

3. Die Rangfolge der Rauchhärte zeigt bei Lärche keine nennenswerte Beeinflussung durch Klimavarianten.

4. Die Rauchhärte-Rangfolge von Lärchen-Kreuzungsnachkommenschaften entspricht der Rauchhärte-Rangfolge der Elternklone.

Literatur

1. ENDERLEIN, H., u. M. VOGL: Experimentelle Untersuchungen über die SO_2 -Empfindlichkeit verschiedener Nadelhölzer. Archiv für Forstwesen (in Vorbereitung). — 2. POLSTER, H., u. G. WEISE: Vergleichende Assimulationsuntersuchungen an Klonen verschiedener Lärchenherküünfte (*Larix decidua* und *Larix leptolepis*) unter Freiland- und Klimaraumbedingungen. Der Züchter 32,

103—110 (1962). — 3. ROHMEDE, E., W. MERZ u. A. v. SCHÖNBORN: Züchtung von gegen Industrieabgase relativ resistenten Fichten- und Kiefernsorten. Forstwiss. Centralblatt 81, 321—332 (1962). — 4. SCHÖNBACH, H., H.-G. DÄSSLER, H. ENDERLEIN, E. BELLMANN u. W. KÄSTNER: Über den unterschiedlichen Einfluß von Schwefeldioxid auf die Nadeln verschiedener zweijähriger Lärchenkreuzungen. Der Züchter 34, 312—316 (1964). — 5. VOGL, M., u. S. BÖRTITZ: Physiologische und biochemische Beiträge zur Rauchschadensforschung. 4. Mitteilung. Flora 155, 347—352 (1965). — 6. VOGL, M., S. BÖRTITZ u. H. POLSTER: Physiologische und biochemische Beiträge zur Rauchschadensforschung. 3. Mitteilung. Archiv f. Forstwesen 13, 1031—1043 (1964). — 7. WEBER, E.: Grundriß der biologischen Statistik. 5. Aufl. Jena 1964. — 8. WENTZEL, K.-F.: Gibt es immissionsfeste oder rauchharte Bäume? Forstarchiv 35, 49—51 (1964).

Aus dem Institut für Acker- und Pflanzenbau
der Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin in Müncheberg

Beiträge zur Züchtungsforschung beim Apfel

VIII. Untersuchungen zur Frostresistenz an Sorten, Unterlagen und Zuchtmaterial

Von HORST MITTELSTÄDT

Mit 7 Abbildungen

I. Einleitung

Betrachtet man die Folgen der frostreichsten Winter in Deutschland (BUSCH, 1958), so stellt man mit Besorgnis die mangelnde Widerstandsfähigkeit fast aller im Anbau befindlichen Kern- und Steinobstsorten fest. Von allen Klimafaktoren, denen die Obstbäume in nördlicheren Breitengraden unterliegen, ist der Frost der gefährlichste. Wie bereits öfter darauf hingewiesen wurde, brachten 5 Schadwinter dieses Jahrhunderts erhebliche wirtschaftliche Rückschläge im deutschen Obstbau durch den hohen Ausfall von Baumbeständen im ertragsfähigen Alter, der besonders in den Wintern 1928/29 und 1939/40 ungefähr 1/4 des erfaßten Bestandes ausmachte (BUSCH, 1958; MURAWSKI, 1961).

Das Bestreben der Obstbauer und -züchter besteht daher schon lange, besonders immer wieder nach mahnenden, frostbedingten Verlusten, die Vorgänge und Ursachen des Frosttodes der Obstgehölze kennenzulernen, um zukünftig ein ausreichend frostbeständiges Baummaterial anpflanzen zu können. Erstaunlicherweise wurde aber gerade die Erforschung des Frostproblems in Quantität und Qualität nicht mit dem nötigen Ernst betrieben. Trotz der vordringlichen Beachtung, die dem Frost als bedeutendstem Klimafaktor unserer Breiten geschenkt wird, gibt es bis heute noch keine einheitliche und klare Vorstellung von der Frostresistenz der Obstgehölze (KEMMER u. SCHULZ, 1955).

Rein obstbaulich und durch Ergänzung der Sortenliste mit kontinentalen Sorten ist das Frostproblem unter unseren wechselhaften Klimaverhältnissen nicht zu lösen. Wie SCHMIDT (1948) bereits andeutete, kann aber die Züchtung hierzu einen wesentlichen Fortschritt herbeiführen; nur fehlt es an einer brauchbaren Selektionsmethode. Es ist hierbei zu beachten, daß man den Prozeß der Auslese nicht der Natur überlassen darf, weil unsere Winter zu unbeständig

sind. Vielmehr ist die Arbeit mit künstlichen Kälteinwirkungen unerlässlich.

Um bei der Lösung der umfangreichen Probleme einen Schritt weiter voranzukommen, wurden seit dem Winter 1959/60 umfangreiche Prüfungen im Freiland mittels künstlichem Frost vorgenommen. Dabei kam es besonders darauf an, die Ergebnisse der Gefrierversuche in Verbindung mit dem Klima zu beurteilen. Bei LOEWEL und KARNATZ (1956) und KARNATZ (1956a, b, 1958) machte sich das Fehlen einer derartigen Analyse in der Aussagekraft der Ergebnisse als Mangel bemerkbar.

II. Material und Methoden

Im Verlauf von 5 Wintern wurde die Frostresistenz von 17 Apfelsorten und von 9 Müncheberger Zuchtklonen überprüft. Im Winter 1962/63 standen uns für die Frostversuche auch mehrere Typen von Apfelunterlagen zur Verfügung. Für die Versuche benutzten wir nur vollständige Pflanzen, die sich im ersten oder zweiten Wachstumsjahr befanden. Zur Erzeugung des künstlichen Frostes verwendeten wir eine fahrbare Gefrierzelle, deren Arbeitsweise und technische Daten bereits MURAWSKI (1961) beschrieben hat. In der Regel wurden für die Versuchspflanzen solche Temperaturstufen gewählt, die es uns ermöglichen, die unterschiedliche Reaktion der Pflanzen auf Frost festzustellen. Die Einstellung des automatischen Temperaturreglers auf die jeweils gewünschte kritische Temperatur hing von dem Witterungsverlauf ab. Die klimatischen Vorbedingungen für die Pflanzen und die erzeugten Temperaturen werden im Ergebnisteil in jedem Versuch einzeln beschrieben.

Für alle Versuchspflanzen wurden durch entsprechende Kulturmaßnahmen gleiche Wachstumsbedingungen geschaffen. Die Fläche der einzelnen Parzellen betrug 4 m², die der Grundfläche unserer

Gefrierzelle entspricht. Bei einem Pflanzabstand von 28×20 cm standen auf jeder Parzelle 7 Reihen zu je 10 Pflanzen. Jede Reihe war mit einer Sorte bepflanzt. Insgesamt konnten auf jeder Parzelle 70 Pflanzen untersucht werden.

Der Frostschaden wurde an Hand des Knospaustriebes im Frühjahr und ein zweites Mal im Sommer bei gleichzeitiger Prüfung des Holz- und Rindenschadens bonitiert. Eine zweifache Bonitur ist sehr wichtig, denn es darf nicht vergessen werden, daß nach eingetretener Schädigung zwischen einer eigentlichen durch volle Schadensfreiheit gekennzeichneten Frostresistenz und einer „Überwindungsresistenz“ unterschieden werden muß, bei der die Erfrierungen derart überwunden werden, daß für den Beobachter diese Gehölze auch als resistent erscheinen. Der Knospaustrieb wurde für jede Pflanze individuell geschätzt. Zur Bestimmung der Holz- und Rindenschäden zerteilten wir jede einzelne Pflanze der Länge nach in 3 gleiche Abschnitte und notierten die entsprechenden Verfärbungen der 3 Schnittstellen. Zur Vereinfachung der Tabellen wurden die Bonitierungswerte gemittelt.

Für die Beurteilung der Holz- und Rindenschäden war ein besonderes Bonitierungsschema notwendig, da bei gleichen Frostschäden der Bräunungsgrad (Phenolgehalt) von Sorte zu Sorte großen Schwankungen unterliegt. Mit Hilfe mikroskopischer Beobachtungen untersuchten wir insbesondere die Orte der Ausfärbungen in Rinde und Holz anatomisch und verglichen den Grad der frostbedingten Zerstörung mit der Bräunungsintensität. So war es möglich, die Reihenfolge der infolge Frosteinwirkung abgestorbenen Gewebeschichten festzustellen und sie als Grundlage für den folgenden Bonitierungsschlüssel zu verwenden:

Gewebeschäden	Merkmale am Sproßquerschnitt
0 = ohne Schaden	keine Bräunung
1 = Mark tot, Primärholz geschädigt und stellenweise auch die Knospenblätter	hell bis dunkelbraunes Mark
2 = Sklerenchymzellen, Primärholz, Knospenblätter und -basis und Markbrücke zur Knospe tot, Bastparenchym, Xylem und Phloem dicht am Kambium stellenweise tot	ganz dunkelbraunes Mark, hellbrauner Ring mitten in der Rinde und am Kambium
3 = jüngste Zuwachszone des Holzes dicht am Kambium, Bastparenchym und Knospe tot, Kambium, Holzmarkstrahlen, Holz und Sekundärrinde stellenweise geschädigt	ganz dunkelbraunes Mark, ebenso gefärbter Ring mitten in der Rinde und am Kambium, Holz und Rinde stellenweise verfärbt
4 = Sekundärrinde, Markstrahlen in Rinde und Holz tot, Kambium, Primärrinde und Holz stark geschädigt	bis auf einige Stellen im Holz und einem äußeren Ring in der Primärrinde alles verfärbt
5 = alle Gewebeteile des Sprosses erfroren	total braun

Tabelle 1. Gefrierversuche im Freiland an einigen Apfelsorten und -klonen im Winter 1960/61 mittels eines fahrbaren Gefrierhauses.

Versuchs-Nr.	Versuchsdatum	Temperatur während des Gefrierversuchs °C	Zustand der Pflanzen vor dem Gefrierversuch	Knospenaustrieb der Versuchspflanzen im Frühjahr in %			Holz/Rindenschäden der Versuchspflanzen		
				A32*	A43*	A17**	Undine*	Hertha*	A17**
6	6. - 11. 1. 1961	-4, -8, -11, -20	125	ohne Härtung	100	100	99	97	86
7	11. - 13. 1. 1961	-20	48	ohne Härtung	40	0	1	5	0
8	13. - 19. 1. 1961	-8, -14, -21, -23, -36 -26 bis -28	120	ohne Härtung	18	2	9	10	13
9	19. - 21. 1. 1961	48	gehärtet	100	32	5	0	50	30
10	21. - 23. 1. 1961	-25	46	gehärtet	100	91	84	13	97
11	2. - 4. 2. 1961	-21	48	10 Tage	100	96	94	92	72
12	2. - 4. 2. 1961	-21	48	z. T. gehärtet	100	96	94	92	54
13	4. - 7. 2. 1961	-6, -10, -14, -17, -23, -28	78	4 Tage	100	97	96	77	98
			z. T. gehärtet	6 Tage	100	97	96	77	98

* = Nachkommenschaften von Kreuzungen Cox Orangen-Rtte. × Geheimrat Dr. Oldenburg

** = Nachkommenschaften von Kreuzungen Jonathans frei abg.

III. Ergebnisse

1. Dynamik der Frostresistenz einiger Apfelsorten und Zuchtklone

Gefrierversuche an Obstgehölzen ergaben, daß im Laufe eines Winters die Frostverträglichkeit starken Schwankungen unterliegen kann, wenn witterungsbedingte Temperaturänderungen auftreten. Im folgenden werden die Ergebnisse verschiedener Freilandversuche beschrieben. Im Januar und Februar 1961 wurden 7 verschiedene Sorten und Klone in mehreren Wiederholungen auf ihre Frostresistenz geprüft.

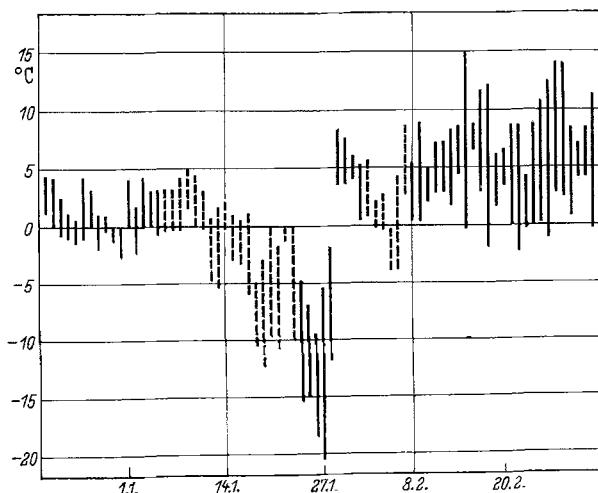


Abb. 1. Temperaturverlauf im Winter 1960/61.
Unterbrochene Linien: Zeit der Frostbehandlungen.

Versuch 6

Vor Beginn des Versuchs mit künstlichem Frost am 6. 1. herrschte überwiegend mildes Winterwetter mit vereinzelten und geringfügigen Nachtfrösten, wodurch nach unseren heutigen Kenntnissen der physiologischen Vorgänge die meisten Pflanzen noch ungehärtet waren (Abb. 1). Wir kühlten daher die Obstgehölze langsam und stufenweise ab, was für gewöhnlich einem normalen Winterbeginn entspricht. Im Abstand von 33 und 22 Stunden sank die Temperatur

von 0 °C um 8.00 Uhr über -4, -8 und -11 auf -20 °C. Die Parzelle verblieb bei dieser Temperaturstufe 2 Tage. Unter diesen Versuchsbedingungen härteten sich die Pflanzen, d. h. sie erreichten einen physiologischen Zustand, der Frostschäden weitestgehend verhinderte. Es traten bei einigen Sorten nur unwesentliche Erfrierungen auf, die hauptsächlich das obere Triebende betrafen (Abb. 2, Tab. 1).

