

ÜBER DEN GASAUSTAUSCH DER BLATTINTERZELLULAREN MIT DER UMGEBENDEN LUFT.

von

SIGEO ASANO

Inhaltverzeichnis

- | | |
|-------------------------|--------------------|
| I. Einleitung | IV. Ergebnisse und |
| II. Versuchsmaterialien | Diskussion |
| III. Arbeitsverfahren | Literatur |
| i) Apparaturen | |
| ii) Methodik | |

I. Einleitung.

Trotz der grossen Zahl von Untersuchungen über die Assimilation und Atmung der Blätter wissen wir nur wenig über die Zusammensetzung der Interzellularluft. Insbesondere über die Gasaustauschgeschwindigkeit zwischen den Blattinterzellularräumen und der umgebenden Atmosphäre durch die Spaltöffnungen sind unsere Kenntnisse gering.

Sachs schreibt in seinem „Vorlesungen über Pflanzenphysiologie“ (1882), dass Blätter wegen ihrer dicken Kutikula mit einer grossen Menge von Spaltöffnungen ausgerüstet sein müssen, um genügende Volmina Kohlensäure und Sauerstoff schnell in sich aufnehmen zu können. Aus dieser Ansicht geht schon hervor, dass Sachs eine beträchtliche Geschwindigkeit für den Gasaustausch zwischen Blatt und der Aussenluft angenommen hat.

Blackman (1895) hat sehr umfassende Untersuchungen über die Eingänge des Durchlüftungssystems der Laubblätter angestellt und bewiesen, dass unter normalen Bedingungen der Gasaustausch der Blätter nur durch die Spaltöffnungen stattfindet.

Es gibt einige Studien über die Geschwindigkeit der Gasdiffusion, welche durch Kultikula oder durch die ganze Schicht der Laubblätter stattfindet. Aber diese haben nach meiner Meinung mehr physikalische als biologische Bedeutung.

Zu wissen wie schnell die atmosphärischen Gase in das Innere der Blätter diffundieren, das heisst in die Interzellularräume, und aus diesen nach aussen ist von grösster Bedeutung für die Kohlensäureassimilation und die Atmung der Pflanze. Die Lösung dieses Problem ist mit gewissen experimentellen Schwierigkeiten verbunden, sodass vielleicht aus diesem Grunde bisher keine Untersuchungen auf dem Gebiete ausgeführt werden wird.

Nach meinen Analysen, ist die Zusammensetzung der Interzellularluft der Blätter immer ungefähr dieselbe wie die der atmosphärischen Luft, wenn die Spaltöffnungen offen sind.

TABELLE I. Analysen der atmosphärischen Luft im Laboratrium.

| Nr. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|
| CO ₂ % | 0.14 | 0.00 | 0.07 | 0.14 | 0.21 | 0.21 | 0.00 | 0.21 | 0.21 | 0.07 | 0.14 | 0.35 |
| O ₂ % | 20.07 | 20.7 | 20.4 | 20.3 | 20.8 | 20.6 | 20.7 | 20.7 | 20.6 | 19.85 | 20.2 | 20.7 |

(Berlin-Dahlem, 22. und 25. März, 1930.)

TABELLE II. Analysen der Interzellularluft der Blätter.

| Pflanzenarten | CO ₂ % | O ₂ % | Pflanzenarten | CO ₂ % | O ₂ % |
|--------------------------------|-------------------|------------------|------------------------------|-------------------|------------------|
| <i>Pinus Banksiae</i> | 0.0 | 20.2 | <i>Ligustrum vulgare</i> | 0.2 | 20.4 |
| <i>Pinus montana</i> | 0.0 | 20.4 | <i>Ligustrum ovalifolium</i> | 0.1 | 20.4 |
| <i>Taxus baccata</i> | 0.1 | 20.7 | <i>Buxus sempervirens</i> | 0.4 | 20.0 |
| <i>Abies concolor</i> | 0.1 | 20.3 | <i>Berberis aquifolium</i> | 0.1 | 20.1 |
| <i>Picea pungens</i> | 0.1 | 20.3 | <i>Ardisia crenata</i> | 0.0 | 20.0 |
| <i>Thuja occidentalis</i> | 0.0 | 20.5 | <i>Erica vagans</i> | 0.0 | 20.6 |
| <i>Cryptomeria japonica</i> | 0.2 | 20.5 | <i>Hedera helix</i> | 0.0 | 20.4 |
| <i>Juniperus chinensis</i> | 0.1 | 20.1 | <i>Vinca minor</i> | 0.0 | 21.0 |
| <i>Acacia Melanoxyton</i> | 0.0 | 20.9 | <i>Impatiens Sultani</i> | 0.0 | 20.7 |
| <i>Callistemon lanceolatus</i> | 0.0 | 20.3 | <i>Impatiens Olivieri</i> | 0.0 | 20.8 |
| <i>Metrosideros coracea</i> | 0.0 | 20.3 | <i>Tradescantia zebrina</i> | 0.0 | 20.5 |
| <i>Ilex laurifolium</i> | 0.3 | 20.1 | <i>Saxifraga umbrosa</i> | 0.1 | 20.2 |
| <i>Evonymus japonica</i> | 0.1 | 20.7 | <i>Sedum brachyphyllum</i> | 0.0 | 19.8 |
| <i>Thea japonica</i> | 0.2 | 20.1 | <i>Mesembryanthemum sp.</i> | 0.0 | 20.0 |

Die Interzellularluftanalyse wurden am Sommertag, 8—10 Uhr Morgens direkt nach dem Pflücken der Blätter unternommen.

Der Oeffnungszustand der Spaltöffnungen wurde durch die Xylol-Infiltrations-Methode festgestellt. Die Stomata waren in allen Fällen offen.

Wenn die Spaltöffnungen geschlossen sind, so ist die Zusammensetzung der Interzellularluft etwas anders als oben angegeben. Bei *Ligustrum vulgare*, war am Morgen eines trüben Tages, wenn also die Spaltöffnungen geschlossen sind, die Zusammensetzung der Interzellularluft folgende: CO₂% 0.8, O₂% 19.4. *Ilex laurifolium* und *Thuja occidentalis* betrug die Zusammensetzung der Interzellularluft, bei geschlossenen Spaltöffnungen, CO₂% 0.7, O₂% 19.4 und CO₂% 1.0, O₂% 19.9. Ein merkwürdiger Fall wurde bei dem gefrorenen Blatt von *Vinca minor* ermittelt. In diesem Fall erreichten die Prozentsätze von CO₂ und O₂, 3.5 und 18.8.

Also nur wenn die Spaltöffnungen geschlossen sind, wird die Zusammensetzung der Interzellularluft von den durch die Kohlensäureassimilation oder durch die Atmung produzierten Gasen stark beeinflusst. Sonst diffundieren die Gase ausserordentlich schnell durch offene Spaltöffnungen aus den Interzellularräumen nach aussen, und von aussen in diese hinein.

Diese Tatsache veranlasste mich die folgenden Versuche anzustellen, um die Geschwindigkeit des Gasaustauschs quantitativ zu ermitteln.

II. Versuchsmaterialein.

Als Versuchsmaterialien habe ich die folgenden 28 Pflanzen verwendet. Alle sind aus dem Garten und den Gewächshäusern des Pflanzenphysiologischen Instituts in Berlin-Dahlem entnommen.

| | |
|---|----------------------------------|
| <i>Pinus Banksiae</i> , | <i>Callistemon lanceolatus</i> , |
| <i>Pinus montana</i> , | <i>Metrosideros coracea</i> , |
| <i>Taxus baccata</i> , | <i>Ilex laurifolium</i> , |
| <i>Abies concolor</i> , | <i>Evonymus japonica</i> , |
| <i>Picea pungens</i> , | <i>Thea japonica</i> , |
| <i>Thuja occidentalis</i> , | <i>Ligustrum vulgare</i> , |
| <i>Cryptomeria japonica</i> , | <i>Ligustrum ovalifolium</i> , |
| <i>Juniperus chinensis procumbens</i> , | <i>Buxus sempervirens</i> , |
| <i>Acacia Melanoxydon</i> , | <i>Berberis aquifolium</i> , |

*Ardisia crenata,**Erica vagans,**Hedera helix,**Vinca minor,**Impatiens Sultani,**Impatiens Olivieri,**Tradescantia zebrina,**Saxifraga umbrosa,**Sedum brachyphyllum,**Mesembryanthemum* sp.

Wegen der Form und Grösse des Versuchsgefässes und auch wegen des Arbeitsverfahrens musste ich die Versuchsmaterialien beschränken. Die zu den Versuchen verwendeten Blätter müssen dauerhaft für mehrmaliges Aussaugen und dürfen auch nicht zu gross sein. Ferner muss die Blattfläche glatt sein, da sonst das an ihr haftende Gas die Analysenergebnisse beeinflusst.

Das geeigneteste Material unter den oben genannten 28 Pflanzen war *Vinca minor*, deren Blatt mittlere Grösse hat, (etwa 3 cm. Länge und 2 cm. Breite), und ziemlich hart in seinen Bau ist. Die Spaltöffnungen sind auch verhältnismässig gross. Daher habe ich mit diesem Material mehr Versuche angestellt als mit den anderen Pflanzen.

