Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss foresty journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 108 (1957)

Heft: 4-5

Artikel: Untersuchungen über den Einfluss der pH-Reaktion auf das Austreiben und die Bewurzelung von Pappelstecklingen verschiedener Klone

Autor: Eiberle, K.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-767611

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen
Journal forestier suisse

108. Jahrgang April/Mai 1957 Nummer 4/5

Untersuchungen über den Einfluß der *p*H-Reaktion auf das Austreiben und die Bewurzelung von Pappelstecklingen verschiedener Klone

von *K. Eiberle,* Zürich
(Aus dem Institut für Waldbau der ETH)

176.1/232.328

Inhalt

Vorwort
1. *Allgemeines:*
   1.1 Einleitung
   1.2 Problemstellung
   1.3 Methodik, Versuchsanordnung, Aufnahmeverfahren
   1.4 Beschreibung des verwendeten Pflanzenmaterials
2. *Untersuchungsergebnisse:*
   2.1 Das Austreiben:
      21.1 Die Prüfung der Austreibestadien
      21.2 Die Prüfung der *p*H-Werte
      21.3 Die Prüfung der Klone
   2.2 Das Triebswachstum:
      22.1 Die Prüfung aufeinanderfolgender Meßtage
      22.2 Die Prüfung der *p*H-Werte
      22.3 Die Prüfung der Klone
   2.3 Die Bewurzelung:
      23.1 Die Prüfung aufeinanderfolgender Meßtage bei der Wurzelzahl und der Gesamtwurzellänge
      23.2 Die Wurzelzahl:
         232.1 Die Prüfung der *p*H-Werte
         232.2 Die Prüfung der Klone
      23.3 Die Gesamtwurzellänge:
         233.1 Die Prüfung der *p*H-Werte
         233.2 Die Prüfung der Klone
      23.4 Folgerungen aus 23.2 und 23.3
         234.1 Die Prüfung der *p*H-Werte
         234.2 Die Prüfung der Klone
      23.5 Die Art der Bewurzelung
3. *Zusammenfassung und Folgerungen:*
Literaturverzeichnis

Verzeichnis des Anhanges und der Beilagen der Originalarbeit:

I Blätter 1—3: Mittelwerte und Streuungen zu den Austreibestadien
II Blätter 1—4: Austreibestadien: Die Prüfung der Klone
III Beilage: Triebhöhenkurven

IV	Blätter 1—6:	Trieblänge: Die Prüfung der *p*H-Werte
V	Blätter 1—5:	Trieblänge: Die Prüfung der Klone Die Kombinationen zur Klasse 2
	Blätter 6—17:	Trieblänge: Die Prüfung der Klone Die Kombinationen zu den Klassen 3—7
VI	Beilage:	Graphische Darstellung der Wurzellängen nach Knospenabschnitten
VII	Blätter 1—4:	Wurzelwachstum: Die Prüfung der *p*H-Werte Wurzelzahl
VIII	Blätter 1—4:	Wurzelwachstum: Die Prüfung der Klone Wurzelzahl
IX	Blätter 1—4:	Wurzelwachstum: Die Prüfung der *p*H-Werte Wurzellänge
X	Blätter 1—4:	Wurzelwachstum: Die Prüfung der Klone Wurzellänge
XI	Blätter 1—6:	Photographien der Stecklinge 57 Tage nach Versuchsbeginn

Vorwort

Die Aufgabenstellung vorliegender Untersuchung bestand darin, in Ergänzung der am Institut für Waldbau an der ETH bereits erschienenen oder ins Programm der Pappelforschung aufgenommenen kurzfristigen Versuchsarbeiten, die Kenntnis über das ökologische Verhalten einer größern Anzahl von Pappelklonen auch auf den Einfluß der Wasserstoffionenkonzentration auszudehnen.

In der Folge benützte ich den kurzen Studienunterbruch nach absolvierter forstlicher Praxis (23.1.55) bis Semesterbeginn (19.4.55) zum Studium der methodischen Probleme und der Versuchsanordnung. Ebenso konnte die Durchführung des Versuches vor Semesterbeginn abgeschlossen werden, so daß das gesamte damit gewonnene Zahlenmaterial zur Auswertung als Diplomarbeit zur Verfügung stand.

Herrn Prof. Dr. H. Leibundgut bin ich zu großem Dank verpflichtet für die Zurverfügungstellung der Institutsräume und -einrichtungen sowie die Gewährung der finanziellen Mittel, welche die Durchführung dieses Versuches erforderte. Herrn Dr. E. Marcet (Institut für Waldbau, ETH) und Herrn Dr. Bach (Agr.-chem. Institut, ETH) verdanke ich mannigfaltige Anregungen methodischer Natur, und Herr Ernst Ott, stud. forest., führte während meiner dreiwöchigen Abwesenheit im Militärdienst die Versuchsprotokolle und oblag der Versuchspflege mit großer Hingabe. Auch ihm sei an dieser Stelle bestens gedankt.

Das sehr umfangreiche Tabellenwerk, die graphischen Darstellungen sowie die Photographien der Originalarbeit werden hier gekürzt, und nur soweit dieselben dem besseren Verständnis des Dargebotenen dienen, wiedergegeben. Interessenten ist die Einsichtnahme in den Anhang der Originalarbeit jederzeit möglich.

1. Allgemeines

1.1 *Einleitung: Die Erforschung des pH-Wertes als Bodenfaktor und allgemeine Bedeutung dieser kurzfristigen Versuchsarbeit.*

Die ersten Arbeiten über den Einfluß der Wasserstoffionenkonzentration auf die Vegetation gehen schon auf die erste Hälfte des 19. Jahrhunderts zurück. Sie verweisen auf die Unterschiede in der Beschaffenheit der Pflanzendecke in den Kalk- und Urgebirgsalpen, auf die sogenannten «stellvertretenden Arten». Um die Jahrhundertwende waren es dann vor allem die Moorforscher, denen es gelang, die Azidiphilie von *Sphagnum*-Arten nachzuweisen. Erst mit der Entwicklung genauer Meßmethoden für die Wasserstoffionenkonzentration (elektrometrische oder Indikatormethoden) erlebte die Forschungsarbeit um diesen Bodenfaktor eine stetige Intensivierung, wobei vorerst die Pflanzensoziologie und die Bodenkunde mit statistischen Untersuchungen auf natürlichen Standorten die Wirkung der Bodenreaktion und der Pufferung des Bodens auf einzelne Arten oder Pflanzengesellschaften untersuchten. Man versuchte, die optimalen *p*H-Bereiche für eine Art oder Gesellschaft abzugrenzen, wobei sich aber schon bald das Bedürfnis geltend machte, nicht nur die Verbreitung, sondern auch die Höhe des Deckungsgrades, die Vitalität der Pflanzen sowie auch die Vegetationsveränderungen in diesem Zusammenhang zu beobachten. Dabei mußte der Einfluß der Bodenreaktion stets im Rahmen der Gesamtwirkung der Standortsfaktoren beurteilt werden. Bekannt sind ferner auch die Waldtypen Cajanders, welcher über gewisse Leitpflanzen eine Bonitierung der Waldböden vorgenommen hat und zwischen Azidität (als Ausdruck für den Nährstoffgehalt der Böden) und Ertrag eine ziemlich enge Korrelation feststellte. Pflanzenpathologische Untersuchungen verweisen auf die Bedeutung der Bodenreaktion für das Auftreten gewisser Krankheiten, und über die niedrigstehenden Organismen existieren zahlreiche Arbeiten. So weiß man heute namentlich auch um die Empfindlichkeit von Mykorrhizenpilzen, welche ja das Gedeihen der Nadelbäume beeinflussen, gegenüber Änderungen der *p*H-Reaktion.

Relativ jung sind autökologische Untersuchungen über den Einfluß des *p*H-Wertes auf die Entwicklung höherer Pflanzen, in denen versucht wird, dessen Wirkung möglichst als unabhängige Variante zur Darstellung zu bringen.

Wie man aus den folgenden Ausführungen leicht erkennen wird, lassen sich die mit vorliegender Versuchsanordnung gewonnenen Erkenntnisse nicht ohne weiteres verallgemeinern. Aber schon die unerwartet große Variationsbreite über einen *p*H-Bereich, welcher die natürlichen Grenzen weit überschreitet und die darin festgestellte Gleichförmigkeit des Ablaufes gewisser Wachstumserscheinungen deuten darauf

hin, daß die Wirkung der Wasserstoffionenkonzentration je nach der Konstellation der übrigen Wachstumsfaktoren eine verschiedene ist. Aus aufnahmetechnischen Gründen mußte die Wasserkultur zur Anwendung gelangen, so daß die ganze Untersuchung in erster Linie ein ernährungsphysiologisches Problem darstellte. Die Frage, ob das Gesetz des Minimums in Form der Ertragskurven nach Mitscherlich (1931) auch für den *p*H-Wert (entsprechend den Düngergaben) in die strenge mathematische Form einer logarithmischen Funktion gekleidet werden kann, könnte nur durch entsprechend angelegte Parallelversuche entschieden werden. Beim Zusammenwirken verschiedener Düngergaben sind die Ertragskurven zueinander normal affin, wobei das Affinitätsverhältnis davon abhängig ist, wie weit entfernt die übrigen Düngergaben sich vom Optimum befinden. Da diese Fragen nicht im Detail abgeklärt werden konnten und zudem die Gesetzmäßigkeiten des Zusammenwirkens der übrigen Wachstumsfaktoren nicht genau bekannt sind, so muß man erwarten, daß das Gesetz des Minimums in einer strengen mathematischen Form nur in erster Annäherung Gültigkeit besitzt.

In erster Annäherung ist es aber doch möglich, für ein Klon die Abhängigkeitstendenz der Wachstumserscheinungen vom *p*H-Wert des Nährsubstrates auch für andere Faktorenkonstellationen zu beurteilen, wenn auch die absoluten Zahlen nicht verallgemeinert werden dürfen. Die Gruppierung der Klone nach ihrem ökologischen Verhalten besitzt aber nur für die speziellen Versuchsbedingungen Gültigkeit.

Die Austreibestadien, das Triebwachstum und das Bewurzelungsvermögen sind vor allem dazu geeignet, gewisse Klone oder Klongruppen am ökologischen Verhalten kurzfristig zu unterscheiden, während die Äußerungen der Vitalität der gebildeten Wurzeln in Berücksichtigung oben beschriebener Gesetzmäßigkeiten auch praktische Bedeutung besitzen. Dabei weiß man aber schon aus Erfahrung, daß die Art der Bewurzelung in Böden erheblich von derjenigen in Gefäßpflanzen abweichen kann, indem weniger Rindenwurzeln als vielmehr Adventivwurzeln am Kallus der Schnittfläche gebildet werden.

1.2 *Problemstellung:*

Für die vorliegende Arbeit wurde nun die Aufgabe gestellt, den Einfluß der *p*H-Reaktion des «Nährsubstrates» auf das Austreiben und die Bewurzelung von Pappelstecklingen verschiedener Klone zu untersuchen.

Dabei kam es aber darauf an, die pH-Reaktion möglichst als unabhängige, isolierte Variable zur Geltung zu bringen.

Im speziellen stellen sich dabei folgende Fragen:

1. Bewirkt die *p*H-Reaktion Unterschiede im zeitlichen Verlauf des Austreibens? Sind eventuell auch Äußerungen auf den qualitativen Ablauf vorhanden?

2. Das erste Triebwachstum wird als Ausdruck der Vitalität der oberirdischen Pflanzenteile betrachtet. Wie unterscheiden sich die Wachstumskurven nach der *p*H-Reaktion?
3. Bestehen Unterschiede in der Art und Weise der Bewurzelung nach Art (Entstehung) der Wurzeln, Ort der Bewurzelung usw.?
   Das Wachstum der Primärwurzeln wird als Ausdruck der Vitalität der gebildeten Wurzeln betrachtet. Unterscheiden sich die Wurzelwachstumskurven nach der *p*H-Reaktion?
4. Bestehen eventuell Beziehungen zwischen Austreiben, Triebwachstum und Bewurzelung? Wie werden diese Beziehungen durch die *p*H-Reaktion beeinflußt?

Das Gleichgewicht zwischen den *p*H-Werten des Nährsubstrates und des Zellsaftes ist für die physiologischen Vorgänge in der Pflanze von hoher Bedeutung. Letzterer beeinflußt das Redoxpotential des Gewebesaftes und damit die Atmung. Aber auch wichtige Enzymwirkungen sind von der Wasserstoffionenkonzentration abhängig. Damit ist schon gesagt, daß mit der Beeinflussung dieser inneren Wachstumsfaktoren auch eine Modifikation der Wachstumserscheinungen erwartet werden darf.

Um die Bewurzelung unter stetiger Kontrolle zu haben, kam für die Versuchsanlage lediglich die Wasserkultur in Frage. Damit aber die Wirkung der *p*H-Reaktion der «Nährlösung» möglichst als isolierte Variable zur Darstellung gelangte, wurden in Berücksichtigung folgender ernährungsphysiologischer Gesetzmäßigkeiten nachstehende Maßnahmen getroffen:

1. Die Elektion und die Ionenkonkurrenz:

Charakteristisch für die Nährstoffaufnahme der Pflanzen ist das beschränkte Wahlvermögen für Ionen. Das Wahlvermögen für bestimmte Ionen ist nicht absolut, aber die Pflanze ist doch in der Lage, das gegenseitige Mengenverhältnis «aufgenommene Ionen — in der Nährlösung vorhandene Ionen» zugunsten gewisser Ionen zu verschieben. Dieser Elektion untergeordnet kennt man auch die Erscheinungen der Ionenkonkurrenz, wonach die Aufnahme eines Ions von der Konzentration der andern Ionenarten abhängig ist.

— Da man im speziellen die physiologische Wirkung einzelner Ionen nicht kennt, wurde von der Verwendung einer Nährlösung oder eines Puffers abgesehen. Die Stecklinge bestreiten also sämtliche Energie- und Stoffumsetzungen aus den Reservestoffen.

— Bekanntlich sind gewisse Pflanzen befähigt, die H-Ionenkonzentration der Nährlösung selbsttätig zu ändern. Es ergibt sich daraus die Notwendigkeit, die *p*H-Werte häufig zu kontrollieren und, wenn nötig, zu korrigieren.

— Man war ferner bestrebt, zur Titrierung der verschiedenen *p*H-Werte Säuren oder Basen zu verwenden, bei denen erwartet werden darf, daß die physiologische Wirkung der Gegenionen keine ausgeprägte ist, sowohl was deren direkte Wirkung als auch ihr Zusammenwirken mit andern Ionen anbetrifft.

Zur Verwendung gelangten reine konzentrierte Schwefelsäure (H_2SO_4) und Natronlauge (NaOH), wobei jeweilen ein *p*H-Wert mit der minimalen Säure- bzw.

Basenmenge hergestellt wurde. Für Korrekturen genügte eine «tropfenweise Rücktitration» mit Base im sauren *p*H-Bereich und umgekehrt.

Das Na^+-Ion ist vom ernährungsphysiologischen Standpunkt aus betrachtet ein Ballaststoff, welcher jedoch nach einiger Zeit durch Erhöhung des Aschengehaltes der Blätter deren Assimilationsvermögen erschwert. In höhern Konzentrationen kann es eventuell auch den physikalisch-chemischen Zustand des Protoplasmas beeinflussen (Pflanzenhabitus; induzierte Sukkulenz).

Das SO_4''-Ion hingegen ist ein Nährion, welches von der Pflanze zur Assimilation der Eiweißstoffe gebraucht wird. In höhern Konzentrationen bewirkt es aber ähnliche Erscheinungen wie ein Ballaststoff.

Um die Wirkung dieser beiden Gegenionen in unserm Versuchsplan gegenüber den Wasserstoff- und Hydroxylionen genau abzuklären, bedürfte es aber noch weiterer Parallelversuche.

2. Der Ionenantagonismus:

Reine Lösungen sind in allen Fällen giftig. Als Nährsubstrat muß eine ausgeglichene Lösung verwendet werden.

— Zur Anwendung gelangte daher Brunnenwasser.