Versuch 7

Zu Beginn dieses Versuchs am 11. 1. betrug die Außentemperatur +2 °C. Die Witterungsverhältnisse und der Zustand der Pflanzen waren die gleichen wie im Versuch 6. Die Pflanzen dieser Versuchsparzelle wurden diesmal ohne Übergang, d. h. ohne stufenweise und langsame Temperatursenkung einer Temperatur von -20 °C ausgesetzt. Bis auf 'Hibernal' erfroren die anderen Apfelsorten nahezu restlos (Abb. 3).

Daraus ist zu ersehen, daß mit wenigen Ausnahmen ('Hibernal') überwinternde Apfelsorten ohne Abhärtung, d. h. ohne Kühlwirkung von Temperaturen unter 0 °C, einen plötzlichen Kälteeinbruch bis -20 °C nicht überleben. Ihr Todespunkt im Sinne KESSLERS (1935) lag noch über -20 °C.

Versuch 8

Als am 13. 1. der Versuch mit dieser Parzelle begann, bestanden ähnliche klimatische Verhältnisse, wie in den vorausgegangenen Versuchen. Wir wiederholten daher die Behandlungsart von Parzelle 6 mit einigen Abänderungen. Die Temperaturstufen betrugen -8, -14, -21, -24 und -32 bis -36 °C jeweils für 24 Stunden. Zu Beginn des Versuchs lag die Außentemperatur bei 0 °C.

Wie aus Tabelle 1 zu entnehmen ist, zeigten alle Sorten und Klone außer 'Hibernal' sehr starke Erfrierungen, aber keine Totalschäden (Abb. 4).

Versuch 9

Infolge der abhärtenden Wirkung der natürlichen Kälte wird die Frostresistenz deutlich verbessert. Das zeigte dieser Versuch. Seit dem 14. 1. wurden zuneh-

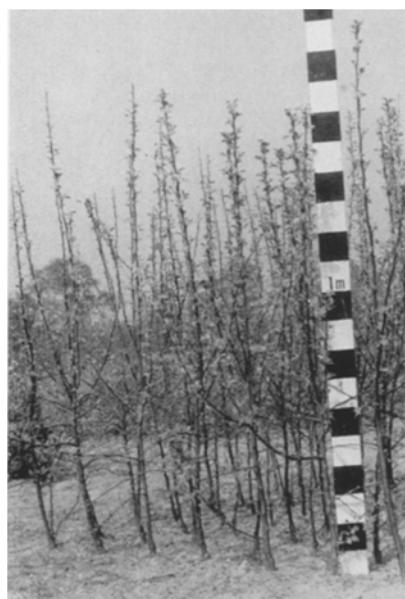


Abb. 2. Versuch 6, Apfelsorten wurden künstlich gehärtet und anschließend bei -20 °C gefroren.
Fotografiert: 18. 4. 61.

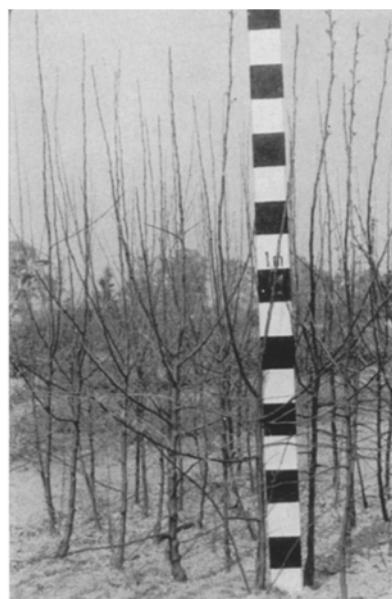


Abb. 3. Versuch 7, Apfelsorten wurden ungehärtet bei -20 °C gefroren ('Hibernal' 2. Reihe von rechts). Fotografiert: 18. 4. 61.

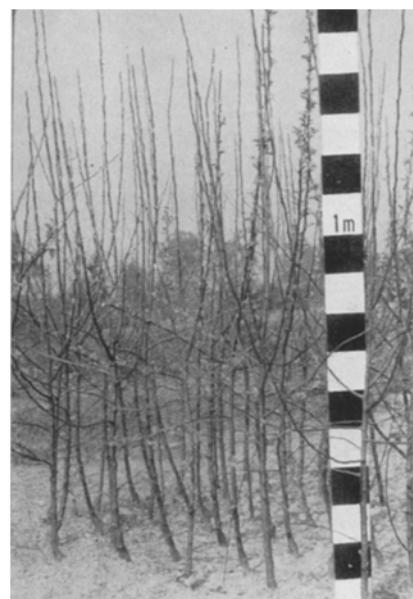


Abb. 4. Versuch 8, Apfelsorten wurden künstlich gehärtet und anschließend bei -36 °C gefroren ('Hibernal' 3. Reihe von rechts). Fotografiert: 18. 4. 61.

mende Frosttemperaturen verzeichnet, die bis zum Versuchsbeginn am 19. 1. im Tagesmittel auf $-7,2^{\circ}\text{C}$ (Minimum $-12,4^{\circ}\text{C}$) gesunken waren. Der künstlich einwirkende Frost betrug -26 bis -28°C für 2 Tage. Die tiefste Temperaturreinstellung erreichte das Aggregat nach 3 Stunden bei einer Anfangstemperatur von -12°C . Bis auf Klon A 43 und A 35 sind die Knospen-, Holz- und Rindenschäden bedeutend geringer als im Versuch 7, obwohl die Versuchstemperatur um 6 bis 8°C tiefer lag (Tab. 1).

Versuch 10

Je länger die natürliche Kälte auf die Pflanzen einwirkt, um so widerstandsfähiger werden sie gegen plötzliche Frosteinflüsse. Auf die Apfelsorten der Parzelle 10 hatte eine siebentägige, mäßige Kälte eingewirkt, als sie 46 Stunden lang Temperaturen von -25°C ausgesetzt wurden. Die Außentemperatur betrug am Versuchsbeginn am 21. 1. -8°C . Die gewünschte Versuchstemperatur war nach 2 Stunden erreicht. Mit einer Ausnahme sind die Schäden geringfügig und ähneln den Ergebnissen vom Versuch 6 (Tab. 1).

Nicht nur die mangelnde oder fehlende Härtung am Winteranfang verursacht Erfrierungen, sondern auch Tauwetterperioden während des Winters können für die Obstbäume sehr schädlich sein, wenn danach plötzlich starker Frost eintritt. Bei dem Verlust der Frosthärtete spielt für die Apfelsorten die Dauer der Erwärmung eine maßgebliche Rolle, wie im folgenden und im Versuch 50, 51 und 88 gezeigt werden soll.

Versuch 12

Nach der kältesten Nacht des Winters 1960/61 trat am 28. 1. 1961 Tauwetter ein. Nach 4tägiger Erwärmungszeit wurden die Versuchspflanzen 48 Stunden lang einer Frostbehandlung von -21°C unterworfen. Nach 4,5 Stunden war die gewünschte Temperatur in der Kühlzelle erreicht. Zu Beginn des Versuchs betrug die Außentemperatur $+4^{\circ}\text{C}$. Der an den Apfelbäumen eingetretene Frostschaden war recht unterschiedlich. An der Sorte 'Hibernal' und den Klonen A 32, A 43 und A 35 konnten lediglich geringfügige Erfrierungen festgestellt werden. Jedoch 'Undine' war mittelmäßig, 'Herma' und der Klon A 17 stärker geschädigt. Ein Teil der geprüften Apfelsorten hatten ihre vorher relativ einheitliche Frostresistenz verloren, obwohl alle Versuchspflanzen den gleichen Witterungsbedingungen unterlagen. Die 4tägige Tauwetterperiode genügte, um 'Undine', 'Herma' und A 17 zu enthärtigen, so daß die angewandten Frosttemperaturen sie deutlich schädigten; dagegen hatten 'Hibernal', A 2, A 43 und A 35 ihre Abhärtung noch nicht eingebüßt (Tab. 1).

Versuch 13

Erhebliche Frostschäden bleiben aus, wenn nach längerem Tauwetter (1 Woche) die Temperaturen, ähnlich wie zu Beginn des Winters, langsam unter den Gefrierpunkt absinken.

Im Versuch 13 wurde daher, ähnlich wie im 6. Versuch, eine Stufenkühlung angewendet. Von $+1^{\circ}\text{C}$ Lufttemperatur am Versuchsanfang wurden die Pflanzen im Innenraum des Kühlhauses über folgende Temperaturstufen: -6°C (23 Std.), -10°C (7 Std.), -14°C (16 Std.), -17°C (8 Std.) und

-23°C (13 Std.) bis auf -28°C gefroren. Der Aufenthalt bei dieser Temperatur dauerte 11 Stunden. Der frostbedingte Schaden an den Gehölzen war unbedeutend. Ebenso zeigten die rasch enthärtungsfähigen Sorten ('Undine', 'Herma' und A 17) einen unwesentlichen Knospenausfall gegenüber Versuch 12. Den größten Schaden mit nur 23% fanden wir in diesem Versuch bei A 17 und A 35. Durch die langsame Temperatursenkung konnten sich alle Pflanzen wieder abhärteln (Tab. 1).

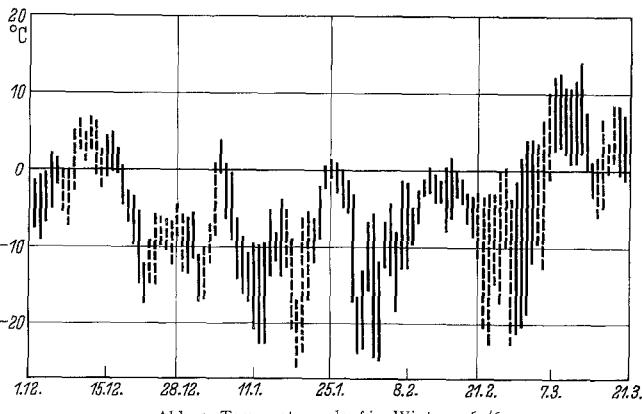


Abb. 5. Temperaturverlauf im Winter 1962/63.
Unterbrochene Linien: Zeit der Frostbehandlungen

Im folgenden wird von den Gefrierversuchen des Winters 1962/63 berichtet.

Klimatisch gesehen gehörte dieser Winter zu den „Großwintern“ (SCHERHAG, 1963), worauf später noch näher eingegangen wird. Auf der nördlichen Halbkugel der Erde hatte sich eine Wetterlage herausgebildet, die von Mitte Dezember langsam zunehmend strenge Kälte bis -28°C in Bodennähe brachte und ohne Unterbrechung bis in den März hinein andauerte (Abb. 5). Trotz der langanhaltenden und strengen Kälte kam es in unserem Raum zu keinen nennenswerten Frostschäden an den Obstbäumen. Das geht auch aus den Beobachtungen an den Kontrollpflanzen hervor (Tab. 5).

Im Verlauf des Winters untersuchten wir 3 Serien mit insgesamt 19 Sorten und Klonen. Die Pflanzen standen in 4 Wiederholungen auf 3 hintereinanderfolgenden Parzellen, so daß alle Versuchspflanzen an 3 verschiedenen Winterterminen geprüft werden konnten. Als Vergleichspflanze wählten wir auf Grund vorangegangener Erfahrungen die Sorte 'Hibernal'.

Versuch 49

Der erste Versuch der Serie begann am 2. 12. Zuvor hatten die Pflanzen eine Woche lang unter dem Einfluß eines milden Frostwetters gestanden (-2 bis -9°C Minimum), so daß eine ausreichende Härtung zu erwarten war. Zu Beginn des Versuchs 49 betrug die Temperatur -5°C . Innerhalb einer Stunde sank die Temperatur bis -22°C . Bei dieser Temperatur befanden sich die Apfelbäume 48 Stunden lang. Unter diesen Bedingungen erfroren nur die Triebspitzen der Bäume (Tab. 2). Die einwöchentliche, natürliche Kühlung hatte bereits zu dieser Winterszeit alle Apfelsorten soweit abhärtet, so daß sie schadlos -22°C überlebten.

Versuch 50

Ungefähr 60 Stunden vor Beginn des Versuchs am 10. 12. hatten sich die Luftmassen erwärmt

Tabelle 2. Gefrierversuche im Freiland an einigen Apfelsorten und -klonen im Winter 1962/63 und 1963/64 mittels eines fahrbaren Gefrierhauses.

Versuchs-Nr.	Versuchsdatum	Temperatur des Gefrierversuchs °C	Dauer der künstlichen Frostbelastung Std.	Zustand der Pflanzen vor dem Gefrierversuch	Knospenaustritt der Versuchspflanzen im Frühjahr in %				Holz/Rindenschäden der Versuchspflanzen			
					Hißermaul	Elkstra	Cox	Hißermaul	Elkstra	Cox	Hißermaul	
49	7.— 9. 12. 1962	—22	48	gehärtet 7 Tage	100	100	99	99	96	1,0	1,3	1,7
56	23.—25. 12. 1962	—27	40	gehärtet 7 Tage	100	100	99	92	55	0,7	1,3	1,8
63	17.—21. 1. 1963	—30	80	gehärtet 32 Tage	100	97	84	70	86	1,2	2,0	2,1
66	21.—24. 2. 1963	—28	73	gehärtet 67 Tage	100	98	99	98	78	0,5	1,3	1,4
88	24.—27. 1. 1964	—26	78	enthärtet 60 Std.	100	19	14	6	23	37	8	0,3

Tabelle 3. Gefrierversuche im Freiland an einigen Apfelsorten und -klonen im Winter 1962/63 mittels eines fahrbaren Gefrierhauses.