Zum Vergleich mit dem Ergebnis von frischen *Vinca*-Blättern habe ich ausserdem fixierte Blätter verwendet. Das Blatt, dessen Spaltöffnungen offen bleiben sollen, wird in kaltem absolute Alkohol gebracht. Der Alkohol durchdringt das Blatt ausserordentlich schnell. Auf diese Weise erhält sich der Oeffnungszustand der Stomata, wenn auch die Oeffnungsweite vor dem Abnehmen der Blätter von der Pflanze etwas grösser ist (s. Tabelle).

TABELLE III. Spaltöffnungsweite der *Vinca*-Blätter.

| | Min. | Mittel | Max. |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| frischer Zustand | 4.5 × 1.0 μ | 5.6 × 1.7 μ | 7.0 × 2.0 μ |
| fixierter Zustand | 3.0 × 0.5 | 4.7 × 0.9 | 6.0 × 1.5 |

Die Blätter, welche zum Fixieren mit Alkohol injiziert worden sind, bleiben während der ersten 24 Stunden in den absoluten Alkohol, während der zweiten 24 Stunden in einer Mischung von 3 Teilen abs. Alkohol und 1 Teil Chloroform, in den dritten 24 Stunden in einer Mischung von gleichen Teilen abs. Alkohol und Chloroform, dann in der Mischung von 1 Teil abs. Alkohol und 3 Teilen Chloroform, und endlich noch 24 Stunden in reinem Chloroform. Durch dieses

Verfahren, werden die Blätter noch fester als sonst. Leider war es praktisch unmöglich, nach der Fixierung die ursprüngliche Spaltöffnungsweite völlig zu erhalten.

Ausser den *Vinca*-Blättern habe ich fixierte Blätter von *Pinus Banksiae* zur Untersuchung gebraucht. Das Fixierungsverfahren war genau dasselbe wie bei den *Vinca*-Blättern.

III. Arbeitsverfahren.

i) Apparaturen.

Für das Aufsaugen der Interzellularluft verwendet ich eine der Quecksilberluftpumpe von Geissler etwas ähnlich eingerichtete Quecksilberflasche. Die nachstehende Abbildung gibt die schematische Darstellung des Apparates.

Glasgefäss A bildet den Hauptteil. Das kegelförmige Gefäss, dessen Durchmesser am Boden 6 cm., und dessen Höhe 10 cm. beträgt, hat ein Volumen von etwa 200 ccm. Es befinden sich im untern Teil zwei Oeffnungen a und b. Die mit luftdichten Glasstöpsel versehene Oeffnung a dient zum Einführen des Blattes. Der Glasstöpsel wird durch ein um das Gefäss gelegtes Gummiband fest gehalten. Die Oeffnung b steht durch den etwa 1 Meter langen Kautschukschlauch C mit der Oeffnung c der oben offenen Flasche B in Verbindung. Die Kegelspitze d läuft seitwärts in die bei f endigende Kapillarröhre aus. Diese Kapillarröhre enthält einen Dreiweg-Hahn D und einfach durchbohrten Hahn E. Die Röhre senkt sich vom Hahn E an allmählich, während die Spitze f nach oben gerichtet ist. Um die Spitze ist die oben offene kleine Glocke angeschmolzen, in der die Mündung der Spitze etwa 1 cm. niedriger als das Niveau des wagerechten Teiles der Kapillarröhre sitzt. An den Hahn D ist eine etwa 10 cm. lange Kapillarröhre senkrecht angesetzt. Diese Nebenskapillarröhre steht durch einen Gummischlauch mit dem Manometer M in Verbindung.

Als Analyseapparat wurde Kroghs Mikroanalyseapparat gebraucht, der grosse Vorteile für die Analyse sehr kleiner Gasmengen hat und für meine Zwecke mit ausreichender Genauigkeit arbeitete. In meinen Versuchen war

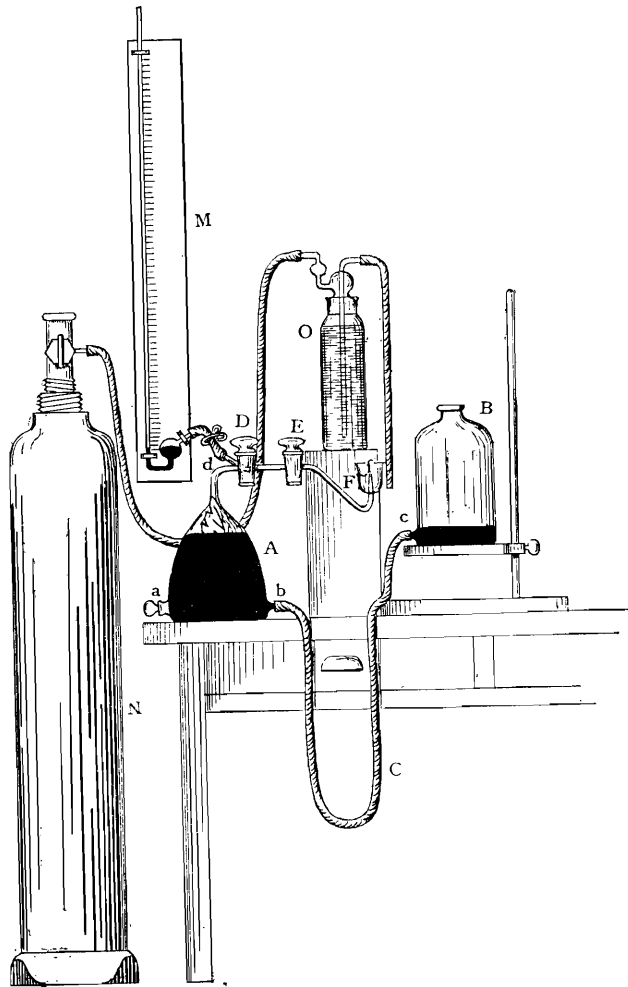


Abb. 1. Schematische Darstellung des Apparates.
 A, B Gasabsaugungs-apparat, M Manometer, N Kohlensäure-
 behälter, O Waschflasche. Weitere Erklärung im Text.

die Menge der aufgesaugten Interzellularluft so klein, dass sie je nach dem Volum und Bau des Blattes, manchmal weniger als 0.2 ccm. betrug. Für eine einmalige Analyse mit Kroghs Apparat ist die Gasmenge von 0.005 bis 0.007 ccm. schon genügend.

Zur Absorption der Kohlensäure habe ich 10 % ige Kalilauge, und zur Bestimmung des Sauerstoffes 2.5 % ige Lösung von Pyrogallol in konzentrierter

Kalilauge (100 gr. Kalihydrat auf 60 ccm. Wasser, vorher vorbereitet) verwendet. Die Lösungen sind jeden Nachmittag neu bereitet worden zum Gebrauch für die Analyse am folgenden Tage.

ii) Methodik.

Unter der Geschwindigkeit der Gasdiffusion sollen die Gasmengen verstanden werden, die in der Zeiteinheit durch die Einheit des Diffusionsquerschnitts gehen. Gleiche Temperatur und gleicher Gesamtdruck vorausgesetzt, erfolgt die Diffusion einfach proportional dem Konzentrationsgefälle des betreffenden Gases.

Bei der vorliegenden Untersuchung bereitet es grosse Schwierigkeiten die Gasmengen zu bestimmen, die von aussen in die Interzellularräume diffundieren, oder von innen nach aussen. Daher habe ich mich darauf beschränkt, durch Bestimmung der Zusammensetzungsveränderungen der Interzellularluft, also aus dem Veränderungsverlauf mittelbar die Geschwindigkeit der Gasdiffusion zu folgern.

Unter diesem Gesichtspunkt, und um noch alle mathematischen Schwierigkeiten zu vermeiden, habe ich meine Arbeit unter den nachstehenden Bedingungen ausgeführt:—

Temperatur—Zimmertemperatur 16—18°C.

Lichtsärke—Volles diffuses Tageslicht.

Nach dem Einführen eines Blattes in das Gefäss A, wird das Gefäss B soweit gehoben, dass sich das Gefäss A und die Kapillarröhre vollständig mit Quecksilber füllen, also die Spitze der Kapillarröhre in der Glocke mit dem aus der Kapillarmündung überlaufenden Quecksilber ein wenig überdeckt ist. Wird nun der Hahn E abgesperrt und das Gefäss B allmählich gesenkt, so genügen schon 20 oder 30 cm. Gefälle des Quecksilberniveaus der zwei Gefässe, um ein Vakuum zu schaffen, das die Interzellularluft des Blattes ausläugt. Die erhaltene Interzellularluft wird jetzt durch Heben des Gefässes B und Oeffnen des Hahnes E, in den unteren Teil des Analyseapparates abgeleitet. Hierzu füllt man vorher das Schälchen F mit Wasser. Durch die Wasserschicht wird das Bläschen der Interzellularluft in den mit Wasser gefüllten

unteren Teil des Kroghschen Apparats zur Analyse aufgenommen.

Zur Untersuchung des Gasaustausches der Interzellularräume habe ich der Einfachheit wegen käufliche Kohlensäure aus einer Stahlflasche verwendet. Die Kohlensäure enthält leider etwa 0.5% andere Gase, ist also nicht ganz rein. Bei dem Einführen der Kohlensäure in das Gefäß A schaltete ich eine Waschflasche vor, durch Regulieren des Blasenstromes des die Waschflasche passierenden Gases, kann man die Strömungsgeschwindigkeit der Kohlensäure einigermaßen regulieren.

