalhöhe.

Sommer: Starke Abnahme bis 1.7 km, darüber langsame Zunahme zu einem Maximum bei 3.7 km, Abnahme zu einem Minimum bei 4.3 km, darüber wieder Zunahme zu einem Maximum bei 4.5 bis 5.0 km.

Herbst: Starke Abnahme bis 1.1 km, darüber ganz langsame Abnahme bis 4 km, dann Zunahme bis Maximalhöhe.

Winter: Starke, bis 1.3 km regelmäßige, bis 2.3 unregelmäßige Abnahme, darauf Maximum bei 2.8, Minimum bei 3.7, Maximum bei 4.2, Minimum bei 5.1 km.

Jahressumme: Starke Abnahme bis 1.3 km, dann langsame unregelmäßige Abnahme bis 3.7 km, darüber langsame Zunahme bis Maximalhöhe.

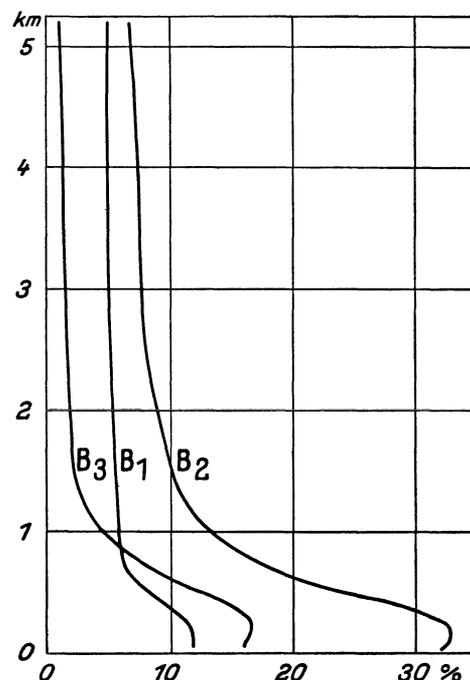


Abb. 3. Ausgeglichener vertikaler Gang der 3 Bögigkeitsgrade.
(Berlin + Hamburg + Königsberg.).

Es geht aus dieser kurzen Charakterisierung des vertikalen Ganges der Häufigkeit hervor, daß bei allen Stationen und in allen Jahreszeiten eine bodennahe Schicht zu unterscheiden ist, deren obere Grenze im allgemeinen bei 1.0 bis 1.5 km liegt und in der die Häufigkeit der Böigkeit sehr stark mit der Höhe abnimmt und eine zweite bis zur Maximalhöhe reichende Schicht, in der die Häufigkeit langsam, aber sehr unregelmäßig abnimmt. In dieser Schicht treten gewöhnlich 2–3 Maxima und Minima in wechselnder Höhe auf.

Eine ähnliche Höhenverteilung hat die Häufigkeit der einzelnen Böigkeitsgrade, bei der ebenfalls oberhalb 1 km Schichtung hervortritt, doch ist die Anzahl der Beobachtungen zum Teil noch nicht ausreichend, um den genauen vertikalen Gang mit Sicherheit bestimmen zu können.

Sieht man von den sekundären Schichtungen oberhalb der bodennahen Schicht ab und eliminiert die Unregelmäßigkeiten des vertikalen Ganges durch graphische Ausgleichung, so erhält man durch Zusammenfassung der Beobachtungen von Berlin, Hamburg und Königsberg für die Häufigkeit der 3 Böigkeitsgrade den in Abbildung 3 dargestellten vertikalen Gang. Danach kann man 3 Schichten unterscheiden: Erstens eine dünne Schicht unmittelbar über dem Boden (Höhe ca. 0.2 km), in der die Häufigkeit mit der Höhe schwach zunimmt, zweitens eine Schicht starker Abnahme bis ca. 1 km und die dritte Schicht sehr langsamer Abnahme bis zur Maximalhöhe.

Macht man die Annahme, daß die obere Grenze der bodennahen Reibungsschicht durch das obere Ende der Schicht mit starker Abnahme charakterisiert ist, so erhält man für die obere Grenze der Reibungsschicht ungefähr folgende Werte:

Tabelle 7. Obere Grenze der Reibungsschicht.

	Darmstadt	München	Berlin	Hamburg	Königsberg	Mittel Be + Ha + Kö
Frühjahr	1.6	1.6	1.0	1.3	1.1	1.1
Sommer	1.3	2.2	1.1	1.2	1.7	1.3
Herbst	0.9	0.8	0.8	1.2	1.1	1.0
Winter	2.4	1.8	1.1	1.8	1.3	1.4
Jahresmittel	1.3	1.7	1.0	1.2	1.3	1.2

Die Reibungsschicht reicht danach bei den einzelnen Stationen unter Berücksichtigung der Ausgangshöhe bis ca. 1.0 bis 1.3 km im Jahresmittel. Die geringste mittlere Höhe fällt meist auf den Herbst, die größte bei Darmstadt und Hamburg auf den Winter, bei München und Königsberg auf den Sommer. Im Mittel der 3 norddeutschen Stationen hat der Herbst die geringste mittlere Höhe (1.0), der Winter die größte (1.4 km).

