

Zeitschrift: Berichte der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft = Bulletin de la Société Botanique Suisse

Herausgeber: Schweizerische Botanische Gesellschaft

Band: 49 (1939)

Artikel: Untersuchungen über den Einfluss des Gebirgsklimas auf den Wirkstoffgehalt einiger Arzneipflanzen.

Autor: Bänninger, Alfred

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-33374>

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: 15.04.2026

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

Untersuchungen über den Einfluss des Gebirgsklimas auf den Wirkstoffgehalt einiger Arzneipflanzen.

Von *Alfred Bänninger*, dipl. Apotheker.

(Aus dem pharmazeutischen Institut der Eidg. Technischen Hochschule in Zürich.)

Eingegangen am 26. Januar 1939.

Inhaltsübersicht.

	Seite
Einleitung	240
<i>A. Allgemeiner Teil.</i>	
I. Hochgebirgsklima und Tieflandklima	245
1. Lufttemperatur	247
2. Luftdichte und Luftdruck	248
3. Zusammensetzung der Luft	248
4. Die relative Luftfeuchtigkeit	249
5. Niederschlagsverhältnisse	250
6. Sonnenscheindauer	251
7. Bewölkung	251
8. Windverhältnisse	251
9. Strahlungsverhältnisse	252
10. Zusammenfassung	253
II. Hochgebirgsklima und Stoffwechsel	254
1. Beziehungen zwischen Hochgebirgsklima und Stoffwechsel im allgemeinen	254
2. Zugehörigkeit der Wirkstoffe zu den einzelnen Stoffwechselgrup- pen und mutmasslicher Einfluss des Gebirgsklimas auf den Ge- halt der Arzneipflanzen an solchen	260
III. Massgebende Gesichtspunkte bei der Anlage von Versuchen, die den Einfluss des Gebirgsklimas auf den Gehalt der Arzneipflanzen fest- stellen sollen	263
<i>B. Spezieller Teil.</i>	
I. Versuchsanlage	265
1. Wahl der Versuchsstationen	266
2. Wahl der Versuchspflanzen	267
3. Erdauslese	270
II. Anbau der Pflanzen	271
III. Pflege	273
IV. Ernte	274
V. Erntemethoden	275
VI. Das Klima der Versuchsjahre 1935, 1936 und 1937	276
1. Bewölkung	278
2. Lufttemperatur	279
3. Relative Luftfeuchtigkeit	281
4. Niederschläge	282

	Seite
5. Sonnenscheindauer	283
6. Zahl der Tage, an denen Regen, Schneefall, Hagel, Gewitter, Nebel, Sonnenschein oder trübe Witterung auftreten	284
7. Strahlungsverhältnisse im Durchschnitt der früheren Jahre	285
VII. Methoden zur Bestimmung des Wirkstoffgehaltes	287
1. Ätherisch-Öldrogen	287
2. Alkaloiddroge	295
3. Glucosiddroge	296
VIII. Resultate	298
1. Folium Menthae piperitae	298
2. Folium Achilleae Millefolii	303
3. Flos Achilleae Millefolii	304
4. Fructus Carvi	305
5. Fructus Petroselini	307
6. Folium Petroselini	308
7. Herba Lobeliae	309
8. Radix Gentianae	311
9. Sichtung der Resultate	313
IX. Diskussion der Resultate	313
X. Schlüsse auf den praktischen Arzneipflanzenanbau im Gebirge	316
XI. Zusammenfassung	318
XII. Literaturverzeichnis	319

Einleitung.

Dem Arzneipflanzen-Anbau wird sowohl bei uns, als auch im Ausland in den letzten Jahren vermehrtes Interesse entgegengebracht. Das dürfte nicht allein an dem überall erstrebten Ziel nach wirtschaftlicher Unabhängigkeit liegen, sondern ebenso sehr an den vielerorts gemachten Anstrengungen, der Landwirtschaft neue Verdienstquellen zu verschaffen. Besonders unserer Bergbevölkerung, die, verglichen mit den Mittellandbauern, schon an und für sich über weniger Einnahmequellen verfügt, wird der Anbau von Heilpflanzen empfohlen.

Bevor man aber an die praktische Ausführung derartiger Vorschläge schreitet, ist es unbedingt nötig, sie sowohl vom wirtschaftlichen wie vom wissenschaftlichen Standpunkt aus gründlich zu überprüfen. Denn der Anbau von Heilkräutern lohnt sich auf die Dauer nur dann, wenn eine Droge von gutem Aussehen und vielfach von einem bestimmten Mindestgehalt an wirksamen Inhaltstoffen gewonnen werden kann. Bisher wurden von den Arzneibüchern allerdings nur für diejenigen Drogen Gehaltsforderungen aufgestellt, die zur Herstellung von galenischen Präparaten, vorzugsweise Tinkturen und Extrakten dienen. Es ist aber zu erwarten, dass in Zukunft auch für alle übrigen Drogen, bei denen Bestimmungen der wirksamen Bestandteile möglich sind, Mindestgehalte an solchen gefordert werden.

Weil die meisten und gebräuchlichsten Arzneipflanzen ausgesprochene Tieflandbewohner sind, müssen wir vor allen Dingen zuerst ein-

mal die Frage abklären, wie sie sich bei der Kultur im Gebirge verhalten. Schon aus rein klimatischen Gründen wird dafür nur eine engere Auswahl in Frage kommen. Und zwar sind es namentlich solche, die mehrjährig sind und die sowohl an die Dauer der Vegetationsperiode als auch an Boden und Klima nicht zu hohe Ansprüche stellen. Aber selbst für den Fall, dass sie sich gut akklimatisieren, können wir nicht ohne weiteres annehmen, dass sie uns auch hinsichtlich ihrer Qualität befriedigen. Darüber kann nur das Experiment entscheiden.