Nach dem Einführen des Blattes füllt man das Gefäß A mit dem Quecksilber bis zur Spitze der Kapillarröhre, dann senkt man das Niveau des Quecksilbers in dem Gefäß B etwa 4 bis 5 cm. unter die Spitze des Gefäßes A. Die Mündung f der Kapillare lässt man durch den Kautschuckschlauch mit der ausströmenden Kohlensäure in Verbindung, zugleich wird der Hahn in die geeignete Stellung gedreht. Durch die Senkung des Quecksilbers strömt jetzt die Kohlensäure in das Gefäß A ein. Während dieser Zeit, bringt man den Innenraum des Gefäßes A mit dem Manometer in Verbindung. Das Manometer zeigt den Druck im Innenraum des Gefäßes A an. Ich habe die Kohlensäureströmung so reguliert, dass der Innendruck des Gefäßes A stets dem Atmosphärendruck entsprach.

Das Blatt wird also in einer reinen Kohlensäure-Atmosphäre gehalten. Nach beliebiger Zeit treibt man durch das Heben des Gefäßes B, die Kohlensäure aus dem Gefäß A wieder aus.

Die Interzellularluft wird aufgesaugt und analysiert. Die Differenzen in der Zusammensetzung zwischen diesen Analysen und den vorhergehenden Analysen zeigen die Veränderung in Folge der Kohlensäureeinführung in beliebiger Zeit.

In den vorliegenden Versuchungen wurden die Analysen in folgender Reihenfolge angestellt. Direkt nach dem Abpflücken des Blattes wird die erste Analyse ausgeführt, das Resultat zeigt die jeweilige Zusammensetzung der Interzellularluft, dann kommt die zweite Analyse nach 5 Sekunden Aufenthalt in CO₂. Nach der ungefähr 15 Minuten-Pause an der gewöhnlichen Luft, wird die

dritte Analyse angeführt nachdem sich das Blatt vorher 8 Sekunden in der CO_2 Atmosphäre befand. Dieses Zeit-Intervall zwischen zwei Versuchen ist vollkommen genügend für die Wiederherstellung der normalen Zusammensetzung der Interzellularluft; also ist jetzt Interzellularluftkonstitution dieselbe wie in der ersten Analyse. Diesen Analysen folgen die vierte, fünfte, sechste usw., je nach CO_2 -Einführung von 10 Sekunden, 12 Sekunden, 15 Sekunden usw., jede mit dem je 15 Minuten Intervall in der frischen Luft. Eine einmalige Analyse dauert etwa 10 Minuten, also die ganze Analysenfolge beansprucht ungefähr 4 Stunden.

Beim Einführen der Kohlensäure, habe ich die Gasströmung so reguliert dass der Innendruck des Gefäßes A immer derselbe war wie in der Atmosphäre. Aber für die ersten 4 Versuche, nämlich 5, 8, 10 und 12 Sekunden Einführung der Kohlensäure, war die Benutzung des Manometers wegen der kurzen Zeit fast unmöglich. Deswegen habe ich bloss durch Regulieren des Blasenstromes in der Waschflasche annähernd den gleichen CO_2 -Druck herstellen können.

IV. Ergebnisse und Diskussion.

Die Ergebnisse der Versuche lege ich in Form von Tabellen (III) und Kurven vor, aus denen die Gasdiffusions-Verhältnisse der Blätter ersichtlich sind.

Aus meinen Versuchen geht hervor, dass sich die einzelnen Blätter recht verschieden verhalten in bezug auf die Gasdiffusion, besonders je nach der Lage des Blattes, ob Sonnenblatt oder Schattenblatt—Differenz des Blattbaus—und auch nach dem Alter des Blattes. In dieser Hinsicht möchte ich später noch weitere Versuche anstellen.

Die in der Tabelle berechneten Zahlen sind Mittelwerte aus mehreren Versuchsfolgen.

Im allgemeinen steigt die Kurve des CO_2 -Gehaltes im Anfang sehr steil empor, dann kommt ein Wendepunkt nach welchem sich die Kurve langsam abflacht oder fast wagerecht verräuft. Der Wendepunkt der Kurve liegt meistens zwischen 5'' und 15'' Kohlensäure-Zufuhr. Welches ist die Ursache dieses

TABELLE III.