Die Werte der mittleren Böigkeit, berechnet aus den Beobachtungen der Aufstiege, bei denen überhaupt in irgendeiner Höhe Böigkeit beobachtet worden ist, sind in den Tabellen 26–30 unter B_m enthalten. Der vertikale Gang im Jahresmittel ist in den Abbildungen 4 a und b ausgeglichen dargestellt. Die Kurven haben einen Verlauf ähnlich denen der Häufigkeit der Böigkeit. In Bodennähe liegt eine dünne Schicht von 0.1 bis 0.2 km Mächtigkeit, in der die Böigkeit annähernd konstant ist, darüber eine bis ca. 1 km (München bis 2 km) reichende Schicht mit starker Abnahme der Böigkeit, und oberhalb dieser die dritte Schicht mit langsamer Abnahme bis zur Maximalhöhe. Die absoluten Werte der einzelnen Stationen sind zwar untereinander schlecht vergleichbar, doch dürfte das Ergebnis, daß die mittlere Böigkeit am Boden über München und Darmstadt wesentlich kleiner ist als über Berlin, Hamburg und Königsberg, reell sein. Wie Abbildung 4 zeigt, unterscheiden sich die Kurven der Jahreszeiten nicht erheblich voneinander. Der Herbst zeigt auch hier, wie bei der Häufigkeit, geringere Höhenerstreckung der „Reibungsschicht“ als die übrigen Jahreszeiten.

C. Schichten starker Böigkeit mit Bodenanschluß.

I. Beziehungen zwischen den Schichten starker Böigkeit, Luftdruckgradient und Wind.

Da die Schichten starker Böigkeit mit Bodenanschluß im wesentlichen mit der unteren Reibungsschicht identisch sind, interessiert zunächst die genauere Lage der Obergrenzen. Dabei ist zu berücksichtigen, daß hier die Obergrenze als das Ende der starken Böigkeit (B_s) bestimmt ist, eine etwas willkürliche Annahme, da sich die Böigkeit in schwächerem Grade häufig noch in größere Höhen fortsetzt;

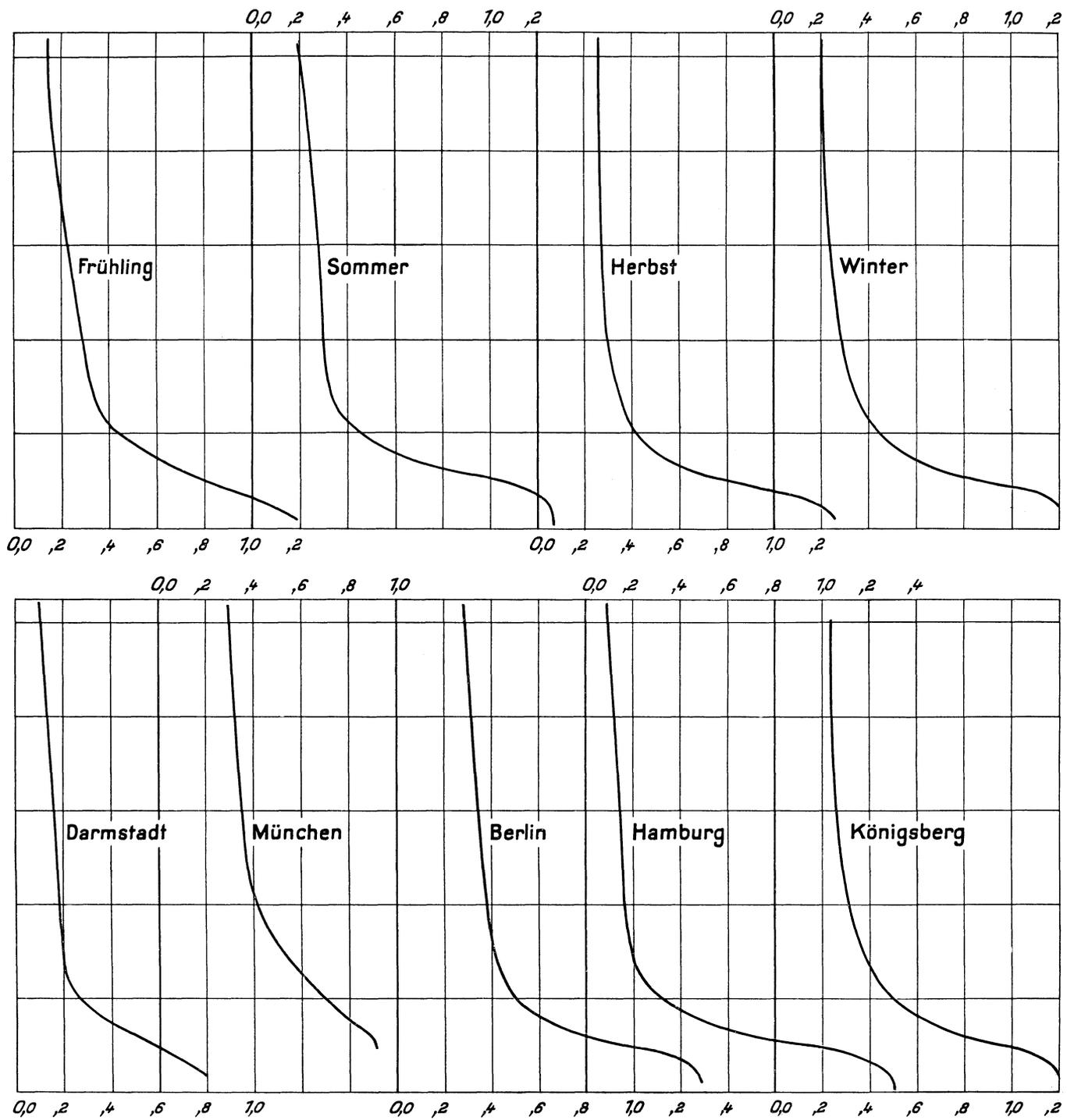


Abb. 4. Mittlere Böigkeit. Oben: Mittel Berlin, Hamburg, Königsberg; unten: Jahresmittel.