Untersuchungen über den Einfluss des Gebirgsklimas auf den Gehalt der Arzneipflanzen an wirksamen Inhaltstoffen sind bisher nur vereinzelt bekannt. So hat zum Beispiel *Beausite* (1) *Atropa Belladonna* in verschiedenen Höhenlagen kultiviert und gefunden, dass die Alkaloidbildung im Gebirge nicht gefördert wird. Seine Versuche sagen uns im Grunde genommen nicht viel aus, weil sie nur auf ein Jahr und überdies auf ein schlechtes beschränkt waren. An wildgewachsenen *Aconitum Napellus*-Exemplaren machten *Brunner* (3) in den Alpen und *Métin* (21) in den Pyrenäen Untersuchungen, um festzustellen, ob eine gesetzmässige Beziehung zwischen Wirkstoffgehalt und Meereshöhe des Fundortes bestehe. *Brunner* findet keine Gesetzmässigkeit, indem bald höher und bald tiefer gewachsene Pflanzen gehaltreicher waren. *Métin* findet dagegen, dass mit steigender Meereshöhe auch der Alkaloidgehalt zunimmt; er rechnet jedoch nicht damit, dass an der Veränderung des Alkaloidgehaltes der Boden ebenso ausschlaggebend wie das Klima beteiligt gewesen sein kann. Auch für *Dryopteris filix* liegen Untersuchungen von *Kofler* und *Müller* (16) vor, die keine Gesetzmässigkeiten zwischen Meereshöhe des Fundortes und Rohfilicin-gehalt der dort gewachsenen Drogen finden konnten. Endlich haben *Goris* und *Métin* (8) in den Pyrenäen *Aconitum Napellus* aus Gebirgslagen ins Tiefland versetzt und dabei keine gesetzmässige Beeinflussung des Wirkstoffgehaltes durch den neuen Standort konstatieren können.

In neuerer Zeit befassten sich *W. Hecht* und seine beiden Mitarbeiter *Himmelbaur* und *Koch* (10 u. 11) eingehender mit dem Einfluss des Hochgebirgsklimas auf Ertrag und Gehalt einiger Arzneipflanzen. Sie legten zu diesem Zwecke während den Jahren 1929 bis 1932 in Schatzalp-Davos und in Korneuburg bei Wien mit dem gleichen Setzmaterial kleinere Feldversuche an und bestimmten den Gehalt der zu verschiedenen Zeiten geernteten Drogen. Obwohl sie gegenüber allen bisher genannten Autoren viel mehr Analysenmaterial zur Verfügung hatten und dieses sehr genau verarbeiteten, sind prinzipiell auch gegen ihre Ergebnisse Einwände möglich, da es nicht angeht, so weit auseinandergelegene Orte als Berg- bzw. Talstation zu wählen. Weisen doch oft schon benachbarte Gegenden mit gleicher Meereshöhe und gleicher geographischer Breite starke klimatische Unterschiede auf.

Als letzte und zugleich genaueste Arbeit auf diesem Gebiete darf wohl die Dissertation von O. Meyer (22) angesprochen werden. Meyer hatte in den Jahren 1933 und 1934 auf fünf von Chur bis Arosa verteilten Stationen verschiedene Arzneipflanzen auf genau gleiche Erde angebaut und die im Verlaufe der beiden Vegetationsperioden gewonnenen Drogen auf ihren Gehalt an therapeutisch wirksamen Inhaltsstoffen geprüft. Er konnte dabei feststellen, dass Pflanzen, welche in den tieferen Lagen gewachsen waren, sich als gehaltreicher erwiesen als die in der Höhe gewachsenen. Insbesondere traf dies für solche Drogen zu, deren Wirkstoff ätherisches Öl ist, d. h. für *Mentha piperita*, *Thymus vulgaris* und *Petroselinum hortense*.

Für Alkaloidpflanzen dürfte es im Hinblick darauf, dass bisher nur *Datura Stramonium* (v. Hecht [10 u. 11]) und *Aconitum Napellus* (v. O. Meyer [22]) genauer untersucht wurden, zum mindesten verfrüht sein, allgemein gültige Aussagen zu machen. Immerhin stellen die vorläufigen Ergebnisse ein allmähliches Absinken des Alkaloidgehaltes bei steigender Meereshöhe fest. Wie aus den Versuchen von Hecht und seinen Mitarbeitern mit der *Digitalis*-Gruppe (*Digitalis purpurea*, *ambigua*, *lutea*, *lanata*) abgeleitet werden kann, scheint das alpine Klima hingegen auf diese Glucosiddrogen unter Umständen einen gehaltssteigernden Einfluss zu haben. Die einzige, ebenfalls von Hecht untersuchte Anthrachinonglucosiddroge ist *Rheum*, die aber keine Unterschiede in der Wirksamkeit aufweist. Über Schleim-, Gerbstoff-, Bitterstoff- und Harzdrogen liegen bis in die neueste Zeit noch keine diesbezüglichen Veröffentlichungen vor.