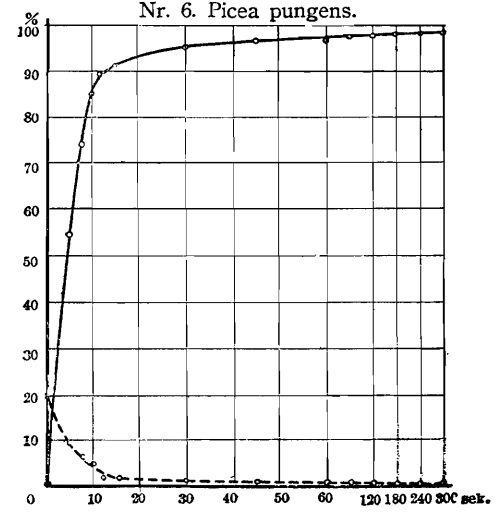
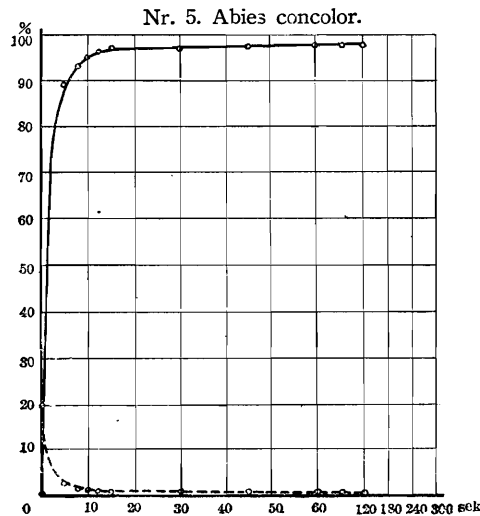
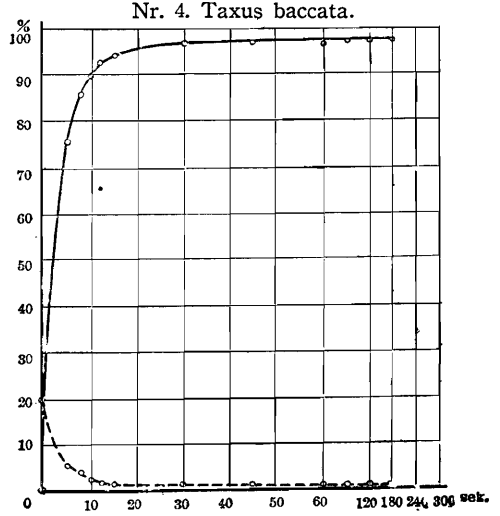
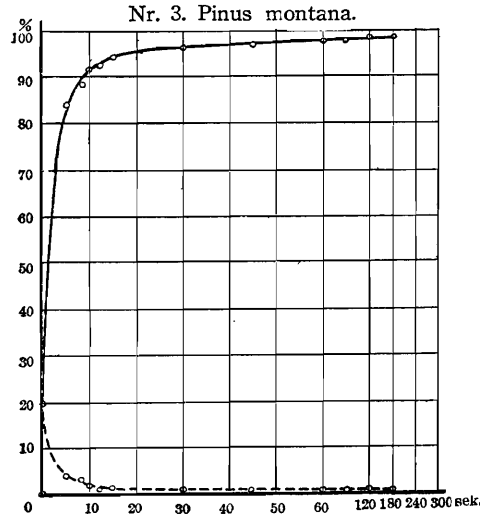
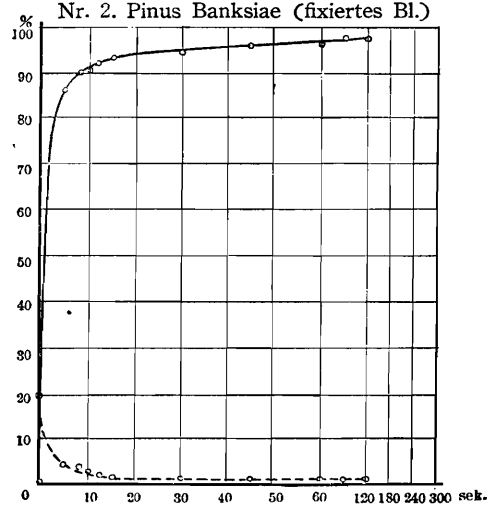
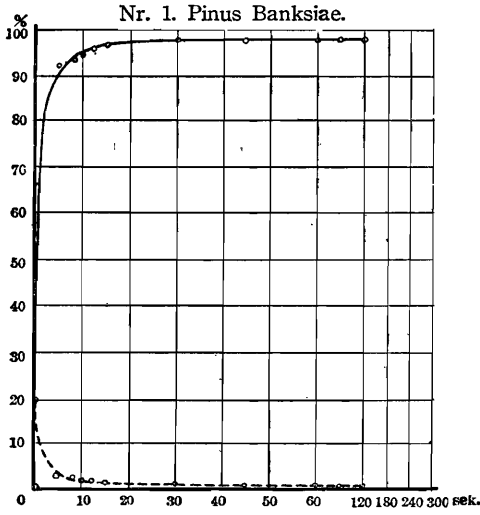
| Pflanzenarten | | Zusammensetzung der Interzellularluft | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-----------------|---------------------------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-----|
| | | normal | Veränderung nach der CO ₂ -Zuführung von; | | | | | | | | | | | | |
| | | | 5' | 8' | 10' | 12' | 15'' | 30'' | 45'' | 1' | 15' | 2' | 3' | 4' | 5' |
| 1.* <i>Pinus Banksiae</i> | CO ₂ | 0.092 | 0.092 | 0.693 | 0.795 | 0.095 | 0.996 | 0.697 | 1.197 | 0.697 | 0.997 | 0.818 | — | — | — |
| | O ₂ | 20.2 | 2.1 | 1.9 | 1.7 | 1.3 | 1.1 | 1.0 | 0.7 | 0.7 | 0.6 | 0.5 | — | — | — |
| 2.* do. (fixiertes Blatt) | CO ₂ | 0.186 | 190.4 | 491.2 | 292.7 | 93.3 | 94.1 | 96.3 | 97.2 | 97.6 | 97.6 | — | — | — | |
| | O ₂ | 20.6 | 3.6 | 2.9 | 2.1 | 1.7 | 1.5 | 1.3 | 0.9 | 0.8 | 0.7 | 0.7 | — | — | — |
| 3.* <i>Pinus montana</i> | CO ₂ | 0.084 | 788.4 | 491.6 | 92.5 | 94.7 | 96.7 | 97.1 | 97.4 | 97.5 | 98.0 | 98.2 | — | — | |
| | O ₂ | 20.4 | 3.2 | 2.5 | 2.2 | 1.9 | 1.4 | 1.2 | 0.9 | 0.8 | 0.8 | 0.7 | 0.5 | — | — |
| 4.* <i>Taxus baccata</i> | CO ₂ | 0.175 | 485.6 | 89.5 | 93.5 | 94.3 | 96.4 | 96.7 | 96.6 | 97.1 | 97.3 | 97.4 | — | — | |
| | O ₂ | 20.7 | 5.6 | 3.4 | 2.5 | 1.9 | 1.4 | 1.0 | 0.9 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.7 | — | — |
| 5.* <i>Abies concolor</i> | CO ₂ | 0.154 | 573.4 | 85.1 | 90.2 | 93.5 | 96.5 | 97.2 | 67.5 | 98.0 | 98.2 | 98.4 | 98.6 | 98.6 | |
| | O ₂ | 20.3 | 9.6 | 6.0 | 4.5 | 2.1 | 1.5 | 0.8 | 0.6 | 0.6 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.3 |
| 6.* <i>Picea pungens</i> | CO ₂ | 0.189 | 394.5 | 96.0 | 96.6 | 97.2 | 97.4 | 97.5 | 97.6 | 97.6 | 97.5 | — | — | — | |
| | O ₂ | 20.3 | 2.4 | 1.1 | 0.8 | 0.7 | 0.7 | 0.6 | 0.6 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | — | — | — |
| 7.* <i>Thuja occidentalis</i> | CO ₂ | 0.076 | 080.7 | 84.0 | 86.5 | 87.7 | 92.3 | 94.1 | 95.9 | 96.0 | 96.2 | — | — | — | |
| | O ₂ | 20.5 | 5.1 | 4.3 | 3.4 | 3.1 | 2.7 | 1.8 | 1.4 | 1.1 | 1.1 | 1.0 | — | — | — |
| 8.* <i>Cryptomeria japonica</i> | CO ₂ | 0.235 | 152.3 | 63.4 | 67.6 | 72.3 | 80.2 | 86.6 | 92.0 | 93.3 | 95.2 | 96.8 | 97.9 | 98.1 | |
| | O ₂ | 20.5 | 12.8 | 9.9 | 7.5 | 6.2 | 4.3 | 4.1 | 3.0 | 1.7 | 1.3 | 1.0 | 0.7 | 0.4 | 0.4 |
| 9.* <i>Juniperus chinensis</i> | CO ₂ | 0.178 | 584.5 | 86.1 | 87.5 | 89.7 | 94.8 | 95.6 | 96.7 | 97.3 | 97.3 | 97.6 | 97.6 | — | |
| | O ₂ | 20.1 | 4.3 | 3.4 | 2.5 | 2.0 | 1.6 | 0.8 | 0.8 | 0.7 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | — |
| 10.* <i>Acacia Melanoxylon</i> | CO ₂ | 0.094 | 595.0 | 95.6 | 96.7 | 97.1 | 98.1 | 98.2 | 98.3 | 98.3 | 98.3 | — | — | — | |
| | O ₂ | 20.9 | 1.5 | 1.2 | 1.1 | 1.1 | 0.8 | 0.6 | 0.6 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | — | — | — |
| 11.* <i>Calli stemon lanceolatus</i> | CO ₂ | 0.091 | 495.6 | 97.5 | 98.1 | 98.4 | 98.9 | 98.9 | — | — | — | — | — | — | |
| | O ₂ | 20.3 | 1.9 | 1.3 | 0.6 | 0.5 | 0.4 | 0.3 | 0.3 | — | — | — | — | — | |
| 12.* <i>Meterosideros coracea</i> | CO ₂ | 0.062 | 072.6 | 79.1 | 85.3 | 88.6 | 95.4 | 97.6 | 98.4 | 98.4 | 98.5 | — | — | — | |
| | O ₂ | 20.3 | 7.7 | 6.2 | 4.2 | 3.1 | 2.5 | 0.9 | 0.6 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | — | — | — |
| 13.* <i>Ilex laurifolium</i> | CO ₂ | 0.360 | 270.3 | 75.6 | 78.1 | 80.4 | 84.1 | 92.3 | 95.6 | 98.4 | 98.4 | — | — | — | |
| | O ₂ | 20.1 | 8.5 | 6.1 | 5.6 | 5.3 | 4.0 | 3.1 | 1.5 | 1.1 | 0.9 | 0.9 | — | — | — |
| 14.* <i>Evonymus japonica</i> | CO ₂ | 0.154 | 066.1 | 81.8 | 91.9 | 95.9 | 98.5 | 98.8 | 98.8 | — | — | — | — | — | |
| | O ₂ | 20.7 | 9.6 | 7.0 | 4.0 | 1.5 | 0.9 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | — | — | — | — | — |
| 15.* <i>Thea japonica</i> | CO ₂ | 0.266 | 484.1 | 94.8 | 95.7 | 96.7 | 97.3 | 98.0 | 98.5 | 98.6 | 98.6 | — | — | — | |
| | O ₂ | 20.1 | 7.1 | 3.3 | 1.5 | 1.2 | 0.7 | 0.7 | 0.6 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | — | — | — |
| 16.* <i>Ligustrum vulgare</i> | CO ₂ | 0.261 | 480.7 | 91.3 | 93.2 | 95.3 | 96.1 | 96.9 | 97.6 | 97.9 | 98.4 | 98.4 | — | — | |
| | O ₂ | 20.4 | 7.9 | 3.9 | 2.0 | 1.6 | 1.1 | 0.9 | 0.8 | 0.7 | 0.6 | 0.5 | 0.4 | — | — |