doch dürfte es in den meisten Fällen richtiger sein, das obere Ende der stark böigen Reibungsschichten auf den Böigkeitsgrad 3 festzulegen. Die Häufigkeit der so ermittelten Obergrenzen ist in Tabelle 8 nach 0.1 km-Stufen für die 3 norddeutschen Stationen ermittelt.

Tabelle 8.

Höhen der Obergrenzen starker Böigkeitsschichten mit Bodenanschluß.

Höhe in km	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	≥ 2.5
Berlin	—	1	7	11	24	16	17	13	4	10	3	1	—	4	6	—	—	2	1	1	—	—	—	—	1
Hamburg	—	5	8	9	24	21	7	6	3	2	2	—	—	1	2	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—
Königsberg	—	3	18	15	27	13	7	3	2	11	—	—	1	1	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1
Summe Be + Ha + Kö .	—	9	33	35	75	50	31	22	9	23	5	1	1	6	10	—	—	2	1	2	—	—	—	—	2

Das Häufigkeitsmaximum liegt bei den 3 Stationen bei 0.5 bis 0.6 km Höhe, darüber nimmt die Häufigkeit stark ab, nur in seltenen Fällen reicht die B₃-Schicht ununterbrochen bis zu großen Höhen. Die in der Tabelle bei 1.0 und 1.5 km hervortretenden Häufungen dürften nicht reell sein (Beobachtungsfehler). Die untere Reibungsschicht erstreckt sich demnach in der Hauptsache bis ca. 0.5 km relativer Höhe.

Da vorausgesetzt werden kann, daß starke Böigkeit keine zufällige, rasch vorübergehende Erscheinung ist, zumal bei den Morgenaufstiegen, bei denen der thermische Einfluß der Erhitzung des Erdbodens gering ist, muß ein deutlicher Zusammenhang mit der Wetterlage festzustellen sein, besonders mit dem Luftdruckgradienten und dem Winde. Da Windmessungen bei starker Böigkeit in den unteren Schichten nur in spärlicher Anzahl zur Verfügung stehen, erscheint es am einfachsten, den Luftdruckgradienten am Boden zur Böigkeit in Beziehung zu setzen. Zu diesem Zwecke wurden für die Fälle, in denen B₃ in den bodennahen Schichten beobachtet wurde, der Druckgradient unmittelbar aus dem Isobarenabstand nach den Seewetterkarten ermittelt. Dieses etwas rohe Verfahren dürfte für den vorliegenden Zweck genügen, zumal es sich sowieso nicht um Messungen, sondern um mehr oder weniger ungenaue Schätzungen der Böigkeit handelt. In den meisten Fällen ist dieses Verfahren mit genügender Sicherheit anwendbar, da es sich bei starker Böigkeit meist um klare, eindeutige Druckgebilde und Gradienten handelt.

In Tabelle 9 ist zunächst die Häufigkeit der Druckgradienten für Berlin, Hamburg und Königsberg mitgeteilt.

Tabelle 9. Häufigkeit des Druckgradienten (mb/100 km) bei starker Böigkeit mit Bodenanschluß.

mb/100 km	0	0.6	1.1	1.6	2.1	2.6	3.1	3.6	4.1	4.6	5.1	5.6	6.1
	bis 0.5	bis 1.0	bis 1.5	bis 2.0	bis 2.5	bis 3.0	bis 3.5	bis 4.0	bis 4.5	bis 5.0	bis 5.5	bis 6.0	bis 6.5
Berlin	—	—	6	14	40	15	11	10	11	5	—	—	—
Hamburg	—	—	2	15	16	5	11	13	11	4	—	—	—
Königsberg	—	—	1	7	29	13	16	15	4	8	—	—	2
Summe	—	—	9	36	85	33	38	38	26	17	—	—	2

Man sieht sofort, daß ein Zusammenhang besteht zwischen dem Vorkommen von B₃ und dem Luftdruckgradienten am Boden. Bei kleinen Gradienten von <1.5 mb wird starke Böigkeit nur selten beobachtet; am häufigsten sind Gradienten von der Größe >2 mb. Einem Druckgradienten von 2 mb entspricht über Norddeutschland eine Windgeschwindigkeit von ca. 7, einem solchen von 4 mb von ca. 15 ms. Man kommt so zu der ungefähren Grenzgeschwindigkeit von 8 ms für starke Böigkeit.

Um die direkt gemessenen Windgeschwindigkeiten in Beziehung zur Böigkeit setzen zu können, wurden die in den Aerologischen Berichten veröffentlichten ungefähr gleichzeitigen Windmessungen mit Piloten herangezogen. Das Material ist spärlich, dürfte aber genügen:

Tabelle 10. Häufigkeit der Windgeschwindigkeit am Boden und an der oberen Grenze von Schichten starker Böigkeit mit Bodenanschluß.