Wer einigermaßen Bescheid weiss, mit was für Schwierigkeiten derartige Versuche verbunden sind, der wird auch ohne weiteres verstehen, dass es unmöglich ist, im Rahmen einer einzigen Arbeit all die verschiedenen, nach Inhaltsstoffen gruppierten Arzneipflanzen auf ihr Verhalten in den Bergen zu prüfen. Vielmehr wird man sich damit begnügen müssen, von den obengenannten Gruppen diejenigen zu Versuchszwecken heranzuziehen, die sich im alpinen Klima am besten entwickeln können. Sind dann von einer derartigen Gruppe (Alkaloid-, Ätherisch Öl-, Glucosid-, Schleim-, Bitterstoffpflanzen) einmal eine genügende Anzahl Vertreter untersucht, so lassen sich auch etwas sicherere Rückschlüsse auf alle übrigen Glieder der nämlichen Reihe ziehen. Denn obwohl die biologische Aufgabe der arzneilich wirksamen Inhaltsstoffe im Leben der Pflanze noch recht ungenügend abgeklärt ist, darf man annehmen, dass ein und derselbe Wirkstoff für alle ihn aufweisenden Pflanzen die gleiche Bedeutung hat.

Mit Kleinversuchen, wie wir es in all den hier besprochenen Fällen zu tun haben, lassen sich aber nicht nur rein wissenschaftliche Ziele verfolgen, sondern gleichzeitig auch Erfahrungen über Wachstum und Gedeihen der einzelnen Pflanzen sammeln. Damit besitzen wir dann bereits

Anhaltspunkte, bis zu welcher Höhenlage überhaupt ein Anbau praktisch in Frage kommt. Auf den Einwand, dass vorwiegend einzelne klimatische Faktoren über Gelingen oder Nichtgelingen der Kulturen entscheidend sind, und nicht die absolute Höhenlage, ist zu entgegnen, dass wir an Hand anderer Daten (Baumgrenze, Pflanzenwuchs usw.) Vergleiche zwischen den einzelnen Klimata ziehen und dementsprechend die gefundenen Resultate abändern können. Wenigstens sind wir so beim Übergang zum Grossversuch nicht ganz vom Zufall abhängig.

Man muss sich aber davor hüten, aus derartigen, auf einzelne Quadratmeter beschränkten Versuchen genauere Schlüsse auf etwaige Erträge im feldmässigen Anbau ziehen zu wollen. Die hierfür nötigen Angaben erhält man erst beim Anbau grösserer Flächen, zum mindesten von $\frac{1}{2}$ bis 1 Ar. Ganz abgesehen davon, dass selbst innerhalb der verschiedenen Jahre grössere Schwankungen möglich sind, stehen doch für die Ernteerträge noch verschiedene andere Faktoren mit im Spiel. Wir müssen zum Beispiel mit der Beschaffenheit des Bodens, mit den vielen Möglichkeiten der Feldbearbeitung, mit der Hanglage, ferner mit Schädlingseinflüssen u. a. m. rechnen. Es sind allerdings Angaben darüber, die aus den Erfahrungen im Flachland stammen, in der Literatur bekannt; allein, sie ohne weiteres auf Kulturen in den Alpen übertragen zu wollen, würde von sehr wenig Sachkenntnis zeugen. Zu abschliessenden Urteilen hierüber gelangt man erst dann, wenn einmal solche Arzneipflanzen-Kulturen über mehrere Jahre hinweg im Gange gewesen sind.

Für den Anbau von Heilpflanzen muss vor allem ein Punkt stets gefordert werden: Die Zusammenarbeit von Anbauer und Wissenschaftler. Für keinen Zweig der Landwirtschaft dürfte diese Forderung eine so grosse Rolle spielen, wie gerade für den Arzneipflanzenanbau. Während man von den meisten übrigen landwirtschaftlichen Bodenprodukten Eigenschaften verlangt, die jedermann geläufig sind, werden für Arzneipflanzen Forderungen aufgestellt, die das Aussehen und die Wirksamkeit betreffen. Der in diesen Fragen vor allem zuständige Fachmann ist der Apotheker. Er hat die Kulturen, sowie in erster Linie die Aufbereitung der Drogen am Anfang zu überwachen und dem Produzenten mit seinen Kenntnissen über Pflege und Ernte der Drogen an die Hand zu gehen. Ein Anbauer dürfte hier schwerlich ohne Anleitung durch einen Fachmann zu erfolgreichen Resultaten gelangen, insbesondere auch deswegen, weil ihn dieser am besten über die Absatzmöglichkeiten orientieren kann.

Wir haben uns in der vorliegenden Arbeit zur Aufgabe gestellt, durch geeignete Versuche den Einfluss der Höhenlage auf den Wirkstoffgehalt der Arzneipflanzen zu untersuchen. Im ersten, allgemeinen Teil befassen wir uns zunächst mit dem Gebirgsklima an und für sich und den Unterschieden, die es gegenüber dem Tieflandklima aufweist.

Daran anschliessend versuchen wir, soweit unsere Kenntnisse aus der Literatur reichen, ein Bild von den mutmasslichen Einflüssen des Gebirgsklimas auf die Stoffwechselforgänge zu geben. Es stehen uns dabei eine Reihe interessanter neuer Forschungsergebnisse zur Verfügung, die, wenn sie auch nichts Endgültiges darzustellen erlauben, doch wertvolle Wegweiser für theoretische Erörterungen sind. In einem weiteren Abschnitt werden sodann die Richtlinien aufgestellt, die bei der Durchführung unserer Arzneipflanzenversuche im Schanfigg massgebend waren.