1.3 *Methodik, Versuchsanordnung, Aufnahmeverfahren:*

Am 7.2.1955 wurden die Bäder kolorimetrisch mit Oxyphenstreifen auf 0,2 *p*H-Einheiten genau titriert. Um die isolierte Wirkung der *p*H-Reaktion einmal grundsätzlich zu prüfen, wurden die *p*H-Werte weit über die Grenzen ausgedehnt, innerhalb derer natürlicherweise die Stoffaufnahme durch die Pflanzen erfolgt. Mit einem Intervall von 1,8 *p*H-Einheiten wurden folgende Werte ausgewählt:

*p*H-Wert:	2,4	4,2	6,0	7,8	9,6	11,4
			5 ←———	———→ 8		

(Bereich der natürlichen Stoffaufnahme durch die Pflanzen)

Je 5 Stecklinge von 8 verschiedenen Klonen wurden noch am selben Tag in alle *p*H-Werte eingestellt. Dabei waren die Stecklinge an gekerbten Holzleisten mit Gummibändern über der Lösung derart befestigt, daß dieselben einzeln und leicht herausgelöst werden konnten (Vermeiden von Beschädigungen an den Wurzeln). Als Behälter dienten 20litrige Akkumulatorengläser (290 × 195 × 320 mm). Die Verkleidung der Glasgefäße mit schwarzem Papier unterblieb, da offenbar für diese kurzfristigen Versuche keine Schädigung der Wurzeln durch die Einwirkung von Licht festgestellt werden konnte [1].

Täglich wurde jedes Glas 5 Minuten lang mittels Druckluft und eines Kieselgurausströmers durchlüftet, und eine vollständige Erneuerung der Bäder erfolgte jeweils nach Ablauf von 4 Wochen.

Um die übrigen äußern Wachstumsfaktoren über die Versuchsdauer möglichst konstant zu halten, wurden die Behälter in zwei größere Glaskasten verbracht, welche im Laboratorium des Institutes für Waldbau an der ETH aufgestellt wurden. Die Kasten waren zur Durchlüftung mit Schiebern versehen. Um ein einheitliches Licht-

[1] Mündliche Mitteilung von Herrn Dr. E. Marcet, Institut für Waldbau an der ETH.

klima in beiden Kasten zu gewährleisten, wurden dieselben mit schwarzem Papier vollständig verkleidet, und die Stecklinge dann künstlich, je Kasten mit einem Beleuchtungskännel (Belmag Zürich), beleuchtet. Jeder Kännel enthielt zwei Leuchtröhren (Sylvania Daylight Fluorescent Lamps, 40 Watt). Belichtungsdauer: 12 Stunden pro Tag von 0600—1800 mit automatischer Schaltung.

Die Temperaturverhältnisse wurden während der ganzen Versuchsdauer kontrolliert, mit täglich drei Ablesungen auch an Maximum- und Minimumthermometer (0800, 1300, 1800 h). Es ergaben sich dabei folgende Werte:

Lufttemperatur in den Kasten: 20^0 C $\pm 2^0$

Wassertemperatur der Bäder: 18^0 C $\pm 0{,}5^0$

Die relative Luftfeuchtigkeit schwankte zwischen 60—80 %.

Die *p*H-Werte wurden auch täglich kontrolliert und, wenn nötig, mit tropfenweiser Zugabe von H_2SO_4 oder NaOH korrigiert. Die Werte blieben aber oft über mehrere Tage unverändert.

In jedem Kasten befanden sich je ein Behälter von allen 6 *p*H-Werten in folgender Anordnung:

Kasten 1:	2,4	4,2	6,0	7,8	9,6	11,4
Kasten 2:	7,8	9,6	11,4	2,4	4,2	6,0

←————————————————→

stetige Abnahme des Lichtgenusses nach beiden Seiten

Jedes Glas enthielt 4 Klone, welche zu je 5 Stecklingen an Holzleisten befestigt waren. Die Leisten wurden einfach auf dem Gläserrand aufgelegt, und der Abstand von Steckling zu Steckling war so bemessen, daß während der Zeit der Wurzelmessung Beschädigungen vermieden werden konnten, und sich im Triebwachstum keine allzu großen Konkurrenzerscheinungen geltend machen konnten.

Der ganze Versuchsplan umfaßte 8 Versuchseinheiten (Klone), welche zu je 4 in einem Kasten auf 6 verschiedene Verfahren (*p*H-Werte) aufgeteilt waren. Das Total der verwendeten Stecklinge betrug daher 240 Stück.

Um einen einwandfreien Vergleich der sechs verschiedenen Verfahren möglichst zu gewährleisten, wurde den wichtigsten systematischen Fehlerquellen mit folgenden Maßnahmen begegnet:

a) Konkurrenzerscheinungen beim Triebwachstum:
   — Die Anordnung der 4 verschiedenen Klone in einem Glas wurde täglich zufällig geändert.

b) Ungleichheiten in der Zusammensetzung der Bäder in den beiden Kasten (kleinste Unterschiede im pH-Wert; durch Korrekturen bedingtes abweichendes Verhältnis $Na^+ : SO_4''$):
   — Täglich wurden für alle 4 Klone die Kasten gewechselt.

c) Ungleichheiten in der Stellung zum einfallenden Licht: Die Beleuchtungskännel konnten aus Platzmangel nicht im Innern der Kasten angebracht werden. Der Lichteinfall in der Normalebene zu den Leuchtröhren war daher etwas schief auf die Oberfläche der Gläser.
   — Täglich wurden die Stecklinge zufällig in ihrer Stellung zum Licht neu angeordnet.

d) Die wichtigste, auch durch das Lichtklima bedingte Fehlerquelle konnte nicht vollständig eliminiert werden. Die äußersten Gläser obenstehender Reihenfolge erhielten natürlich weniger Licht als die innern.
   — Durch Vertauschen der äußersten und innersten Gläser in den beiden Kasten wurde die Wirkung dieser Fehlerquelle ebenfalls herabgesetzt; es war jedoch nicht mehr möglich, die vollen Gläser in kurzen Zeitabständen zyklisch zu vertauschen.

Die Aufnahmeverfahren für die verschiedenen Wachstumserscheinungen gestalteten sich folgendermaßen:

1. Das Austreiben: Täglich zur selben Stunde wurde der Entwicklungsstand der obersten Knospe taxiert, wobei folgende vier Austreibestadien unterschieden wurden:

   Stadium I: Knospe angeregt, grün und geschwellt oder nur geschwellt.
   Stadium II: Knospe von Blattspitzen durchbrochen.
   Stadium III: Blätter frei.
   Stadium IV: Blätter entfaltet.

2. Das Triebwachstum: Nachdem die meisten Stecklinge das Stadium IV ausgebildet hatten, wurden die Trieblängen alle 7 Tage auf Millimeter genau gemessen.
3. Die Bewurzelung: Nach Erscheinen der ersten Wurzeln wurden alle zwei Tage die Längen der gebildeten Primärwurzeln gemessen. Dazu wurde für jeden *p*H-Wert in einer größern Schale dieselbe *p*H-Reaktion bereitgestellt, damit die Wurzelmessung, die stets längere Zeit in Anspruch nahm, ohne Schädigung der Wurzeln durch Antrocknen vorgenommen werden konnte. Die Messung erfolgte ebenfalls auf Millimeter genau, getrennt nach Knospenabschnitten. Die Art der Wurzelbildung wurde dadurch berücksichtigt, daß die Aufnahmen zwischen Rindenwurzeln (Proventivwurzeln) und Kalluswurzeln (Adventivwurzeln an der unteren Schnittfläche) unterschieden. Der Zeitpunkt der Ausbildung der Sekundärwurzeln wurde für jede Primärwurzel ebenfalls festgehalten.

1.4 *Das verwendete Pflanzenmaterial:*

Am 7.2.1955 wurden von ein- oder mehrjährigen (Mutterstöcken), aufrechtwachsenden Leittrieben pro Klon je 30 Stecklinge geschnitten, welche möglichst auf 18 cm Länge ausgehalten wurden. Zur Verfügung standen 8 verschiedene Klone, welche nach ihrer voraussichtlichen standörtlichen Eignung sich in ihren Ansprüchen an den Nährstoffgehalt und den *p*H-Wert des Bodens deutlich unterschieden. Die Sortenzugehörigkeit und das Geschlecht war nicht für alle Klone feststellbar. Sämtliche Pflanzen stammen aus dem Pappelgarten «Glanzenberg» der ETH; ihre Ernährung dürfte unter optimalen Verhältnissen stattgefunden haben, und auch die übrigen Faktoren wirkten außerordentlich einheitlich auf die Entwicklung der Mutterpflanzen ein. Bedingt durch die vorhandenen Vorräte, konnten leider nicht alles gleichalterige Pflanzen zur Verwendung gelangen; es mußten Stecklinge von mehrjährigen Mutterstöcken, von 1/1- und 1/2jährigen Pflanzen geschnitten werden. Die übrigen Daten sind aus nachstehender Tabelle ersichtlich:

Übersicht über das verwendete Pflanzenmaterial:

Prov. Nr.	Sorte	Geschl.	Herkunft	Voraussichtlich standörtliche Eignung; Bemerkungen	Alter
03.2	*serotina*	m.	en l'île Yvonand	auenwaldähnliche Standorte } opt. Standorte	1/1
04.8	*regenerata*	f.	Grèves du Lac; Yverdon	auenwaldähnliche Standorte } opt. Standorte	M
20.75	*marilandica*	f.	Lokeren, E-Flandern Belgien	grobsandige, frische, grundwassernahe, leicht saure Böden tiefer Lage. 0 m ü. M. N: 780 mm; Exp.: flach; tert. Meeresablagerung	1/2
20.79	*regenerata*	f.	Belgien	sandige, frische, grundwassernahe, leicht saure Böden	1/1
20.74b	—	—	Württemberg, Oberdorf; Forstamt Bopfingen	für rauhe, ungünstige Pappelstandorte im Jura. Altbestand auf strengem Opalinuston. (Braun-Jura) } auf Kalk	1/2
20.46	*candicans*	—	Jura, NE	für Hochlagen, Mutterbaum auf 1000 m ü. M. SW Straße Les Ponts–Petits Ponts } auf Kalk	M
20.36	—	—	Eggenstein, Badische Rheinauen	Moorpappel, Flachmoor, Schwarzerlenstandorte	1/1
20.72	Schrotzberg-Pappel	—	Württemberg	für weniger günstige Pappelstandorte	M

Bezeichnung des Alters:

1/1 = 1jährige Loden auf 1jährigen Wurzeln
1/2 = 1jährige Loden auf 2jährigen Wurzeln
M = Mutterstöcke

2. Untersuchungsergebnisse

2.1 *Das Austreiben:*

Für jeden *p*H-Wert wurde für jedes Austreibestadium das mittlere Datum bestimmt, indem die Summe der Einzelwerte addiert und durch 5 dividiert wurde. Pro *p*H-Wert und Klon waren ja je 5 Stecklinge vor-

handen. Dabei wurden ab 1. März 1955 die Tage einfach fortlaufend weiternumeriert, so daß sich folgende einfache Beziehung ergab:

$$\frac{\text{Anzahl Tage nach Versuchsbeginn} = \bar{x} - 7}{\bar{x} = \text{mittleres Datum für irgendein Stadium}}$$

Eine Zusammenstellung der $\bar{x}$ nach *p*H-Werten, Stadien und Sorten (Tab. 1) bildete die Grundlage der Auswertung.

Tabelle 1

Zusammenstellung der Mittelwerte und Streuungen für die Austreibestadien (Durchschnitt aus je 5 Stecklingen; Streuung der 5 Einzelwerte um den Durchschnitt)

Sorte	*p*H-Wert der Wasserkultur							
	6,0				7,8			
	Stadien				Stadien			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
20.46	16.8 ±0.447	17.8 ±0.447	21.0 ±0.000	24.0 ±0.000	16.4 ±1.732	18.0 ±1.000	21.0 ±0.000	24.2 ±0.447
20.36	15.2 ±0.447	18.8 ±1.304	21.8 ±0.447	24.2 ±0.447	15.6 ±0.283	18.2 ±0.447	21.0 ±0.000	24.2 ±0.447
20.79	16.6 ±1.140	19.2 ±1.095	22.2 ±1.643	25.4 ±1.673	17.6 ±1.849	21.0 ±3.240	24.3 ±3.114	26.6 ±2.408
04.8	19.2 ±0.447	20.6 ±0.894	24.0 ±1.732	28.6 ±1.732	19.6 ±0.283	21.6 ±0.548	24.6 ±1.140	28.2 ±0.447
20.75	19.0 ±0.000	21.0 ±0.000	24.4 ±0.548	27.2 ±1.095	19.4 ±0.283	21.2 ±0.447	24.4 ±0.173	26.8 ±1.095
20.74b	21.75 ±0.959	23.0 ±1.000	28.0 ±0.000	29.8 ±0.837	22.2 ±0.836	23.8 ±1.095	28.2 ±1.483	30.0 ±1.225
03.2	21.2 ±1.483	23.8 ±1.924	26.8 ±1.788	28.8 ±1.924	21.4 ±1.732	24.0 ±1.000	28.0 ±0.000	30.2 ±0.837
20.72	23.5 ±1.118	24.40 ±1.516	28.2 ±0.447	30.8 ±0.663	22.6 ±1.673	24.4 ±1.516	28.4 ±1.140	30.8 ±1.643

Die Daten beziehen sich lediglich auf das Austreiben der obersten Knospe. Die Streuung der Einzelwerte um ihren Durchschnitt wurde ebenfalls in die Tabelle aufgenommen.

Aus diesen Daten galt es nun folgende Fragen abzuklären:

1. Wie unterscheiden sich die vier Stadien voneinander?
2. Wie unterscheiden sich die *p*H-Werte voneinander?
3. Wie unterscheiden sich die acht Klone voneinander?

Um einen ersten Überblick über die Versuchsresultate zu erhalten, wurde eine mehrfache Streuungszerlegung ausgeführt, welche nachstehende Resultate ergab:

Streuung		FG	SQ	DQ
Sorten		7	5 154.—	736.285
*p*H-Werte		5	266.33	53.266
Stadien		3	9 270.50	3 090.166
Sorten–*p*H-Werte	S–P	35	268.40	7.669
Sorten–Stadien	S–St	21	121.50	5.789
*p*H-Werte–Stadien	P–St	15	4.17	0.268
Rest	S–P–St	833	681.10	0.818
Insgesamt		919	15 766.—	—

Der Freiheitsgrad von 919 ergab sich dadurch, daß im *p*H-Wert 2,4 sämtliche Werte des Stadiums IV weggelassen werden mußten, da von den meisten Stecklingen dieser Entwicklungszustand gar nicht erreicht wurde. Zusammen hatte man infolgedessen 4 Stadien zu 240 Stecklingen = 960 Einzelwerte minus 8 Klone zu 5 Werten im Stadium IV; total also 920 Einzelwerte.
Mittels der F-Verteilung wurde dann geprüft, ob die Wechselwirkungen S—P, S—St, P—St gegenüber der Wechselwirkung S—P—St gesichert sei:

				P 0,05
S–P:	$\frac{7.669}{0.818} = 9{,}375$	$n_1 = 35$	$n_2 = 833$	1.000
S–St:	$\frac{5.786}{0.818} = 7{,}073$	$n_1 = 21$	$n_2 = 833$	1.517
P–St:	$\frac{0.268}{0.818} = 0{,}328$	$n_1 = 15$	$n_2 = 833$	1.752

Die Gruppen von Streuungsursachen konnten infolgedessen nicht vereinigt werden, und die gestellten Fragen wurden in der Folge durch einfache Streuungszerlegungen weiter untersucht.

Nachstehend werden diese Resultate einer eingehenden Prüfung unterzogen, wobei jedoch nicht der Rechnungsgang im einzelnen wiederholt, sondern nur die wesentlichen Ergebnisse weiter ausgewertet werden. Die Rechnungen selbst liegen bei den Versuchsakten.

21.1 Die Prüfung der Austreibestadien

Es wurde mit Hilfe einfacher Streuungszerlegungen die Frage geprüft, ob der zeitliche Ablauf des Austreibens durch die definierten Stadien festgehalten werden kann, indem die Durchschnitte der Stadien I—IV sich wesentlich voneinander unterscheiden sollten. Die Resultate dieser Prüfung sind in nachstehender Tabelle wiedergegeben, wobei wesentliche Unterschiede direkt mit dem entsprechenden *P* eingesetzt wurden.