Windgeschwindigkeit (ms)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	>	mittlere Windgeschwindigkeit
	bis 1	bis 3	bis 5	bis 7	bis 9	bis 11	bis 13	bis 15	bis 17	bis 19	bis 21	bis 23	bis 25	25	
Am Boden	1	9	45	61	50	28	21	2	—	—	—	—	—	—	8 ms
Obergrenze der B ₃ -Schicht.	—	1	7	10	14	32	26	37	21	22	20	5	6	6	15 ms

Aus Tabelle 10 ist die Häufigkeit der Windgeschwindigkeit an der Untergrenze (Boden) und der Obergrenze der B₃-Schicht zu entnehmen. Am Boden sind relativ große Windgeschwindigkeiten von 6–9 ms am häufigsten, während solche von <2 ms selten sind. Aus der großen Häufigkeit von Windgeschwindigkeiten von 10–15 ms an der Obergrenze der B₃-Schicht ergibt sich starke Zunahme des Windes mit der Höhe in der Böigkeitsschicht; sie beträgt im Mittel vom Boden bis zur Obergrenze, die bei ca. 0.5 km Höhe liegt, ca. 100%. Für die 3 Stationen Berlin, Hamburg und Königsberg ergeben sich im Mittel die in Tabelle 11 berechneten Werte für die Abhängigkeit der Höhe der Obergrenze der B₃-Schicht von der Windgeschwindigkeit.

Tabelle 11.

	Berlin	Hamburg	Königsberg
Obergrenze der B ₃ -Schicht	0.8 km	0.7	0.6
Windgeschwindigkeit {	Untergrenze	6.7 ms	8.3
	Obergrenze	13.6 ms	15.0
Temperaturgradient in der B ₃ -Schicht	0.66°	0.60	0.62

Die Windgeschwindigkeit beträgt am Boden ca. 7–8 ms und nimmt bis zur Obergrenze der B₃-Schicht ungefähr auf den doppelten Betrag zu (14–15 ms). Der relativ hohe Temperaturgradient in der böigen Schicht von $>0.6^\circ/100$ m zeigt die starke turbulente Durchmischung der Schicht. Der gesamte Temperaturgradient Boden bis Obergrenze der B₃-Schicht würde noch größer sein, wenn nicht in zahlreichen Fällen über dem Boden eine dünne Schicht mit Temperaturinversion vorhanden wäre (Morgenaufstiege!).

Mit den Werten der Tabelle 12 wurde geprüft, ob eine Beziehung besteht zwischen der Höhe der Obergrenze der B₃-Schicht und dem Druckgradienten und der Windgeschwindigkeit am Boden.

Tabelle 12. Abhängigkeit der Höhe der Obergrenze der B₃-Schicht vom Druckgradienten und von der Windgeschwindigkeit am Boden.
(Beob. von Hamburg, Berlin und Königsberg.)

Druckgradient am Boden mb/100 km .	1	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	—	—
Höhe der Obergrenze der B ₃ -Schicht in m	—	760	640	600	590	660	740	820	910	1020	?	—	—
Windgeschwindigkeit unten in ms . .	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Höhe der Obergrenze der B ₃ -Schicht in m	—	—	790	720	660	590	550	600	660	710	770	830	890

Man hätte erwarten können, daß die Höhe der Obergrenze in einer einfachen Beziehung stehen würde zur Größe des Druckgradienten und der Windgeschwindigkeit, da die Mächtigkeit der Reibungsschicht abhängig sein muß von der Windgeschwindigkeit. Eine so einfache Beziehung ist aber nicht vorhanden. Die Höhe der Reibungsschicht nimmt zunächst mit zunehmendem Druckgradienten ab bis zu einem Minimum bei 2–3 mb und erst bei größeren Druckgradienten stark zu. Ähnlich ist der Zusammenhang mit der Windgeschwindigkeit am Boden. Die Höhe der Obergrenze der B₃-Schicht nimmt zunächst ab bis 7 ms, darauf zu bis 13 ms. Die Windwirkung auf die vertikale Durchmischung der Reibungsschicht tritt also erst bei Geschwindigkeit von 7 ms voll in Erscheinung.

Tabelle 13. Häufigkeit der Windrichtung an der unteren und oberen Grenze starker Böigkeitsschichten mit Bodenanschluß.

Windrichtung		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Berlin	Untergrenze	2	6	5	—	4	20	39	10
	Obergrenze	2	5	6	1	1	12	41	19
Hamburg	Untergrenze	—	1	2	4	5	37	17	1
	Obergrenze	—	1	1	3	3	25	20	3
Königsberg	Untergrenze	1	2	—	5	5	15	24	12
	Obergrenze	3	2	—	3	6	14	26	10
Summe Be + Ha + Kö .	Untergrenze	3	9	7	9	14	72	80	23
	Obergrenze	5	8	7	7	10	51	87	32

In Tabelle 13 ist geprüft worden, welche Windrichtungen an der oberen und unteren Grenze der B₃-Schichten vorkommen. Es ist daraus zu entnehmen, daß an den 3 Stationen sowohl an der Unter- als auch an der Obergrenze die Winde aus SW und W stark überwiegen. Die häufigsten Windrichtungen sind SW, W und NW, während die Richtungen zwischen N und SE nur selten vertreten sind. Das Ergebnis steht im Einklang mit der Häufigkeit der Wetterlagen (Tabelle 20).