Als Versuchspflanzen hatten wir *Mentha piperita*, *Achillea Millefolium*, *Petroselinum hortense*, *Carum Carvi*, *Gentiana lutea* und *Lobelia inflata* gewählt, also neben Tieflandpflanzen auch alpine Arten und zugleich Vertreter der drei wichtigsten Drogengruppen: Alkaloid-, Ätherisch-Öl- und Glucosidpflanzen. Ausserdem hatten wir noch drei weitere Heilpflanzen angebaut, nämlich *Digitalis lanata*, *Gnaphalium dioicum* und *Matricaria Chamomilla*. Doch stellten sich bei diesen nachträglich Missernten und zum Teil Schwierigkeiten bei der Bestimmung der Wirkstoffe ein, so dass wir auf ihre weitere Untersuchung verzichten mussten.

Die Analysenergebnisse der übrigen werden im speziellen Teil graphisch dargestellt und jeweils von Pflanze zu Pflanze besprochen. Gleichzeitig sollen Mitteilungen über ihr Wachstum und Gedeihen, Vergleiche zwischen den auf verschiedenen Höhenstufen gewachsenen Typen ermöglichen, eine Angelegenheit, die uns nicht nur aus rein wissenschaftlichen Gründen interessiert, sondern auch der Behandlung der praktischen Anbaufragen als Grundlage dient. Im Anschluss an die Diskussion der Resultate geben wir nämlich noch einen kurzen Überblick über die Lehren, die aus den bisherigen bioklimatischen Versuchen für den Arzneipflanzenanbau im Gebirge gezogen werden können.

Diese Arbeit wurde am Pharmazeutischen Institut der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich unter Leitung von Herrn Prof. Dr. H. Flück ausgeführt. Ich möchte nicht unterlassen, auch an dieser Stelle meinem verehrten Lehrer für seine tatkräftige Unterstützung sowie sein stetes Wohlwollen meinen besten Dank auszusprechen.

Ebenso bin ich meinem Chef, Herrn Kantonsapotheker Dr. Hch. A. Spengler, der mir die Durchführung der Untersuchungen in der Kantonsapotheke gestattete, für die vielen, mir erwiesenen Gefälligkeiten zu grossem Dank verpflichtet.

Die Anlage der Versuche wurde durch finanzielle Unterstützung seitens der Firma Dr. A. Wander AG. in Bern und der Schweizerischen Volkswirtschaftsstiftung ermöglicht; diese Mithilfe sei hier denn auch bestens verdankt. Ferner möchte ich Herrn Dr. Wahlen, Direktor der Landwirtschaftlichen Versuchsanstalt Örlikon, für das Überlassen

eines Versuchsareals im alpinen Versuchsgarten in Arosa, sowie Herr Profanter, Betriebsleiter der Chur-Arosa-Bahn, für seine stete Bereitwilligkeit, mir in allen Bitten, die ich an ihn richtete, entgegenzukommen, meinen verbindlichsten Dank abstaten. Endlich sei hier auch den Herren Stationsvorständen Michael in Lünen, Michael in Peist und Gartmann in Litzirüti für ihre vielseitigen Hilfeleistungen, die sie uns im Verlaufe der drei Vegetationsperioden erwiesen, unser bester Dank ausgesprochen.

Allgemeiner Teil.

I. Hochgebirgsklima und Tieflandklima.

Schon seit Jahrzehnten befasst sich die Klimatologie, zum Teil im Zusammenhang mit dem Interesse, das ihr von medizinischer Seite entgegengebracht wird, mit der Erforschung des Hochgebirgsklimas und seinen Wirkungen auf die Umwelt. Sie hat aus dem reichverzweigten Beobachtungsnetz bis heute ein so umfangreiches statistisches Material gesammelt und verarbeitet, dass wir über die physikalischen Eigenschaften des Hochgebirgsklimas recht gut informiert sind. Wenn daher im laufenden Abschnitt die Unterschiede zwischen Hochgebirgsklima und Tieflandklima kurz einandergesetzt werden sollen, so kann es sich einzig und allein darum handeln, aus den bisher veröffentlichten grundlegenden Werken (20), (6), (23), (7), (9) das Wesentlichste herauszugreifen und in gedrängter Form wiederzugeben. Wir bezwecken damit, vorgängig unserer bioklimatischen Untersuchungen eine Übersicht über die Veränderungen des Klimacharakters bei steigender Meereshöhe zu gewinnen, wobei wir aber nur die allgemeinen Charakteristika in Betracht ziehen und erst später, im speziellen Teil, auf die besonderen Klimaverhältnisse unserer Versuchsstationen eintreten.

Der Klimatologe bezeichnet ganz allgemein das Klima in einer Höhe über 1000 Meter ü. M. als *alpin*, dasjenige unter 1000 Metern als *subalpin*. Diese Einteilung hat nur Berechtigung in bezug auf das Gebiet der Alpen, denn in südlicheren Breiten ändern sich die klimatischen Eigenschaften der Gebirge oft derart, dass alpine Klimaverhältnisse und dementsprechend auch alpine Vegetation erst in viel höheren Lagen herrschen. Andererseits machen sich in nördlicheren Breiten schon in einigen hundert Metern Erhebung Eigenschaften unseres Alpenklimas bemerkbar, wenigstens was Temperatur und Niederschlagsverhältnisse betrifft.

Im Gegensatz zum Klimatologen, der die Grenze zwischen Hochgebirgsklima und Tieflandklima mehr oder weniger willkürlich auf rund tausend Meter festsetzt, teilt der Botaniker die verschiedenen Höhen-

lagen nach pflanzengeographischen Gesichtspunkten ein. Er unterscheidet danach folgende Vegetationsstufen (nach Schröter [28]) :

1. Die **Kulturstufe**, Hügelseife oder colline Stufe, die bis zur oberen Grenze der Rebkultur auf offenem Felde reicht.
2. Die **Laubwaldstufe**, Bergstufe oder montane Stufe, von der Grenze der Rebkultur bis zur Grenze des Laubwaldes.
3. Die **Nadelwaldstufe**, Koniferenstufe oder subalpine Stufe, von der oberen Grenze des Laubwaldes bis zur Baumgrenze.
4. Die **alpine Stufe**, von der Baumgrenze an aufwärts gerechnet.