Es bedeuten:

P = 0.05 schwach gesicherte Unterschiede
P = 0.01 gesicherte Unterschiede
P = 0.001 stark gesicherte Unterschiede

Die Prüfung der Stadien

Klon-Nr.	*p*H-Wert	Unterschiede der Stadien		
		I:II	II:III	III:IV
20.46	2,4	0.001	0.001	0
	4,2	0.05	0.01	0.01
	6,0	0.001	0.001	0.001
	7,8	0.001	0.001	0.001
	9,6	0.001	0.001	0.001
	11,4	0.01	0.001	0.001
20.36	2,4	0.001	0.001	0
	4,2	0.001	0.001	0.001
	6,0	0.001	0.001	0.001
	7,8	0.001	0.001	0.001
	9,6	0.001	0.001	0.001
	11,4	0.001	0.001	0.001
0.48	2,4	0.001	0.001	0
	4,2	0.01	0.001	0.001
	6,0	0.05	0.001	0.01
	7,8	0.01	0.001	0.001
	9,6	0.05	0.001	0.001
	11,4	0.01	0.001	0.001
20.75	2,4	–.—	0.001	0
	4,2	0.001	0.001	0.001
	6,0	0.001	0.001	0.001
	7,8	0.01	0.001	0.001
	9,6	0.001	0.001	0.001
	11,4	0.001	0.001	0.001
20.72	2,4	–.—	0.001	0
	4,2	–.—	0.001	0.05
	6,0	–.—	0.001	0.001
	7,8	–.—	0.001	0.05
	9,6	–.—	0.01	0.05
	11,4	–.—	0.01	0.05
20.74b	2,4	0.05	0.001	0
	4,2	–.—	0.001	0.05
	6,0	0.05	0.001	0.01
	7,8	0.05	0.001	0.05
	9,6	–.—	0.001	0.001
	11,4	–.—	0.001	0.01

Klon-Nr.	*p*H-Wert	Unterschiede der Stadien		
		I:II	II:III	III:IV
20.79	2,4	0.05	–.—	0
	4,2	–.—	0.01	0.05
	6,0	0.05	0.01	0.01
	7,8	–.—	–.—	–.—
	9,6	0.001	0.001	0.001
	11,4	0.001	0.001	0.001
03.2	2,4	0.01	0.001	0
	4,2	–.—	–.—	–.—
	6,0	0.05	0.05	–.—
	7,8	0.001	0.001	0.001
	9,6	0.01	0.001	0.05
	11,4	0.05	0.01	0.05

–.— = keine gesicherten Unterschiede
0 = kein Test

Die Prüfung des Unterschiedes der Stadien III und IV für den *p*H-Wert 2,4 mußte unterbleiben, da bei allen Klonen einheitlich nur einzelne Stecklinge das Stadium IV noch ausbildeten. Die sich bildenden Triebe starben ab, bevor ein Blatt vollständig entfaltet war.

Die 4 Stadien, wie sie im Kapitel «Aufnahmeverfahren» definiert worden waren, sind taxatorisch bei allen Klonen leicht auseinanderzuhalten. Eine Ausnahme bilden lediglich die Klonnummern 20.72 und 20.74 b im Stadium I, wo die ersten Wachstumserscheinungen i. a. erst mit dem «Durchstechen» der Knospenschuppen durch die Blätter wahrgenommen werden können. Entsprechend der Morphologie der Knospen (Beschaffenheit der Schuppen, Form der Knospen usw.) konnten für die verschiedenen Klone weitere Unterschiede im qualitativen Austreibeverlauf festgestellt werden, welche jedoch durch den *p*H-Wert nicht variiert wurden.

Bei den Klonnummern 20.72 und 20.74 b durchstechen die Blätter die Knospenschuppen, ohne daß die Knospen vorher merklich anschwellen oder ergrünen. Bei den Klonen 20.36 und 20.46 strecken sich die Knospen deutlich, ergrünen dadurch, und im Stadium II weichen dann die Knospenschuppen an der Spitze auseinander. Prov. Nr. 20.75 und 20.79 zeigen neben diesen Eigenschaften noch ein deutliches Schwellen der Knospen, und im Stadium II reißen die Knospenschuppen bis zur Basis auf. Die Klonnummer 04.8 mit den hellen, ledrigen Knospenschuppen zeigt als erste Wachstumserscheinung nur eine leichte Streckung der Knospe. Behaarte Blätter und Triebe kamen nur beim Klon Nr. 20.46 vor.

Betrachtet man die Tabelle, so können daraus folgende *Schlüsse* gezogen werden:

1. In den meisten Fällen sind die einzelnen Stadien zeitlich deutlich auseinanderzuhalten. Die gewählte Definition der Austreibestadien war zweckmäßig und ermöglicht dadurch einen sinnvollen Vergleich der *p*H-Werte und der Sorten.
   Die Begründung der Ausnahmen bei den Klonen Nr. 20.72 und 20.74 b wurde bereits gegeben. Keine gesicherten Unterschiede nur zwischen 2 Stadien verweisen kaum auf einen Einfluß des *p*H-Wertes. Dies ist der Fall bei den Klonen 20.75 (2,4), 20.79 (2,4 und 4,2), 03.2 (6,0).
2. Durch alle Stadien weisen nur die Klone 20.79 (7,8) und 03.2 (4,2) keine Unterschiede auf. Die unmittelbar benachtbarten *p*H-Werte zeigen jedoch wieder gesicherte Unterschiede, und wie man aus dem nächsten Kapitel ersehen wird, weichen für diese Klone die Stadien I bis IV für sich allein nicht gesichert voneinander ab, wenn man den *p*H-Wert variiert. Daraus darf geschlossen werden, daß nicht der *p*H-Wert, sondern die den 5 Stecklingen eigenen Wuchsanlagen für dieses Verhalten maßgebend sind.

21.2 Die Prüfung der pH-Werte

Auch hier wurde mit einfachen Streuungszerlegungen die Frage geprüft, ob die zeitlichen Unterschiede für die einzelnen Stadien in den sechs *p*H-Werten wesentlicher oder zufälliger Natur seien. Entsprechend den Stadien lassen sich die Resultate in Tabellenform wiedergeben:

Die Prüfung der pH-Werte

*p*H-Werte	Klone						
	20.79				04.8	20.75	
	Stadien				Stadium	Stadien	
	I	II	III	IV	II	II	III
2,4: 4,2	0.05	—	—	—	—	0.001	0.001
2,4: 6,0	0.05	—	—	—	—	0.001	0.05
2,4: 7,8	0.01	—	—	—	—	0.001	0.05
2,4: 9,6	—	—	—	—	—	0.001	0.001
2,4:11,4	0.001	—	—	—	—	0.001	0.05
4,2: 6,0	—	—	—	—	—	—	—
4,2: 7,8	—	—	—	—	—	—	—
4,2: 9,6	—	—	—	0.05	0.01	—	—
4,2:11,4	0.01	0.05	—	—	—	—	—
6,0: 7,8	—	—	—	—	0.05	—	—
6,0: 9,6	—	—	—	—	—	—	—
6,0:11,4	0.001	0.05	0.05	0.05	—	—	—
7,8: 9,6	0.05	0.05	0.05	0.01	0.01	—	—
7,8:11,4	0.05	—	—	—	—	—	—
9,6:11,4	0.001	0.01	0.01	0.001	0.05	—	—

Bei allen andern Klonen (03.2, 20.36, 20.46, 20.72, 20.74) konnten keine wesentlichen Unterschiede nach *p*H-Werten nachgewiesen werden.

Diese Tabelle erlaubt folgende *Schlüsse:*

1. Im allgemeinen hat das *p*H keinen Einfluß auf die zeitliche Ausbildung der vier Stadien. Es ist daher möglich, allgemein früher oder später austreibende Klone zu unterscheiden. Das Austreiben ist also im wesentlichen durch die kloneigenen Wuchsanlagen bedingt.

Es ergibt sich folgende Reihenfolge:

S der Einzelwerte des Stadiums I:								
	20.36	20.46	20.79	04.8	20.75	03.2	20.74b	20.72
S der Einzelwerte des Stadiums II:								
	20.46	20.36	20.79	04.8	20.75	20.74b	20.72	03.2
S der Einzelwerte des Stadiums III:								
	20.36	20.46	20.79	04.8	20.75	03.2	20.74b	20.72
S der Einzelwerte des Stadiums IV:								
	20.36	20.46	20.79	20.75	04.8	03.2	20.74b	20.72
S der Einzelwerte total:								
	20.36	20.46	20.79	20.75	04.8	03.2	20.74b	20.72
	frühaustreibende						spätaustreibende	

Da die einzelnen Stadien sich nach *p*H-Werten i. a. nicht wesentlich unterscheiden, sind die zeitlichen Abstände zwischen den Stadien ziemlich ausgeglichen und daher auch die Umstellungen in den Reihenfolgen nicht ausgeprägt.

2. Die Ausnahmen betreffen nur 3 Klone:

   20.75: Über die Stadien II und III (IV wurde nicht getestet) unterscheidet sich das späte Austreiben im *p*H-Wert 2,4 von sämtlichen andern *p*H-Werten. Der Einfluß der Reaktion ist unverkennbar.

   04.8: Nur im Stadium II zeigen sich wenige Unterschiede. Im *p*H-Wert 9,6 frühes, in 7,8 relativ spätes Austreiben. Eher bedingt durch die Wuchseigenschaften der 10 Stecklinge.

   20.79: Zahlreich sind die Unterschiede lediglich im Stadium I. Durchgehend durch alle Stadien bedingt der *p*H-Wert 11,4 mit seinem späten Austreiben Unterschiede zu den *p*H-Werten 6,0 und 9,6. Im *p*H-Wert 9,6 treiben die Pflanzen aber außerordentlich früh, so daß dieser Vergleich nicht als abhängig vom *p*H-Wert angesehen werden darf.

21.3 Die Prüfung der Klone

Anhand von einfachen Streuungszerlegungen wurde hier die Frage untersucht, welche Klone sich gegenseitig nach Stadien unterscheiden und für welche Klongruppen ein ähnliches Verhalten festgestellt werden kann. Ferner versucht man auch zu beurteilen, wie das gegenseitige Verhalten der Klone durch den *p*H-Wert beeinflußt wird.

Die Resultate dieser Prüfung wurden im Anhang II, Blätter 1 bis 4, zusammengestellt, wobei bei den wesentlichen Unterschieden neben dem *P* auch die Vorzeichen der Differenzen der mittleren Austreibedaten zweier Klone angegeben wurden.

Als Beispiel seien die Sortenunterschiede im Austreiben für das Stadium II wiedergegeben:

Tabelle 2

Sortenunterschiede für das Stadium II

	*p*H-Werte					
	2,4	4,2	6,0	7,8	9,6	11,4
20.79:20.72	0.05 +	0.001 +	0.001 +	0.001 +	0.001 +	–.—
03.2:20.75	–.—	0.01 —	0.001—	0.001—	0.001—	0.001—
20.72:20.75	–.—	0.05 —	0.001—	0.001—	0.001—	0.01 —
20.79:20.74b	0.05 +	0.01 +	0.001 +	0.001 +	0.001 +	–.—
03.2 :04.8	–.—	–.—	0.001—	0.001—	0.001—	0.05 —
04.8 :20.72	–.—	0.05 +	0.001 +	0.001 +	0.001 +	–.—
04.8 :20.74b	–.—	–.—	0.01 +	0.01 +	0.001 +	0.01 +
20.75:20.74b	–.—	–.—	0.05 +	0.001 +	0.01 +	0.001 +
20.36:20.79	–.—	–.—	–.—	0.001 +	–.—	0.001 +
20.79:20.46	–.—	–.—	–.—	0.001—	–.—	0.001—
20.79:04.8	–.—	0.05 +	–.—	–.—	0.01 +	–.—
20.79:20.75	–.—	–.—	0.01 +	–.—	0.001 +	–.—
20.36:20.46	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
03.2 :20.72	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
03.2 :20.74b	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
04.8 :20.75	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
20.72:20.74b	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
20.36:03.2	0.001 +	0.001 +	0.001 +	0.001 +	0.001 +	0.001 +
20.36:04.8	0.05 +	0.05 +	0.05 +	0.001 +	0.001 +	0.001 +
20.36:20.72	0.001 +	0.001 +	0.001 +	0.001 +	0.001 +	0.001 +
20.36:20.75	0.01 +	0.01 +	0.01 +	0.001 +	0.001 +	0.001 +
20.36:20.74b	0.001 +	0.001 +	0.001 +	0.001 +	0.001 +	0.001 +
20.79:03.2	0.01 +	0.001 +	0.001 +	0.001 +	0.001 +	0.05 +
20.79:20.74b	0.05 +	0.01 +	0.001 +	0.001 +	0.001 +	0.05 +
03.2 :20.46	0.001—	0.001—	0.001—	0.001—	0.001—	0.001—
20.46:04.8	0.01 +	0.01 +	0.001 +	0.001 +	0.01 +	0.001 +
20.46:20.72	0.001 +	0.001 +	0.001 +	0.001 +	0.001 +	0.001 +
20.46:20.75	0.001 +	0.05 +	0.001 +	0.001 +	0.001 +	0.01 +
20.46:20.74b	0.001 +	0.001 +	0.001 +	0.001 +	0.001 +	0.001 +

Wie man im Abschnitt der Prüfung der *p*H-Werte nachgewiesen hat, unterscheiden sich i. a. die Stadien nicht wesentlich nach der *p*H-Reaktion. Trotzdem aber ist es sehr wohl möglich, daß ein Einfluß des *p*H-Wertes auf das gegenseitige Verhalten der Klone vorhanden ist. Um

diese Frage zu klären, wollen wir uns im folgenden damit begnügen, festzustellen, welche Kombinationen der acht Klone gesicherte oder nur zufällige Unterschiede aufweisen. Mit der Methode des «verallgemeinerten Abstandes» ließe sich auch feststellen, welche Klone sich zueinander ähnlicher verhalten. Dazu wären aber sehr umfangreiche Rechenarbeiten nötig (namentlich auch, was das Prüfverfahren anbetrifft), die den Rahmen dieser Untersuchung überschreiten würden.

Wenn zwischen irgend zwei Kombinationen der acht Klone zur Klasse 2 in allen sechs *p*H-Werten stets gesicherte Unterschiede nachgewiesen werden können, so darf man annehmen, daß die kloneigenen Wuchseigenschaften immer überwiegen; es bleibt aber dahingestellt, ob allfällig eine Modifikation des Austreibeverlaufes durch den *p*H-Wert vorhanden ist. Die Vorzeichen der Differenzen der Austreibedaten zweier Klone bleiben über alle Stadien und *p*H-Werte konstant, d. h. wenn schon gesicherte Unterschiede ausgebildet werden, dann ist das eine Klon in allen *p*H-Reaktionen und Stadien immer früher oder später. Wird jedoch ein Unterschied zwischen zwei Klonen nur bei einzelnen *p*H-Werten zufällig ausgebildet, so darf eine Wirkung des *p*H-Wertes erst angenommen werden, wenn dies über mehrere aufeinanderfolgende Stadien nachgewiesen werden kann.

Um jene Klone oder Klongruppen herauszulesen, welche sich ähnlich verhalten, wurden aus den Tabellen im Anhang II sämtliche Kombinationen der acht Klone zu den Klassen 2 bis 8 herausgelesen, welche sich in 1 bis 6 *p*H-Werten nicht unterscheiden.