Versuchs-Nr.	Versuchsdatum	Temperatur des Gefrierversuchs °C	Dauer der künstlichen Frostbelastung Std.	Zustand der Pflanzen vor dem Gefrierversuch	Knospenaustritt der Versuchspflanzen im Frühjahr in %				Holz/Rindenschäden der Versuchspflanzen			
					Hißermaul	Elkstra	Cox	Hißermaul	Elkstra	Cox	Hißermaul	
50	10.—12. 12. 1962	—21	46	enthärtet 60 Std.	99	2	1	1	65	50	1,0	4,0
57	27.—29. 12. 1962	—27	48	gehärtet 11 Tage	100	80	80	64	45	99	97	1,0
64	14.—17. 2. 1963	—27	76	gehärtet 60 Tage	100	60	70	79	25	76	83	1,0
75	15.—18. 3. 1963	—24	75	z. T. enthärtet 8 Tage warm 1 Tag Frost	100	60	76	34	76	88	93	1,0

* = *Malus micromalus* × *Charlamowsky*

Tabelle 4. Gefrierversuche im Freiland an einigen Apfelsorten und -klonen im Winter 1962/63 mittels eines fahrbaren Gefrierhauses.

Versuchs-Nr.	Versuchsdatum	Temperatur des Gefrierversuchs °C	Dauer der künstlichen Frostbelastung Std.	Zustand der Pflanzen vor dem Gefrierversuch	Knospenaustritt der Versuchspflanzen im Frühjahr in %				Holz/Rindenschäden der Versuchspflanzen			
					Hißermaul	Elkstra	Cox	Hißermaul	Elkstra	Cox	Hißermaul	
51	12.—14. 12. 1962	—20	38	enthärtet 4 Tage	99	98	97	0	1	5	39	0,6
58	2.—4. 1. 1963	—29	58	gehärtet 15 Tage	100	100	100	5	70	1	88	1,0
65	17.—20. 2. 1963	—28	79	gehärtet 63 Tage	100	100	100	81	93	92	98	1,2
67	24.—27. 2. 1963	—28	57	gehärtet 70 Tage	100	100	100	81	97	98	99	1,0

* = Geheimrat Dr. Oldenburg frei abg. — ** = London Pepping × Ontario. — *** = Cox' Orangen-Rote, frei abg.

(Abb. 5). 48 Stunden lang standen die Apfelbäume unter einer künstlichen Frostbelastung von -21°C . Die gewünschte Temperaturstufe war bei einer Außen-temperatur von $+3^{\circ}\text{C}$ in 3 Stunden erreicht. Die relativ kurze Erwärmung hatte genügt, um die Sorten 'Ontario', 'Jonas Hannes', 'Cox' Orangen-Rtte.' und 'Goldparmäne' bereits am Winteranfang wieder soweit zu enthärtigen, daß sie bei -21°C fast restlos erfroren. Nur 1% bzw. 2% der Knospen trieben im Frühjahr aus, das sind je Pflanze 3–5 ungeschädigte Knospen. Diese rasche Enthärtung ist sortenspezifisch, denn die Sorten 'Hibernal', 'Croncels' sowie A 56 waren nur leicht bis mittelmäßig geschädigt worden (Tab. 3). Besonders deutlich wird dieses sortentypische Verhalten in den Ergebnissen des folgenden Versuchs.

Versuch 51

Zum Zeitpunkt der Frostbelastung am 12. 12. waren die Pflanzen 5 Tage der warmen Witterung ausgesetzt. Der Gefrierversuch dauerte 48 Stunden, die Temperatur betrug -20°C und war bei einer Außen-temperatur von $+2^{\circ}\text{C}$ in 2 Std. im Kühlraum erreicht. Sorten wie 'Hibernal' und 'Wealthy' oder der Klon A 31 wiesen kaum Veränderungen auf, wogegen die anderen 4 Typen sehr stark oder total erfroren waren (Tab. 4).

Tabelle 5. Frostschäden an unbehandelten Kontrollpflanzen nach dem Winter 1962/63.

Kontrollpflanzen (ohne künstliche Frosteinwirkung)	Knospenaustrieb der Pflanzen im Frühjahr in %
Hibernal	100
Elektra	99
Clivia	100
Alkmene	100
Herma	100
Carola	100
Auralia	99
Kurzcox	100
Wealthy	100
A 57	99
A 27	82
A 31	100

Versuch 56

Als die Sorten der ersten Parzelle (Versuch 49) als Wiederholung am 23. 12. mit künstlichem Frost behandelt wurden, war die den ganzen Winter bestimmende Wetterlage bereits eingetreten. Seit dem 16. 12. sanken von Tag zu Tag die Temperaturen kontinuierlich ab (tiefstes Minimum: $-16,3^{\circ}\text{C}$ am 22. 12.). In dem Gefrierraum wurden die Temperaturen weiter auf -29°C gesenkt. Infolge eines technischen Fehlers konnte die gewünschte Temperatur aber erst nach 11 Std. erreicht werden (Ausgangstemperatur -13°C). Während der Kühlzeit von 40 Std. traten außerdem im Gefrierraum Temperaturschwankungen auf. Der durchschnittliche Wert lag aber noch bei -27°C . Wie aus der Tabelle 2 zu entnehmen ist, hat der natürliche wie auch künstliche Frost, bis auf 'Cox' Orangen-Rtte.', keine nennenswerten Schäden verursacht. Die stetige, aber langsame Zunahme der Kältegrade hatte einen günstigen Einfluß auf die Obstgehölze, so daß auch Temperaturen von -29°C , wie sie während des Versuchs zeitweilig auftraten, keine Gefrierschäden

hervorriefen. Analoge Verhältnisse ergaben sich in den Versuchen 6 und 13, nur daß die härtende Temperatur ausschließlich künstlich erzeugt worden war.

Die durch die konstante winterliche Wetterlage hervorgerufene Abhärtung der Pflanzen verhinderte mit wenigen Ausnahmen ('Cox' Orangen-Rtte.', 'Jonas Hannes' und A 27) in den darauffolgenden Gefrierversuchen 57 bis 67 größere Erfrierungen, obwohl die künstlichen Temperaturen fast immer -27 bis -30°C betrugen. Es stellte sich sogar heraus, daß mit zunehmender Dauer der für unsere Gegend seltenen Wetterlage der Grad der Erfrierungen immer geringer wurde; auch an den frostempfindlichen 3 Typen 'Cox' Orangen-Rtte.', 'Jonas Hannes' und A 27.

Versuch 75

In diesem Versuch betrug die künstliche Frosttemperatur 75 Stunden lang durchschnittlich -24°C . Nach dem gleichbleibenden Winterwetter vermochte das Anfang März eingetretene Tauwetter die Obstbäume kaum zu enthärtigen; nur die Sorte 'Goldparmäne' wurde stark geschädigt (Tab. 3).

Der prozentuale Knospenaustrieb der Sorten 'Hibernal', 'Ontario', 'Cox' Orangen-Rtte.', 'Croncels' und von Klon A 56 ist fast identisch mit den Ergebnissen des 64. Versuchs (60-tägige Härtung) und charakterisiert das Vorhandensein einer noch beträchtlichen Frosthärtung. Nur der um einige Zehntel höhere Holz/Rindenschaden deutet auf beginnende Aktivität und damit auf steigende Frostempfindlichkeit hin. Eine ähnliche Beobachtung wurde im März 1963 nach 6-tägigem Tauwetter an Unterlagentypen gemacht. Hierbei rief eine Frostbelastung von -22°C keine Schäden hervor (Versuch 73, Tab. 8).

Versuch 88

Im Winter 1963/64 wurde am 24. 1. eine Parzelle einer Gefrierbehandlung unterzogen, die zuvor 16 Tage natürlichen Härtungsbedingungen ausgesetzt war. Knapp 3 Tage vor Versuchsbeginn setzte aber Tauwetter ein. Die mittlere Versuchstemperatur betrug für 78 Stunden -26°C . An Hand der Gefrierschäden, die in Tabelle 2 aufgezeichnet sind, erkennt man, daß 6 Apfelsorten 'Elektra', 'Clivia', 'Alkmene', 'Auralia', 'Carola' und 'Cox' Orangen-Rtte.' in dieser kurzen Zeit enthärtet worden waren (vgl. Versuch 50, Tab. 3). Außer 'Hibernal', der ungeschädigt blieb, beträgt der Knospenaustrieb bei keiner der geprüften Sorten mehr als 40%. Vermutlich werden die Apfelbäume im Mittwinter bedeutend schneller zur physiologischen Aktivität angeregt, wenn zuvor die härtende Temperatur nur 2 bis 3 Wochen einwirken konnte, als am Ende eines langen und frostreichen Winters (Versuch 75, Tab. 3).

2. Charakteristik der Winter 1960/61 und 1962/63

a) Winter 1960/61. „Nach einem sehr milden November mit starken Niederschlägen war auch der Dezember um $1-2^{\circ}\text{C}$ zu mild und bei unternormaler Sonnenscheindauer niederschlagsreich. Die Temperaturen lagen um den Gefrierpunkt; zumeist aber darüber. Nur kurzfristige winterliche Zeiträume unterbrachen den milden Witterungscharakter (11. bis 13. 12.).

Nachdem in der 1. Januardekade die Tagesmittel über dem Normalwert lagen, herrschte in der 2. und 3. Dekade mäßiger bis strenger Frost; teilweise wurden die Jahrestiefstwerte zu dieser Zeit gemessen. Die meist unternormalen Niederschläge fielen überwiegend in der 1. Monatshälfte. Vom Monatswechsel zum Februar lagen dann die Temperaturen bis zum Beginn der 3. Märzdekade über den Normalwerten. Während dieser Zeit trat nur kurzfristig leichter Frost auf. Die Tagesmaxima lagen ab Ende der 1. Februardekade über 5 °C und von der Mitte der ersten Märzdekade über 10 °C.

Der Winter 1960/61 (Dezember bis Februar) war ausgelöst durch den Dezember und vor allem durch den Februar um 1,5–2 °C zu mild. Frosttage wurden nur 32–51 (normal: 56–62) und Eistage nur 8–15 (normal: 20–24) gemessen.“

b) *Winter 1962/63.* „Die im Dezember 1962 eingetretene Frostperiode dauerte im wesentlichen bis Mitte der ersten Märzdekade an. In dieser Zeit wurde etwa 15mal ein Tagesmittel unter –10 °C beobachtet. Frostmilderung trat um den 5. und 25. 1. sowie in der 2. Februardekade ein. Nachdem in der 1. Dezemberhälfte Südwestwind aufgetreten war, drehte der Wind vom 17. bis 19. 12. über Nord auf Ost und führte immer kältere Luft heran. Die Tageshöchstwerte lagen bis Monatsende zwischen –3 und –7 °C; am 22. waren es nur –11 °C. Die Tagesmitteltemperatur am 22. betrug –13 °C und lag um 12–13 °C unter dem Normalwert. Der 22. Dezember war der Tag mit dem tiefsten Tagesmittel des Jahres 1962. Das Jahresminimum wurde am 22. und 23. mit Werten von –16 bis –20 °C beobachtet. Im größten Teil des Gebietes bestand seit dem 18. Dezember eine geschlossene Schneedecke. Nachdem zu Beginn der 3. Februardekade die Tageshöchsttemperaturen noch bei –3 °C lagen, stiegen von da an die Tagesmaxima stetig an, um gegen Ende der 1. Märzdekade bei 10 bis 13 °C zu liegen. Die Tage vom 27. 2. bis zum 5. 3. waren sonnenscheinreich, und innerhalb der 1. Märzdekade verschwand dann die Schneedecke sehr rasch.“

Seit Mitte Dezember 1962 brachte erstmalig wieder die Periode milder Witterung vom 6. bis 12. 3. positive Abweichungen der Tagesmittel vom Normalen, aber gleich anschließend traten bis Mitte der 1. Aprildekade wiederum mehr oder weniger große negative Abweichungen der Tagesmittel ein.“

(Zitiert und zusammengestellt aus: Witterungsübersicht für Groß-Berlin und Bezirke Potsdam, Frankfurt (Oder) und Cottbus 9, Nr. 13 und 10, Nr. 13 sowie 11, Nr. 13 und 12, Nr. 13).

3. Die unterschiedliche Reaktion verschiedener Apfelsorten und Zuchtklone bei winterlichen Gefrierversuchen

Überblickt man die Ergebnisse in den Tabellen 1–4, fällt auf, daß in den einzelnen Versuchen trotz gleicher Vorbedingung für alle Versuchspflanzen der Frostschaden an den Apfelbäumen nicht einheitlich ist. Das überrascht nicht, denn statistische Erhebungen nach Schadwintern ließen ein sortentypisches Verhalten der Obstgehölze erkennen (RUDORF, SCHMIDT und ROMBACH, 1942).

Bereits WILHELM (1934), SCHWECHTEN (1935), MÜLLER (1941), ZWINTZSCHER (1944), KARNATZ (1956a, b, 1958a, b), PISEK (1958), KOHN (1959) und TAMAS (1960) untersuchten mit den unterschiedlichsten Gefriermethoden und Ergebnissen verschiedene Obstarten. Im wesentlichen handelte es sich in den Versuchen obiger Autoren um Todespunktbestimmungen. Es kam den Verfassern darauf an, die Verträglichkeitsgrenze für die Obstsorten festzustellen, um eine Rangliste aufstellen zu können. Auch umfangreiche Schadenserhebungen mittels Fragebogen aus vielen Landesteilen nur nach einem Schadwinter lassen (infolge der mannigfältigsten Einflüsse) keine abschließende Beurteilung der geprüften Sorten hinsichtlich ihrer Frostresistenz zu (RUDORF, SCHMIDT und ROMBACH, 1942). Eine annähernd exakte Bestimmung der sortenspezifischen Frostresistenz ist nur dann möglich, wenn Ergebnisse aus verschiedenen Winterabschnitten mehrerer Jahre vorliegen.

Aus den bisherigen Freilandexperimenten mit dem fahrbaren Kälteaggregat von 5 Wintern der Jahre 1959 bis 1964 soll daher der Versuch unternommen werden, eine Klassifizierung der geprüften Sorten vorzunehmen. Die Einteilung der Sorten richtete sich nach der momentanen Frostverträglichkeit in Abhängigkeit von dem Härtungszustand und den eingetretenen Schäden (Dynamik der Frostresistenz) (Tab. 6). Als Richtlinie bei der Einteilung der Sorten diente ein Knospenschaden bis zu 50%.