Diese vier Hauptstufen variieren stark in ihrer absoluten Lage, weil die pflanzengeographischen Grenzen keine Horizontalkurven darstellen. Vielmehr hangen sie von verschiedenen Einflüssen, so unter anderem vom Klimacharakter, von der Himmelslage, von der Massenerhebung der Berge und von Bodenfaktoren ab. Die alpine Stufe kann beispielsweise an einem Orte schon bei tausend Metern beginnen, am andern dagegen erst bei 2400 Metern ü. M. Dementsprechend sind dann auch alle übrigen Stufen nach unten oder oben verschoben.

Wenn wir uns in der Folge lediglich mit den Lagen bis zu 1800 Metern Höhe beschäftigen, so hat das seinen Grund darin, dass die in den Alpen höher gelegenen Gegenden als Anbaugelände nicht mehr in Frage kommen. Sie sind meistens auch nicht ständig bewohnt und dienen fast ausschliesslich der Weidwirtschaft. Höchstens, wo es nötig wird, zur Demonstration einer allgemeinen Regel die Verhältnisse auf den höheren Bodenerhebungen zu Vergleichen heranzuziehen, werden wir hiervon eine Ausnahme machen. Die im klimatologischen Sinne alpin genannten, uns interessierenden Höhenlagen entsprechen also zur Hauptsache den oberen Teilen der Laubwaldstufe des Botanikers und der Nadelwaldstufe. Ihnen gegenüber steht das Tiefland mit der Kulturstufe und den unteren Teilen der Laubwaldstufe.

Am Wesen unserer Arbeit liegt es, wenn von der Besprechung des Klimas während der Wintermonate abgesehen wird, und sozusagen nur das Sommerhalbjahr, also die für die Entwicklung der Pflanzen massgebende Vegetationszeit besprochen wird. Das Winterklima der Alpen verdient nur soweit Beachtung, als die Schneedecke zum Teil schützende, zum Teil aber auch zerstörende Wirkung auf die Pflanzenwelt hat. Schützend wirkt sie gegen die minimalen Temperaturen und gegen die erhöhte Austrocknungsgefahr, die im Alpenwinter wegen der stärkeren Besonnung und der verhältnismässig sehr trockenen Luft gross ist. Als nachteilig erweist sich hingegen eine hohe Schneedecke infolge der Belastung, die sie auf alle oberirdischen Pflanzenteile, vorab auf Holzgewächse, ausübt. Ferner schädigt sie die Pflanzen in den Alpen insofern, als durch ihr langes Bestehen die Vegetationsdauer stark abgekürzt wird. Darin liegt einer der wichtigsten Gründe für das Ausbleiben so vieler Pflanzen in der Höhe.

Eine auch nur einigermaßen ins Detail gehende Behandlung des Alpenklimas setzt seine Zerlegung in Einzelfaktoren voraus, da sich Temperatur, Feuchtigkeit, Strahlung, Bewölkung, Windverhältnisse usw. bei steigender Höhe verschieden verändern. Erst aus der Zusammenfassung sämtlicher Einzelzüge können wir dann wieder vom Hochgebirgsklima ein Gesamtbild entwerfen und dieses mit dem Tieflandklima vergleichen.

1. Die Lufttemperatur nimmt mit steigender Höhenlage ab. Im Jahresdurchschnitt beträgt die Abnahme durch alle Breiten pro 100 Meter Steigung 0,5 bis 0,6 Grad Celsius.

Nach Angaben von M ö r i k o f e r (23) liegt die Durchschnittstemperatur in den Alpen während der Sommermonate Mai bis September in einer

Meereshöhe von	500 Metern	bei	17,7 Grad Celsius
»	» 1000	»	» 12,9 »
»	» 1500	»	» 10,1 »
»	» 2000	»	» 7,4 »

Dazu ist allerdings zu bemerken, dass die betreffenden Zahlen nicht die Temperaturen darstellen, die jeweils in den angegebenen Lagen vorherrschen. Vielmehr treten je nach den örtlichen Verhältnissen zum Teil sehr starke Tagesschwankungen auf. Gerade im Gebirge, wo Hanglage, Orientierung nach der Himmelsrichtung, Bergformationen, Bodenzusammensetzung, topographische Verhältnisse u. a. m. stark variieren, weichen auch die Temperaturen stark von den Mittelwerten ab. Ziehen wir zum Beispiel die Tagestemperaturen von abgeschlossenen Hochgebirgstälern und Mulden in Betracht, so fällt uns sofort auf, dass sie bis dreifach höheren Schwankungen unterliegen als an andern Orten. M ö r i k o f e r sucht sich das auf die Art und Weise zu erklären, dass einerseits in der Nacht die kalte Luft von den Bergen talwärts abfließt, und andererseits tagsüber die Luft in einer solchen Mulde stärker erwärmt wird als in einem offenen Tal.