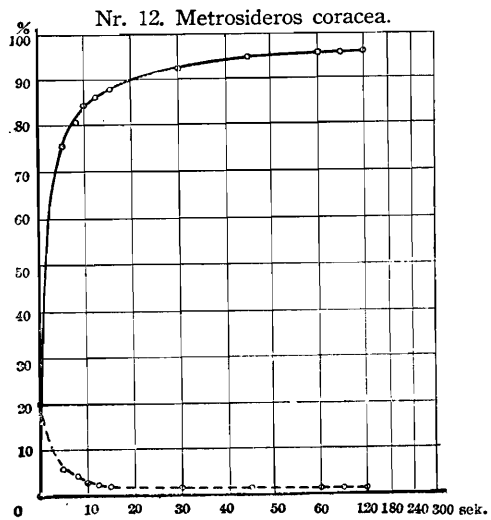
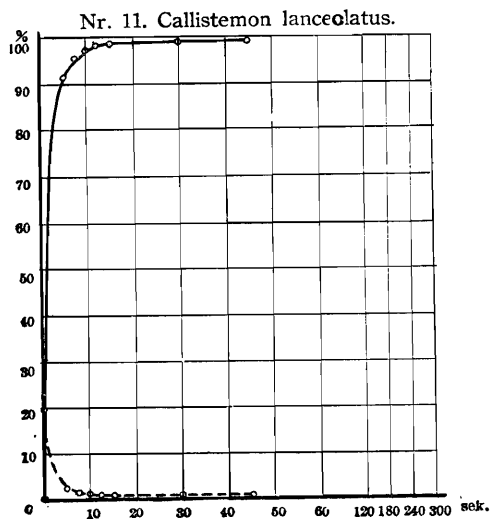
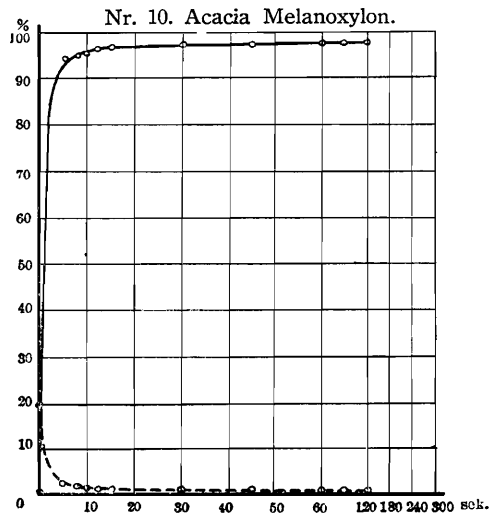
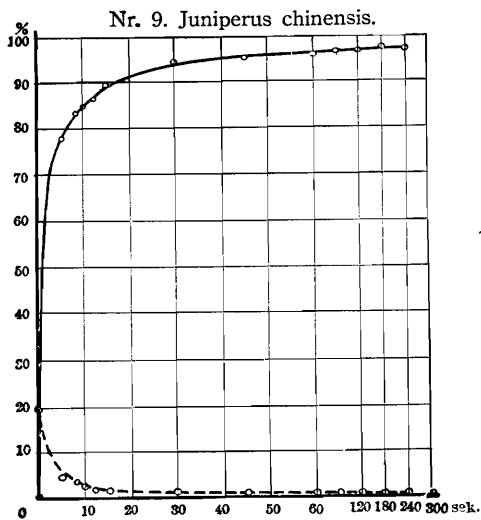
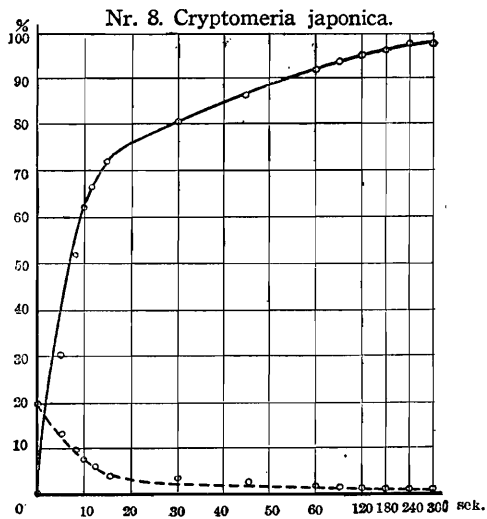
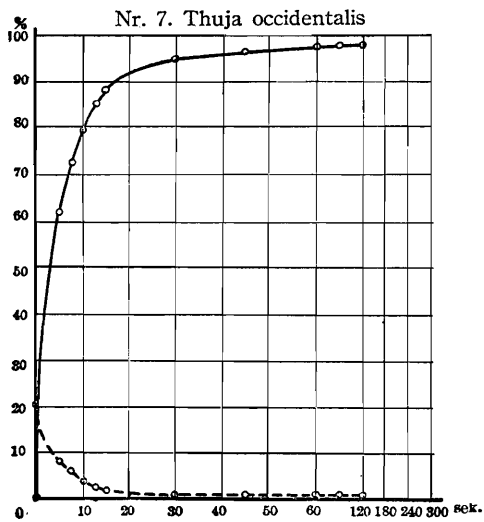
TABELLE III. (fortgesetzt)

| Pflanzenarten | | Zusammensetzung der Interzellularluft | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------|---------------------------------------|---|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|----|
| | | normal | Veränderung nach der CO ₂ -Zuführung von ; | | | | | | | | | | | | |
| | | | 5' | 8' | 10' | 12' | 15' | 30' | 45' | 1' | 1.5' | 2' | 3' | 4' | 5' |
| 17.* <i>Ligustrum ovalifolium</i> | CO ₂ | 0.1 | 69.9 | 79.9 | 85.5 | 88.7 | 93.6 | 97.5 | 98.1 | 98.2 | 98.2 | — | — | — | — |
| | O ₂ | 20.4 | 6.4 | 4.4 | 3.3 | 2.7 | 1.5 | 0.7 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | — | — | — | — |
| 18.* <i>Buxus sempervirens</i> | CO ₂ | 0.4 | 72.2 | 83.3 | 90.0 | 94.2 | 95.5 | 97.3 | 97.5 | 98.0 | 98.2 | 98.3 | 98.3 | — | — |
| | O ₂ | 20.0 | 6.0 | 3.6 | 2.2 | 1.4 | 1.0 | 0.7 | 0.6 | 0.6 | 0.5 | 0.4 | 0.4 | — | — |
| 19.* <i>Berberis aquifolium</i> | CO ₂ | 0.1 | 84.1 | 191.4 | 93.3 | 94.3 | 94.5 | 96.5 | 97.4 | 97.9 | 98.1 | 98.2 | 98.4 | — | — |
| | O ₂ | 20.0 | 3.6 | 1.8 | 1.3 | 1.1 | 1.0 | 0.8 | 0.7 | 0.6 | 0.5 | 0.5 | 0.4 | — | — |
| 20.* <i>Ardisia crenata</i> | CO ₂ | 0.0 | 78.6 | 87.8 | 92.4 | 95.6 | 96.7 | 97.9 | 98.2 | 98.6 | 98.6 | — | — | — | — |
| | O ₂ | 20.0 | 4.6 | 2.5 | 1.8 | 1.2 | 0.9 | 0.7 | 0.5 | 0.4 | 0.4 | — | — | — | — |
| 21.* <i>Erica vagans</i> | CO ₂ | 0.0 | 82.9 | 90.0 | 93.1 | 95.7 | 96.6 | 98.1 | 98.3 | 8.6 | 98.7 | 98.8 | — | — | — |
| | O ₂ | 20.6 | 3.6 | 2.1 | 1.6 | 1.1 | 1.0 | 0.5 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.3 | — | — | — |
| 22.* <i>Hedera helix</i> | CO ₂ | 0.0 | 82.5 | 86.7 | 91.5 | 94.3 | 95.5 | 97.2 | 97.5 | 97.2 | 97.7 | 98.0 | 98.2 | — | — |
| | O ₂ | 20.4 | 3.3 | 2.0 | 1.7 | 1.5 | 1.2 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.6 | 0.5 | 0.5 | — | — |
| 23.* <i>Vinca minor</i> | CO ₂ | 0.0 | 90.5 | 92.8 | 94.6 | 95.8 | 95.7 | 87.8 | 98.0 | 98.1 | 98.1 | — | — | — | — |
| | O ₂ | 21.0 | 2.1 | 1.9 | 1.4 | 1.1 | 0.9 | 0.8 | 0.6 | 0.6 | 0.5 | — | — | — | — |
| 24.* do. (fixiertes Blatt a) | CO ₂ | 0.1 | 70.6 | 83.3 | 89.1 | 93.1 | 94.6 | 95.8 | 96.2 | 96.7 | 97.2 | — | — | — | — |
| | O ₂ | 20.4 | 4.6 | 2.3 | 2.1 | 1.3 | 1.0 | 0.9 | 0.8 | 0.7 | 0.7 | — | — | — | — |
| 25.* do. (fixiertes Blatt b) | CO ₂ | 0.1 | 65.8 | 81.4 | 86.3 | 91.6 | 93.4 | 96.0 | 96.7 | 96.9 | 97.1 | — | — | — | — |
| | O ₂ | 20.4 | 6.7 | 3.9 | 3.0 | 1.8 | 1.3 | 1.1 | 0.8 | 0.7 | 0.7 | — | — | — | — |
| 26.* <i>Impatiens Sultani</i> | CO ₂ | 0.0 | 92.5 | 94.5 | 95.3 | 96.2 | 96.6 | 97.8 | 98.0 | 97.8 | 97.9 | — | — | — | — |
| | O ₂ | 20.7 | 1.6 | 1.3 | 1.0 | 0.9 | 0.9 | 0.7 | 0.6 | 0.6 | 0.5 | — | — | — | — |
| 27. <i>Impatiens Olivieri</i> | CO ₂ | 0.0 | 84.8 | 88.9 | 92.5 | 94.4 | 94.9 | 96.8 | 97.1 | — | — | — | — | — | — |
| | O ₂ | 20.8 | 2.3 | 1.5 | 1.2 | 1.2 | 1.1 | 0.9 | 0.7 | — | — | — | — | — | — |
| 28.* <i>Tradescantia zebrina</i> | CO ₂ | 0.0 | 83.5 | 90.2 | 92.3 | 95.4 | 97.4 | 97.9 | 97.9 | 98.0 | 98.0 | — | — | — | — |
| | O ₂ | 20.5 | 3.9 | 2.0 | 1.7 | 1.3 | 0.9 | 0.8 | 0.7 | 0.7 | 0.6 | — | — | — | — |
| 29.* <i>Saxifraga umbrosa</i> | CO ₂ | 0.1 | 65.9 | 74.8 | 81.8 | 85.1 | 87.1 | 96.7 | 98.2 | 98.7 | 98.7 | — | — | — | — |
| | O ₂ | 20.2 | 7.4 | 4.9 | 3.9 | 3.2 | 2.9 | 0.7 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | — | — | — | — |
| 30.* <i>Sedum brachyphyllum</i> | CO ₂ | 0.0 | 49.8 | 56.8 | 60.9 | 66.3 | 67.0 | 74.7 | 78.5 | 82.7 | — | — | — | — | — |
| | O ₂ | 19.8 | 10.8 | 9.0 | 7.6 | 7.3 | 7.1 | 5.8 | 5.0 | 3.8 | — | — | — | — | — |
| 31.* <i>Mesembryanthemum</i> sp. | CO ₂ | 0.0 | 60.8 | 66.4 | 71.8 | 73.2 | 76.0 | 82.4 | 85.0 | 88.0 | — | — | — | — | — |
| | O ₂ | 20.0 | 9.0 | 7.5 | 7.1 | 6.1 | 5.7 | 4.2 | 3.5 | 3.2 | — | — | — | — | — |

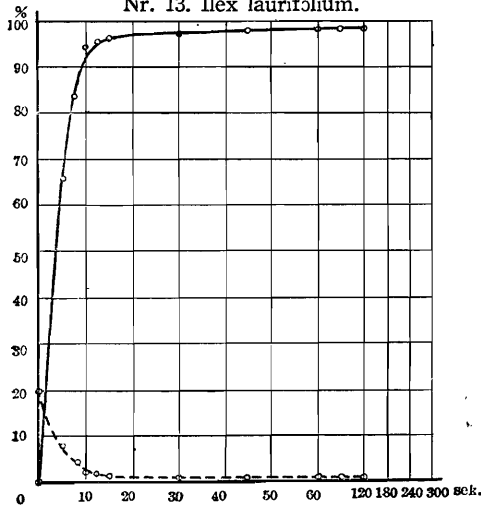
(Die Versuche wurden vom September 1929—März 1930 unternommen.)