Unter dem Merkmal „Härtung“ umfaßt die erste größere Gruppe einige Sorten und einen Zuchtklon, die besonders dadurch auffielen, daß sie ohne vorherige Kühlung durch mäßigen Frost Anfang Dezember (7. 12. 1961) eine plötzliche Abkühlung auf –20 °C schadlos überstanden hatten. Besonders ist hierbei die Sorte ‘Hibernal’ hervorzuheben, die ohne Schaden diese Exposition auch nach wochenlanger Enthärtung (vgl. Versuch 50, 51, 75 u. 88) verträgt (MURAWSKI und MITTELSTÄDT, 1962). Über die Zugehörigkeit der Sorten ‘Croncels’ und ‘Wealthy’ zu dieser Gruppe besteht noch keine klare Auffassung.

Die Hälfte aller geprüften Apfelsorten bilden die größte und 3. Gruppe. Sie sind dadurch gekennzeichnet, daß sie nach einer wöchentlichen Kühlperiode bei mäßiger Kälte ein plötzliches Absenken der Temperaturen bis –27 °C vertragen. In den Gruppen 5–7 folgen dann Sorten und Klone, die mehr als eine bzw. 2 Wochen natürlicher Härtung benötigen, um Frostbelastungen bis –26 °C ohne Erfrierungen überleben zu können. Nur für die Sorten der 7. Gruppe traf dieses Einteilungsprinzip nicht in dem Sinne zu, weil trotz 16tägiger Härtung bei einer Frostbelastung von –28 °C rund 40–50% aller Knospen erfroren und das obere Triebende der Pflanzen Frostschaden dritten Grades aufwies. Hierin kommt die besondere Frostempfindlichkeit der 3 Sorten ‘Ontario’, ‘Jonas Hannes’ und ‘Cox’ Orangen-Rtke.’ zum Ausdruck. Die abhärtenden Temperaturen müssen noch länger andauern, sollen diese Sorten –26 oder –28 °C überleben. Das Kennzeichen der Gruppen 1–7 ist also abnehmende Frostresistenz.

Werden die geprüften Apfelsorten nach dem Merkmal „Enthärtung“ eingeordnet, ist eine Pflanze als frostresistent zu bewerten, wenn sie eine lange Er-

Tabelle 6. Der Versuch einer Rangordnung von Apfelsorten und -klonen nach ihrer Frostresistenz.

Merkmal: Härtung

1	2	3	4	5	6	7
Ohne natürliche Abhärtung durch Temperaturen unter 0 °C, Toleranz bis -20 °C Winteranfang	Nach 4 Tagen natürlich abgehärtet, Toleranz bis -25 °C	Nach 7 Tagen natürlich abgehärtet, Toleranz bis -27 °C	Nach 8 Tagen natürlich abgehärtet, Toleranz bis -20 °C	Nach 11 Tagen natürlich abgehärtet, Toleranz bis -26 °C	Nach 13 Tagen natürlich abgehärtet, Toleranz bis -28 °C	Nach 16 Tagen natürlich abgehärtet, Toleranz bis -28 °C
Hibernal Glogierowka Klarapfelf Wealthy Croncels A 31	Undine	Herma Carola Elektra Alkmene Auralia Clivia A 17 A 43 A 3 A 32 A 37 A 55	A 27	Cox' Orangen-Rtte. A 56	Kurzcox Goldparmäne A 27 A 47	Ontario Jonas Hannes Cox' Orangen-Rtte.

Merkmal: Enthärtung

1	2	3	4	5	6
Nach 10 Tagen Erwärmung enthärtet, keine Toleranz bis -20 °C	Nach 5 Tagen Erwärmung enthärtet, keine Toleranz bis -21 °C	Nach 4 Tagen Erwärmung enthärtet, keine Toleranz bis -20 °C	Nach 3 Tagen Erwärmung enthärtet, keine Toleranz bis -21 °C	Nach 2 Tagen Erwärmung enthärtet, keine Toleranz bis -25 °C	Nach 60 Stunden Erwärmung enthärtet, keine Toleranz bis -21 °C
Hibernal	A 17	A 47 Herma Kurzcox Undine Elektra Clivia Auralia	A 27 Carola Alkmene Croncels A 56	Croncels Carola Elektra Clivia Alkmene Auralia	Ontario Jonas Hannes Cox' Orangen-Rtte. Goldparmäne

Tabelle 7. Gefrierversuche im Freiland an einigen Apfelunterlagen im Winter 1962/63 mittels eines fahrbaren Gefrierausches.

Ver-suchs-Nr.	Versuchsdatum	Temperatur des Gefrierversuchs °C	Dauer der künstlichen Frostbelastung Std.	Zustand der Pflanzen vor dem Gefrierversuch	Knospenaustrieb der Versuchspflanzen im Frühjahr in %					Holz/Rindenschäden der Versuchspflanzen				
					M XI	M IX	M IV	A 2	PIR 80	M XI	M IX	M IV	A 2	PIR 80
52	14. - 16. 12. 1962	-20	29	enthärtet 6 Tage	3	30	2	98	16	4	3,1	3,7	2,1	3,5
61	10. - 14. 1. 1963	-27	43	gehärtet 25 Tage	88	99	98	99	98	1,3	0,9	1,1	1	1,4
74	12. - 14. 3. 1963	-18	61	enthärtet 1 Tag	82	93	87	98	98	2,0	1,7	1,4	1	1,2

wärmungszeit benötigt, um enthärtet zu werden und erst danach bei -20 °C erfriert. In Tabelle 8 wird gezeigt, daß der überwiegende Teil der Versuchspflanzen die gleiche Rangordnung wie nach dem Merkmal „Härtung“ besitzt. Erst eine wöchentliche Erwärmung ändert den physiologischen Zustand von 'Hibernal' soweit, daß eine rasche Temperaturabsenkung bis -20 °C deutliche Schäden verursacht (vgl. Versuch 7, Tab. 1). Da 'Hibernal' auch nach dem Merkmal „Härtung“ in die erste Gruppe einzuordnen ist, können wir sie zur Zeit als frostresistenteste Sorte für unser Klimagebiet bezeichnen.

In der letzten Spalte finden wir solche Sorten, die im Winter in kurzer Frist enthärtet werden und

deshalb bei plötzlich eintretendem Frostwetter leicht erfrieren. Es sind die gleichen Sorten, die auch eine mehrwöchige Härtung benötigen, um gegen strenge Fröste tolerant zu werden. Die Mehrzahl der Sorten und Klone steht zwischen beiden Extremen. Normal ist für diese Pflanzen, daß sie nach 3 bis 5 Tauwettertagen im Winter enthärtet sind und -20 °C nicht mehr tolerieren können. Exponiert man die Pflanzen bei -25 °C, so genügen sogar schon 2 Tauwettertage, um starke Erfrierungen hervorzurufen, wie eine Prüfung der Sorten ergab (Versuch 88, Tab. 2).

Aus der Zusammenstellung in Tab. 6 geht hervor, daß die Frostresistenz einerseits von der härtenden Wirkung mäßiger Kälte und andererseits von winter-

Tabelle 8. Gefrierversuche im Freiland an einigen Apfelunterlagen im Winter 1962/63 mittels eines fahrbaren Gefrierhauses.

Versuchs-Nr.	Versuchsdatum	Temperatur des Gefrierversuchs °C	Dauer der künstlichen Frostbelastung Std.	Zustand der Pflanzen vor dem Gefrierversuch	Knospenausriß der Versuchspflanzen im Frühjahr in %							Holz/Rinde/Schäden der Versuchspflanzen					
					Dab 97	Dab 100	Dab 102	Dab 104	Dab 106	Dab 108	Dab 110	Dab 97	Dab 100	Dab 102	A 2	Hibernal	M XI
53	17.—19. 12. 1962	—21	47	enthärtet	100	99	90	90	98	3	0	1,2	1	0,9	2,5	1,1	4,1
62	14.—17. 1. 1963	—29	73	8 Tage gehärtet	100	100	99	100	100	74	0	1	0,3	0	1	1	2,2
73	7.—10. 3. 1963	—22	13	29 Tage enthärtet	100	100	100	100	98	—	90	0	0	0	1,1	—	2,1

lichen Tauwetterperioden beeinflußt wird. Der physiologische Härtungszustand kann dabei rasch verloren gehen. Demnach gehört eine Sorte zu den frostempfindlichen, wenn sie innerhalb von 2—3 Tagen enthärtet werden kann. Genauere und aufschlußreichere Ergebnisse erlauben diese Freilandversuche nicht. Man muß zu bedenken geben, daß bei diesen Versuchen der Versuchsansteller den natürlichen Klimafaktor nicht beeinflussen oder vorausahnen kann. Die Ergebnisse sind aber wichtige Hinweise, die durch weitere Versuche mit mehreren Temperaturstufen im Laboratorium ergänzt werden müssen. Nur so ist es möglich, den wechselnden natürlichen Klimafaktor auszuschalten.

4. Das Verhalten einiger Apfelunterlagen gegen Frost

Bisher war es uns nicht möglich, eine größere Anzahl und ein größeres Sortiment an Apfelunterlagen zu prüfen. Trotzdem möchten wir über die vorläufigen Ergebnisse berichten.

Es wurden untersucht: 3 *Malus*-Typen, 4 Klone von *Malus baccata/prunifolia* (Kurzbezeichnung: Dab-Klone) aus Dahlem (MAURER und HEFT, 1958 und MAURER, FRIEDRICH und ATHENSTÄDT, 1958), eine schwedische Züchtung A 2 und eine Selektion aus Pillnitz Pi R 80 (Tab. 7 und 8). Die Prüfung erfolgte im Winter 1962/63 zu verschiedenen Terminen.

Soweit eine Beurteilung der Versuchsergebnisse möglich ist, konnte mit Sicherheit festgestellt werden, daß die Auslesen von *Malus baccata* und A 2 die höchste Frostverträglichkeit aufweisen. So hatte z. B. eine 6tägige Tauwetterperiode keine enthärtende Wirkung auf A 2, denn die angewendete Versuchs-



Abb. 6. Versuch 52, Apfelunterlagen enthärtet, künstliche Frostbelastung -20°C .
 A 2 = 1. und 3. Reihe von rechts
 Pi R 80 = 2. Reihe von rechts
 EM XI = 4. und 7. Reihe von rechts
 EM IX = 5. Reihe von rechts
 EM IV = 6. Reihe von rechts
 Fotografiert: 21. 4. 63.



Abb. 7. Versuch 53, Apfelunterlagen enthärtet, künstliche Frostbelastung -20°C .
 Dab.-Klone = 3. bis 6. Reihe von rechts
 EM XI = 1. Reihe von rechts
 'Hibernal' = 2. Reihe von rechts
 A 2 = 7. Reihe von rechts
 Fotografiert: 21. 4. 63.

temperatur von -20°C verursachte keinen Schaden; wogegen die *Malus*-Typen EM XI, EM IV und Pi R 80 fast gänzlich erfroren (Versuch 52, Tab. 7, Abb. 6).

Unter annähernd gleichen Versuchsbedingungen blieben auch die Dahlemer Klone von *Malus baccata* ohne Erfrierungen (Versuch 53, Tab. 8, Abb. 7). EM XI dagegen war erfroren bis auf einen winzigen Rest lebenden Gewebes in Erdbodenhöhe. Im gleichen Versuch fanden wir die Ergebnisse von A 2 und 'Hibernal' nochmals bestätigt.

5. Beziehungen des Wachstums zur Frostresistenz

Sehr oft wurde auf die „Holzreife“ als einen der möglichen Faktoren der Frostresistenz hingewiesen (KARNRATZ, 1958a). Da für den Winter 1962/63 zahlreiche Sorten und Zuchtklone zur Prüfung auf Frostresistenz vorgesehen waren, erschien es sehr zweckmäßig, durch phänologische Beobachtungen den Wachstumsabschluß zu verfolgen. Als Kriterien dafür dienten die Laubverfärbung und der Laubfall.

a) *Laubverfärbung*. Durch tägliche Beobachtungen von 30 Pflanzen je Typ wurde das Datum der Beendigung der Laubverfärbung (LV) festgehalten, weil

dadurch eine genauere Beurteilung des Wachstumsabschlusses möglich ist.

Ende der Laubverfärbung	Sorten bzw. Klone
10. 11. 1962	Hibernal
15. 11. 1962	Kurzcox, Herma
16. 11. 1962	Alkmene, Wealthy
18. 11. 1962	Clivia, Carola, A 31
22. 11. 1962	Elektra
26. 11. 1962	Cox'Orangen-Rtte.
27. 11. 1962	Croncels, Auralia, A 47
30. 11. 1962	Goldparmäne
3. 12. 1962	Jonas Hannes, A 27
9. 12. 1962	Ontario

Bei der Betrachtung der phänologischen Daten nach dem Merkmal „Laubverfärbung“ läßt sich eine Gruppierung der Sorten und Klone erkennen. 5 Tage früher als alle anderen Apfelbäume ist die totale Ausfärbung der Blätter bei 'Hibernal' beendet. Es folgt eine Reihe von Sorten, deren Termine (15.–18. 11.) dicht beieinanderliegen und gewissermaßen eine zweite Gruppe bilden. In der nächsten folgen dann die Sorten 'Cox' Orangen-Rtte.', 'Croncels', 'Auralia', A 47 und 'Goldparmäne'. Eine Mittelstellung nimmt zwischen diesen 'Elektra' ein. Die 5. und letzte Gruppe bilden 'Jonas Hannes', A 27 und 'Ontario', deren LV erst Anfang Dezember beendet war.

b) *Laubfall*. Analog der Laubverfärbung wurde auch aus oben genannten Gründen nur die Beendigung des Laubfalls (LF) vermerkt.