Als Beispiel sei die Zusammenstellung des Stadiums II wiedergegeben:

Stadium II

1. Kombinationen zur Klasse 2:

20.79 / 20.72 } 11,4 — 03.2 / 20.75 } 2,4 — 20.72 / 20.75 } 2,4 — 20.79 / 20.75 } 11,4

03.2 / 04.8 } 2,4 und 4,2 — 04.8 / 20.72 } 2,4 und 11,4 — 04.8 / 20.74 } 2,4 und 4,2

20.75 / 20.74 } 2,4 und 4,2

20.36 / 20.79 } 2,4 und 4,2 und 6,0 und 9,6 — 20.79 / 20.46 } 2,4 und 4,2 und 6,0 und 7,8

20.79 / 04.8 } 2,4 und 6,0 und 7,8 und 11,4 — 20.79 / 20.75 } 2,4 und 4,2 und 7,8 und 11,4

20.36 / 20.46 } 2,4 bis 11,4 — 03.2 / 20.72 } 2,4 bis 11,4

03.2 / 20.74 } 2,4 bis 11,4 — 04.8 / 20.75 } 2,4 bis 11,4

20.72 / 20.74 } 2,4 bis 11,4

2. Kombinationen zur Klasse 3:

03.2 04.8 20.72	2,4	03.2 04.8 20.75	2,4	03.2 20.74 20.75	2,4	04.8 20.72 20.74	2,4
04.8 20.72 20.75	2,4	04.8 20.72 20.79	11,4	20.72 20.74 20.75	2,4		
03.2 04.8 20.74	2,4 und 4,2	04.8 20.74 20.75	2,4 und 4,2	04.8 20.75 20.79	2,4 und 7,8		
20.36 20.46 20.79	2,4 und 6,0 und 4,2 und 9,6						
03.2 20.72 20.74	2,4 bis 11,4						

3. Kombinationen zur Klasse 4:

03.2 04.8 20.72 20.74	2,4	03.2 04.8 20.72 20.75	2,4	03.2 04.8 20.74 20.75	2,4	03.2 20.72 20.74 20.75	2,4
04.8 20.72 20.74 20.75	2,4						

4. Kombinationen zur Klasse 5:

03.2 04.8 20.72 20.74 20.75	2,4

Der Zeitpunkt im Austreibeverlauf (das Stadium) hat einen maßgebenden Einfluß auf die Gruppierung der Klone. In allen Klassen der möglichen Kombinationen stellt man leicht fest, daß eine Angleichung der zeitlichen Ausbildung eines Stadiums am häufigsten in den extremen *p*H-Werten 2,4, 4,2 und 11,4 erfolgt. Eine dauernde Angleichung über mehrere aufeinanderfolgende Stadien (I bis IV, II bis IV oder III und IV), welche uns einen sicheren Hinweis auf die Wirkung des *p*H-Wertes liefert, läßt sich jedoch nur bei folgenden Kombinationen feststellen:

1. Stadium I–IV:

20.79 04.8	11,4	20.79 20.46	2,4	20.36 20.79	2,4 und 9,6	20.79 20.75	11,4
04.8 20.75	2,4 und 7,8 und 11,4			20.36 20.46	2,4 und 7,8		

03.2
20.72 } 2,4 und 4,2 und 7,8 und 11,4

03.2
20.74 } 2,4 bis 11,4

20.72
20.74 } 2,4 und 4,2 und 7,8 und 9,6 und 11,4

2. Stadium II–IV:

20.79
20.72 } 11,4

3. Stadium I–II:

03.2
04.8 } 2,4 und 4,2 | 03.2
20.75 } 2,4 | 20.72
20.75 } 2,4 | 20.75
20.74 } 2,4

4. Stadium I–IV:

04.8
20.75
20.79 } 11,4

5. Stadium II–IV:

20.36
20.46
20.79 } 9,6

6. Stadium I–III:

03.2
20.72
20.74 } 2,4 und 4,2 und 11,4

7. Stadium I–II:

20.72
20.74
20.75 } 2,4 | 03.2
04.8
20.75 } 2,4 | 03.2
20.74
20.75 } 2,4

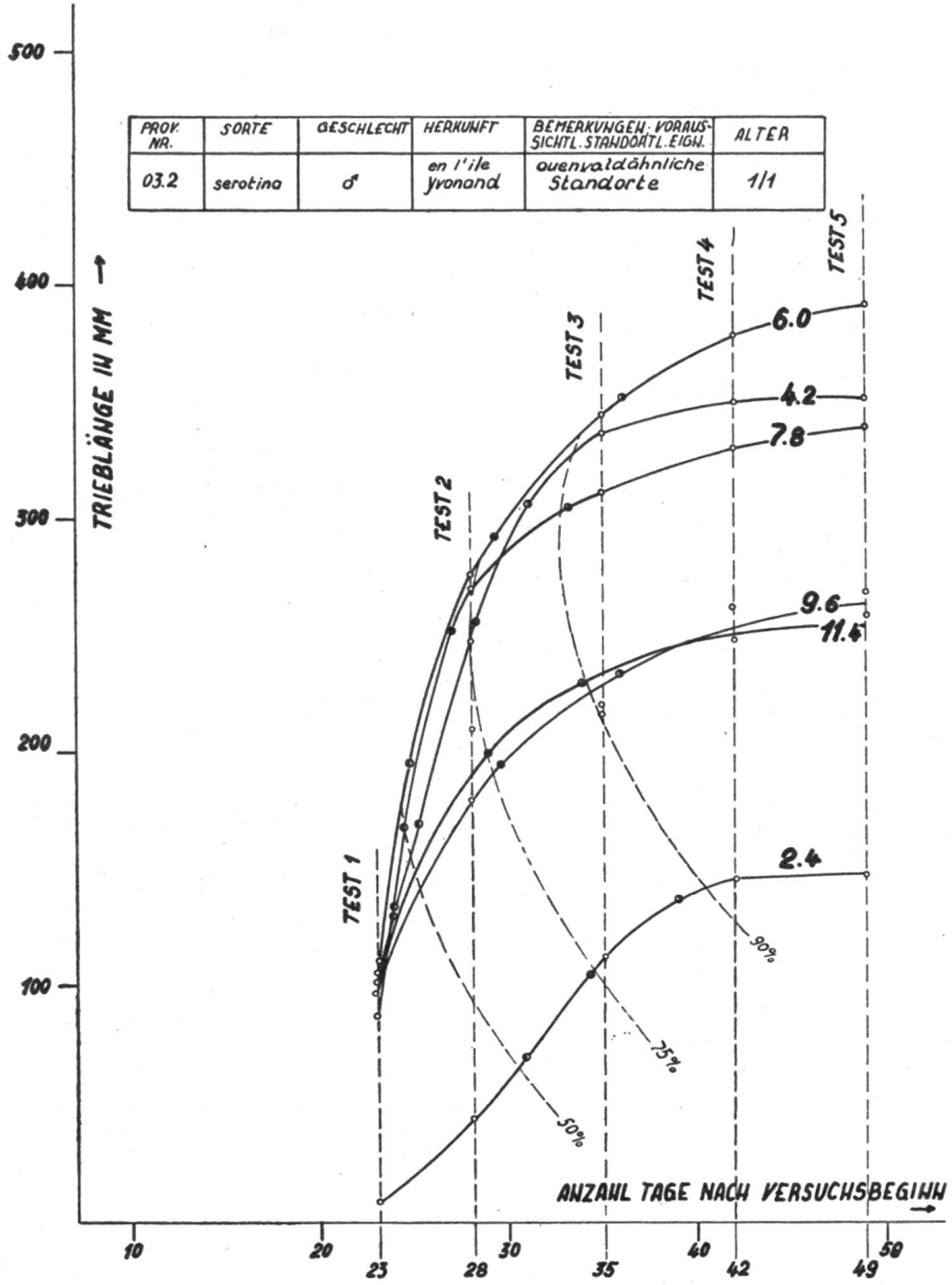
Die Kombination 03.2 : 20.74 verhält sich über alle *p*H-Werte und alle Stadien gleich. Ein Zusammenhang aber zwischen diesem Verhalten und den Eigenschaften des Herkunftsortes nach Standortsfaktoren ist nicht erkennbar. 20.72 und 20.75 unterscheiden sich nur im *p*H-Wert 6,0. Auch hier ist kein Zusammenhang mit der Herkunft ersichtlich. In allen andern Fällen ist ein Angleichen des Austreibens über alle vier Stadien erst in extremen *p*H-Werten feststellbar (2,4, 4,2, 9,6 und 11,4). 20.36 : 20.46 und 03.2 : 20.72 bilden die einzigen Ausnahmen von dieser Regel, eine Folge des späten Austreibens im *p*H-Wert 7,8. Bei jenen Klongruppen, welche sich nur in den Stadien I und II nicht wesentlich unterscheiden, darf angenommen werden, daß bei einzelnen Klonen nur der Start des Austreibens in extremen *p*H-Werten behindert ist.

2.2 *Das Triebwachstum:*

An fünf Tagen (23, 28, 35, 42 und 49 Tage nach Versuchsbeginn) wurden die Triebe der obersten Knospen auf Millimeter genau gemessen, wobei die erste Messung in jenem Zeitpunkt einsetzte, als alle Klone in sämtlichen *p*H-Werten das Stadium IV ausgebildet hatten. Einzig im *p*H-Wert 2,4 wurde dieses Stadium von allen Klonen nicht mit allen fünf Stecklingen erreicht; eine Streckung der Knospe war aber trotzdem

Darstellung 1

Triebhöhenkurve für die Provenienz 03.2



erfolgt, so daß auch jene Stecklinge in die Betrachtung des Längentriebwachstums einbezogen werden konnten. Triebe und Blätter waren im *p*H-Wert 2,4 stark chlorotisch, eine Beobachtung, wie sie sonst in keinem andern *p*H-Wert gemacht werden konnte. Schon früh zeigten sich in den extremen *p*H-Werten Schäden an den Blättern, indem sich deren Spitzen schwärzten oder sich vom Rande her schwarze Flecken ausbildeten. Dieselbe Erscheinung wiederholte sich dann auch in den optimalen *p*H-Werten bei abklingendem Triebwachstum (Erschöpfung der Reserven), bevor die Blätter vollständig erlahmten und dann auch in zunehmendem Maße abfielen. Bei mehreren Klonen schwärzten sich auch die Triebe von ihrer Basis aus. Wie aus den Darstellungen 1 und 2 (Triebhöhenkurven) hervorgeht, wurden die Messungen so lange fortgesetzt, bis bei allen Klonen in sämtlichen *p*H-Werten eine Stagnation des Triebwachstums festgestellt werden konnte. In der Folge wurden dann wiederum die einzelnen Meßtage, die *p*H-Werte und die Klone mit einfachen Streuungszerlegungen geprüft.

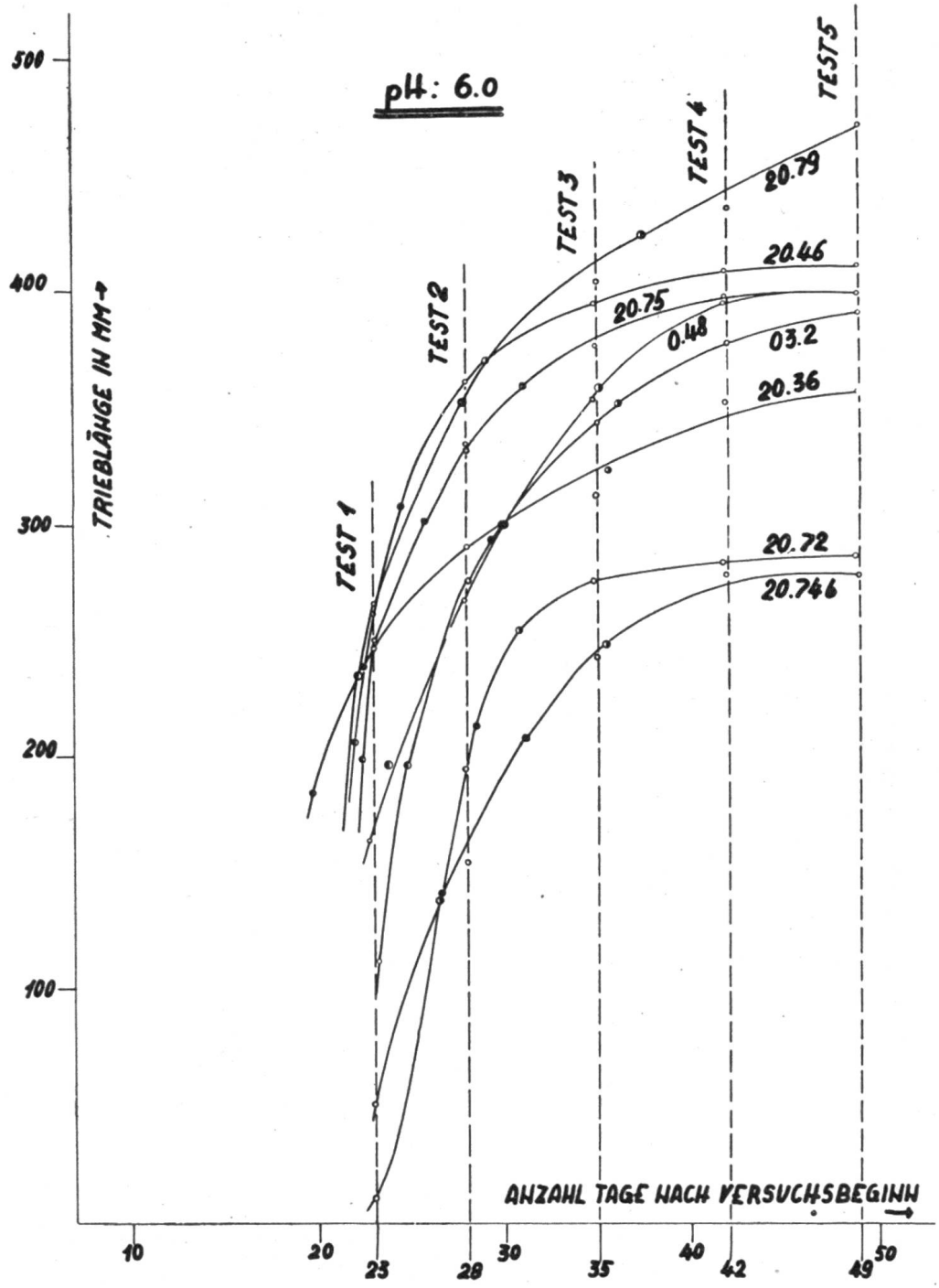
Tabelle 4

Das Prüfen der aufeinanderfolgenden Meßtage

Klon-Nr.	*p*H-Werte							
	2,4	4,2		6,0		7,8	9,6	
	Meßtage							
	3:4	1:2	2:3	1:2	2:3	1:2	1:2	3:4
03.2	0.001	0.001	0.01	0.01	–.—	0.001	–.—	–.—
20.46	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
04.8	–.—	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	–.—	–.—
20.72	–.—	0.001	–.—	0.001	0.001	0.001	0.05	–.—
20.75	–.—	0.01	0.01	0.05	–.—	–.—	–.—	0.01
20.74b	–.—	0.01	–.—	0.01	0.05	–.—	–.—	–.—
20.36	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
20.79	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
	11,4 1:2	In sämtlichen andern Fällen konnten keine gesicherten Unterschiede nachgewiesen werden.						
03.2	0.001							
20.46	–.—							
04.8	–.—							
20.72	–.—							
20.75	–.—							
20.74b	0.05							
20.36	–.—							
20.79	–.—							

Darstellung 2

Triebhöhenkurve für den *p*H-Wert 6.0



22.1 Die Prüfung aufeinanderfolgender Meßtage

Die Resultate sind in Tabelle 4 getrennt nach *p*H-Werten und Klonen wiedergegeben. Weitaus in den meisten Fällen sind die Unterschiede nicht gesichert, was einerseits auf die großen Streuungen der fünf Einzelwerte um ihren Durchschnitt, anderseits aber auch darauf zurückzuführen ist, daß bei den meisten Klonen das Wachstum zu gering war, als daß sich zwischen irgend zwei Punkten der Triebhöhenkurven ge-

sicherte Unterschiede hätten ausbilden können. Bei weitaus den meisten Klonen und *p*H-Werten war nach dem ersten Meßtage das größte Wachstum bereits erfolgt; z. T. unmittelbar anschließend an die Ausbildung des Stadiums IV, z. T. aber auch schon während des Austreibens. Es ist im allgemeinen im Gegensatz zum Austreiben nicht möglich, die Meßtage anhand der Höhentriebe deutlich zu unterscheiden. Einzig bei den Klonnummern 03.2, 04.8, 20.72, 20.75 und 20.74b unterscheiden sich wesentlich die Meßtage 1 und 2, bei 20.74b, 20.72 und 04.8 sogar noch die Meßtage 2 und 3, wobei aber in den *p*H-Werten 2,4 (4,2), 9,6 (7,8) schon eine starke Angleichung der Triebhöhe erfolgt.

22.2 Die Prüfung der pH-Werte

Hier wurde wiederum die Frage geprüft, ob bei den einzelnen Klonen die verschiedenen *p*H-Werte sich wesentlich oder nur zufällig unterscheiden, auch kann mit Hilfe der Resultate in Tabelle 5 die Frage untersucht werden, welchen Einfluß die Zeit auf die Differenzierung der Länge des Höhentriebes nach *p*H-Werten ausübt.