Die Differenzen zwischen den absoluten Maximal- und Minimaltemperaturen der einzelnen Monate sind in den alpinen Lagen wider Erwarten kleiner als im Tiefland. Darüber gibt eine Tabelle, die aus Messungen in den Jahren 1910 bis 1920 für Chur und Arosa zusammengestellt ist, näheren Aufschluss :

	Juni	Juli	August	September	Vegetationszeit
Chur . .	20,6	20,7	19,3	20,3	20,2
Arosa . .	17,6	17,5	16,9	18,1	17,5

(Die Zahlen bedeuten die durchschnittliche Differenz zwischen Minimal- und Maximaltemperatur der betreffenden Monate.)

Für die Pflanzen spielt aber neben der Lufttemperatur ebenso sehr die Temperatur des Bodens, sowie diejenige der Bodenoberfläche eine bedeutende Rolle. Der Boden ist im Jahresdurchschnitt überall etwas wärmer als die Luft. Wie zahlreiche Messungen in verschiedenen Höhenlagen ergeben haben, nimmt die Differenz zwischen Boden- und Lufttemperatur nach oben noch zu. So stellt Kerner (14) bei je 300 m Höhenunterschied folgenden Wärmeüberschuss des Bodens fest :

(Im Jahresmittel)

Bei 1000 m Höhe . .	1,5°
» 1300 » » . .	1,7°
» 1600 » » . .	2,4°
» 1900 » » . .	3,0°
» 2200 » » . .	3,6°

Was für die Mittelwerte der Lufttemperaturen gesagt wurde, gilt in vermehrtem Masse noch für die Bodenwärme : Die Tagesschwankungen von Boden- und Bodenoberflächentemperatur erweisen sich speziell in den Bergen als gross. Das hängt indirekt mit der Abnahme der Luftfeuchtigkeit im Hochgebirge und mit der vermehrten Einstrahlung am Tage, bzw. mit der vermehrten Ausstrahlung während der Nacht zusammen. Aus diesem Grunde können zu Zeiten starker Einstrahlung die Alpenpflanzen Wärmegraden ausgesetzt sein, die im Maximum bis zu 30 und 40 Grad über der Lufttemperatur liegen. Andererseits stellt sich die Bodentemperatur nachtsüber oft etwas unter diejenige der Luft.

2. Die Luftdichte und der Luftdruck nehmen in noch stärkerem Masse, als die Lufttemperatur, bei steigender Meereshöhe ab. Von 0 bis 2000 m ü. M. fällt der Luftdruck um 22 % seines Wertes, die Luftdichte um 19 %. Gleichzeitig nimmt entsprechend die Anzahl der in der Volumeneinheit enthaltenen Gasmoleküle ab, was insofern von Bedeutung ist, als damit auch die Strahlungsverhältnisse betroffen werden.

Sehr wahrscheinlich ist der Luftdruck und die Luftdichte für den Stoffwechsel der Pflanzen doch nicht so belanglos, wie vielfach angenommen wird. Es ist zum Beispiel denkbar, dass im luftverdünnten Raume die Verdunstung der ätherischen Öle etwas intensiver wird, womit sich zum Teil die von Oskar Meyer als niedriger gefundenen Ätherisch-Ölgehalte der Gebirgspflanzen erklären liessen. Ganz ähnliche Befunde liegen ja schon für den Wasserhaushalt der Pflanzen vor, indem sich mit steigender Meereshöhe die Verdunstungskraft des Wassers und damit die Transpiration der Pflanzen erhöht.

3. Die Zusammensetzung der Luft weist — abgesehen vom Wasserdampfgehalt — kaum ins Gewicht fallende Unterschiede zwischen den Höhenlagen von 0—2000 m auf. Nach physikalischen Gesetzen sollte

man eigentlich erwarten können, dass die spezifisch schwereren Gase sich nahe der Erdoberfläche, die leichteren mehr in höheren Luftschichten befinden. Die ständige Zirkulation der Luft bewirkt aber in der Atmosphäre eine so gute Durchmischung der Gase, dass praktisch kein Unterschied in den bewohnbaren Höhen besteht. In der Stratosphäre, also oberhalb 10 km, wo die vertikalen Luftbewegungen nur ganz gering sein können, ist hingegen eine derartige Verteilung anzunehmen.

Von den in der Atmosphäre vorliegenden Gasen möge infolge ihrer besondern Bedeutung für die Assimilation der Pflanzen die Kohlensäure herausgegriffen werden. Sie entsteht im wesentlichen durch Atmung, Verbrennung und Verwesung und wird durch die Pflanzen besonders bei Tag unter der Einwirkung des Lichtes verbraucht. Infolgedessen ist die Luft auf dem Lande etwas ärmer an Kohlensäure als in den Städten, wo das CO₂ fortwährend von Menschen und Industrie erzeugt wird. Im Gebirge und in der freien Atmosphäre nimmt ihr Anteil an der Zusammensetzung der Luft eher etwas ab. Doch sind die Schwankungen nicht so gross wie bei der Lichtintensität und bei der Temperatur, welche letztere Faktoren bei weitem mehr Einfluss auf die Kohlensäureassimilation ausüben als der Kohlensäuregehalt der Luft.