Ende des Laubfalls	Sorten und Klone
18. 11. 1962	Wealthy, Alkmene
20. 11. 1962	Carola
22. 11. 1962	Hibernal
23. 11. 1962	Elektra, A 31, Auralia
27. 11. 1962	Clivia, Cox'Orangen-Rtte.
30. 11. 1962	Croncels, Herma
3. 12. 1962	A 47, Kurzcox
9. 12. 1962	Goldparmäne, Jonas Hannes
10. 12. 1962	A 27
18. 12. 1962	Ontario

Wie bei LV läßt sich auch für LF eine Gliederung vornehmen. Für eine Reihe von Sorten und Klonen war im Zeitraum vom 18.–23. 11. der LF beendet. Eine zweite Gruppe (27. 11.–3. 12.) umfaßt die 6 Typen 'Clivia', 'Cox' Orangen-Rtte.', 'Croncels', 'Herma', A 47 und Kurzcox. Den Schluß bilden 'Goldparmäne', 'Jonas Hannes', A 27 und noch eine Woche später 'Ontario'. An diesen Apfelsorten wurde der LF erst durch den in der ersten Dezemberwoche einsetzenden Frost beendet. Vor allem gilt die Beobachtung für 'Ontario'. Bis zum 9. 12. besaßen die Pflanzen dieser Sorte unverfärbte Blätter aller Ausbildungsgrößen an den Sproßspitzen. Der Frost zerstörte dann die Triebspitzen samt Blättern.

Daraufhin überprüften wir an bekannt frostresistenten und bekannt frostempfindlichen Sorten unter Gewächshausbedingungen den Triebabschluß. Je 3 eingetopfte Pflanzen von 'Ontario', 'Goldparmäne', 'Hibernal' und 'Croncels' wurden im Frühherbst mit vollem Laub in ein mäßig temperiertes Gewächshaus gestellt und in der Woche nur ein- bis zweimal gegossen. Das Wachstum wurde in der

Reihenfolge 'Croncels', 'Hibernal' und 'Goldparmäne' abgeschlossen. 'Ontario' dagegen behielt den ganzen Winter hindurch in der oberen Sproßhälfte grüne Blätter und an den Triebenden wurde laufend neues Gewebe gebildet. Im Laufe des Winters entstand so an den 3 Versuchspflanzen ein 15–20 cm langer Spitzenzuwachs. Nur in der unteren Sproßhälfte waren die Pflanzen entlaubt. Diese Tatsachen dokumentieren die geringfügige Neigung der Sorte 'Ontario' zum Triebabschluß im Herbst.

c) *Wachstumsabschluß und Frosthärtung*. Bei einer Gegenüberstellung der einzelnen Gruppen der LV mit der Härtungsfähigkeit in Tabelle 9 fällt auf, daß die meisten Sorten und Klone mit früher LV in kurzer Zeit eine genügende Härtung erlangen und solche mit später LV lange Härtungszeiten benötigen. Das trifft insbesondere für 'Hibernal' einerseits und 'Ontario' sowie 'Jonas Hannes' andererseits zu. Aber auch für die anderen Typen läßt sich eine gewisse Übereinstimmung erkennen. So gehören die Sorten 'Herma', 'Carola', 'Alkmene', 'Clivia' und der Klon A 31, die 5–8 Tage nach 'Hibernal' die LV beendeten, zu der Gruppe, die nach einwöchiger Kälteeinwirkung gut gehärtet ist. A 31 ähnelt in der Härtungsfähigkeit sogar der Sorte 'Hibernal'. Dagegen besteht keine sichere Korrelation zwischen LV und Härtung für 'Elektra', 'Auralia' und 'Croncels' sowie 'Kurzcox'. 'Cox' Orangen-Rtte.', 'Goldparmäne' und A 27 sind bei jenen Sorten zu finden, die eine mangelhafte bis ungenügende Härtungsfähigkeit besitzen.

Zu ähnlichen Ergebnissen gelangt man auch nach einem Vergleich des LF mit der Härtungsfähigkeit. Die Sorten und Klone, deren LF vom 18.–23. 11. beendet war, sind innerhalb kürzester Zeit bzw.

Tabelle 9. Beziehungen des Wachstumsabschlusses zur Frosthärtung.

Frosthärtung

Sehr gute Härtungsfähigkeit	Mittelmäßige Härtungsfähigkeit	Mangelhafte Härtungsfähigkeit	Ungenügende Härtungsfähigkeit
Hibernal	Herma	Goldparmäne	Ontario
A 31	Clivia	A 27	Jonas Hannes
Wealthy ?	Carola	Kurzcox	Cox'Orangen-Rtte.
Croncels ?	Elektra	A 47	
	Alkmene		
	Auralia		

Beendigung der Laubverfärbung

Sehr früh	Früh	Mittel	Spät	Sehr spät
Hibernal	Herma	Elektra	Goldparmäne	Ontario
	Clivia		A 47	Jonas Hannes
	Carola		Croncels	
	Alkmene		Auralia	Hannes A 27
	Kurzcox		Cox'Orangen-Rtte.	
	A 31			
	Wealthy			

Beendigung des Laubfalls

Früh	Mittel	Spät
Hibernal	Herma	Ontario
A 31	Clivia	Jonas Hannes
Wealthy	Croncels	Goldparmäne
Carola	Cox'Orangen-Rtte.	A 27
Alkmene	Kurzcox	
Auralia	A 47	
Elektra		

nach einwöchiger Kälte gut gehärtet. Es ergibt sich auch eine Übereinstimmung zwischen spätem LF und schlechter Härtungsfähigkeit, das betrifft insbesondere die Sorten 'Ontario', 'Jonas Hannes' sowie 'Goldparmäne' und A 27. Nur 'Croncels', der in seiner Härtungsfähigkeit noch nicht genau gruppiert werden konnte, 'Cox' Orangen-Rtte.', 'Kurzcox' und A 47 reihen sich in den mittleren Zeitabschnitt für die Beendigung des LF ein.

6. Versuchsanlage in Polen

Im Rahmen eines wissenschaftlichen Erfahrungsaustausches übernahm 1957 das Institut für Obstbau in Skierniewice (Volksrepublik Polen) Reiser von 20 Müncheberger Apfelsorten und -zuchtklonen zur Anzucht von Bäumen, die unter rauhen Klimabedingungen Polens geprüft werden sollten. Die Versuchsanlage wurde 1958 im landwirtschaftlichen Versuchsgut in Siejnik bei Olecko, Bez. Białystok, (Südostmasuren), aufgepflanzt. Nach den Angaben der polnischen Obstbauer besitzt diese Gegend das rauhste Klima Polens und wird das „polnische Sibirien“ genannt. In dem sehr kalten Winter 1962/63 wurden beispielsweise in den Obstanlagen des Versuchsgutes 3 Nächte mit Temperaturen unter -35°C gemessen.

Die dortige Wetterstation registrierte für diesen Winter folgende Temperaturwerte:

Mittlere Monatstemperatur °C	Mittlere Minimatemperatur °C	Tiefste Temperaturen °C	Monat
+ 7,6	+ 3,8	- 2,3	Okt. 1962
+ 3,1	- 1,1	- 4,0	Nov. 1962
- 2,3	- 4,8	- 20,9	Dez. 1962
- 12,5	- 14,5	- 24,8	Jan. 1963
- 8,5	- 12,1	- 23,7	Febr. 1963
+ 4,0	- 7,9	- 16,4	März 1963
+ 6,4	- 1,7	- 6,6	April 1963

Die Anlage besteht aus 2 getrennten Blöcken zu je 4 Reihen. Von jedem Typ wurden 8 Bäume gepflanzt, und zwar in 4 Wiederholungen je 2 Bäume. Zur Kontrolle verpflanzte man, eingestreut in die Anlage, gleichaltrige Bäume der Sorten 'Pepin-Kitajka', 'Wealthy', 'Antonowka', 'Weißer Klarapfel' und 'Bohnnapfel'. Die Unterlage besteht ausschließlich aus Antonowka-Sämlingen, die sich wegen ihrer Frostresistenz in Polen bewährt und eingebürgert haben.

Im Winter nach dem ersten Wachstumsjahr war der Frostschaden an den Bäumen für die dortigen Verhältnisse gering. Nach zwei Beurteilungen durch Frau Dr. KORSAK (persönliche Mitteilung) im Frühjahr und Herbst 1961 hatten ohne frostbedingten Schaden überwintert:

Erwin Baur (Geheimrat Dr. Oldenburg frei abgeblüht)
 Carola (Cox' Orangen-Rtte. frei abgeblüht)
 Kurzcox
 Elektra (Cox' Orangen-Rtte. \times Geheimrat Dr. Oldenburg)
 A 31 (Geheimrat Dr. Oldenburg frei abgeblüht)
 A 32 (Cox' Orangen-Rtte. \times Geheimrat Dr. Oldenburg)

Von weiteren 10 Sorten hatten 1—3 Bäume leichte Triebsschäden, die bis zum Herbst ausgeheilt waren. Es handelte sich im einzelnen um folgende Typen:
 Clivia (Geheimrat Dr. Oldenburg \times Cox' Orangen-Rtte.)

Undine	(Jonathan frei abgeblüht)
A 10	(Geheimrat Dr. Oldenburg frei abgeblüht)
A 35	(Geheimrat Dr. Oldenburg \times Cox' Orangen-Rtte.)
A 43	(Cox' Orangen-Rtte. \times Geheimrat Dr. Oldenburg)
A 45	(Geheimrat Dr. Oldenburg \times Cox' Orangen-Rtte.)
A 48	(Cox' Orangen-Rtte. frei abgeblüht)
A 42	(Wintergoldparmäne frei abgeblüht)
A 41	(Cox' Orangen-Rtte. frei abgeblüht)
A 29	(Cox' Orangen-Rtte. frei abgeblüht)

Von den restlichen 4 Zuchtklonen zeigten je 2 Bäume starke Frostschäden oder hatten diese nicht restlos überwunden:

A 17	(Jonathan frei abgeblüht)
A 27	(London Pepping \times Ontario)
A 40	(Cox' Orangen-Rtte. frei abgeblüht)
A 47	(Cox' Orangen-Rtte. frei abgeblüht)

Im September 1963 war es dem Verfasser möglich, die Versuchsanlage persönlich zu besichtigen. Die Gesamtanlage machte einen guten Eindruck; viele Typen trugen an diesem Standort die ersten Früchte. Leichte Frostschäden vom vorangegangenen Winter waren regenerativ überwunden.

Nach einer an Ort und Stelle vorgenommenen Gesamteinschätzung jedes einzelnen Baumes ergab sich folgendes Bild:

gut bis sehr gut	gut	mittelmäßig
A 10	Undine	Carola
A 40	Elektra	A 32
A 31	A 41	A 48
Wealthy		
Antonowka		
Weißer Klarapfel		

Die restlichen Sorten und Zuchtklone wiesen größere Frostschäden auf und eignen sich wahrscheinlich für diesen Standort nicht.

Einige Abweichungen von den Feststellungen durch Frau Dr. KORSAK lassen sich zwangsläufig damit erklären, daß die wirkliche Frostempfindlichkeit der Sorten 'Kurzcox' und 'Erwin Baur' erst in dem weitaus strengerem Winter 1962/63 sichtbar wurde. Etwas anfällig erwiesen sich auch 'Elektra', sowie 'Carola' und A 32 nach dem Winter 1962/63. Die Klone A 35, A 43, A 45, A 29 und A 42 und die Sorte 'Clivia', die bereits im Frühjahr 1961 leichte Erfrierungen aufwiesen, gehörten nach dem Winter 1962/63 an diesem Standort einwandfrei zur Gruppe der frostempfindlichen Sorten. Stark abweichend waren die Ergebnisse des Klons A 40. Rechnete er 1961 noch zu den geschädigten Typen, die sogar bis zum Herbst nicht restlos regeneriert hatten, so konnte im Herbst 1963 an den 6 noch vorhandenen Bäumen kein Schaden, auch kein regenerierter, festgestellt werden. Dagegen blieb unverändert das Verhalten von 'Undine', A 41 und A 48.

Ist auch die Beurteilung der Frostresistenz unter natürlichen Klimabedingungen recht schwierig, so sind die in Polen nach dem Großwinter 1962/63 ermittelten Ergebnisse von besonderem Wert für einen Vergleich mit den künstlichen Frostversuchen in Müncheberg.

In Tab. 10 wurden die Ergebnisse des Anbauversuchs in Polen unseren Gefrierversuchen gegenübergestellt. Soweit ein Vergleich möglich ist, fällt dabei besonders die Übereinstimmung der Ergeb-

Tabelle 10. Gegenüberstellung der Ergebnisse aus den Gefrierversuchen in Müncheberg mit den Freilandbeobachtungen nach dem Winter 1962/63 in Siejnik (NO Polen).

Nach Gefrierversuchen erwiesen sich als:

resistant	mittelmäßig resistant	nicht resistant
A 31	Carola	Kurzcox
Wealthy	Elektra	A 27
A 10	Undine	A 35
Hibernal	A 32	A 47
Glogierowka	Clivia	Ontario
	Alkmene	Jonas Hannes
	Auralia	Cox'Orangen-Rtte.
	Herma	

Unter rauen klimatischen Bedingungen in Nordostpolen erwiesen sich als:

resistant	mittelmäßig resistant	nicht resistant
A 31	Carola	Clivia
Wealthy	Elektra	Kurzcox
Weißer Klarapfel	Undine	Erwin Baur
Antonowka	A 32	Bohnapfel ?
A 10	A 41	Pepin Kitajka
A 40	A 48	A 35
		A 43
		A 45
		A 29
		A 42
		A 27
		A 17
		A 47

nisse auf. Außer 'Clivia', die im Anbauversuch in Polen sehr schlecht abschnitt, können die anderen Typen den gleichen Gruppen, die sich nach mehreren künstlichen Gefrierversuchen ergaben, zugeordnet werden.

Die identischen Resultate lassen die berechtigte Hoffnung zu, daß die Bestimmung frostresistenten Zuchtmaterials durch künstlichen Frost mittels des fahrbaren Kälteaggregates erfolgen kann, wobei es sogar möglich ist, Obstgehölze für extreme Winter zu selektionieren.