Tabelle 5

Das Prüfen der pH-Werte
35 Tage nach Versuchsbeginn (Trieblänge)

	Klonnummern							
	03.2	20.46	04.8	20.72	20.75	20.74	20.36	20.79
2,4:4,2	0.001 +	0.01 +	0.001 +	0.001 +	0.001 +	0.001 +	0,01 +	0.001 +
6,0	0.001 +	0.001 +	0.001 +	0.001 +	0.001 +	0.001 +	0.05 +	0.001 +
7,8	0.001 +	0.001 +	0.001 +	0.01 +	0.001 +	0.001 +	0.01 +	0.05 +
9,6	0.001 +	0.01 +	0.05 +	0.001 +	0.001 +	–.—	–.—	–.—
11,4	0.001 +	0.01 +	–.—	0.05 +	0.001 +	–.—	–.—	–.—
4,2:6,0	–.—	0.05 +	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
7,8	–.—	–.—	–.—	–.—	0.01 —	–.—	–.—	0.05 —
9,6	0.01 —	–.—	0.05 —	–.—	0.001—	0.001—	0.05 —	0.001—
11,4	0.01 —	–.—	0.01 —	0.01 —	0.001—	0.01 —	0.01 —	0.001—
6,0:7,8	–.—	–.—	–.—	0.05 —	0.01 —	–.—	–.—	0.05 —
9,6	0.01 —	0.05 —	0.01 —	–.—	0.001—	0.001—	–.—	0.001—
11,4	0.01 —	–.—	0.001—	0.01 —	0.001—	0.01 —	0.05 —	0.001—
7,8:9,6	0.05 —	–.—	–.—	–.—	–.—	0.01 —	0.05 —	–.—
11,4	0.05 —	–.—	0.05 —	–.—	–.—	0.01 —	0.01 —	0.01 —
9,6:11,4	–.—	–.—	–.—	0.05 —	–.—	–.—	–.—	–.—

Es ist leicht ersichtlich, daß die *p*H-Reaktion im Gegensatz zum Austreiben einen Einfluß auf das Triebwachstum ausübt. Auch hier werden, um die Untersuchung etwas zu vereinfachen, nicht die absoluten Zahlen untersucht, sondern nur das relative Verhalten der Trieblängen in den verschiedenen *p*H-Werten zueinander.

Versucht man die Klone anhand des Verhaltens in aufeinanderfolgenden *p*H-Werten zu gruppieren, so stellt man fest, daß bei allen Klonen sich lediglich der *p*H-Wert 2,4 an den Meßtagen 1 bis 5 vom *p*H-Wert 4,2 unterscheidet. Trotz den großen *p*H-Intervallen weisen nur noch folgende Klone gesicherte Unterschiede auf, wo eine Wirkung des *p*H-Wertes angenommen werden darf:

20.46:	4,2 : 6,0	(3. bis 5. Aufnahmetag)
20.75 und *20.79:*	6,0 : 7,8	(2. bis 5. bzw. 3. bis 5. Aufnahmetag)
03.2:	7,8 : 9,6	(2. bis 5. Aufnahmetag)
20.72:	9,6 : 11,4	(3. bis 5. Aufnahmetag)

Dieses Resultat zeigt, daß die Differenzierung der Trieblängen nach *p*H-Werten keine ausgeprägte ist; die Streuungen sind zudem beträchtlich, und die Triebhöhenkurven, wie sie anhand von Durchschnitten gezeichnet wurden (Anhang III), sind mit Vorsicht zu interpretieren.

Die Prüfung der *p*H-Werte ermöglicht jedoch noch einen weitern Vergleich: auf Grund der Angaben im Anhang IV ist es möglich, für jedes Klon die optimalen *p*H-Bereiche für das Triebwachstum anzugeben. Die optimalen *p*H-Werte sind stets *p*H-Reaktionen, welche sich untereinander nur zufällig unterscheiden, sich jedoch von den nächst tiefern oder höhern Werten wesentlich unterscheiden. Das Resultat ist folgendes:

Optimale *p*H-Bereiche:

Meßtag	03.2	20.46	04.8	20.72	20.75	20.74	20.36	20.79
2	6,0–7,8	6,0	6,0–7,8	4,2–11,4	6,0	4,2 u. 7,8	7,8	4,2–6,0
3	4,2–7,8	6,0	4,2–6,0	4,2–6,0	4,2–6,0	4,2–7,8	4,2 u. 7,8	4,2–6,0
4	4,2–7,8	6,0–11,4	4,2–11,4	4,2–6,0 u. 9,6	4,2–6,0	6,0	7,8	4,2–6,0
5	4,2–7,8	6,0–11,4	6,0	4,2–6,0 u. 9,6	4,2–6,0	6,0	4,2–7,8	4,2–6,0

Die optimalen *p*H-Bereiche bleiben bei den meisten Klonen über die Wuchszeit nicht dieselben, von einzelnen Klonen werden diese sogar verbreitert:

nach der sauren Seite: 03.2; 20.36 (Moorpappel)
nach der basischen Seite: 20.46 (Jurapappel)

Verengt wird der Bereich von folgenden Klonen:

auf 6,0: 04.8 und 20.74 b
auf 4,2 bis 6,0 und 9,6: 20.72

Konstant bleibt der Bereich nur bei folgenden Klonen:

4,2 bis 6,0: 20.75 und 20.79 (beide Provenienzen aus Belgien).

Im übrigen sind die Relationen der *p*H-Werte untereinander in jedem Zeitpunkt und bei jeder Sorte wieder etwas verändert. Erstaunlich ist aber doch die Breite des optimalen *p*H-Bereiches für viele Klone, welcher die Grenzen, innerhalb deren sich normalerweise die Stoffaufnahme abspielt, oft weit überschreitet. Es bleibt hier aber die Frage offen, ob nicht durch eine Erhöhung der Einzelwerte pro Stichprobe etwas eindeutigere Resultate erzielt werden könnten.

22.3 Die Prüfung der Klone

Die Resultate wurden in Tabelle 6 wiedergegeben. Es fällt auf, daß mit wenigen Ausnahmen in extremen *p*H-Werten (9,6 : 11,4 und 2,4 : 11,4) die Triebhöhenkurven sich nicht schneiden. Wenn also überhaupt gesicherte Unterschiede zwischen zwei Klonen auftreten, dann haben die Differenzen in der Triebhöhe zu allen Zeiten und in allen *p*H-Werten immer dasselbe Vorzeichen. Bildet daher ein Klon in der allerersten Zeit gegenüber einem andern einen Vorsprung im Triebwachstum aus, dann behält es einen Vorsprung bis zur Erschöpfung des Triebwachstums, wenn auch die absoluten Differenzen im Laufe der Zeit ändern mögen. Auf Grund dieser Tatsache ist es möglich, eine *Reihenfolge der Klone nach ihrer Triebhöhe* aufzustellen, welche folgendermaßen lautet:

20.36 20.79 20.75 20.46 04.8 03.2 20.72 20.74

← große Triebhöhen — kleine Triebhöhen →

Die Klonnummern 04.8 und 03.2 sowie 20.72 und 20.74 lassen sich in keinem *p*H-Wert und zu keinem Zeitpunkt unterscheiden.

Vergleicht man obige Reihenfolge mit der Reihenfolge des Austreibens im Stadium IV, so stellt man eine weitgehende Übereinstimmung fest:

20.36 20.46 20.79 20.75 04.8 03.2 20.74 20.72

← frühaustreibend — spätaustreibend →

Der Vorsprung der ersten vier Klone mit frühzeitigem Austreiben wird von den restlichen vier Klonen nicht mehr eingeholt. Im allgemeinen weisen also bei den geprüften Klonen die frühaustreibenden jederzeit ein größeres mittleres Triebwachstum auf, eine Tatsache, die bis zur Erschöpfung des Triebwachstums (49 Tage nach Versuchsbeginn) nachgewiesen werden kann. Diese Tatsache darf aber nicht

Tabelle 6

Das Prüfen der Klone
35 Tage nach Versuchsbeginn (Trieblänge)

	*p*H-Werte					
	2,4	4,2	6,0	7,8	9,6	11,4
03.2 :20.74b	–.—	0.05 —	0.05 —	0.05 —	0.05 —	0.05 —
20.74b:20.36	0.01 +	0.01 +	–.—	0.001+	0.001+	0.05 +
20.74b:20.79	0.05 +	0.01 +	0.01 +	0.05 +	0.01 +	–.—
20.46 :20.74b	–.—	–.—	0.01 —	0.001—	0.001—	0.001—
04.8 :20.74b	–.—	0.05 —	0.05 —	0.05 —	0.05 —	–.—
20.75 :20.74b	–.—	0.01 —	0.05 —	–.—	0.01 —	0.01 —
20.46 :20.72	–.—	–.—	0.05 —	0.001—	–.—	0.01 —
20.46 :20.36	0.01 +	0.05 +	–.—	–.—	–.—	0.05 —
20.46 :20.79	0.05 +	0.01 +	–.—	–.—	–.—	0.001—
20.72 :20.36	0.05 +	0.05 +	–.—	0.001+	–.—	–.—
20.72 :20.79	–.—	0.01 +	0.05 +	0.05 +	–.—	–.—
20.46 :20.75	–.—	0.05 +	–.—	0.05 —	–.—	–.—
04.8 :20.36	0.05 +	–.—	–.—	0.05 +	–.—	–.—
20.75 :20.36	0.001+	–.—	–.—	0.01 +	–.—	–.—
20.75 :20.79	0.01 +	–.—	–.—	–.—	–.—	0.05 —
03.2 :20.46	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	0.05 +
03.2 :20.72	–.—	–.—	–.—	0.01 —	–.—	–.—
03.2 :20.36	0.001+	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
03.2 :20.79	0.01 +	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
20.46 :04.8	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	0.01 —
04.8 :20.72	–.—	–.—	–.—	0.05 —	–.—	–.—
04.8 :20.79	0.05 +	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
20.72 :20.75	–.—	0.05 +	–.—	–.—	–.—	–.—
20.72 :20.74b	–.—	–.—	–.—	–.—	0.01 —	–.—
20.36 :20.79	–.—	–.—	–.—	0.05 —	–.—	–.—
03.2 :04.8	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
03.2 :20.75	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
04.8 :20.75	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—

verallgemeinert werden, stellt man doch schon bei diesen acht Klonen folgende Ausnahmen fest:

20.36 treibt am frühesten aus und überflügelt jederzeit sämtliche andern Klone im Triebwachstum. Im Gegensatz dazu treibt 20.75 relativ spät aus, besitzt aber gerade in der Zeit unmittelbar nach dem Austreiben ein relativ großes Triebwachstum und überflügelt damit dauernd 20.46 und 20.79. 04.8 und 03.2 bzw. 20.74 b und 20.72 unterscheiden sich im Austreiben noch wesentlich, während für die Trieblänge in keinem Zeitpunkt ein wesentlicher Unterschied nachgewiesen werden kann.

Die Reihenfolgen erlauben noch eine zweite wichtige *Feststellung:*

04.8 und 03.2 unterscheiden sich in der Trieblänge stets zufällig, beim Austreiben stehen sie aber in der Reihenfolge unmittelbar nebeneinander. Dasselbe gilt für die Klone 20.72 und 20.74 b. 20.79 und 20.75 unterscheiden sich im Austreiben und in der Trieblänge wesentlich, stehen aber in den Reihenfolgen stets nebeneinander. 20.36 zeigt im relativen Verhalten zu den andern Klonen sowohl im Austreiben, der Trieblänge und der Bewurzelung eine außerordentliche Vitalität und überflügelt stets sämtliche andern Klone. Dasselbe gilt für 20.46, welches jedoch in der Triebhöhe zurückbleibt. Vergleicht man nun diese Klongruppen mit dem Verzeichnis des verwendeten Pflanzenmaterials, so stellt man fest, daß sich die Zweiergruppen sowohl nach Herkunft als auch ihrer voraussichtlichen standörtlichen Eignung nach sehr nahe stehen. 20.36 als Moorpappel und 20.46 als Jurapappel zeigen gegenüber den andern außerordentliche Vitalität und eine größere ökologische Amplitude (vgl. die Kapitel über die Prüfung der *p*H-Werte), Eigenschaften, welche ihnen die Besiedelung dieser ungünstigeren Standorte sicherlich erleichtern.

Im übrigen bilden sich für die Trieblänge die Unterschiede bei weitem nicht so differenziert aus wie bei den Austreibestadien, und sie sind im Laufe der Zeit einem starken Wechsel unterworfen. Dies bedeutet, daß sich die Klone in vielen Klassen und innerhalb der Klassen sehr weitgehend gruppieren lassen nach der Ausbildung nur zufälliger Unterschiede. Sämtliche Kombinationen der acht Klone zu den Klassen 2—7 wurden deshalb geprüft, ob in denselben sämtliche mögliche Kombinationen zur Klasse 2 sich in einem oder mehreren *p*H-Werten nur zufällig unterscheiden. Die theoretischen Möglichkeiten waren dabei folgende:

Klasse	2	3	4	5	6	7	8
Anzahl mögliche Kombinationen der acht Klone	28	56	70	56	28	8	1

Die Resultate wurden im Anhang V, Blätter 6 bis 17, wiedergegeben. Nur zufällige Unterschiede konnten dabei entstehen durch das Zusammenwirken folgender Faktoren:

1. Einfluß des *p*H-Wertes auf die Trieblänge der fünf Einzelwerte (nach Durchschnitt und Streuung). Dieser Einfluß ist aus der Prüfung der *p*H-Werte leicht zu ermitteln.
2. Einfluß des kloneigenen Wachstumsganges.

Im folgenden wurde aber verzichtet, die Bedeutung dieser beiden Faktoren auseinanderzuhalten. Die wichtigsten *Ergebnisse* sind nachstehend kurz zusammengefaßt:

1. 23 Tage nach Versuchsbeginn (unmittelbar nach dem Austreiben) zeigen sich Angleichungen nur in den Extremwerten 2,4 (evtl. 4,2) und 11,4. Da in den meisten Fällen die extremen *p*H-Werte sich von den andern unterscheiden, darf angenommen werden, daß i. a. eine Angleichung nur auf Grund der Wirkung des *p*H-Wertes erfolgt. An den folgenden Meßtagen stellt man jedoch eine starke Angleichung der Trieblänge auch in andern *p*H-Werten fest.
2. Kombinationen von Klonen der optimalen Standorte oder besonders vitaler Klone (20.36, 20.46, 20.75, 20.79, 03.2 oder 04.8) zeigen oft eine Angleichung der Trieblänge in den optimalen *p*H-Bereichen, welche bis drei *p*H-Werte umfassen kann (mehrheitliche Wirkung des kloneigenen Wachstumsganges). Unterschiede zeigen sich oft erst in den Extremwerten, wo einzelne Klone noch vitaler sind (Einfluß des *p*H-Wertes).

Kombinationen mit den Klonen 20.72 und 20.74 b von ungünstigen Pappelstandorten, welche jedoch keine besondere Vitalität aufweisen, unterscheiden sich in sämtlichen optimalen *p*H-Werten wesentlich (Einfluß des kloneigenen Wachstumsganges). Eine Angleichung zu andern Klonen erfolgt lediglich in extremen *p*H-Werten, wo andere Klone auch ein verringertes Triebwachstum aufweisen.

2.3 *Die Bewurzelung*

Die Bewurzelung wurde alle zwei Tage kontrolliert und die Primärwurzeln dann auch nach Knospenabschnitten gemessen. Anfänglich entstanden bei allen Klonen nur proventive Seitenwurzeln, während bei einigen Klonen später im *p*H-Wert 6,0 nach der Bildung des Wundkallus an der basalen Schnittfläche auch Adventivwurzeln gebildet wurden. Aerenchymartige Wucherungen der Lentizellen konnten bei keinem Klon nachgewiesen werden, und die Seitenwurzeln durchbrachen das Periderm unabhängig der Lage zu den Lentizellen. Die Bewurzelung nach Knospenabschnitten bildet Gegenstand eines eigenen Abschnittes (siehe 234.3).

Die fortlaufende Numerierung der Tage bedingt wiederum die folgende Relation:

$$\frac{\text{Anzahl Tage nach Versuchsbeginn} = \bar{x} - 7}{\bar{x} = \text{Nummer des Meßtages}}$$

An vier Tagen (Meßtag Nr. 30, 37, 44 und 51) in Intervallen von sechs Tagen wurden die Prüftage, die *p*H-Werte und die Klone mit einfachen Streuungszerlegungen geprüft. Die Resultate sind in den nachstehenden Abschnitten eingehend behandelt. Die gewählten Prüftage erlauben einen guten Einblick in den ganzen Verlauf der Bewurzelung

bis zur Erschöpfung des Wachstums überhaupt. Bei der Auswertung zeigte sich aber, daß für die Bestimmung des genauen optimalen *p*H-Bereiches für jedes Klon die *p*H-Intervalle etwas zu groß gewählt wurden, und es wäre wünschenswert, bei spätern Untersuchungen die Anzahl der Stecklinge pro Stichprobe zu erhöhen. Bei den auftretenden großen Streuungen ließen sich damit sicher eindeutigere Resultate erzielen.