II. Beziehungen zur Wetterlage.

Es ist von vornherein zu erwarten, daß ein Zusammenhang zwischen starker Böigkeit und Wetterlage besteht, da sich eine Abhängigkeit vom Luftdruckgradienten ergeben hat. Da starke Böigkeit im wesentlichen dynamischer Natur ist, verursacht durch starke Bodenreibung bei großer Windgeschwindigkeit, muß die Böigkeit vorzüglich an kräftige Zyklonen gebunden sein.

Da eine spätere Bearbeitung der Zusammenhänge mit den Fronten vorgesehen ist, kann sich die vorliegende Untersuchung auf die Feststellung beschränken, wie sich die Häufigkeit starker Böigkeitsschichten mit und ohne Bodenanschluß auf die einzelnen Wetterlagen verteilt. Es wurde an Hand der Seewartenkarten ermittelt, in welchen Oktanten der Zyklonen und Antizyklonen die Aufstiege mit Böigkeit vorkamen. Da es sich dabei überwiegend um Wetterlagen mit starken Druckgradienten und kräftigen Zyklonen handelt, bereitete die Unterscheidung nach Oktanten keine Schwierigkeiten; in einem nur geringen Prozentsatz war die Bestimmung der Wetterlage nach diesem Schema unsicher; diese Fälle sind unberücksichtigt geblieben. Die Untersuchung beschränkt sich auf Berlin, Hamburg und Königsberg. Bei Darmstadt ist die Zahl der Fälle mit starker Böigkeit zu spärlich, bei München war die Einordnung in das Wetterlagenschema nicht mit Sicherheit durchzuführen, da das Druckfeld durch die Nähe der Alpen beeinflußt ist. Es sei nur erwähnt, daß bei München auffallend häufig dann starke Böigkeit herrscht, wenn das Alpenvorland am Nordrande eines Hochdruckrückens liegt und gleichzeitig eine kräftige Zyklone vorübergezogen ist, also bei ausgeprägter Staulage labiler, maritimer Luftmassen. Tabelle 19 enthält die Häufigkeit der Wetterlagen.

Tabelle 14. Häufigkeit der Wetterlage bei starker Böigkeit mit Bodenanschluß.

Oktant	Zyklone									Antizyklone								
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Summe	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Summe
Berlin	4	2	4	8	41	22	12	1	94	2	7	—	—	7	2	—	—	18
Hamburg	—	1	5	19	33	11	—	1	70	3	1	—	—	2	1	—	—	7
Königsberg	3	—	7	8	44	15	12	1	90	—	—	1	—	—	1	3	—	5
Summe	7	3	16	35	118	48	24	3	254	5	8	1	—	9	4	3	—	30

Aus der Tabelle 14 ist ohne weiteres zu entnehmen, daß starke Böigkeit ganz überwiegend bei zyklonaler Wetterlage auftritt, was im Einklang steht mit dem früheren Ergebnis über die Abhängigkeit vom Luftdruckgradienten am Boden. Am häufigsten ist der Süd-Oktant der Zyklonen vertreten und zwar finden sich darunter auffallend viele Wetterlagen mit kräftigen Sturmwirbeln. Die Südseite der großen Zyklonen, die bekanntlich meist okkludiert sind, durchfließen überwiegend Luftmassen maritimer Herkunft; meist entstammt die Luft der Rückseite der Zyklonen und ist thermisch instabil, was zusammen mit großer Windgeschwindigkeit und starker Bodenreibung starke Turbulenz verursacht. Darauf folgen in der Häufigkeit der benachbarte SW- und SE-Oktant und der W-Oktant, während in den Oktanten NW bis E nur selten starke Böigkeit beobachtet wird. Da die Oktanten S, SW und W im wesentlichen die Rückseitenströmung der Zyklonen umfassen, fällt die größte Häufigkeit entschieden auf die maritimen Westströmungen. Natürlich ist dabei zu berücksichtigen, daß Druckgradient und Windstärke in den unteren Schichten im allgemeinen auf der Südseite der Zyklonen am größten ist. Bei den wenigen antizyklonalen Fällen ist starke Böigkeit ebenfalls meist nur bei starken Druckgradienten an der Peripherie der Antizyklonale beobachtet worden, fast niemals im inneren Teil; auch daraus geht hervor, daß die Böigkeit dynamisch und nicht rein thermisch verursacht ist.

Tabelle 15 vermittelt einen Überblick über die bei starker Böigkeit in den einzelnen Oktanten vorhandenen Druckgradienten am Boden.

Bei den 3 Stationen ergibt sich für die Zyklone derselbe Mittelwert von ca. 3 mb, für die Antizyklone der nur wenig niedrigere Wert von fast 2.5 mb. Auch die einzelnen Werte für die Oktanten der Zyklone liegen bei 2–3 mb. Die relativ hohen Werte für die antizyklonalen Oktanten zeigen, daß starke Böigkeit auch hier nur bei starken Druckgradienten vorkommt. Nur in einigen ganz seltenen Fällen konnte starke Böigkeit bei ausgesprochen antizyklonaler Wetterlage ohne starke Druckgradienten beobachtet werden; in diesen Fällen war die Ursache lokale Böen und Gewitter.

Tabelle 15. Luftdruckgradienten bei verschiedenen Wetterlagen mit Schichten starker Böigkeit.