IV. Diskussion

Die bisherigen Versuche mit künstlichem Frost an jungen Apfelbäumen im Freiland gestatten eine Einschätzung der Frostresistenz von Apfelsorten.

1. Ohne künstliche oder natürliche Härtewirkung mäßiger Kälte erfrieren die meisten Obstgehölze bei -20°C .

2. Durch stufenweise Absenkung der Temperatur wird die Frostverträglichkeit bis unter -20°C gesteigert. Die Temperatur darf dabei aber nicht zu rasch und bis unter -30°C abgesenkt werden. Der größte Teil aller untersuchten Apfelsorten benötigte längere Zeit (7 Tage) zur Adaption an tiefe Temperaturen, um -30°C tolerieren zu können (Versuch 56).

3. Die härtende Wirkung natürlicher Kälte ist um so größer, je länger sie auf die Pflanzen einwirkt. Dabei ist mäßiger Frost ebenso wirksam wie langsam zunehmende Kälte.

4. Schon eine kurzfristige Erwärmung (2–4 Tage) im Mittwinter genügt für viele Obstgehölze, sie zu entarten. Ein plötzlicher Kälteeinbruch von -20°C wirkt danach tödlich. Wird dagegen den Pflanzen

eine erneute Adoptionsmöglichkeit durch mäßige Kälte geboten, kann strenger Frost vertragen werden.

5. Nach einem langen, strengen Winter werden die Obstpflanzen im März nicht so schnell enthartet wie nach kürzerer Kälte im Mittwinter.

6. Häufig verlieren Sorten, die schnell abgehärtet werden, nur langsam den Abhärtungszustand (besonders im Winter).

1. Abhärtung und Frostwirkung

Praktische Ergebnisse des Obstbaues zeigen, daß der individuelle Zustand eines Gehölzes, Pflegemaßnahmen sowie Standortwahl die Frostresistenz modifizieren. Die bedeutendste Rolle in der Frostresistenz der Obstgehölze spielt aber ihr witterungsbedingter Zustand (= Härtung) zum Zeitpunkt der Frosteinwirkung, worauf schon KARNATZ (1958a) und MURAWSKI (1961) hinwiesen. Der Abhärtung kommt eine zentrale Bedeutung für die Frostresistenz zu (LUVET und GEHENIO, 1940; ULLRICH, 1943; LEVITT, 1956 und JEREMIAS, 1956). Das zeigen auch insbesondere die ersten Versuche. Durch den milden Witterungsverlauf vor Beginn der Versuche 6, 7 und 8 waren die Pflanzen vollkommen ohne Härtung. In diesem physiologischen Zustand der „Verweichlichung“ vernichtete der Eistod die Gewebe (Versuch 7). Standen jedoch die Obstgehölze vor der künstlichen Frostbelastung längere Zeit unter dem Einfluß mäßigen Frostes oder langsam zunehmender Kälte, entstanden bei -20°C keine frostbedingten Schäden (Versuch 6). Dennoch erfroren große Teile der Pflanzen, als die Temperatur in Abständen von 48 Stunden nicht nur bis -20°C , sondern bis -36°C gesenkt wurde. Die meisten Apfelsorten müssen wahrscheinlich unter -20°C einen kritischen physiologischen Zustand überwinden. Wenn die Temperatur in diesem kritischen Bereich um 8 bis 12 Grad mit der gleichen Geschwindigkeit weiter absinkt, treten starke Erfrierungen auf. Wie bekannt, gefriert das Wasser in den Zellen und Geweben nicht bei 0°C , sondern aus der Unterkühlung heraus. Noch bis -10°C sind erst 90% des Wassers in den kristallinen Zustand übergegangen. Der Rest wird bei -15 bis -18°C und vollständig erst bei -39°C in einen festen oder gebundenen Zustand verwandelt (KÜHNAU, 1964). Sicherlich sind diese Vorgänge der Umbildung des restlichen Wassers für den kritischen Zustand der meisten Obstgehölze verantwortlich.

Während des Abhärtungsvorganges müssen sich plasmatische Veränderungen in den Zellen abspielen, wodurch die Pflanzen erst frostresistent werden. An Apfelfrindenzellen konnten während der Kälteadaptation, die durch Temperaturen um 0°C herbeigeführt wird, Permeabilitätsveränderungen und eine kontinuierliche Viskositätssteigerung nachgewiesen werden, die mit einer Veränderung der freibeweglichen Wassermenge im Protoplasma zusammenhängen dürfte. Während der Einwirkung mäßiger Kältegrade nimmt die Permeabilität für Wasser und verschiedene Plasmolytici rasch zu, um danach kontinuierlich abzusinken, so daß der erreichte Härtungsgrad durch extrem niedrige Permeabilitätsgrößen charakterisiert ist. Bei stufenweiser Absenkung der Temperatur kann sich diese plasmatische Reaktion im verkleinerten Maßstab wiederholen. Diese Erscheinung läßt sich zwangsläufig als Wieder-

holung der Adoptionsreaktion erklären, wodurch der Grad der Frosthärtung weiter vergrößert wird (MITTELSTÄDT, 1964).

Bereits von LEBEDINCEV (1930) und DEXTER (1934) wurde experimentell eine Zunahme des gebundenen Wassers auf Kosten des freibeweglichen Wassers nachgewiesen. Die Fähigkeit frostgehärteter Pflanzen, einem Wasserentzug durch das Eis erhöhten Widerstand entgegenzusetzen, kommt nach allgemeiner Auffassung durch eine verstärkte Wasserbindung durch hydrophile Kolloide zustande (Zusammenfassung bei JEREMIAS, 1956). Auch KESSLER und RUHLAND (1938) konnten zeigen, daß kältegehärtetes Plasma eine höhere Viskosität und eine größere Wassermenge als im ungehärteten Zustand besitzt, die adsorptiv an das Proteingerüst angelagert ist (= bound water, LEVITT und SCARTH, 1936).

Im Zusammenhang mit der Frosthärtung werden auch Veränderungen vieler Zellinhaltsstoffe von verschiedenen Forschern genannt. Die Frosthärtung der Pflanzen ist offenbar ein plasmatischer Zustand und stellt eine Adaption an bestimmte Temperaturstufen dar. Die gleichen Temperaturen mit abhärtender Wirkung können für einige Sorten nur eine Frosttoleranz bis -20°C , für andere hingegen bis -30°C und mehr erzeugen, wenn sie für eine bestimmte Zeit auf die Pflanze einwirken (Versuch 8). Darüber hinaus ist es aber möglich, daß die gleiche Sorte, die zuvor nur -20°C tolerieren konnte, bei -30°C nicht erfriert, wenn ihr eine entsprechend längere Härtungszeit für die Adaption zur Verfügung stand (Versuch 10). Es gibt je nach der Härtungsdauer für ein und dieselbe Sorte eine Resistenz für -20°C und für -30°C (wobei die hier erwähnten kritischen Temperaturen rein zufällig gewählt sind). Andererseits genügt für eine Sorte eine kurze, für eine andere eine längere Härtungszeit, um die gleiche Frosttemperatur schadlos vertragen zu können. Die meisten Apfelsorten härteten sich, bis auf einige Ausnahmen, sehr gut und vertragen -27°C ohne zu erfrieren, wenn im Verlaufe einer Woche die Temperaturen langsam unter 0°C absinken (Versuch 56, Tab. 2). Für die Frostresistenz einer jeden Sorte ist also zweifellos die Härtungsdauer von entscheidender Bedeutung, d. h., die Frostresistenz als solche ist ein dynamischer Prozeß und, wie aus den weiteren Schilderungen zu ersehen ist, für die einzelnen Pflanzentypen genetisch bedingt. Durch zellphysiologische Untersuchungen ist bekannt, daß z. B. für 'Hibernal' die Adaption an tiefe Temperaturen bereits nach 1–2 Tagen erfolgte, für 'Ontario' dagegen erst nach mehr als 4 Tagen (MITTELSTÄDT, 1964).

Ob und wie stark Temperaturen eine abhärtende Wirkung auf die Pflanzen ausüben, hängt allein von der Reaktionsfähigkeit der einzelnen Sorten ab, ist also erblich. Die Beobachtungen ergaben, daß mäßige Kälte im Bereich von -1 bis -4°C , ja sogar kühle Temperaturen oberhalb des Gefrierpunktes einige Sorten bereits abhärteten, wodurch es ihnen möglich ist, einen Temperaturbereich bis -20°C bzw. sogar bis -30°C zu tolerieren. Solche Sorten können einen größeren Temperatursprung, wie z. B. rasch hereinbrechenden Frost, vertragen. Das sind Sorten, die auch in kürzester Frist eine Kälteadaption erreichen, wie z. B. 'Hibernal'. Infolge der nur kurzen

Härtungszeit ist für diese Typen auch eine rasche stufenweise Absenkung der Temperatur unter den Gefrierpunkt abhärtend wirksam.

Frostempfindliche Sorten dagegen, wie 'Ontario' oder 'Jonas Hannes', härteten sich nicht nur sehr langsam für einen größeren Temperaturbereich, sondern eine Kühl-Temperatur härtet diese Sorten in der Regel nur für eine Frosttemperatur ab, die wenige Grade unter ihr liegt.

Eine 8tägige Kühlperiode bei -3°C hatte die Sorte 'Ontario' noch nicht vollkommen gehärtet, so daß eine kurzfristige Temperatursenkung auf -10°C deutliche Frostschäden verursachte. Stufenweises Absenken der Temperatur wird von der gleichen Sorte nur dann vertragen, wenn über lange Zeiträume eine geringfügige Kältezunahme erfolgt.

Durch physiologische Untersuchungen konnte gezeigt werden, daß 'Ontario' ungünstige Veränderungen im plasmatischen Gefüge, die durch einen Anstieg der Permeabilität gekennzeichnet sind, nur ungenügend ausgeglichen kann, wenn nach 20- bis 30stündiger Kälteeinwirkung die Temperatur erneut um -5°C absinkt. Jede nächste Temperatursenkung führt zu weiteren Veränderungen der protoplasmatischen Struktur, bis schließlich der Tod der Zellen eintritt. Der bevorstehende Zusammenbruch wurde durch sprunghafte Permeabilitätsverhöhung angezeigt. Unter gleichen Bedingungen ist es dagegen 'Hibernal' möglich, nach erneuter Temperatursenkung eine Kälteadaption folgen zu lassen, die sich in einer Veränderung der Permeabilitätsgrößen widerspiegelt (MITTELSTÄDT, 1964).

Den Einfluß stufenweiser Abhärtung auf die Frostresistenz verschiedener nordischer Gehölze untersuchten auch TUMANOV und KRASAVZEV (1959). So war eine rasche stufenweise Absenkung der Temperaturen von 0° bis -60°C in dreistündigen Intervallen von -5°C für die Birke möglich, bei der Kiefer dagegen mußten die Temperaturstufen 24 Std. und bei der Apfelsorte 'Antonowka' sogar mehr als 24 Std. betragen, um -60°C schadlos zu überstehen (KRASAVZEV, 1961). Die meisten Frostschäden an den Obstbäumen treten nur deshalb auf, weil die Frosttemperaturen zu rasch absinken oder anders gesagt, weil die überwiegende Zahl aller im Anbau befindlichen Obstsorten mehrere Abhärtungstage für die einzelnen Temperaturstufen benötigt.

2. Enthärtung und Frostwirkung

Wie wir heute wissen, unterliegt die Frostresistenz aller überwinternden Pflanzen einem Wechsel, mit einem Maximum im Winter und Minimum im Sommer. Der Übergang erfolgt jeweils im Herbst und Frühjahr. Neben diesem ausgeprägten Rhythmus lassen sich kleinere Schwankungen auch während des Winters nachweisen (Versuch 6–8, 12, 13, 50, 51, 75 und 88). Sie werden ähnlich wie beim jahreszeitlichen Rhythmus durch klimatische Faktoren ausgelöst. Die in unseren Wintern in der Regel auftretenden intermittierenden Temperaturen rufen die Schwankungen in der Frostverträglichkeit hervor, und viele Apfelsorten reagieren auf winterliche Warmwetterperioden recht intensiv.

Ein Obstbaum, der infolge vorangegangener Kälte gehärtet wurde, wird wieder durch Erwärmung enthärtet, wobei die Frostresistenz geringer wird

(immer gemessen am Todespunkt). Es spielt dabei keine wesentliche Rolle, ob die Pflanzen zu einer ökologisch sinnvollen Zeit, also im Frühjahr oder bereits im Mittwinter, erwärmt werden. In jedem Fall geht diese Erscheinung mit einer grundlegenden physiologischen Veränderung der Zellen und Gewebe einher, und die Pflanzen werden zu einer Stoffwechselaktivität angeregt, die sich in einem Anschwellen der Knospen äußerlich sichtbar macht. Außerdem wurden auch typische Veränderungen der Zellkonfiguration als Anzeichen der Enthärtung gedeutet (MITTELSTÄDT, 1964).

Im Versuch 88 (24. 1. 64) waren innerhalb von 60 Std. außer 'Hibernal' alle Sorten enthartet. Der Todespunkt lag bei -26°C . Eine 4tägige Erwärmung verlagerte den Todespunkt noch weiter in Nullpunktnähe (Versuch 12, 21. 1. 1961). Gerade an diesem Beispiel ist deutlich zu erkennen, daß die Sorten trotz gleicher Vor- und Versuchsbedingungen recht unterschiedlich reagieren. Viele der geprüften Sorten verlieren nach Erwärmung sehr rasch ihre erworbene Frosthärte ('Ontario', 'Goldparmäne', 'Jonas Hannes', Versuch 50). Andere Sorten, wie 'Hibernal', vertragen noch -20°C nach 10tägiger Enthärtung (Versuch 6) oder vollkommen ohne Frostschädigungen -24°C nach 8tägiger Erwärmung (Versuch 75). Die Enthärtungerscheinungen hängen demnach vom Objekt und von der zeitlichen Dauer der enthartenden Temperaturwirkung ab. Weiterhin muß auch noch an andere modifizierende Faktoren gedacht werden. Am Ende des Winters 1962/63 erwies sich die Härtung stabiler als in allen Versuchen während mittwinterlichen Zeiten. Noch nach einer 8tägigen Warmwetterlage Mitte März 1963 war die Enthärtung erst soweit fortgeschritten, daß die für gewöhnlich leicht enthartbaren Sorten, wie 'Ontario', noch einen Todespunkt unter -20°C besaßen. Dagegen enthartete eine 3tägige Tauwetterperiode im Januar diese Sorten soweit, daß sie bei -20°C erfroren. Möglicherweise ist infolge des langanhaltenden Frostes des Winters 1962/63 ein derart stabiler Plasmazustand als Ausdruck einer hochgradigen Adaption eingetreten, der durch kurzfristige Wärmeeinwirkung nicht ohne weiteres verändert werden konnte.