Es besteht offenbar keine direkte Beziehung zwischen der ersten Knospentätigkeit und dem Beginn der Wurzelbildung, wie die Resultate der Tabelle 7 zeigen. Bei dieser Relation scheint es sich eher um eine kloneigene Eigenschaft zu handeln, welche zudem durch den *p*H-Wert stark modifiziert werden kann. Die Bildung der Wuchsstoffe führt also nicht unmittelbar zur Wurzelbildung.

Tabelle 7

Die Differenzen der mittleren Daten:
«Erste Wurzelbildung — Austreibestadium I»

Klon-Nr.	2,4	4,2	6,0	7,8	9,6	11,4
20.46	7,0	8,4	6,0	5,4	4,8	7,2
20.36	–,–	17,6	8,6	9,1	23,0	–,–
20.79	–,–	13,3	9,9	5,9	28,7	–,–
04.8	–,–	16,7	9,4	11,4	–,–	–,–
20.75	–,–	18,6	11,2	12,3	26,0	–,–
20.74b	–,–	13,2	12,8	12,8	22,4	–,–
03.2	–,–	16,2	8,6	11,1	31,7	–,–
20.72	–.–	13,2	11,2	–,–	–,–	–,–

Die Angaben beziehen sich auf Tage.

Qualitative Unterschiede zeigten sich bei 20.46, welche rosafarbige Wurzeln trieb und dieselben im *p*H-Wert 7,8 viel kräftiger ausbildete. Im *p*H-Wert 2,4 wurden die Stecklinge der Klone 20.46 und 20.36 dunkel-hellbraun fleckig. Der Befall durch Bakterien war besonders im sauren *p*H-Bereich sehr ausgeprägt, was eine periodische, sehr sorgfältige Reinigung nötig machte (Wegspülen der Bakterienkulturen an den Wurzeln).

Die Wurzelmessungen wurden so lange fortgesetzt, bis die Wurzeln entweder vollständig erlahmt oder gebräunt waren.

23.1 Die Prüfung aufeinanderfolgender Meßtag bei der Wurzelzahl und der Gesamtwurzellänge

Die Resultate dieser Prüfung sind in Tabellen 8 und 9 zusammengestellt. Es fällt sofort auf, daß die Zunahme der durchschnittlichen Wurzelzahl lediglich im *p*H-Wert 4,2 bei vier Klonen und im *p*H-Wert

Tabelle 8

Das Prüfen aufeinanderfolgender Meßtage
Wurzelzahl

	Klonnummern							
	20.36	20.79	03.2	20.46	04.8	20.72	20.75	20.74
2,4 1:2	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
2:3	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
3:4	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
4,2 1:2	0.05 +	–.—	–.—	0.05 +	–.—	0.001 +	0.05 +	–.—
2:3	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
3:4	0.001 —	–.—	–.—	0.01 —	–.—	0.01 —	0.01 —	–.—
6,0 1:2	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
2:3	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
3:4	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
7,8 1:2	–.—	–.—	0.05 +	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
2:3	–.—	–.—	0.05 —	0.001 —	–.—	–.—	–.—	–.—
3:4	–.—	–.—	–.—	0.001 —	–.—	–.—	–.—	–.—
9,6 1:2	–.—	–.—	–.—	0.01 —	–.—	–.—	–.—	–.—
2:3	–.—	–.—	–.—	0.01 —	–.—	–.—	–.—	–.—
3:4	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
11,4 1:2	–.—	–.—	–.—	0.001 —	–.—	–.—	–.—	–.—
2:3	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
3:4	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—

7,8 bei einem weitern Klon als wesentlicher Unterschied bewertet werden kann und dies lediglich zwischen dem ersten und dem zweiten Meßtag. Zudem sind die meisten Unterschiede nur schwach gesichert. Dies läßt erwarten, daß die Zeit auf den Vergleich der *p*H-Werte und der Klone keinen großen Einfluß besitzt. Bei der Prüfung der *p*H-Werte und der Klone ist ferner zu berücksichtigen, daß zum Teil schon nach dem zweiten Meßtag starke Abfälle in der Wurzelzahl vorhanden sind, die aus der Erschöpfung des Wachstums zu erklären sind. Dabei läßt sich auch feststellen, daß in den optimalen *p*H-Bereichen diese Abgänge erst zufälliger Natur sind.

Ganz ähnliche Überlegungen lassen sich auch für die Wurzellänge anstellen; sie sind jedoch im Rahmen dieser Untersuchung nicht sehr wesentlich.

Wichtiger erscheint die Tatsache, daß die gesicherten Unterschiede bei der Wurzelzahl und der Wurzellänge im Laufe der Zeit nicht unbedingt übereinzustimmen brauchen.

Dabei lassen sich folgende Fälle unterscheiden, wenn man nur die Bewurzelungszunahme verfolgt:

1. Gesicherte Unterschiede in der Wurzelzahl und der Wurzellänge:
   Die mittlere Wurzellänge kann dadurch größer oder kleiner werden.
2. Gesicherte Unterschiede in der Wurzelzahl, aber zufällige Unterschiede in der Wurzellänge:
   Die mittlere Wurzellänge wird kleiner.
3. Gesicherte Unterschiede in der Wurzellänge, aber zufällige Unterschiede in der Wurzelzahl:
   Die mittlere Wurzellänge wird größer.
4. Zufällige Unterschiede in der Wurzelzahl und der Wurzellänge:
   Die mittlere Wurzellänge bleibt ungefähr gleich groß.

Die mittlere Wurzellänge stellt zu einem bestimmten Zeitpunkt wohl ein charakteristisches Merkmal für ein Klon dar, repräsentiert jedoch keineswegs etwa das mittlere Wurzelwachstum, wenn man, wie dies korrekt wäre, das Alter jeder einzelnen Wurzel berücksichtigen würde. Selbst wenn die mittlere Wurzellänge kleiner wird oder gleich groß bleibt, so ist es denkbar, daß das mittlere Wurzelwachstum im spätern Zeitpunkt zugenommen hat und umgekehrt.

Für die *mittleren Wurzellängen* ist nun folgendes festzustellen:

— Fall 4 bleibt weitaus der häufigste für die 4 Prüftage. Es wäre aber wünschenswert, bei einer spätern Versuchsanlage diese Resultate mit einer größern Zahl von Stecklingen pro Stichprobe zu überprüfen.

Tabelle 9

Wurzellänge

	Klonnummern							
	20.36	20.79	03.2	20.46	04.8	20.72	20.75	20.74
2,4 1:2	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
2:3	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
3:4	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
4,2 1:2	0.05 +	–.—	–.—	0.001 +	0.05 +	–.—	–.—	–.—
2:3	0.01 +	–.—	–.—	0.05 +	0.05 —	–.—	–.—	–.—
3:4	0.001—	–.—	–.—	0.001—	–.—	0.05 —	0.05 —	–.—
6,0 1:2	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
2:3	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
3:4	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
7,8 1:2	–.—	–.—	–.—	–.—	0.05 +	–.—	–.—	–.—
2:3	–.—	–.—	–.—	–.—	0.05 —	–.—	–.—	–.—
3:4	–.—	–.—	–.—	0.05 —	–.—	–.—	–.—	–.—
9,6 1:2	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
2:3	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
3:4	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
11,4 1:2	–.—	–.—	–.—	0.001—	–.—	–.—	–.—	–.—
2:3	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
3:4	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—

— Im optimalen *p*H-Bereich vermag bei keinem Klon ein Prüftag gegenüber dem unmittelbar vorangegangenen bei einem Intervall von 6 Tagen eine wesentliche Änderung der mittleren Wurzellänge herbeizuführen. Dasselbe gilt für die Klonnummern 20.79 und 20.74 durch alle *p*H-Werte. Trotz guter Entwicklung sind die auftretenden Streuungen eben zu groß, als daß sich wesentliche Unterschiede ausbilden könnten. Ähnliches gilt von den Extremwerten 2,4, 9,6 und 11,4, wo dieses Verhalten jedoch durch die außerordentlich gehemmte Wurzelentwicklung erklärt werden muß.

— In den dem *p*H-Wert 6,0 unmittelbar benachbarten vermögen innerhalb von 6 Tagen einzelne Prüftage die mittlere Wurzellänge wesentlich zu verändern:

4,2:	20.36 und 20.46	vom 1. auf den 2. Prüftag:	Fall 1
	20.72 und 20.75	vom 1. auf den 2. Prüftag:	Fall 2
	04.8	vom 1. auf den 2. Prüftag:	Fall 3
	20.46 und 20.36	vom 2. auf den 3. Prüftag:	Fall 3
7,8:	03.2	vom 1. auf den 2. Prüftag:	Fall 2
	04.8	vom 1. auf den 2. Prüftag:	Fall 3

Das Verhältnis Wurzellänge : Wurzelzahl wird also bei einzelnen Klonen in den ersten Prüftagen wesentlich verschoben. Wurzellänge oder Wurzelzahl erfahren dadurch eine verhältnismäßige Begünstigung, ein Ausdruck dafür, daß je nach Zeitpunkt der eine oder andere Faktor an Bedeutung für die gesamte Bewurzelung gewinnen oder verlieren kann.

23.2 Die Wurzelzahl

232.1 *Die Prüfung der pH-Werte*

Betrachtet man die Resultate in Tabelle 10, so stellt man fest, daß über alle Prüftage bei jedem Klon gesicherte Unterschiede immer gleichsinnig zutage treten. Diese Tatsache deutet darauf hin, daß die optimalen *p*H-Bereiche weitgehend konstant bleiben im Verlaufe der Wurzelbildung, wenn die Bereiche nicht durch das Auftreten nur zufälliger Unterschiede noch erweitert werden. Zudem sind die Wirkungen des *p*H-Wertes auf alle Klone weitgehend dieselben; wenn überhaupt gesicherte Unterschiede auftreten, dann treten die *p*H-Werte bei allen Klonen in dieselbe relative Beziehung.

Die Zeit spielt nur am ersten Meßtag eine maßgebende Rolle, indem bei den Klonnummern 20.79, 04.8, 20.72 und 20.74 durch alle *p*H-Werte noch keine gesicherten Unterschiede auftreten.

Bei 20.36, 03.2, 20.75 und 20.46 tritt der *p*H-Wert 6,0 deutlich als Optimum zutage, wobei bei 20.36, 03.2 und 20.75 nur 6,0 sich von allen anderen *p*H-Werten unterscheidet, während bei 20.46 neben 6,0 auch 7,8 schon deutlich sich gegenüber 2,4, 4,2 und 11,4 unterscheidet. (Nur gegenüber 9,6 unterscheidet sich 6,0 zusätzlich.) Ein starker Hinweis auf die Erweiterung des opt. *p*H-Bereiches ist also bereits vorhanden.

Am 37. zeigen auch die Klone 20.79, 03.2 und 20.75 deutliche optimale *p*H-Bereiche um 6,0, während 20.46 und 20.36 den Bereich auf 6,0—7,8 bzw. 4,2—6,0 erweitern. Diese Beziehungen werden am 44. nicht mehr modifiziert; hingegen sind am 51. alle opt. *p*H-Bereiche auf 6,0 nivelliert. Diese Tatsache erklärt sich allein aus den starken Abgängen der Wurzeln.

Tabelle 10

Das Prüfen der *p*H-Werte
Wurzelzahl
Prüftag Nr. 51

	Klonnummern							
	20.36	20.79	03.2	20.46	04.8	20.72	20.75	20.74
2,4:4,2	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
6,0	0.001 +	0.001 +	0.001 +	0.001 +	0.001 +	0.001 +	0.001 +	0.01 +
7,8	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
9,6	0.05 +	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
11,4	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
4,2:6,0	0.001 +	0.001 +	0.001 +	0.001 +	0.001 +	0.001 +	0.001 +	0.001 +
7,8	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
9,6	0.05 +	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
11,4	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
6,0:7,8	0.001—	0.001—	0.001—	0.001—	0.001—	0.001—	0.001—	0.001—
9,6	0.01 —	0.05 —	0.001—	0.001—	0.001—	0.001—	0.001—	0.001—
11,4	0.001—	0.001—	0.001—	0.001—	0.001—	0.001—	0.001—	0.001—
7,8:9,6	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
11,4	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
9,6:11,4	0.05 —	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
Opt. *p*H-Bereich um	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0

Mit zwei Ausnahmen (20.46 und 20.36) gruppieren sich sämtliche optimale *p*H-Bereiche um 6,0. Dies zeigt deutlich den überragenden Einfluß der *p*H-Reaktion auf die Ausbildung der Wurzelzahl, und es wäre wünschenswert, mit kleinern *p*H-Intervallen und einer größern Anzahl von Stecklingen je Stichprobe diese Untersuchungen weiterzuführen. Bei 20.36 handelt es sich um eine Moorpappel, bei 20.46 um eine Jurapappel. Ihre große ökologische Amplitude ist kennzeichnend für die Möglichkeit der Besiedlung auch ungünstigerer Standorte.

232.2 Die Prüfung der Klone

Die Tabelle 11 zeigt wiederum sehr ausgeglichene relative Beziehungen zwischen den Klonen. Die Beziehungen sind zeitlich nicht stark variabel, was eine direkte Folge der Ausführungen in 23.1 ist. In den Extremwerten treten zwischen den Kombinationen zur Klasse 2 oft nur zufällige Unterschiede auf (2,4, 4,2, 9,6 und 11,4).

Am 30. unterscheidet sich das Klon 20.46 von allen anderen in den *p*H-Werten 4,2—11,4. Zusätzlich vermag auch noch 20.36 in den *p*H-Werten 4,2 und 6,0 zu den

restlichen Klonen wesentliche Unterschiede auszubilden mit Ausnahme zu 03.2 im *p*H-Wert 4,2.

Am 37. unterscheidet sich 20.46 wiederum wesentlich von sämtlichen anderen Klonen in den *p*H-Reaktionen 4,2—9,6. Dasselbe gilt für 20.36 in 4,2 und 6,0. Dann folgt in der Reihenfolge der größten Wurzellängen 03.2 im *p*H-Wert 6,0.

Am 44. steht wiederum 20.46 an erster Stelle im *p*H-Bereich 4,2—7,8. Dann folgt 20.36 in 4,2—6,0 und an 3. Stelle 03.2 (6,0) und 04,8 (4.2), welche noch zu einigen anderen Klonen gesicherte Unterschiede auszubilden vermögen.

Am 51. sind die Resultate schon stark durch die Wurzelabgänge beeinflußt und wurden daher nicht mehr berücksichtigt.

Tabelle 11

Das Prüfen der Klone

Wurzelzahl

Prüftag Nr. 44

	*p*H-Werte					
	2,4	4,2	6,0	7,8	9,6	11,4
20.36:20.79	–.—	0.01 —	–.—	–.—	–.—	–.—
03.2	–.—	0.001—	–.—	–.—	–.—	–.—
20.46	–.—	–.—	0.05 +	0.001 +	–.—	–.—
04.8	–.—	0.001—	0.05 —	–.—	–.—	–.—
20.72	–.—	0.01 —	0.01 —	–.—	–.—	–.—
20.75	–.—	0.01 —	0.05 —	–.—	–.—	–.—
20.74	–.—	0.001—	0.05 —	–.—	–.—	–.—
20.79:03.2	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
20.46	–.—	0.001 +	0.001 +	0.001 +	–.—	–.—
04.8	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
20.72	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
20.75	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
20.74	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
03.2:20.46	–.—	0.001 +	0.05 +	0.001 +	–.—	–.—
04.8	–.—	–.—	0.05 —	–.—	–.—	–.—
20.72	–.—	–.—	0.01 —	–.—	–.—	–.—
20.75	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
20.74	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
20.46:04.8	–.—	0.001—	0.001—	0.001—	–.—	–.—
20.72	–.—	0.001—	0.001—	0.001—	–.—	–.—
20.75	–.—	0.001—	0.001—	0.001—	–.—	–.—
20.74	–.—	0.001—	0.001—	0.001—	–.—	–.—
04.8:20.72	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
20.74	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
20.75	–.—	0.05 +	–.—	–.—	–.—	–.—
20.72:20.75	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
20.74	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
20.75:20.74	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—

Die wesentlichsten *Resultate* lassen sich kurz zusammenfassen:

— Mit der Zeit werden durch die Abgänge der Wurzeln die Unterschiede von den Extremwerten her zwischen den Klonen ausgeglichen.