* Siehe auch die nachstehende Kurven-bezeichnung mit derselben Nummer.

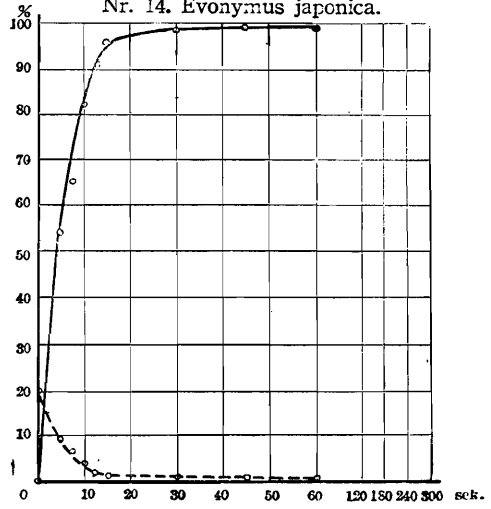




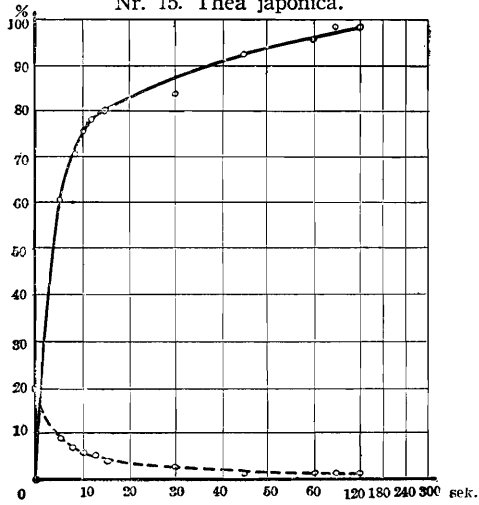
Nr. 13. *Ilex laurifolium*.



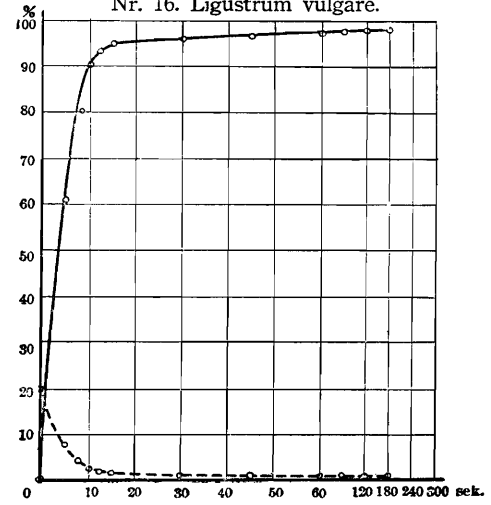
Nr. 14. *Evonymus japonica*.



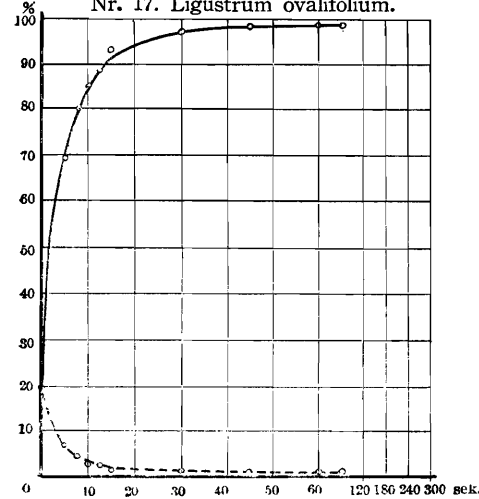
Nr. 15. *Thea japonica*.



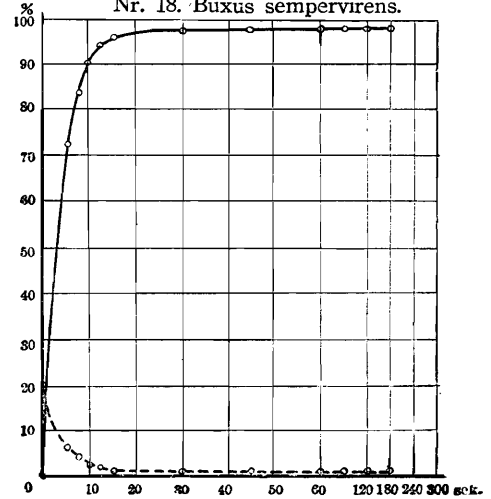
Nr. 16. *Ligustrum vulgare*.

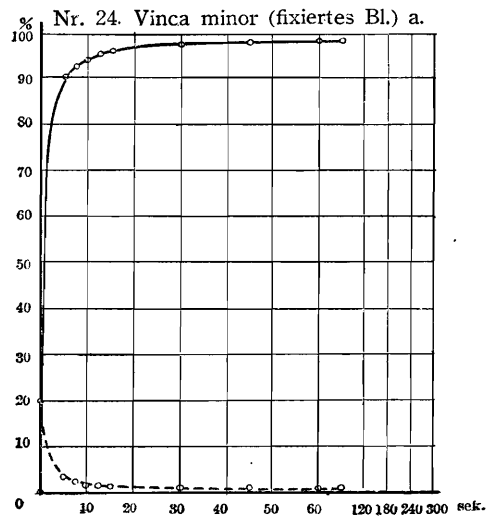
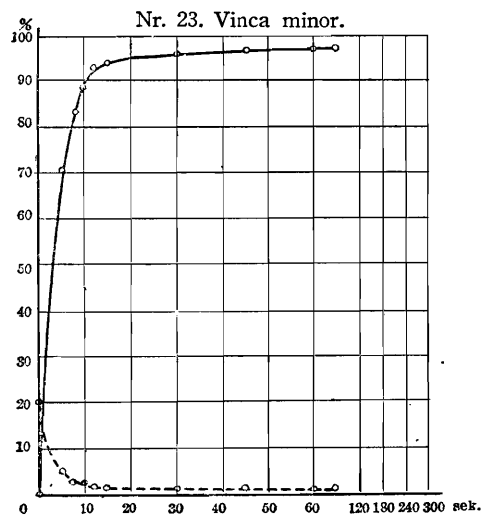
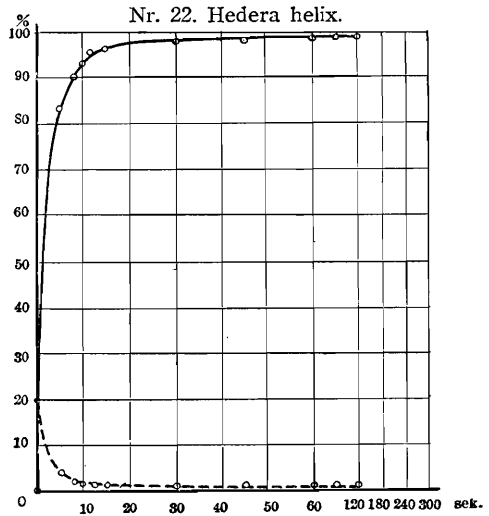
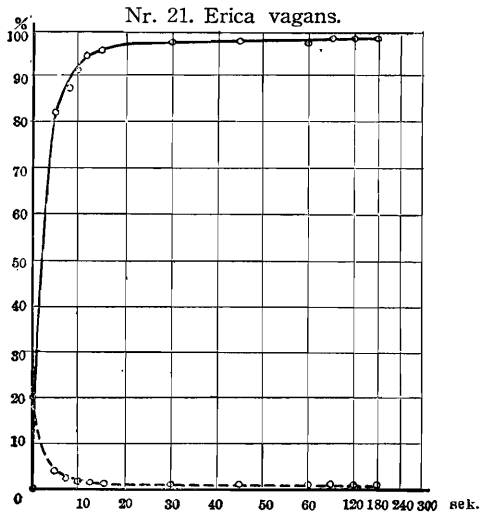
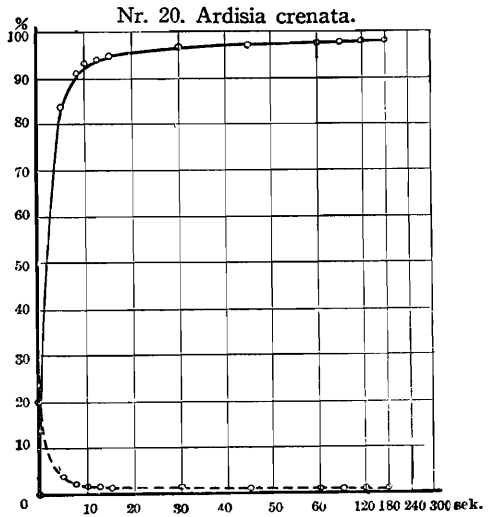
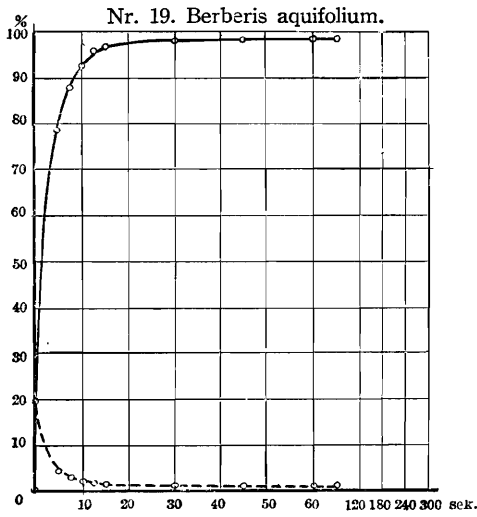