Oktant	Zyklone									Antizyklone								
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Mittel Zyklone	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Mittel Anti-Zyklone
Berlin	2.0	2.6	2.6	2.5	2.9	3.3	2.7	2.1	2.9	1.8	2.4	—	—	2.2	2.2	—	—	2.2
Hamburg	—	1.7	3.2	3.3	2.7	3.5	—	1.9	3.0	2.3	2.1	—	—	2.0	1.9	—	—	2.1
Königsberg	3.9	—	3.1	3.2	3.2	2.8	3.1	1.8	3.1	—	—	1.7	—	—	2.5	2.7	—	2.4
Mittel Be+Ha+Kö	2.8	2.3	3.0	3.1	2.9	3.2	2.9	1.9	3.0	2.1	2.4	1.7	—	2.2	2.2	2.7	—	2.3

III. Beziehungen zur Bewölkung.

Bei der Bearbeitung des Beobachtungsmaterials zeigte sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen der Reibungsschicht und der Bewölkung. Da die Beziehungen zwischen Turbulenz und Wolkenbildung in einer später folgenden Arbeit an der Hand von Einzelaufstiegen eingehender behandelt werden soll, mögen einige allgemeine Feststellungen hier genügen. Bei der Zusammenstellung der Einzelaufstiege fiel auf, daß bei starker Böigkeit Wolkenbildungen innerhalb der Schicht sehr häufig sind. Besonders treten im oberen Teil und an der Obergrenze der B₃-Schicht häufig Fractusformen auf, die offenbar durch den Turbulenzaustausch entstehen; aber auch bei geschlossenen Wolkendecken, Nimbus und Stratus, fällt sehr häufig die Untergrenze der Wolkendecke in den oberen Teil der B₃-Schicht.

Tabelle 16. Häufigkeit der Wolkenformen innerhalb der Schicht mit starker Böigkeit mit Bodenanschluß.

	Frst	Frct	Frnb	Summe aller Fr-Formen	St	Cu+Cb	Sc	Nb	Keine Wolken
München	6	3	1	10	7	—	4	7	7
Darmstadt	5	11	1	17	—	1	—	3	10
Berlin	13	33	—	46	18	6	30	1	21
Hamburg	4	23	8	35	4	4	14	19	15
Königsberg	10	9	1	20	10	19	16	16	23
Summe	38	79	11	128	39	30	64	46	76

Tabelle 16 gibt eine Übersicht über die Häufigkeit der verschiedenen Wolkenformen, die innerhalb der B₃-Schicht beobachtet wurden. Aus der Tabelle ist zu entnehmen, daß die Fälle, in denen überhaupt keine Wolkenbildungen in der Reibungsschicht auftreten, wesentlich seltener sind, als die Fälle mit Wolkenbildungen. Am häufigsten sind die typischen Turbulenzwolken, die Fractusformen, besonders der Fractocumulus. Auch der Stratocumulus ist häufig; dabei ist zu beachten, daß es sich nicht um den wesentlich höher liegenden typischen Stratocumulus handelt, sondern um die an die Reibungsschicht gebundene Turbulenzform.

Tabelle 17. Mittlere Höhe der Grenzen der Wolken und der böigen Schicht.

	Berlin	Hamburg	Königsberg
Obere Grenze der B ₃ -Schicht	0.8	0.6	0.7
Untergrenze der Wolken	0.5	0.5	0.5
Obergrenze der Wolken	1.1	1.4	1.7
Zahl der Fälle	28	73	81

In Tabelle 17 ist für die Fälle, in denen innerhalb der B₃-Schicht irgendeine Wolkenbildung beobachtet wurde, die mittlere Höhe der Obergrenze der B₃-Schicht und der Unter- und Obergrenzen der Wolke mitgeteilt. Man sieht, daß die Wolkenbildung in der oberen Hälfte der B₃-Schicht beginnt und sich noch erheblich über die Obergrenze erstreckt.

D. Schichten starker Böigkeit ohne Bodenanschluß.

Gelegentlich werden in der freien Atmosphäre Schichten mit starker Böigkeit beobachtet, die mit der Bodenreibung nicht in Zusammenhang stehen; sie treten in allen Höhen auf und sind von besonderem Interesse, da sie auf in sich labile Schichten hinweisen, in denen starke Austauschvorgänge stattfinden. Abgesehen von Böen und Gewittern tritt auch sonst bei manchen Wetterlagen starke Böigkeit in größeren Höhen auf, deren Ursache noch ungeklärt ist. Im allgemeinen werden 3 Ursachen zu starker Böigkeit in der freien Atmosphäre führen.

1. Starker lokaler Austausch in Böen und Gewittern oder in Wolkenformen mit starken Störungen des horizontalen Temperaturfeldes. Dazu gehören in erster Linie Cumulus, Cumulonimbus, Quellkörperformen, aber auch gewisse Formen von Stratocumulus und Altocumulus und auch Nimbus. Die Tatsache, daß gerade in Wolken häufig Turbulenz beobachtet wird, weist darauf hin, daß auch viele homogen erscheinende Wolkendecken inhomogen sind. Unterschiede der Temperatur und der Kondensationsvorgänge in der Horizontalen werden die Hauptursache für die Turbulenz sein.