— Eine starke Differenzierung der Klone ist nicht vorhanden, indem einzig 20.46 sich über seinen optimalen *p*H-Bereich hinaus von allen andern Klonen unterscheidet, während dies 20.36 nur innerhalb seines optimalen *p*H-Bereichs gelingt. Das starke Bewurzelungsvermögen dieser beiden Klone ist um so auffallender, als es sich gemäß ihrer Herkunft und voraussichtlichen standörtlichen Eignung um eine Jura- bzw. Moorpappel handelt. 03.2 und 04.8 stehen sich ihrer Herkunft nach sehr nahe.

23.3 Die Gesamtwurzellänge

233.1 Die Prüfung der pH-Werte

Die Zusammenstellung der Prüfresultate in Tabelle 12 zeigt folgendes Bild:

Tabelle 12

Das Prüfen der *p*H-Werte

Wurzellänge

Prüftag Nr. 44

	Klonnummern							
	20.36	20.79	03.2	20.46	04.8	20.72	20.75	20.74
2,4:4,2	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	0.05 +	–.—	–.—
6,0	0.001 +	0.001 +	0.001 +	0.01 +	0.001 +	0.001 +	0.001 +	0.001 +
7,8	–.—	–.—	–.—	0.05 +	–.—	–.—	–.—	–.—
9,6	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
11,4	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
4,2:6,0	0.001 +	0.01 +	0.001 +	0.01 +	0.001 +	–.—	0.001 +	0.01 +
7,8	–.—	–.—	–.—	0.05 +	–.—	0.05 —	–.—	–.—
9,6	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	0.05 —	–.—	–.—
11,4	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	0.05 —	–.—	–.—
6,0:7,8	0.001—	0.01 —	0.001—	–.— —	0.001—	0.01 —	0.001—	0.001—
9,6	0.001—	0.001—	0.001—	0.01 —	0.001—	0.05 —	0.001—	0.01 —
11,4	0.001—	0.001—	0.001—	0.01 —	0.001—	0.01 —	0.001—	0.001—
7,8:9,6	–.—	–.—	–.—	0.05 —	–.—	–.—	–.—	–.—
11,4	–.—	–.—	–.—	0.05 —	–.—	–.—	–.—	–.—
9,6:11,4	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
Opt. *p*H-Bereich um	6,0	6,0	6,0	6,0 u. 7,8	6,0	4,2 u. 6,0	6,0	6,0

Am 30. zeigen 20.36, 20.79 und 03.2 ein deutliches Optimum im *p*H-Bereich um 6,0; 20.46 entsprechend wie bei der Wurzelzahl um 6,0—7,8. Die restlichen Klone vermögen zwischen den *p*H-Werten noch keine Unterschiede auszubilden.

Am 37. zeigen zusätzlich 20.74 b und 20.75 ein Optimum um 6.0, 04.8 bildet noch keine gesicherten Unterschiede aus, während 20.72 den opt. *p*H-Bereich um 4,2 aufzeigt.

Am 44. zeigt auch 04.8 das Optimum um 6,0, während 20.72 den Bereich von 4,2 auf 4,2—6,0 erweitert.

Am 51. sind unter dem Einfluß der starken Wurzelabgänge alle opt. *p*H-Bereiche auf 6,0 nivelliert.

Tabelle 13

Das Prüfen der Klone

Wurzellänge

Prüftag Nr. 44

	*p*H-Werte					
	2,4	4,2	6,0	7,8	9,6	11,4
20.36:20.79	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
03.2	–.—	0.01 —	–.—	–.—	–.—	–.—
20.46	–.—	–.—	–.—	0.001 +	–.—	–.—
04.8	–.—	0.01 —	0.05 —	–.—	–.—	–.—
20.72	–.—	–.—	0.01 —	–.—	–.—	–.—
20.75	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
20.74	–.—	0.01 —	0.05 —	–.—	–.—	–.—
20.79:03.2	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
20.46	–.—	0.01 +	0.05 +	0.001 +	–.—	–.—
04.8	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
20.72	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
20.75	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
20.74	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
03.2:20.46	–.—	0.001 +	–.—	0.001 +	–.—	–.—
04.8	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
20.72	–.—	–.—	0.05 —	–.—	–.—	–.—
20.75	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
20.74	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
20.46:04.8	–.—	0.001—	0.001—	0.001—	–.—	–.—
20.72	–.—	0.01 —	0.001—	0.001—	–.—	–.—
20.75	–.—	0.01 —	0.05 —	0.001—	–.—	–.—
20.74	–.—	0.001—	0.001—	0.001—	–.—	–.—
04.8:20.72	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
20.75	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
20.74	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
20.72:20.75	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
20.74	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—
20.75:20.74	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—	–.—

In weitaus den häufigsten Fällen bildet sich 6,0 als Optimum aus. Einzig 20.46 (Jurapappel) erweitert den Bereich gleich wie bei der Wurzelzahl auf 6,0 bis 7,8. 20.36 zeigt im Gegensatz zur Wurzelzahl für die Wurzellänge eine geringere ökologische Amplitude, während 20.72 (ebenfalls von einem ungünstigen Pappelstandort) für die Wurzellänge allein den Bereich ins saure Gebiet erweitert.

233.2 Die Prüfung der Klone

Hier läßt sich aus Tabelle 13 folgendes entnehmen:

Die Klone zeigen im Laufe der Zeit in ihrem relativen gegenseitigen Verhalten eine weitgehende Konstanz:

Am 30. unterscheidet sich 20.46 in den *p*H-Werten 4,2—11,4 von allen anderen. Dann folgen in der Reihenfolge der Wurzellänge: 20.36 und 20.79 in 4,2 und 20.36 in 6,0. Sämtliche anderen Klone unterscheiden sich gegenseitig nur zufällig.

Am 37. fällt 20.79 aus.

Am 44. unterscheidet sich 20.46 nur noch im *p*H-Bereich 4,2—7,8 von allen anderen.

Die außerordentliche Vitalität der Klone 20.46 und 20.36 gegenüber den andern gilt nun auch für die Wurzellänge wie für die Wurzelzahl als erwiesen.

23.4 Folgerungen aus 23.2 und 23.3

234.1 Die Prüfung der pH-Werte

Vergleicht man die Wurzelzahl und die Wurzellänge nach *p*H-Werten, so läßt sich die Feststellung machen, daß die gesicherten Unterschiede in der Gesamtwurzellänge und der Wurzelzahl nicht immer übereinstimmen, wobei analog zum Kapitel 23.1 wiederum die Fälle 1 bis 4 unterschieden werden können. Aus einer einläßlicheren Betrachtung resultiert dann folgendes:

1. Wenn überhaupt gesicherte Unterschiede ausgebildet werden, dann unterscheiden sich die optimalen *p*H-Werte von den andern dadurch, daß sowohl die Wurzelzahl als auch die Wurzellänge gesteigert sind. Diese Regel wird lediglich an den beiden ersten Prüftagen von einigen Klonen nicht erfüllt, wo Fall 3 an Stelle dieses Verhaltens tritt (Vergrößerung der mittleren Wurzellänge). Fall 4 und Fall 2 sind selten und sind dann lediglich der Ausdruck für den Beginn der Bewurzelung.
2. Daneben ist auffallend, daß in extrem sauren *p*H-Werten (2,4 und 4,2) gegenüber den basischen (9,6 und 11,4) weniger Wurzeln bei zufälligen Unterschieden in der Gesamtwurzellänge auftreten. Während im basischen Bereich die Wurzeln das Periderm noch durchbrachen, zeigten sich im sauren Bereich oft nur leichte Schwellungen am Ort der Wurzelanlage. Im basischen Bereich wurde jedoch das Wachstum der neugebildeten Wurzeln im Kontakt mit der Lösung rascher zum Stillstand gebracht.

234.2 Die Prüfung der Klone

Man kann sich nun ebenfalls noch die Frage stellen, wie sich die Klone in bestimmten Zeitpunkten nach der mittleren Wurzellänge unterscheiden. Dabei stellt man fest, daß 20.46 in allen *p*H-Werten, in denen dieses Klon gesicherte Unterschiede ausbildet, die andern Klone sowohl nach der Wurzelzahl als auch nach der Gesamtwurzellänge überflügelt. Diese Relation ist nicht von der Zeit abhängig.

Anders verhält sich 20.36 in den *p*H-Werten 4,2—6,0 zu den anderen Klonen. Am 30. unterscheidet sich 20.36 entweder durch eine größere, mittlere Wurzellänge (Fall 3) oder aber durch die Wurzelzahl und die Gesamtwurzellänge (Fall 1). Am 37. tritt aber neben Fall 3 auch schon Fall 4 ein, und am 44. hat man bereits in den häufigsten Fällen eine geringere mittlere Wurzellänge (Fall 2). Im Laufe der Zeit erschöpft sich das Wurzelwachstum von 20.36 eben rascher als bei 20.46.

23.5 Die Art der Bewurzelung

Im Anhang VI wurden die Wurzellängen noch Knospenabschnitten, nach adventiven Kalluswurzeln und proventiven Seitenwurzeln getrennt graphisch dargestellt. Ferner wurde auch der Beginn der Sekundärwurzelbildung festgehalten.

Neben dem, was in den Kapiteln über die Prüfung der *p*H-Werte und Klone bereits ausgeführt worden ist, ergeben sich daraus noch einige *zusätzliche Feststellungen* über den Verlauf des Wurzelwachstums, wobei jedoch bei den auftretenden Streuungen nicht zu weitgehende Schlüsse gezogen werden dürfen. Vielmehr sind diesen Feststellungen vielleicht Anregungen für spätere Untersuchungen zu entnehmen:

1. Der Wachstumsgang aller Wurzeln am Steckling zusammen verläuft für jedes Klon in den optimalen *p*H-Werten in charakteristischer Art und Weise, indem nicht nur der Beginn des Wurzelwachstums verschieden einsetzt, sondern auch die Steigungen der Tangenten (das momentane Wurzelwachstum) in gleichen Zeitabständen zum Beginn des Wurzelwachstums recht verschieden sind. Das Wuchstemperament von 20.36 verglichen mit 20.46 im *p*H-Wert 6,0 ist charakteristisch für diese Aussage.
2. Der Wachstumsgang (Wuchstemperament) für alle Wurzeln ist sehr stark *p*H-abhängig. In den extremen *p*H-Werten (2,4, 4,2, 9,6 und 11,4) erfolgt für alle Klone eine weitgehende Angleichung des Wachstumsganges. (Dabei ist zu berücksichtigen, daß im *p*H-Wert 2,4 und 4,2 im Knospenabschnitt 1—2 die Wurzeln infolge der hohen Luftfeuchtigkeit über dem Wasserspiegel trieben.)
3. Die an der Bewurzelung beteiligten Knospenabschnitte bleiben in einem breiten *p*H-Bereich weitgehend dieselben, aber die Bedeutung eines Abschnittes für die ausgebildete Wurzellänge ist je nach dem *p*H-Wert verschieden. Der Wachstumsgang aller Wurzeln innerhalb eines Abschnittes kann von demjenigen aller Wurzeln

und gegenüber den andern Knospenabschnitten erheblich abweichen.

4. Die Bewurzelung nach Knospenabschnitten kann für ein Klon charakteristisch sein, so zum Beispiel bei 20.72 und 20.74, wo zwischen den Knospenabschnitten 1—2 und 2—3 nie Wurzeln gebildet werden.
5. Adventive Kalluswurzeln werden nur im *p*H-Wert 6,0 von einigen Klonen gebildet (20.74 b, 03.2, 20.79, 04.8). Dieselben zeichnen sich durch ein besonders intensives Wachstum gegenüber den Seitenwurzeln aus. (Vielleicht ist diese Tatsache von Bedeutung für die Bewurzelung der Stecklinge im Boden, wo mehrheitlich Adventivwurzeln gebildet werden.)
6. Innerhalb eines Knospenabschnittes bilden sich die Sekundärwurzeln immer zuerst an den ältern Wurzeln. Zwischen den Knospenabschnitten bestehen aber oft erhebliche Unterschiede. Ein Einfluß des *p*H-Wertes auf die Sekundärwurzelbildung war aus diesen Darstellungen kaum ersichtlich, es sei denn, daß dieselbe in den extremen *p*H-Werten ganz unterbleibt.

3. Zusammenfassung

Bei je fünf Stecklingen von acht verschiedenen Klonen wurde in sechs verschiedenen *p*H-Werten im Bereich 2,4 bis 11,4 (Intervall 1,8 *p*H-Einheiten) die Abhängigkeit einiger Wachstumserscheinungen von der *p*H-Reaktion geprüft.

Dabei ließ sich für die einzelnen Wachstumserscheinungen folgendes feststellen:

1. Die Austreibestadien

— In weitaus den meisten Fällen unterscheiden sich die Austreibestadien wesentlich von den später folgenden. Die Stadien bilden sich i. a. zeitlich ausgeprägt nacheinander aus. Ein Einfluß des *p*H-Wertes auf diese Tatsache konnte nicht festgestellt werden; lediglich im *p*H-Wert 2,4 wurde das Stadium IV von keinem Klon mit allen fünf Stecklingen ausgebildet.

— Im allgemeinen hat die *p*H-Reaktion *keinen* Einfluß auf die zeitliche Ausbildung der vier Stadien. Lediglich bei 20.75 unterscheidet sich das späte Austreiben der Stadien II und III im *p*H-Wert 2,4 wesentlich von allen andern *p*H-Werten. Bei 20.79 zeigt der *p*H-Wert 11,4 in den Stadien I bis IV gegenüber den Reaktionen 6,0 bis 9,6 ein verspätetes Austreiben.

Es ist möglich, für alle *p*H-Werte und alle Stadien eine allgemeingültige Reihenfolge nach dem Zeitpunkt des Austreibens aufzustellen.

— Entsprechend dem unterschiedlichen Austreibeverlauf der Klone sind die möglichen Gruppierungen der acht Klone sowohl nach Klassen als auch innerhalb der Klassen verschieden für die Stadien I bis IV. Interessant ist nun aber die Feststellung, daß ein Einfluß des *p*H-Wertes auf die Gruppierung der Klone vorhanden ist, obwohl kein wesentlicher Einfluß des *p*H-Wertes auf die zeitliche Ausbildung der vier Stadien nachgewiesen werden konnte. Eine dauernde Angleichung im Austreibeverlauf über mehrere aufeinanderfolgende Stadien erfolgt fast ausschließlich in den extremen *p*H-Werten 2,4 und 11,4, dann in 4,2 und 9,6.

2. *Das Triebwachstum*

— Die Prüfung aufeinanderfolgender Meßtage ergab in weitaus den häufigsten Fällen nur zufällige Unterschiede.

— Die Differenzierung der Trieblänge nach *p*H-Werten ist keine ausgeprägte, da sich aufeinanderfolgende *p*H-Werte nur in einigen wenigen Fällen wesentlich unterscheiden. Immerhin läßt sich für jedes Klon schon deutlich ein optimaler *p*H-Bereich abgrenzen, welcher zwar oft noch recht breit ist und zudem im Laufe der Zeit ändern kann. Jedes Klon entwickelt seinen Bereich auf charakteristische Art und Weise.

— Da sich die Triebhöhenkurven i. a. nicht schneiden, ist es wiederum möglich, für alle Klone und *p*H-Werte eine allgemeingültige Reihenfolge nach der Triebhöhe aufzustellen.