In vielen Versuchen konnte man beobachten, daß Apfelsorten, die sich sehr schnell abhärteten, diesen Zustand auch lange Zeit beibehielten, wogegen langsam abhärtungsfähige schnell enthartet werden konnten. Diese Feststellungen sind jedoch nicht zu verallgemeinern. Mitte März 1961, nach 20tägigem Frühlingswetter, wurden verschiedene Ökotypen von *Malus pumila* Miller hinsichtlich ihres dynamischen Frostresistenzverhaltens bei -10°C verglichen. Es handelte sich dabei insbesondere um die Sorten 'Jonas Hannes' und 'Charlamowsky'. Dabei zeigte es sich, daß die als frostresistenter bekannte Sorte 'Charlamowsky' größere Schäden erlitt als die frostempfindlichere Sorte 'Jonas Hannes'. Die Erklärung hierfür ist, daß 'Jonas Hannes' als moselländische Lokalsorte maritimen Ursprungs ist, wogegen 'Charlamowsky' ein kontinentaler Typ ist. Diese zeichnen sich durch besonders gute Frostresistenz im Mittwinter aus. Unter ihnen gibt es aber viele Typen, wie z. B. 'Charlamowsky', die durch langanhaltendes Frühlingswetter restlos enthartet

werden und dann bei plötzlichen Frosteinbrüchen erfrieren. Diese Typen sind den osteuropäischen (kontinentalen) Klimaverhältnissen angepaßt. Die maritimen Typen dagegen besitzen offenbar zu dieser Jahreszeit noch eine genügende Stabilität, um geringe Fröste bis -10°C tolerieren zu können (MURAWSKI, 1962). Im Winter genügt jedoch für 'Jonas Hannes' eine kurze Erwärmung, um bei -20°C zu erfrieren, wogegen kontinentale Typen ungeschädigt bleiben.

Wiederholt konnte nachgewiesen werden, daß bei Frosteinwirkung der ungehärtete Zustand für die Gehölze sehr gefährlich ist. Frost kann die Pflanzen sowohl am Winteranfang, wenn sie noch keine Möglichkeit zur Kälteadaption hatten, als auch im Mittwinter vernichten, nachdem sie durch Warmwetterperioden enthartet wurden. Nicht die sogenannte endogene Jahresrhythmisik bestimmt die Frostresistenz, sondern die winterliche Witterung und insbesondere die intermittierenden Temperaturen während eines Winters sind für den Bestand der Obstgehölze am gefährlichsten. Die besonders verheerende Wirkung von Kältestürzen auf die Obstgehölze nach langen Tauwetterperioden und im Frühjahr erkannten schon RUDOLF, SCHMIDT und ROMBACH (1942, S. 602) auf Grund ihrer durchgeführten Schadenserhebungen nach dem Winter 1939/40. Deshalb ist für die Pflanzen eine über längere Zeiträume stabil bleibende Kälteadaption bedeutungsvoll.

Ohne deutlichen Einfluß auf die Größe des Frostschadens zeigt sich die Dauer der Frostgrade (= Temperatursumme, TAMÁS, 1961). So betrug im Versuch 7 die Temperatursumme nur 944, im Versuch 6 aber 1177 und im Versuch 8 sogar 2184. Die geringste Frostdauer wirkte auf die Versuchspflanzen aber tödlich. Ein weiterer Beleg dafür ist der Versuch 50 mit einer Temperatursumme von 950 und Versuch 57 mit 1230. Auch hier ist der Frostschaden bei der geringeren Temperatursumme eingetreten. Die Pflanzen waren 11 Tage gehärtet worden, deshalb schadete auch eine höhere Temperatursumme den Apfelbäumen nicht. Für die Größe des Frostschadens ist die Temperatursumme nicht verantwortlich. Ist ein Gehölz nach den ersten Stunden einer Frostbelastung nicht erfroren, erfriert es auch nicht nach Wochen (vgl. Winter 1962/63). TUMANOV und KRASAVZEV (1959) haben Zweige von nördlichen Gehölzen, schwarzer Johannisbeere und Apfel stufenweise bis unter -100°C gefroren und konnten sie am Leben erhalten.

Ein gänzlich anderes Problem ist natürlich die Periode des Auftausens eingefrorener Pflanzen. Vermutlich durchlaufen die Zellen und Gewebe beim Auftauen ähnliche kritische Punkte wie beim Gefrieren, denn ILJIN (1934) konnte nachweisen, daß unter bestimmten Bedingungen viele eingefrorene Zellen beim Auftauen sterben.

Zweifellos ist die Frostresistenz der Obstgehölze und vermutlich aller Gehölze ein temporärer (dynamischer) Zustand, der von der protoplasmatischen Reaktionsweise eines jeden Genotyps abhängt. Betrachtet man die sortentypische Abhärtungsfähigkeit als erbliche Anlage für die Frostresistenz, ist der Klimafaktor das steuernde Agens. Die Kühlung der Pflanze durch mäßige Kälte oder stufenweise Temperatursenkung und Tauwetter machen sich dann in

der Form der Härtung und Enthärtung bemerkbar. Für die diskutierten physiologischen Zustände der überwinternden Pflanzen (Härtung und Enthärtung) ist die Dauer der Einwirkung der kühlenden (härrenden) oder erwärmenden (enthärtenden) Temperaturen entscheidend. Die momentane Frostresistenz einer Pflanze hängt also einerseits immer von dem Klima ab, d. h. von der Einwirkungsdauer der abkühlenden Temperatur und der Art der härtenden Temperatur (langsame oder schnelle Abkühlung). Andererseits bestimmt die sortentypische Veranlagung der Pflanze, wie sie sich gegenüber diesen Faktoren verhält. Ein Genotyp verlangt eine kürzere, der andere eine längere Einwirkungsdauer der härtenden oder enthärtenden Temperaturen.

Eine frostresistente Sorte zeichnet sich also durch mehrere Merkmale aus:

1. Die Kälteadaption erfolgt sehr rasch und bereits oberhalb des Gefrierpunktes.
2. Im gehärteten Zustand kann eine große Temperaturspanne toleriert werden.
3. Langes Verharren im erreichten Härtungszustand¹.

3. Abschluß des Wachstums und Frostresistenz

Neben der direkten Frostmethode für die Selektion frostresistenter Obstgehölze können möglicherweise auch andere Faktoren, die mit der Frostresistenz korrelieren, herangezogen werden. Beobachtungen über den Wachstumsabschluß lassen vermuten, daß der Laubabfall als Kriterium des frühzeitigen Eintritts in die Ruhe gilt. Die rechtzeitige Beendigung des Wachstums (Holzreife) und Eintritt in die physiologische Ruhe (Dormanz) scheint die Voraussetzung für eine rechtzeitige Bereitschaft zur Kälteadaption zu schaffen, wodurch eine frühzeitige und gute Resistenz am Winteranfang gesichert wird.

Auf Grund seiner Untersuchung über den Zeitpunkt der Holzreife (festgestellt am Blattfall) im Vergleich zum Grad der Frostschäden an Apfelunterlagen sah sich bereits KARNATZ (1958a) zu einer gleichen Vermutung veranlaßt. Wie mangelnder Vegetationsschluß infolge außerordentlich hoher Regenmenge in Verbindung mit mangelndem Sonnenschein im Herbst sich nachteilig auf die Frostverträglichkeit der Obstgehölze auswirkte, konnte am Beispiel des Winters 1939/40 durch RUDORF, SCHMIDT und ROMBACH (1942, S. 605) nachgewiesen werden.

Zukünftige Untersuchungen müssen darüber Klarheit schaffen, inwieweit es möglich ist, den Laubfall als methodische Grundlage für eine frühe Selektion auf Frostresistenz zu benutzen. Jedenfalls wäre die Registrierung des Laubfalls für die Züchtung eine einfache und billige Selektionsmethode.

4. Hinweise für die Züchtung

Für die Züchtung ergeben sich aus den Untersuchungen wertvolle Hinweise. Von großer Bedeutung war die Feststellung, daß die aus den Gefrierversuchen mit dem fahrbaren Kälteaggregat ge-

¹ Es ist denkbar, daß die hochgradige Stabilität des Härtungszustandes, wie ihn die Sorte 'Hibernal' zeigt, durch die enorm schnelle Härtungsfähigkeit nur vorgetäuscht wird.

wonnenen Erkenntnisse sich in der Praxis extremer polnischer Winter im wesentlichen bestätigt haben. Eine Selektion von Apfelsämlingen nach künstlicher Frostbelastung ist mit Erfolg durchführbar. Die ersten bereits im Winter 1963/64 vorgenommenen Experimente sprechen dafür (Ergebnisse noch unveröffentlicht). Dabei muß aber besonders betont werden, daß nur eine dynamische Betrachtungsweise der Frostresistenz erfolgversprechend ist. Die vom Witterungsablauf abhängigen Härtungs- und Enthärtungszustände der Pflanzen modifizieren die Frostresistenz. Weiterhin ist bedeutungsvoll, daß die Fähigkeit der Pflanzen, auf bestimmte Witterungsabläufe (Frost, Tauwetter) in gleicher Zeiteinheit (Tage) mit einer mehr oder weniger großen Frostresistenz zu reagieren, genetisch bedingt ist. Daher ist es leicht einzusehen, daß der Versuch, die Frostresistenz von Zuchtmaterial zu bestimmen, fehlschlägt, wenn man es nur an einem oder auch drei winterlichen Terminen prüft.

Für die Selektion frostresistenter Zuchtmaterials darf die Suche nach sekundären Merkmalen nicht vernachlässigt werden. So wird man z. B. den phänologischen und einer Reihe von physiologischen Merkmalen mehr Beachtung schenken müssen. Besonders die physiologischen Merkmale sind wichtig, denn erst ein Einblick in die inneren Vorgänge in den Zellen bei der Härtung und Enthärtung gestattet es, Hinweise für die Züchtung zu geben. Wenn wir genau wissen, wie sich die lebende Zelle gegenüber Frosteinwirkungen verhält, können wir wirksame Selektionsverfahren ausarbeiten und anwenden.

Zusammenfassung

1. Die Frostresistenz einer Reihe von Apfelsorten, -klonen und -unterlagen wurde im Freiland unter Berücksichtigung des natürlichen Temperaturverlaufs geprüft. Es wurde mit künstlicher Kälte gearbeitet (-20 bis -30 °C), die ein fahrbares Kälteaggregat erzeugte.

2. Ohne künstliche oder natürliche Abhärtung erfrieren die meisten Apfelsorten bei -20 °C.

Eine stufenweise Absenkung der Temperatur steigert ebenfalls die Frostverträglichkeit bis unter -20 °C, wobei aber die Absenkung langsam erfolgen muß. Der größte Teil aller untersuchten Apfelsorten benötigt eine einwöchentliche Kühlperiode, um z. B. -30 °C tolerieren zu können.

Die abhärtende Wirkung natürlicher Kälte ist um so größer, je länger sie auf die Pflanzen einwirkt. Dabei ist mäßiger Frost ebenso wirksam wie langsam zunehmende Kälte.

3. Viele Apfelsorten werden im Mittwinter bereits nach 2–3tägiger Erwärmung (Tauwetter) enthärtet. Eine erneute Kälteeinwirkung härtet die Obstgehölze wieder ab. Nach einem langen strengen Winter werden die Apfelpflanzen im März nicht so schnell enthärtet wie nach kürzerer Kälte im Mittwinter. Häufig verharren solche Apfelsorten recht lange im Zustand der Abhärtung, die ihn auch schnell erlangen.

4. Es wurde der Versuch unternommen, die geprüften Apfelsorten nach ihrer Frostverträglichkeit zu gruppieren, wobei die Merkmale „Härtung“ und „Enthärtung“ starke Berücksichtigung fanden.

5. Eine Reihe phänologischer Beobachtungen erlaubt es, auf die Bedeutung des frühzeitigen Wachstumsabschlusses (Holzreife) für eine frühe Bereitschaft zur Abhärtung und damit für die Frostresistenz hinzuweisen.

6. In einer Versuchsanlage in Siejnik, Bez. Bialystok (VR Polen), stehen 20 Müncheberger Apfelneuzüchtungen hauptsächlich zur Überprüfung ihrer Frostresistenz unter extremen klimatischen Verhältnissen. Die Ergebnisse zeigen eine weitgehende Übereinstimmung mit den Ranglisten, die nach den Versuchen mit künstlichen Frosttemperaturen gewonnen wurden.

7. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit werden in Verbindung mit den Kenntnissen über die physiologischen Vorgänge bei der Härtung diskutiert.

Summary

1. Frost resistance of a number of apple varieties, clones and stocks was tested outdoors, taking natural temperature conditions into consideration. The work was done under refrigeration (-20 to -30 °C) produced by a portable cooling system.

2. Without artificial or natural hardening most apple varieties froze at -20 °C.

Stepwise lowering of temperature increases frost tolerance to below -20 °C; however, the temperature reduction has to be gradual. The majority of all apple varieties examined needed cooling over a period of one week, for instance, to enable them to tolerate -30 °C.

The hardening effect of cold weather is greater the longer the plants are exposed to it, and moderate frost is as effective as slowly increasing cold.