2. Auch in höheren Schichten, die nicht unter dem Einfluß der Bodenreibung stehen, scheint starke Turbulenz einzutreten, sobald eine gewisse Strömungsgeschwindigkeit, deren Grenzwert nicht näher bekannt ist, überschritten ist. Die seitherigen aerologischen Erfahrungen sprechen dafür, daß laminare Strömung auch in der freien Atmosphäre nicht vorkommt, sobald die Strömungsgeschwindigkeit genügend groß ist, worauf die Cirrusformen hinweisen. Es ist daher anzunehmen, daß starke Turbulenz in höheren Schichten besonders in starken Windschichten vorhanden ist, wobei die Turbulenz bestrebt ist, die Windschicht durch Austausch mit den benachbarten Luftschichten abzubauen. Ein direkter Beweis für den Zusammenhang zwischen Windschichten und Böigkeit, der nach den Beobachtungen von Drachenaufstiegen (Dynamometerregistrierungen) zu erwarten ist, läßt sich allerdings mit Hilfe von Flugzeugbeobachtungen schwer erbringen, da gleichzeitige Windmessungen fehlen.

3. Als dritte Ursache für die Böigkeit kommen die Schicht- und Luftmassengrenzen in Betracht.

Der Vorgang der Aufrollung von Kaltluftschichten durch mit großer Geschwindigkeit darüberströmende Luft ist mit Turbulenzvorgängen verbunden. Ein typisches Beispiel dafür ist die Aufrollung der Kaltluft im Alpenvorland im Vorstadium des Föhn. Ebenso ist starke Turbulenz zu erwarten beim Einbruch einer Kaltluftströmung über relativ warme Schichten, wobei die Turbulenz durch thermische Labilität besonders begünstigt wird (Castellatusbildung). Ganz allgemein wird im Grenzraum verschiedener Luftmassen infolge des Austausches stets verstärkte Böigkeit herrschen, weniger an thermisch stabilen, als an labilen Grenzflächen. So scheint sogar in gewissen kräftigen Inversionen, die sich im Stadium des Abbaues befinden, starke Turbulenz zu herrschen, wenn der reine Wogenvorgang in die Turbulenzform übergeht. Schließlich ist die Verzahnung verschiedener Luftmassen, die Verfasser zur Erklärung der starken bei Fesselaufstiegen beobachteten Fallböen in der freien Atmosphäre über dem Bodensee herangezogen hat¹⁾, zu erwähnen.

Über das Vorkommen der „freien“ Schichten mit starker Böigkeit gibt zunächst Tabelle 18 Aufschluß.

Tabelle 18. Vorkommen starker Böigkeit (B₃) ohne Bodenanschluß.

Höhe in km	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8
	b.																								
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0
Zahl d. Fälle (ausgeglichen)	4	9	20	25	23	21	23	20	19	28	28	31	30	30	34	30	28	25	21	25	28	29	26	24	21
Anzahl der Aufstiege . . .	130	130	130	130	130	130	130	129	129	129	127	127	126	126	126	126	125	123	123	120	117	112	109	101	94
Anzahl in % der Aufstiege	3	7	16	19	17	16	17	16	15	22	22	25	24	24	27	24	23	20	17	21	24	26	24	24	22

Danach scheinen bestimmte Schichten bevorzugt zu sein; es treten 3 Maxima bei 0.7, 2.9 und 4.3 km deutlich hervor und zwei Minima bei 1.7 und 3.7 km. Auch die Untergrenzen dieser B₃-Schichten zeigen Häufungszonen (Tabelle 19).

Tabelle 19. Untergrenzen der Schichten starker Böigkeit ohne Bodenanschluß.

Höhe in km	0	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	2.8	3.2	3.6	4.0	4.4
	bis											
	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	2.8	3.2	3.6	4.0	4.4	4.8
Anzahl	11	17	10	8	15	13	12	7	5	10	11	7

¹⁾ Über starke Vertikalböen in der freien Atmosphäre. Beitr. z. Phys. d. fr. Atm. Bd. 16, S. 115–130.

Auffallend ist die geringe Häufigkeit zwischen 2.8 und 3.6 km und die Zunahme der Häufigkeit darüber bis 4.4 km. Es bleibt abzuwarten, ob diese Schichtung bei Benützung eines zahlreicheren Beobachtungsmaterials erhalten bleibt.

Bei der Durchsicht der Einzelaufstiege fällt auf, daß auch die meisten „freien Bögigkeitsschichten“ mit Wolkenbildungen in Zusammenhang stehen, wie dies auch bei den Schichten mit Bodenanschluß der Fall ist. Das beweist die Zusammenstellung in Tabelle 20.

Tabelle 20. Lage der Wolkenuntergrenzen in der Schicht starker Bögigkeit.

	Keine Wolken	Wolken im unteren Drittel	Wolken im mittleren Drittel	Wolken im oberen Drittel	Ganz mit Wolken erfüllt
Anzahl der Fälle	26	53	7	18	62

Nur in 26 Fällen kamen in der B₃-Schicht überhaupt keine Wolken vor, in 62 Fällen dagegen war die ganze Schicht mit Wolken erfüllt und sehr häufig waren Wolken im unteren oder oberen Teil der Schicht vorhanden, auffallend selten aber im mittleren Teil.

Tabelle 21. Wolken und Bögigkeitsgrenzen.