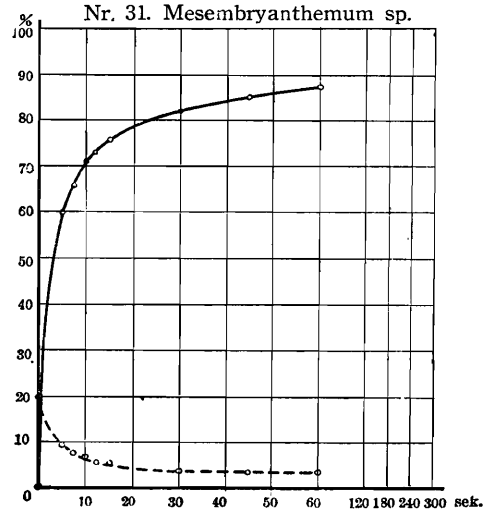
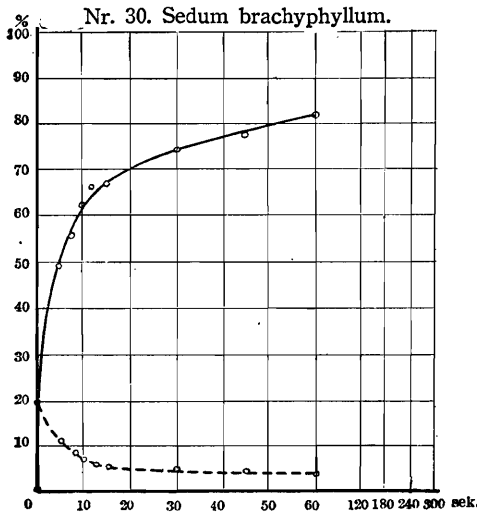
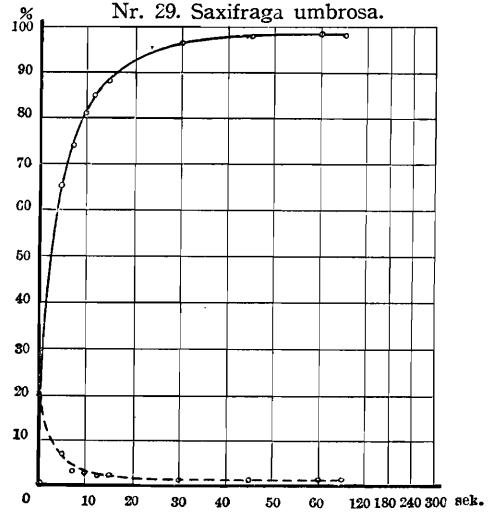
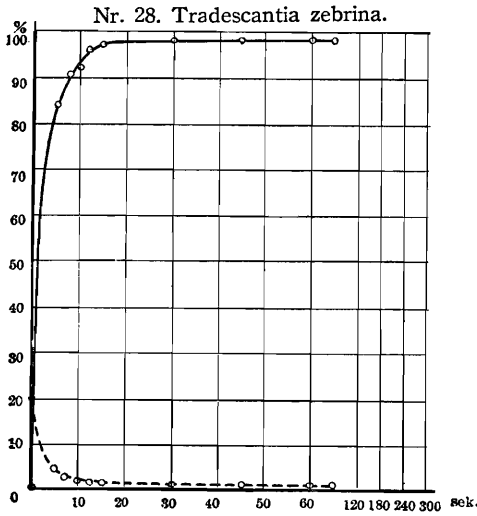
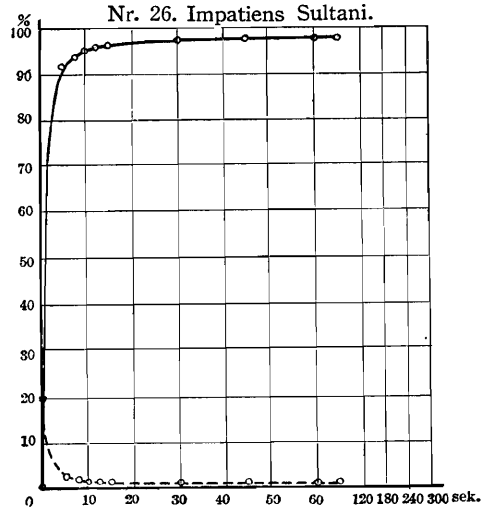
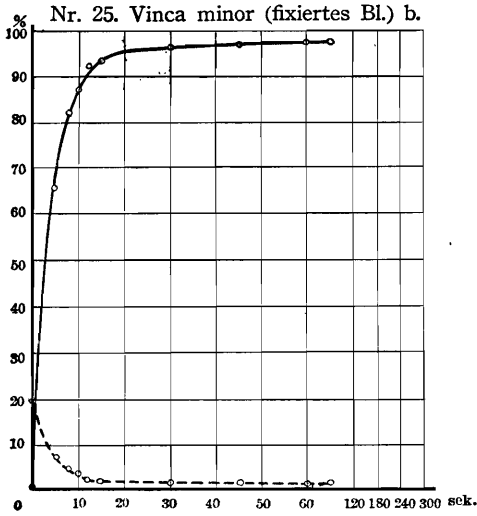
Nr. 17. *Ligustrum ovalifolium*.



Nr. 18. *Buxus sempervirens*.







---○---○--- Sauerstoff.

—○—○— Kohlendäure

Wendepunktes der Kurve? Erfolgt die Diffusion der Gase durch sehr feine poröse Scheidewände bei gleichem Druck, und wirken die Gase chemisch nicht aufeinander ein, so verhalten sich die diffundierenden Gasvolmina umgekehrt proportional den Quadratwurzeln aus den Dichten (Grahamsches Gesetz). Die Entstehung des Wendepunktes denke ich mir nun folgendermassen: Die Durchströmung während der ersten 5 Sekunden kann aber das Gasgemisch in den Interzellularen sehr rasch ändern (ansteigender Ast der Kurve). Je mehr aber dann der Ausgleich erfolgt ist, umso langsamer werden die letzten Spuren des Gases ersetzt (Wendepunkt und horizontaler Ast der Kurve).

Die gleiche Ueberlegung kann man auch für die einseitige Sauerstoffeffusion aus den Interzellularräumen in die umgebende Atmosphäre anwenden.

Ich vermutete ursprünglich einen Zusammenhang zwischen den ökologischen Eigenschaften der Pflanzen und der Austauschgeschwindigkeit der Gase bestehen müsse. Die Kurven geben aber keine Anhaltspunkte dafür. Die Diffusionsgeschwindigkeiten sind verschieden je nach den Pflanzenarten und wie es scheint unabhängig von ihren ökologischen Eigenschaften.

Bei den xerophytischen Pflanzenarten sind die Spaltöffnungen meistens so eingerichtet, dass die Transpiration herabgesetzt wird. Der Gasaustausch durch die Spaltöffnungen geht jedoch nicht so langsam vor sich, wie ich vermutet hatte. Die langsamste Ausgleich der Gase konnte in meinen Versuchen bei *Cryptomeria japonica* beobachtet werden. Ob die Erscheinung für diese Pflanze charakteristisch ist oder nicht, ist fraglich. Da *Cryptomeria japonica* in Mittel-Japan üppig wächst, Deutschland aber viel weiter nördlich als ihre Heimat liegt, so besteht die Möglichkeit, dass die Tätigkeit ihrer Organe nicht voll entfaltet wird, besonders in der Zeit meiner Versuch (Februar und März).

Die nächst auffällige langsame Diffusion findet sich bei *Thuja occidentalis* und *Junipers chinensis*. Diese beiden Pflanzen verhalten sich ungefähr gleich. Der Laubbaum *Ilex laurifolium*, ein Xerophyt, hat erheblich langsamere Gasdiffusion. Sie liegt zwischen derjenigen von *Cryptomeria japonica* und *Thuja occidentalis*.

Bei den xerophytischen *Pinus*-arten diffundiert die Kohlensäure nicht so

langsam wie bei den oben genannten Pflanzenarten, sondern ungefähr mit der gleichen Geschwindigkeit wie bei den meisten Mesophyten.