Erwähnung verdient ferner der Gehalt der Luft an staubartigen Fremdkörpern. In den Niederungen ist die Verunreinigung bedeutend grösser als im Hochgebirge. Während im letzteren auf 1 cm³ Luft zirka 50—100 Staubteilchen fallen, erhöht sich die Zahl für das Mittelland auf einige Hundert in der Landschaft und auf einige Tausend in den Städten. Als Extremfall dürfte die in London während Nebeltagen gefundene Zahl von 20,000 bis 50,000 Teilchen gelten. (23)

4. Die relative Luftfeuchtigkeit, d. h. der Prozentsatz des vorhandenen Wasserdampfgehaltes der Luft, bezogen auf den bei einer bestimmten Temperatur maximal möglichen, ist im Jahresdurchschnitt in der Höhe etwas geringer als in den Niederungen. Immerhin sind die Differenzen, wie aus nachfolgender von G o e t z (7) zusammengestellten Tabelle ersichtlich ist, nur minim :

Ort	Typus	Sommer	Jahr
Lugano	Niederung	72	77
Zürich	»	72	76
Sils Maria	Hochtal	73	76
Davos (1867—1920)	»	75	77
Schatzalp (1911—1920)	Gehänge	70	67
Arosa (1890—1920)	»	68	65
Säntis (1883—1900)	Gipfel	85	80

Eine viel stärkere Abnahme zeigt die absolute Luftfeuchtigkeit, das ist die Anzahl Gramme Wasserdampf in 1 cm³ Luft.

Absolute Luftfeuchtigkeit an verschiedenen Orten der Schweiz
(nach G o e t z [7]) :

Ort	Höhe	Julimittel	Jahresmittel
Säntis	2500 m	5,6	3,0
Arosa	1800 »	6,9	4,1
Davos	1600 »	7,9	4,7
Chur	650 »	10,4	6,1
Zürich	400 »	11,4	6,4
Lugano	200 »	13,7	7,7

Speziell im Sommer, wo die Atmosphäre den grössten Feuchtigkeitsgehalt aufweist, treten auch die stärksten Unterschiede zwischen Tiefland und Höhe auf.

Der geringere Wasserdampfgehalt der Luft in alpinen Höhen macht sich dadurch bemerkbar, dass die Verdunstungsgeschwindigkeit des Wassers nach oben zunimmt. So fand z. B. L ü d i (18) bei Bestimmungen der Verdunstungskraft in verschiedenen Meereshöhen folgende verdunsteten Wassermengen pro Tag :

	1917	1918
Lauterbrunnen 800 m ü. M.	10,0 cm ³	11,48 cm ³
Wengen 1270 » » »	10,30 »	—
Mürren 1940 » » »	13,80 »	14,47 »

Auf den Wasserhaushalt der Pflanzen übertragen, bedeutet das eine stärkere Beanspruchung der Blattranspiration. Wir müssen allerdings gleichzeitig bemerken, dass die Windverhältnisse und die Temperatur diesbezüglich ebenso entscheidende Faktoren darstellen.

5. Für die Niederschlagsverhältnisse machen sich je nach örtlicher Hanglage, Zugänglichkeit für die bei uns vorwiegend Regen bringenden West- und Südwinde, Entfernung vom Meere, Böschungswinkel der Berge, starke lokale Verschiedenheiten geltend. Mit der Höhe nimmt aber die Niederschlagsmenge doch konstant zu. Das liegt schon an der Entstehung der Niederschläge im Gebirge, indem durch die Boden-erhebungen die feuchtigkeitsgesättigte Luft zum Aufsteigen und der Wasserdampf zur Abkühlung und Kondensation gezwungen wird.

Aus Werten, die von M a u r e r (20) und G o e t z (7) (für Arosa, Davos und Schatzalp) im Verlaufe mehrerer Jahre gesammelt wurden, lassen sich für verschiedene Höhenlagen der Schweiz folgende Niederschlagsmengen pro Jahr berechnen :

Ort	Meereshöhe	Im Mittel der Jahre	Jährliche Niederschlagsmenge in mm
Zürich	440 m	1911—1920	1117
Davos	1600 »	1911—1920	994
Schatzalp	1800 »	1911—1920	1107

Ort	Meereshöhe	Im Mittel der Jahre	Jährliche Niederschlagsmenge in mm
Arosa	1800 m	1911—1920	1393
Grimsel-Hospiz	1820 »	1914—1919	2033
Claridenfirn	2710 »	1915—1919	3647
Rhonegletscher	2800 »	1914—1919	2458
Konkordiaplatz	2850 »	1914—1919	2578
Col d'Orny	3150 »	1914—1919	3182
Jungfraujoeh	3450 »	1916—1919	3100

Mit der Niederschlagsmenge nimmt in der Höhe gleichzeitig die Häufigkeit von Regen und Schneefall zu. Das ist ein Punkt, der für die alpinen Pflanzen im Sommer sicher von Bedeutung ist.

6. Für die Sonnenscheindauer ergeben sich für den Sommer zusammenfassend aus den Statistiken keine wesentlichen Differenzen wie in Hochgebirgstälern und Mittelland, es sei denn, dass speziell ungünstige Verhältnisse dadurch vorliegen, dass eine Talschaft von sehr hohen und vor allem nach Süden gelegenen Bergketten umgeben ist. Der Vorteil der längeren Bestrahlungsmöglichkeit, den die Berggipfel gegenüber dem Tale aufweisen, wird durch die an ihnen speziell in der warmen Tages- und Jahreszeit intensivere Wolkenbildung aufgewogen.

7. Die Bewölkung differiert im Sommerhalbjahr zwischen den Alpentälern und dem Tiefland nur minim. Vergleiche zwischen Genf, Zürich, München und Davos geben die durchschnittlich selbe Zahl an heiteren und trüben Tagen, während der Monate April bis Oktober:

Genf	44 heitere Tage	53 trübe Tage
Zürich	39 » »	54 » »
München	28 » »	59 » »
Davos	39 » »	52 » »

Wenn wir die bei den Meteorologen übliche Ausdrucksweise (Bewölkung in Zehnteln der bedeckten Himmelsfläche) anwenden, so kommen wir zwar im Gebirge zu etwas höheren Bewölkungswerten als im Tiefland. Es mag zum Teil daran liegen, dass die Wolken wegen ihrer grösseren Bodennähe in den Bergen schon an und für sich etwas mehr Himmelsfläche bedecken. Andererseits nimmt aber doch in den Gebirgslagen die Bewölkung sehr oft über Mittag etwas zu, wogegen in der Ebene über die Mittagszeit eher eine Abnahme eintritt.