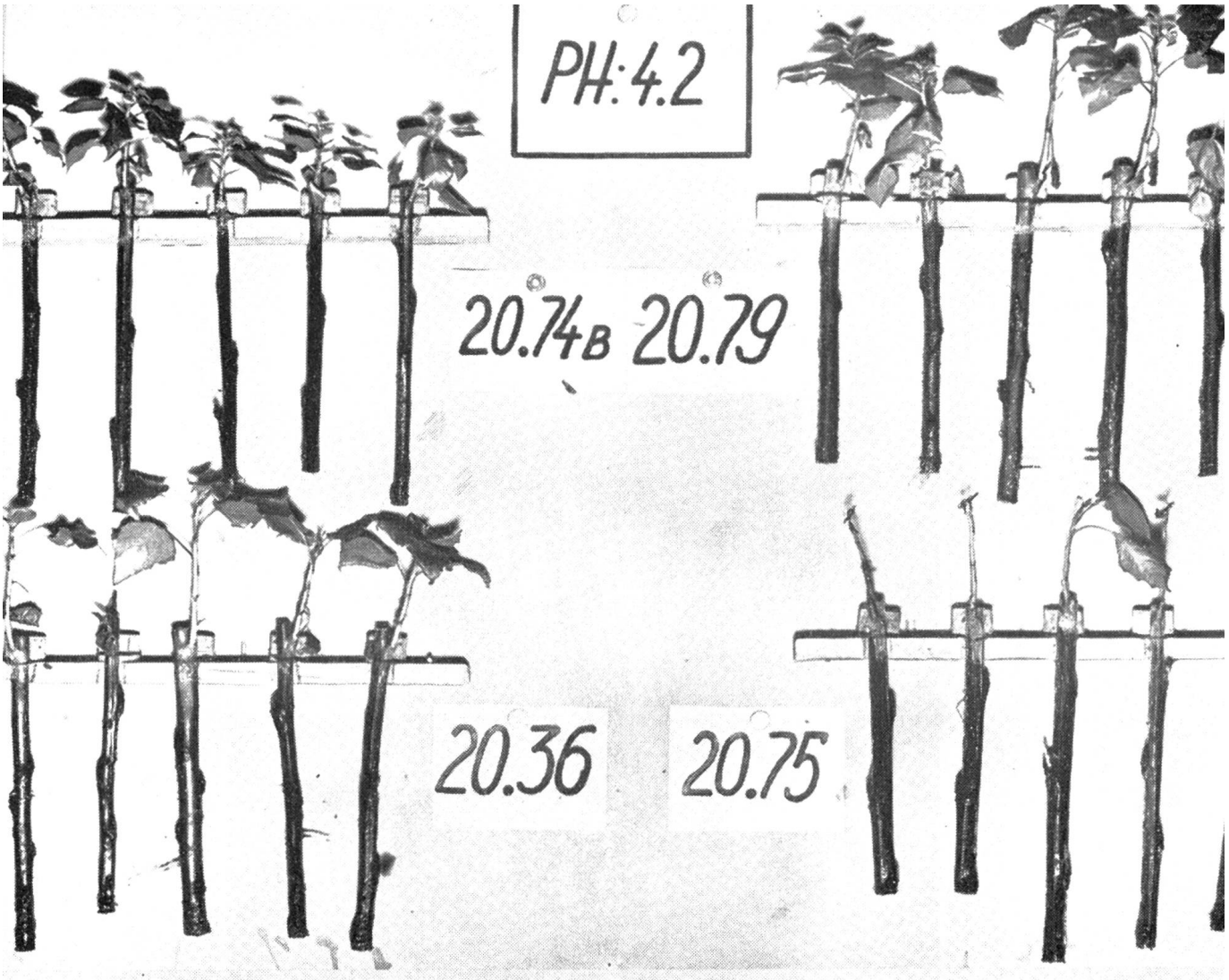
— Die Unterschiede zwischen den Klonen bilden sich bei weitem nicht so differenziert aus wie bei den Austreibestadien, so daß sich eine große Kombinationsmöglichkeit für die acht Klone sowohl nach Klassen als auch innerhalb der Klassen ergibt, welche zudem stark von der Zeit abhängig ist. Nur zufällige Unterschiede kommen zustande durch den kloneigenen Wachstumsverlauf (welcher zudem durch den *p*H-Wert modifiziert sein kann) und den nachhaltigen starken Einfluß des *p*H-Wertes, der bei einigen Klonen das Triebwachstum vollständig ausnivelliert, so daß nur noch zufällige Unterschiede zustande kommen.

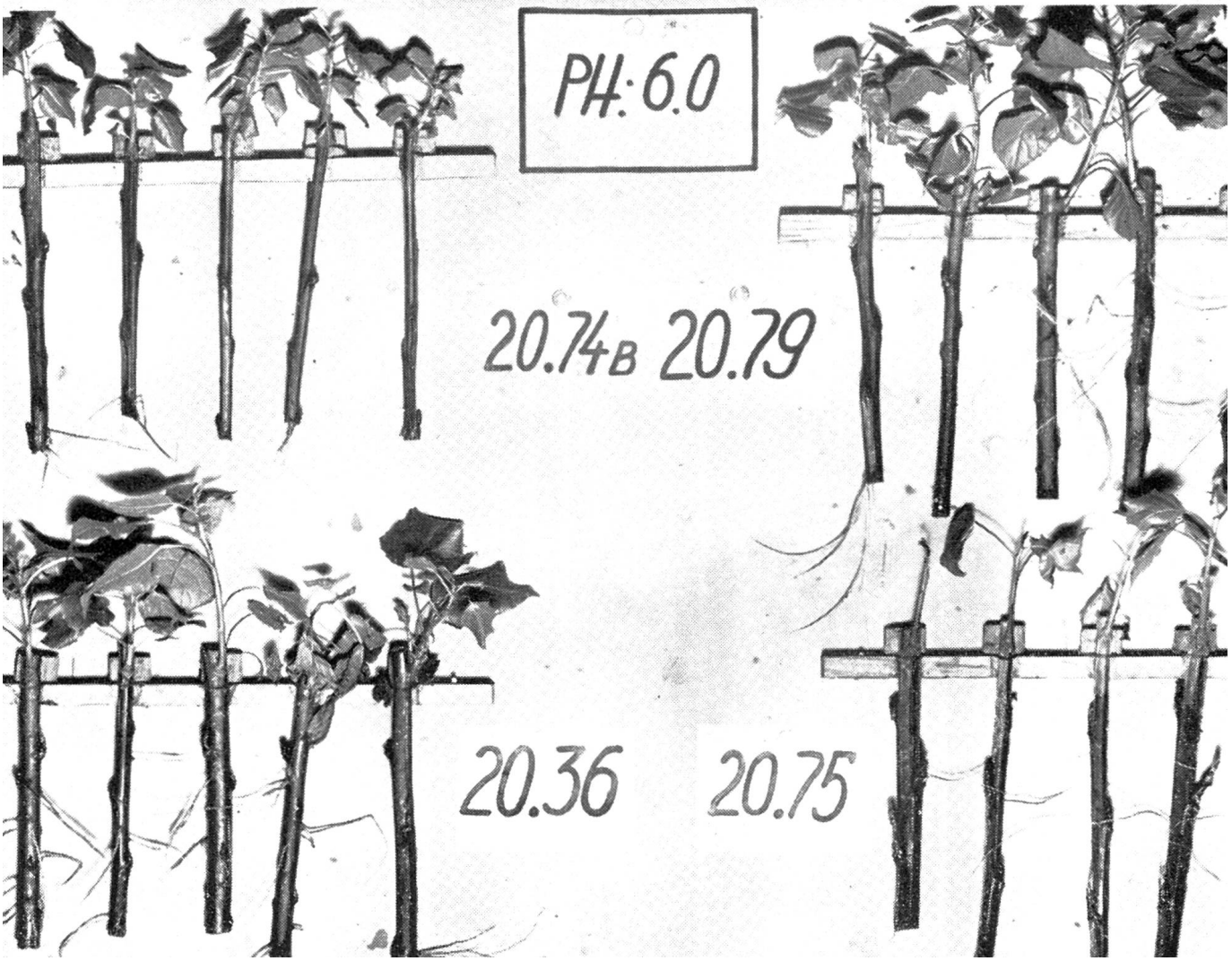
3. *Die Bewurzelung*

— Zwischen der ersten Knospentätigkeit und dem Beginn der Wurzelbildung konnte keine direkte Beziehung nachgewiesen werden. Diese Relation wird eher durch die kloneigenen Eigenschaften bedingt und ist zudem stark vom *p*H-Wert abhängig.

Tafel 1

4 Klone bei *p*H-Reaktion 4,2 und 6,0 57 Tage nach Versuchsbeginn


PH: 4.2
20.74B 20.79
20.36
20.75


PH: 6.0
20.74B 20.79
20.36
20.75

— Innerhalb von sechs Tagen wird die mittlere Wurzellänge bei keinem Klon im optimalen *p*H-Bereich wesentlich verändert.
— Die optimalen *p*H-Bereiche für die Wurzelzahl sind scharf ausgeprägt und nicht von der Zeit abhängig.
— Nach der Wurzelzahl unterscheiden sich die Klone voneinander in den Extremwerten (2,4, 4,2, 9,6 und 11,4) meist nur zufällig.
— Für die Wurzellänge zeigen sich wiederum ausgeprägte optimale *p*H-Bereiche um 6,0.
— Die Klone zeigen bei der Wurzellänge in ihrem relativen Verhalten zueinander im Laufe der Zeit nur geringe Unterschiede.
— Die optimalen *p*H-Werte unterscheiden sich i. a. von den andern dadurch, daß Wurzelzahl und Wurzellänge wesentlich gesteigert sind oder zum mindesten die mittlere Wurzellänge größer ist. Im extrem sauren Bereich ist die mittlere Wurzellänge meist etwas größer als im extrem basischen, da die Neubildung von Wurzeln verhältnismäßig stärker gehemmt ist als das Wachstum selbst.

4. *Art der Bewurzelung*

Der Wachstumsgang erfolgt in den optimalen *p*H-Bereichen für jedes Klon auf charakteristische Art und Weise. Derselbe ist jedoch in hohem Maße *p*H-abhängig, so daß schon in den *p*H-Werten 2,4, 4,2, 9,6 und 11,4 eine weitgehende Angleichung der Klone festzustellen ist. Die an der Bewurzelung beteiligten Knospenabschnitte bleiben immer dieselben; sie sind für einzelne Klone sogar charakteristisch, aber deren Bedeutung für die ausgebildete Wurzellänge ist je nach *p*H-Wert oft recht verschieden. Adventive Kalluswurzeln vermögen sich nur im *p*H-Wert 6,0 zu bilden, und dieselben weisen stets ein besonders intensives Wachstum auf.

5. *Schlußbetrachtung*

Die Bedeutung des *p*H-Wertes für die einzelnen Wachstumserscheinungen ist verschieden:

Austreiben:	Kein Einfluß.
Trieblänge:	Geringer Einfluß; breite optimale *p*H-Bereiche.
Bewurzelung:	Sehr starker Einfluß; sehr enge optimale *p*H-Bereiche.

Einzelne Klone (20.46 und 20.36) zeigen stets eine größere ökologische Amplitude und in allen Wachstumserscheinungen ein sehr vitales Verhalten gegenüber den andern.

Die Klone lassen sich am besten in den Austreibestadien unterscheiden; schon bei der Trieblänge erfolgt im Verhalten der Klone zueinander eine starke Angleichung, welche zudem in sehr hohem Maße von der Zeit abhängig ist. Am geringsten differenzieren sich die Klone in ihrem Bewurzelungsvermögen.

Literaturverzeichnis:

Diese Bibliographie erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit; sie verzeichnet lediglich diejenige Literatur, welche als Grundlage zu dieser Arbeit benützt wurde.

1. *Arnon, D. I., Fratzke, W. E., and Johnson, C. M.:* Hydrogen ion concentration in relation to absorption of inorganic nutrients by higher plants. Plant Physiology: No. 4, October, 515—524, 1942.
2. *Arnon, D. I.,* and *Johnson, C. M.:* Influence of hydrogen ion concentration on the growth of higher plants under controlled conditions. Plant Physiology: No. 4, October, 525—539, 1942.
3. *Braun-Blanquet, J.:* Pflanzensoziologie. 2. Auflage, Wien, Springer-Verlag, 1951.
4. *Burger, H.:* Wasserreiser und Wurzelbrut. Schweiz. Zeitschr. f. Forstwesen, Bern 1931, 305—308.
5. *Frey-Wyßling, A.:* Stoffwechsel der Pflanzen. 2., umgearb. Auflage, Zürich 1949.
6. *Huber, B.:* Pflanzenphysiologie. Heidelberg 1949, 3. Auflage.
7. *Linder, A.:* Statistische Methoden. 2., erweiterte Auflage, Basel 1951.
8. *Linder, A.:* Planen und Auswerten von Versuchen. Basel 1953.
9. *Marcet, E.:* Zum ökologischen Verhalten verschiedener Pappelsorten. Schweiz. Zeitschr. f. Forstwesen, Bern 1952, 425—431.
10. *Russel, E. J.:* Boden und Pflanze. 2. Auflage, nach der 6. engl. Auflage, bearbeitet von K. W. Müller, Dresden und Leipzig 1936.
11. *Takagi, Tsuyoshi:* Effects of external H-ion concentration on rooting responses of popular stem cuttings in nutrient solutions. The journal of the Japanese Forestry Society, Vol. 35, No. 10, 309—311.
12. *Van Der Lek, H. A. A.:* Over de Wortelvorming van Houtige Stekken. H. Veenman & Zonen, Wageningen 1925.

Résumé

L'influence du *p*H sur l'accroissement a été étudiée grâce à 40 boutures provenant de 8 clones différents (5 boutures de chaque clone) et placées dans 6 conditions de *p*H variant de 2,4 à 11,4 (avec des intervalles d'unités de *p*H de 1,8). Les résultats suivants ont été obtenus.

1. *Le bourgeonnement.* Dans la plupart des cas, les stades du bourgeonnement sont bien distincts des phases de développement subséquentes. Chacun des 4 stades de bourgeonnement se produit à une époque bien déterminée pour chaque clone. L'influence du *p*H sur le mode de développement des bourgeons n'a pu être établie; toutefois, aucun clone n'a produit le stade IV pour une valeur de *p*H de 2,4. Il est possible d'établir, d'après les dates de bourgeonnement, une loi générale pour chaque valeur de *p*H et pour chaque stade. D'après la date du bourgeonnement, on peut grouper les huit clones tant par classes que par stades (I à IV) à l'intérieur des classes. Il est intéressant de constater que le *p*H produit un effet sur le mode de groupement des clones bien qu'il n'affecte en rien, comme il vient d'être dit, le mode de développement des bourgeons selon les 4 stades.

2. *L'accroissement des pousses.* Les mesures effectuées ont donné des différences tout à fait fortuites: le *p*H n'affecte pas significativement la longueur des pousses. Toutefois, pour chaque clone, on peut limiter une valeur optima de *p*H, valeur jouissant d'une grande amplitude et susceptible de variations étendues; les extrêmes sont caractéristiques pour chaque clone. Comme les courbes de l'accroissement en longueur ne se croisent pas, il est possible de

déterminer une règle générale du taux d'accroissement correspondant aux clones et aux valeurs de *p*H. Les différences entre les clones, quant à l'accroissement en longueur, ne sont pas si grandes que celles qui furent observées à l'époque du bourgeonnement. Pour chaque clone, les différences remarquées dans l'accroissement des 5 boutures ne sont pas significatives. Le *p*H produit un effet puissant et durable qui nivelle la croissance en longueur de certains clones de sorte que, dans ces cas, les différences observées ne sont pas non plus significatives.

3. *L'enracinement.* On n'a pu établir de relation directe entre le début du bourgeonnement et le début de formation des racines: le délai est plutôt dû aux propriétés des clones et varie très fortement avec le *p*H. Au bout de 6 jours, la longueur moyenne des racines n'offrait de variation significative pour aucun clone, dans des conditions optima de *p*H. Au point de vue de la quantité des racines formées, les clones ne se distinguent entre eux que pour les valeurs extrêmes de *p*H de 2,4, 4,2, 9,6 et 11,4; les différences obtenues ne sont cependant pas significatives statistiquement. Le *p*H optimum, quant au nombre des racines, semble graviter autour de 6,0. Dans diverses conditions de *p*H, la longueur acquise par les racines et leur développement en longueur offrent des variations minimes entre chaque clone. La longueur moyenne des racines, de même que leur nombre, sont plus grands toutefois lorsque des conditions optima de *p*H sont réalisées. Dans les cas extrêmes d'acidité, la longueur moyenne des racines est toujours un peu plus considérable que dans les cas extrêmes d'alcalinité.

4. *Le mode d'enracinement.* L'enracinement des boutures se produit d'une façon bien particulière à chaque clone, dans des conditions optima de *p*H. Le mode d'enracinement dépend en grande partie du facteur *p*H de sorte que, pour chacun des *p*H 2,4, 4,2, 9,6 et 11,4, il est le même pour tous les clones.

En résumé:

a) L'influence du *p*H sur les différentes phases de l'accroissement est très variable:
sur le bourgeonnement: aucune influence;
sur la longueur de pousse: peu d'influence; écart du *p*H optimum très grand;
sur l'enracinement: très grande influence; écart du *p*H optimum très restreint.

b) Certains clones montrent toujours une plus grande amplitude écologique et un comportement vital supérieur à celui des autres dans toutes leurs phases de croissance:
les clones peuvent être différenciés dans leurs stades de bourgeonnement;
ils se distinguent très peu les uns des autres quant à l'accroissement en longueur de leur pousses;
la différence observée entre les clones est la plus petite lorsqu'il s'agit de leurs possibilités d'enracinement.

P.-E. Vézina