	Untergrenze	Obergrenze
Wolkengrenze höher	27	27
Wolkengrenze tiefer	29	9
Wolken- und Bögigkeitsgrenze fallen zusammen . .	38	38
Mittlere Höhenabweichung	– 100	+ 220

Nach der kleinen Tabelle 21 verhalten sich die Grenzen der Wolken und der Bögigkeitsschichten so, daß in den meisten Fällen die Wolkenunter- und -Obergrenze mit den entsprechenden Grenzen der B₃-Schicht zusammenfallen, was auf einen genetischen Zusammenhang zwischen Bögigkeit und Wolkenbildung hinweist.

Tabelle 22. Vorkommen der Wolkenformen innerhalb der B₃-Schicht.

	Fractus Formen	Nb	St	Sc	Cu	Ac + As
Zahl der Fälle	9	21	11	27	13	29

Wie Tabelle 22 zeigt, kommen besonders Nb, Sc und Ac + As in diesen Bögigkeitsschichten vor; die Zahl der Fälle mit St ist auffallend gering, wenn man die große Häufigkeit berücksichtigt, mit der diese Wolkenform auftritt. Dies stimmt mit der aerologischen Erfahrung überein, daß echte Stratusschichten meist wenig böig sind. Die Fälle mit St in der Tabelle würden noch geringer sein, wenn nicht nach der neuen Wolkenklassifikation die früher präzise Unterscheidung zwischen echtem Stratus und nimboidem Stratus aufgegeben worden wäre.

In diesen B₃-Schichten herrscht, wie bereits die Durchsicht der Einzelaufstiege zeigt, mit wenigen Ausnahmen relativ starke Temperaturabnahme mit der Höhe, ohne hier auf die näheren Zusammenhänge zwischen Bögigkeit und Temperaturgradient eingehen zu wollen, die an der Hand der einzelnen Originalregistrierungen untersucht werden müssen. Da die Angaben der Aerologischen Berichte dazu nicht ausreichen, sei nur die in Tabelle 23 enthaltene Häufigkeit der Gradientgröße mitgeteilt.

Tabelle 23. Häufigkeit der Temperaturgradienten in Schichten starker Bögigkeit (B₃) ohne Bodenanschluß.

Temperaturgradient	≥ 0.0	0.01 bis 0.10	0.11 bis 0.20	0.21 bis 0.30	0.31 bis 0.40	0.41 bis 0.50	0.51 bis 0.60	0.61 bis 0.70	0.71 bis 0.80	0.81 bis 0.90	0.91 bis 1.00	Mittel Δt/100 m
	Zahl der Fälle	3	3	1	3	6	15	28	26	24	14	

Der Einfluß der starken Bögigkeit und Durchmischung dieser Schichten zeigt sich ohne weiteres in der großen Häufigkeit relativ großer Temperaturgradienten, die überwiegend oberhalb $0.50^{\circ}/100$ m liegen und häufig Werte erreichen, die dem trockenadiabatischen Gradienten nahekommen. Dabei ist zu berücksichtigen, daß in vielen Fällen Kondensation in der Schicht stattfindet, also mit der Kondensationsadiabate gerechnet werden muß. Der mittlere Gradient von 0.61° ist derselbe wie in Tabelle 16.

Wie in den B_3 -Schichten mit Bodenanschluß wurde auch versucht, bei den „freien“ B_3 -Schichten die Abhängigkeit von der Wetterlage zu charakterisieren. Obwohl eine Anzahl von Fällen ausscheiden mußte, da eine Einteilung in das Wetterlagenschema nicht möglich war, dürften doch die Häufigkeitszahlen der Tabelle 24 die wesentlichen Züge wiedergeben.

Tabelle 24. Häufigkeit der Wetterlagen in Fällen starker Bögigkeit (B_3) ohne Bodenanschluß.

Oktant	Zyklone									Antizyklone								
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Summe	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Summe
Zahl der Fälle	2	3	15	18	18	4	13	—	73	5	—	—	1	—	1	1	—	8

Wie in Tabelle 14 kommen B_3 -Schichten überwiegend bei zyklonalen Wetterlagen vor, doch ist die wesentlich größere Bevorzugung der Oktanten E und SE bemerkenswert. Man muß daraus den Schluß ziehen, daß die „freien B_3 -Schichten“ mehr auf der Vorderseite der Zyklonen vorkommen, wo in der Höhe der Austausch zwischen der Unter- und Oberströmung an den Gleitflächen erfolgt. Mit geringen Ausnahmen kommen auch diese B_3 -Schichten mit kräftigen Zyklonen vor, wie die Zusammenstellung der Druckgradienten am Boden in Tabelle 25 zeigt. Die Gradientgrößen liegen überwiegend zwischen 1.6 und 3.0 mb. Aus 50 Fällen, in denen eine ungefähr gleichzeitige Pilotvisierung vorhanden war, ergibt sich für die Untergrenze der böigen Schicht eine mittlere Geschwindigkeit von 12 ms.

Tabelle 25. Häufigkeit der Luftdruckgradienten am Boden in Fällen starker Bögigkeit (B_3) ohne Bodenanschluß.

Druckgradient in mb/100 km	0	0.6	1.1	1.6	2.1	2.6	3.1	3.6	4.1	4.6	5.1	Mittel
	bis 0.5	bis 1.0	bis 1.5	bis 2.0	bis 2.5	bis 3.0	bis 3.5	bis 4.0	bis 4.5	bis 5.0	bis 5.6	
Zahl der Fälle	—	2	6	21	27	11	4	4	4	3	—	2.5 mb