Ich habe auch zwei Kakteen untersucht, deren Gasdiffusion ziemlich langsam vor sich geht. Der steile Ast der Kurve nähert sich der Kurve von *Ilex* der obere Teil dagegen dem von *Cryptomeria*.

Bei einigen Arten von Mesophyten erfolgt der Gasaustausch sehr schnell. Bei den weichen Blättern von *Impatiens Sultani*, erreicht die diffundierte Kohlensäure in der Interzellularluft schon nach 5 Sekunden Zufuhr über 90%. Gleiche Vorgänge trifft man auch bei *Acacia Melanoxylon* und *Callistemon lanceolatus*, und zwar erfolgt hier die Diffusion noch etwas schneller als bei *Impatiens*.

Abgesehen von diesen wenigen bemerkenswerten Fällen, zeigt die Gasaustauschgeschwindigkeit der meisten Xerophyten und Mesophyten keine Besonderheit.

Zum Vergleiche habe ich von zwei Versuchsobjekten auch fixierte Blätter verwendet. Nämlich von *Pinus Banksiae* und *Vinca minor*.

Bei den fixierten Blättern geht der Gasaustausch etwas langsamer vor sich als bei den frischen. Ich denke mir, dass diese Verlangsamung auf die Trockenheit der fixierten Blätter zurückzuführen ist.

Die Zusammenziehung der Spaltöffnung bei der Fixierung übt nicht grossen Einfluss auf die Gasdiffusion aus. Das geht aus folgenden Versuch hervor.

Ich habe bei *Vinca minor* zwei Arten von fixierten Blättern zum Versuch verwendet. Gruppe a besteht aus Blättern, die unter herabgesetztem Druck schnell mit Alkohol injiziert wurden. Gruppe b dagegen besteht aus den Blättern, in die ich den Alkohol langsam eindringen liess.

Der Unterschied zwischen diesen beiden Gruppen besteht darin, dass bei Gruppe a alle Spaltöffnungen offen sind, dagegen bei Gruppe b wegen der oben genannten Behandlung—der Unterschied liegt nur in der Alkoholinjizierungsmethode—sind die Mehrzahl der Spaltöffnungen geschlossen aus. Trotzdem ist der Unterschied der Gasdiffusionsgeschwindigkeit zwischen beiden Blattgruppen nicht gross. Das Gas diffundiert bei Gruppe b nur wenig lang-

samer als bei Gruppe a.

Es scheint also die wichtige Ursache des Unterschiedes der Gasaustauschgeschwindigkeit zwischen lebenden und fixierten Blättern liegt darin, dass die eine das Leben haben und die andere das nicht. Ueber die Bedeutung des lebenden Zustandes des Blattes für den untersuchten Gasaustausch möchte ich später noch studieren.

In allen Versuchen habe ich Quecksilber verwendet. Nach Boussingault und anderen Forschern sind die Pflanzen sehr empfindlich gegen Quecksilberdämpfe. Aber die Tatsache scheint mir nicht so wichtig für meine Versuche zu sein, da die schädigende Wirkung der Quecksilberdämpfe den Zustand der Spalöffnungen kaum beeinflusst haben dürfte.

Kohlensäure in hohen Konzentration ist bestimmt auch schädlich für die Pflanzen. Ich möchte daher später noch entsprechende Versuche mit anderen, vor allem mit völlig indifferenten Gasen anstellen.

LITERATUR

- BLACKMAN, F.: On the Paths of Gaseous Exchange between Aerial Leaves and the Atmosphere (Philos. Transact. of the Royal Society of London, Vol. 186, 1895).
- BARTHÉLEMY, A.: De la respiration et de la circulation des gaz dans les végétaux (Ann. sc. nat. T. XIX, 1874).
- BROWN and ESCOMBE: Static diffusion of gases and liquids in relation to the assimilation of carbon and translocation in plants (Philos. Transact. of the Royal Society of London, Vol. 193, 1900).
- DEVAUX, H.: Methode nouvelle pour l'études atmosphères internes chez les végétaux (Bull. Soc. Philomathique, 8, 1890).
- KNIEP, H.: Ueber die Gasaustausch der Wasserpflanzen (Pringsheim Jahrbücher LVI, 1915).
- KROGH, A.: Die Mikroluftanalyse und ihre Anwendung (Handbuch des biochemischen Arbeitsmethode, Bd. VIII).
- SACHS, G.: Vorlesungen über Pflanzen-Physiologie I und II.
- URSPRUNG, A.: Zur Kenntnis der Gasdiffusion in Pflanzen (Flora, Bd. 104, 1912).

KIKOO KARA HA NO SAIBO-KANGEKI E KITAI GA HAIRIKOMU HAYASA NI TUIITE.

ASANO-SIGEO.

Omoni Mokuhon no Syokubutu 28 Syu no ikita Ha to hokani kore to kuraberu tame ni, sonouti 2 Syu dake koteisita Ha womo motiite sotonon Kitai ga donokuraino Hayasa de sono Saibô-kangeki e hairikomumu ka wo sirabete mita.

Sotonon Kitai to site wa Tansangasu wo motii, sono hairikomumu Hayasa no Teido wo siru tame ni aru Zikan goto ni Saibo-kangeki-kûki no Kumitate no Kawarikata wo Tansangasu to Sanso toni tuite sirabeta.

Sono Kikô ga hiraiteiru Ha dewa dono Syokubutu demo Kangeki-kûki no Kumitate wa hotondo Taiki no sore ni tikai. Kono Ha wo Tansangasu no Naka ni ireru to—kono Zikken dewa Garasubin no Naka ni Ha wo ire, Bin no Naka no Kûki wo oidasite sono Kawari ni Tansangasu wo tûzita—saisyono 5 Byô demo hayai mono dewa Tansangasu no Ritu ga sudeni 94.5 % (*Acacia Melanoxylon*), osoi mono demo sore ga 31.1 % (*Cryptomeria japonica*) to naru. 15 Byô mo tateba ôkuno mono wa Tansangasu no Ritu ga 90 % izyô ni naru.

Sotonon Kitai ga Ha no Naka ni hairikomumu Hayasa wa onazi Syokubutu demo sono Ha, sono Ha de kotonaru. Kotonon sono Ha ga sono Syokubutu ni tuiteiru Basyo ni yotte, sunawati sore ga hinatano Ha de aru ka hikageno Ha de aru ka ni yotte mo tigau.

Kono Zikken ni oite Saibô-kangeki no Kûki no Kawarikata wa ippanni hazime wa kyû de aru—Kyokusen ni arawaseba kyûni noboru Kyokusen de aru. Aru Ten kara Kawarikata wa yuruyaka ni naru—Kyokusen dewa goku yuruyaka ni noboru Kyokusen aruiwa hotondo Suihei ni tikai Kyokusen wo arawasu.

Kitai ga Ha no Saibô-kangeki e hairikomumu Hayasa wa Syokubutu no seitaitekino Seisitu niwa amari kwankei sinai yôni mieru. Tatoeba Kansei-syokubutu wa Kikô ga Zyôsan wo sukunaku suru yôni dekite iru kara Soto kara Kitai ga hairikomumu no nimo ikuraka tigatta Keikô wo arawasu ka to omotta ga sô wa araware nakatta; Saibô-kangeki-kûki no Kawarikata no osoi

mono mo atta (*Cryptomeria japonica*, *Ilex laurifolium*, *Thuja occidentalis*) ga Matu no Tagui wa sonnani osoku wa nakatta.

Tekizyunseisyokubutu de kono Kawarikata no hayakatta mono wa *Impatiens Sultani*, *Acacia Melanoxydon*, *Callistemon lanceolatus* nado de aru.

Ueni kakageta tokubetuno mono wo nozoite wa Kanseisyokubutu demo Tekizyunseisyokubutu demo amari taisita Tigai ga nai.

Koteisita Ha (*Pinus Banksiae*, *Vinca minor*) dewa ikita Ha no baai ni kurabete itumo Kawarikata ga sukosi yuruyaka de atta. Kore wa Kotei no tame ni Kikô ya Saibôkangeki ga sukosi bakari tizinda koto nado nimo yoru mono to omowareru.

Sikasi kono baai Kikô no Hirakikata no Kwankei wa sorehodo taisita Eikyô no aru mono dewa nai koto wa *Vinca minor* ni tuite 2-irono Kotei no Sikata ni yotte, hitotu wa Kikô wo subete hiraita mama, môhitotu wa Kikô no Hirakikata ni oitemo tisaku mata sono itibu niwa mattaku todite simatta mono sae atta ga kono hutatu no Aida niwa sorehodo taisita Tigai wa nakatta.

Kore wo motte miru to ikiteiru Ha to koteisareta Ha toni oite Kitai ga sono Saibô-kangeki e hairikomu Hayasa ni Tigai ga aru nowa sono Ha ga *ikiteiru* no to *sindêiru* no toni yoru koto ga, Kikô no Hirakikata to iu koto yori mo Kwankei ga hukai yôde aru.

Sotono Kitai ga Saibô-kangeki e hâiru ni tuite sono Ha ga ikiteiru to iu koto no Igi ni tuite (Stâlfelt no gotoki wa Kikô no Kodô—Myaku wo utu koto—to iu koto wo kangaete iru) wa aratamete sirabetai.