3. Many apple varieties become less hardy in midwinter after only 2–3 days of warm weather (thaw). Renewed cooling will again harden the fruit trees. In March, after a long, severe winter, the apple trees do not lose their hardiness as rapidly as they do after a short coldspell in midwinter.

Frequently those apple varieties which attained a hardened state quickly will maintain it for a long time.

4. An attempt is made to group apple varieties according to their frost tolerance, using the characteristics of "hardening" and "loss of hardening" as criteria.

5. A series of phenological observations points to a positive correlation between early maturity and early receptiveness to the hardening exposure with subsequent frost resistance.

6. In a series of experiments in Siejnik, Bez. Bialystok (VP Polen) 20 new strains of apple trees from Müncheberg were planted, mainly for the purpose of testing their frost resistance under extreme climatic conditions. The results show good agreement with classification obtained from experiments carried out in artificial freezing temperatures.

7. Results of the work presented are discussed within the frame of knowledge about physiological events during cold adaptation.

Herrn Dr. H. MURAWSKI danke ich sehr für die Anregungen und Diskussionen zu dieser Arbeit. Für die wertvolle Hilfe, die mir Frau U. HEIN bei der Durchführung der zahlreichen Bonituren leistete, möchte ich herzlich danken.

Literatur

1. BUSCH, R.: Stand und Entwicklung der Obstversorgung in der Deutschen Demokratischen Republik. Diss. Humboldt-Universität Berlin, 1958. — 2. DEXTER, S. T.: Salt concentration and reversibility of ice-formation as related to the hardiness of winter wheat. *Plant Physiol.* **9**, 601–610 (1934). — 3. ILJIN, W. S.: Über den Kältetod der Pflanzen und seine Ursachen. *Protoplasma* (Leipzig) **20**, 105–124 (1934). — 4. JEREMIAS, K.: Zur Physiologie der Frosthärtung unter besonderer Berücksichtigung von Winterweizen. *Planta (Berl.)* **47**, 81–104 (1956). — 5. KARNATZ, H.: Untersuchungen über die Frostresistenz der Obstgehölze im Baumschulstadium. II. Über die relative Frosthärtigkeit unveredelter Pflaumensämlings- und Kirschenunterlagen. *Der Züchter* **26**, 178–187 (1956a). — 6. KARNATZ, H.: Untersuchungen über die Frostresistenz der Obstgehölze im Baumschulstadium. III. Über die relative Frosthärtigkeit unveredelter Kernobstunterlagen. *Der Züchter* **26**, 307–315 (1956b). — 7. KARNATZ, H.: Untersuchungen über die Frostresistenz der Obstgehölze im Baumschulstadium. IV. Über die wechselseitige Beeinflussung der Frostresistenz zwischen Unterlage und Edelreis beim Apfel. *Der Züchter* **28**, 323–328 (1958a). — 8. KARNATZ, H.: Untersuchungen über das Verhalten junger Apfelbäume gegenüber tiefen Temperaturen. Mitt. f. d. Mitglieder des Obstbauversuchsringes d. Alten Landes e.V. und d. Arbeitsgr. Baumschulen im Obstbauversuchsr. **1/2**, 54–60 (1958b). — 9. KEMMER, E., und F. SCHULZ: Das Frostproblem im Obstbau. München; Bayr. Landwirtschaftsverlag 1955. — 10. KESSLER, W.: Über die inneren Ursachen der Kälteresistenz der Pflanzen. *Planta (Berl.)* **24**, 312–352 (1935). — 11. KESSLER, W., und R. RUHLAND: Weitere Untersuchungen über die inneren Ursachen der Kälteresistenz. *Planta (Berl.)* **28**, 159–204 (1938). — 12. KOHN, H.: Experimenteller Beitrag zur Kenntnis der Frostresistenz von Rinde, Winterknospen und Blüten verschiedener Apfelsorten. *Gartenbauwiss.* **24(6)**, 314–329 (1959). — 13. KRASAVZEV, O. A.: Die Härtung von Laubgehölzen für extrem niedere Temperaturen (russ.). *Izvestija Akademii Nauk SSSR* **26**, 228–232 (1961). — 14. KÜHNAU, J.: Lebensvorgänge bei tiefen Temperaturen. *Naturwiss. Rundschau* **17**, 465–467 (1964). — 15. LEBEDINCEV, E.: Untersuchungen über die wasserbindende Kraft der Pflanzen im Zusammenhang mit ihrer Dürre- und Kälteresistenz. *Protoplasma* (Leipzig) **10**, 53–81 (1930). — 16. LEVITT, J., und G. W. SCARTH: Frost-hardening studies with living cells. *Can. J. Res. C* **14**, 267–305 (1936). — 17. LEVITT, J.: The Hardiness of Plants. New York: Academic Press 1956. — 18. LOEWEL, E. L., und H. KARNATZ: Untersuchungen über die Frostresistenz der Obstgehölze im Baumschulstadium. I. Problemstellung und Versuchsmethodik. *Der Züchter* **26**, 117–120 (1956). — 19. LUYET, B. J., und P. M. GEHENIO: Life and death of low temperature. *Normandy-Missouri* 1940. — 20. MAURER, E., und L. HEFT: Über das Verhalten von Apfelunterlagen-Klonen der Formenkreise *Malus baccata/prunifolia* und *Malus communis* in der Baumschule. *Z. f. Pflanzenz.* **39**, 357–368 (1958). — 21. MAURER, E., G. FRIEDRICH und H. ATHENSTÄDT: Das Verhalten bekannter und neu selektierter vegetativ vermehrbarer *Malus communis*- und *Malus baccata/prunifolia*-Unterlagen in Marquardt und Waßmannsdorf während der Zeit des Ertragsanstiegs. *Z. f. Pflanzenz.* **39**, 369–402 (1958). — 22. MITTELSTÄDT, H.: Untersuchungen über zellphysiologische Grundlagen der Frostresistenz beim Apfel. Diss. Müncheberg, 1964. — 23. MURAWSKI, H.: Beiträge zur Züchtungsforschung beim Apfel. VI. Untersuchungen über die Vererbung der Frostresistenz an Sämlingen der Sorte Glogierowka und Jonas Hannes. *Der Züchter* **31**, 52–57 (1961). — 24. MURAWSKI, H.: Probleme und Aussichten bei der Züchtung frostresistenter Obstsorten. *Sitzungsb. d. DAL z. Berlin* **11**, 39–59 (1962). — 25. MURAWSKI, H., und H. MITTELSTÄDT: Beobachtungen über die Frosthärtigkeit der Apfelsorte 'Hibernal'. *Intensivobstbau* **2**, 4–6 (1962). — 26. MÜLLER, G.: Untersuchungen über die Kältefestigkeit von Pflaumensorten. *Z. f. Pflanzenz.* **23**, 91–144 (1941). — 27. PISEK, A.: Versuche zur Frostresistenzprüfung von Rinde, Winterknospen und Blüten einiger Arten von Obstgehölzen.

Gartenbauwiss. 23(5), 54–74 (1958). — 28. RUDOLF, W., M. SCHMIDT und R. ROMBACH: Ergebnisse einer Erhebung über die im Winter 1939/40 an Obstgehölzen im Großdeutschen Reich aufgetretenen Frostschäden. Gartenbauwiss. 16, 550–708 (1942). — 29. SCHERHAG, R.: Die größte Kälteperiode seit 223 Jahren. Naturwiss. Rundschau 16, 164–174 (1963). — 30. SCHMIDT, M.: Beiträge zur Züchtung frostwiderstandsfähiger Obstsorten. Der Züchter 14, 1–19 (1948). — 31. SCHWECHTEN, A.: Untersuchungen über die Kältefestigkeit von Obstunterlagen. Gartenbauwiss. 9, 575 bis 616 (1935). — 32. TAMÁS, P.: Untersuchungen zur Charakterisierung der Winterresistenz der Schwarzen und Roten Johannisbeere. Der Züchter 30, 242–247 (1960). — 33. TAMÁS, P.: Methodologische Untersuchun-

gen zur Charakterisierung der Frostresistenz in der Gattung Rubus. Gartenbau 26(8), 57 (1961). — 34. TUMANOV, I. I., und O. A. KRASAVZEV: Die Abhärtung nördlicher Holzgewächse durch negative Temperaturen (russ.). Dokl. Akad. Nauk SSSR 6, 654–667 (1959). — 35. ULLRICH, H.: Biologische Kältewirkung und plasmatische Frostresistenz (unter besonderer Berücksichtigung der Pflanze). Protoplasma (Wien) 38, 165–183 (1943). — 36. WILHELM, A. F.: Experimentelle Untersuchungen über die Kälteresistenz von Reben und Obstgehölzen. Gartenbauwiss. 8, 77–114 (1934). — 37. ZWINTZSCHER, M.: Experimentelle Untersuchungen zur Züchtung von Obstgehölzen mit frostwiderstandsfähigen Fruchtknospen und Blüten. I. Malusformen. Z. f. Pflanzenz. 26, 245–352 (1944).

Aus dem Institut für Forstpflanzenzüchtung Graupa der Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin, Abt. Pappelforschung

Beiträge zur Kenntnis der Sortengruppe *Populus × berolinensis* Dipp. und deren Verwandten

Von WOLFGANG BORSDORF

Mit 8 Abbildungen

Einleitung

Auf die Mehrklonigkeit von *Populus × berolinensis* Dipp. hat u. a. JOACHIM (1956) hingewiesen. MÜLLER (1959, S. 1099) nimmt „3–5, vielleicht noch mehr“ Sorten an, wovon „mindestens eine weiblich sein muß“. Die Erstbeschreibung von KOCH (1865) legt eine Mehrklonigkeit von vornherein nahe.

Die praktische Bedeutung des Problems liegt darin, daß die einzelnen Klone offensichtlich in verschiedenem Maße resistent gegen den Bakterienkrebs der Pappel sind (vgl. z. B. JOBLING 1963, S. 11). Dies dürfte einer der Gründe dafür sein, daß die Ansichten über den Anbauwert von *P. × berolinensis* ländereiweise recht unterschiedlich sind. Die günstige Beurteilung für große Gebiete des europäischen Teils der Sowjetunion (KOLESNIKOV 1960; ŠČEPOT'EV u. PAVLENKO 1962) läßt sich aus dem kontinentalen, den Bakterienkrebsreger offenbar hemmenden Klima (FAO 1958, S. 334; JOACHIM 1964, S. 178ff.) erklären. Dagegen muß es angesichts der krebsverseuchten, das derzeitige Anbauverbot bedingenden Bestände von *P. × berolinensis* in Deutschland zunächst verwundern, daß diese Hybride gerade im atlantischen Klima Englands von PEACE (1952, S. 8) als anscheinend krebsresistent betrachtet wird, während der gleiche Autor im Einklang mit den Erfahrungen in Nordwestdeutschland (MÜLLER u. SAUER 1961, S. 25ff.) z. B. *P. × euram.* cv. 'Brabantica' als extrem empfindlich gegenüber Bakterienkrebs bezeichnet (l. c. S. 8). Eine Anmerkung der englischen Pappelklonliste (Forestry Commission, 1958, S. 42) verstärkte unsere Annahme, daß in England vorwiegend ein anderer Klon von *P. × berolinensis* als in Deutschland angebaut wird. Es heißt dort: «Although *P. „berolinensis“* is normally resistant to canker two cases of natural attack have now been found...»

Im Hinblick auf den hohen Cellulosegehalt (SCHÖNBACH 1956), die günstigen Wuchsleistungen

und den Zierwert von *P. × berolinensis* schien es daher sinnvoll, die in Graupa vorhandene und durch die Freundlichkeit zahlreicher ausländischer Fachkollegen¹ stark erweiterte Klonsammlung umfassend zu sichten. Da sich in der Literatur zahlreiche Hinweise auf die morphologische Ähnlichkeit von „*P. Petrowskiana*“ zu *P. × berolinensis* finden (KRÜSSMANN 1937, JOACHIM 1956, S. 11, PEACE 1952, S. 8, BUGAŁA 1959, S. 146, MÜLLER u. SAUER 1961, S. 28), wurden alle unter dieser Bezeichnung gelieferten Klone von vornherein in die Untersuchung einbezogen.

1. Methodik

Auf Grund der Erfahrungen von MÜLLER und SAUER (1961) sind feinere Sortenunterschiede am leichtesten anhand von jungen Steckholzaufwüchsen zu fassen. Auf diese Weise lassen sich auch am ehesten störende Einflüsse von Topophysis (SCHRÖCK 1956, LUX 1961, MAY 1963) vermeiden. In den Jahren 1963 und 1964 wurden daher 1- und 2jährige Aufwüchse von 45 Klonen morphologisch und phänologisch untersucht. Hinsichtlich der einzelnen Merkmale konnten die Erkenntnisse von MÜLLER und SAUER (l. c.) sowie eigener methodischer Vorarbeiten (BORSDORF 1964, MORGENEYER und BORSDORF 1965) genutzt werden. Von jedem Klon wurden 10 Steckhölzer im Verband 70 × 50 cm in einem Vergleichsquartier ausgesteckt.

Überdies standen in den verschiedenen Sortenregistern des Instituts von 17 Klonen dieses Sortiments 5–14jährige Bäume zur Verfügung.

Die Befunde von GÖTZE (1962, 1964) sowie BORSDORF (1965) legten es nahe, bereits an den jungen Pappeln etwaigen klonspezifischen Rohdichte-Unterschieden nachzuspüren. An einer Auswahl von 16 Klonen wurden deshalb 3 cm lange astfreie Stammstücke von je 2 zweijährigen Stämmchen aus 10...15 cm und 60...65 cm Höhe entnommen und an den Spalthälften die Darrdichte nach dem Verfahren von SCHÖNBACH (1960, S. 83) bestimmt.

¹ Besonderer Dank gebührt den Herren Dr. BUGATA-KÓNIK, Mgr. HEJMANOWSKI-Warszawa, Mr. JOBLING-Alice Holt Lodge, Dr. KOPECKY-Sárvár, Prof. Dr. MARCET-Zürich, Ing. MILEWSKI-Warszawa und Prof. Dr. MROCKIEWICZ-Poznań.