8. Die Windverhältnisse unterliegen stark den örtlichen Einflüssen. Schon aus blosser Erfahrung ist uns bekannt, wie oftmals an einem und demselben Orte kleine Differenzen in der topographischen Gliederung oder in der Höhenlage starke Unterschiede in den Windgeschwindigkeiten bedingen. Bei Messungen der Windstärke findet G o e t z (7) in

Inner-Arosa die Windgeschwindigkeit grösser als im übrigen Teil des Ortes, weil letzterer durch die bewaldeten Abhänge des Tschuggens starke Rückendeckung hat.

Im allgemeinen nimmt die Windstärke mit steigender Höhe zu. Nur die Talsohlen machen von dieser Regel eine Ausnahme, weil sich für sie der Windschutz durch die Bergketten auswirkt. Im Jahresdurchschnitt beträgt die Windgeschwindigkeit für :

Ort	Meereshöhe	Windgeschwindigkeit
Arosa Inner-Arosa . . .	1860 m	1,8 m/Sekunde
Post-Platz . . .	1800 »	1,3 »
Davos	1600 »	1,2 »
Zürich	440 »	2,2 »
Berlin	36 »	4,5 »
Agra (Tessin)	550 »	1,5 »
Säntis	2500 »	6,0 »

Die von allen Seiten von Bergen umrahmten Orte Arosa, Davos und Agra weisen also viel kleinere Werte auf als Zürich und gar das auf offener Ebene gelegene Berlin. Wie hier, so kommt auch am Säntis die gesamte Windstärke zur Geltung.

Wir treffen aber meistens in den Bergtälern noch lokale Windsysteme an, die sich unabhängig von kontinentalen Luftströmungen durch den täglichen Wechsel von Berg- und Talwind entwickeln. Die infolge nächtlicher Wärmeausstrahlung erkalteten Luftmassen fliessen in den Morgenstunden als « Bergwind » talwärts ab, währenddem der am Abend aufsteigende « Talwind » durch die Lufterwärmung zustande kommt. Solche lokalen Luftströmungen können mitunter erhebliche Geschwindigkeiten annehmen, wie dies Goetz (7) an Hand von Messungen im Ober-Engadin beobachtete. Im grossen ganzen sind Berg- und Talwind aber auf die Morgen- und Abendstunden beschränkt.

9. Die Strahlungsverhältnisse ändern sich mit steigender Höhenlage in verschiedener Beziehung. Auf dem Wege, den die Sonnenstrahlen bis zur Erdoberfläche zurücklegen, unterliegen sie teils der Adsorption, teils der Diffusion. Entsprechend der vermehrten Adsorption durch Bestandteile der Atmosphäre (Luftfeuchtigkeit, Ozon, Verunreinigung durch Staub) wird in den tieferen Lagen ein grösserer Teil der Sonnenstrahlung in Wärme umgewandelt als im Hochgebirge. Die Diffusion, d. h. die Richtungsänderung der Strahlen durch Reflexion, Beugung, Polarisation und Brechung wird aus dem nämlichen Grunde (Vermehrung der Luftdichte und Luftbestandteile) im Tiefland bedeutend verstärkt. Aus diesem Grunde ist die direkte Sonnenstrahlung, d. h. derjenige Teil der Gesamtstrahlung, der ungehindert durch die Atmosphäre auf die Erdoberfläche auftritt, in den alpinen Lagen grösser als in der Niederung.

Die Sonnenstrahlung setzt sich aus Strahlen von folgenden Wellenlängen zusammen :

Strahlung	Wellenlänge		
Röntgen	0,00001 μ	— 0,00018 μ	
Ultraviolett	0,012 μ	— 0,40 μ	
Violett	} 0,40 μ	— 0,49 μ	} sichtbar
Blau			
Grünrot	0,49 μ	— 0,76 μ	
Ultrarot	0,76 μ	— etwa 600 μ	
Elektrische Wellen	2 mm	— unbegrenzt lang.	

Wenn wir nach ihrer Wirksamkeit fragen, so sind uns die kurzwelligen Ultraviolett- und Röntgenstrahlen vor allem als chemisch wirksam bekannt. Dagegen liefern die Wellenlängen von 0,40 bis 0,76 μ das Licht und die langwellige Ultrarotstrahlung die Wärme. Nach D o r n o (6) werden 80 % der gesamten Wärme von der langwelligen Ultrarotstrahlung erzeugt. Die Scheidung nach chemischer Wirkung, Licht und Wärme deckt sich allerdings nicht ganz mit den drei Spektralbereichen Ultrarot, Sichtbar und Ultraviolett, denn Wärmewirkung üben alle Strahlen aus, nur mit dem Unterschiede, dass die kurzwelligen viel weniger Wärmeenergie abgeben als die langwelligen. Andererseits sind auch im sichtbaren Spektrum chemisch wirksame Strahlen vorhanden.

Interessant ist das verschiedene Verhalten der einzelnen Strahlensorten der Adsorption sowie der Diffusion gegenüber, Die langwellige Strahlung unterliegt in viel geringerem Masse der Schwächung und der Zerstreuung durch die Atmosphäre als die kurzwellige. Die Intensität der Ultraviolettstrahlung hängt in erster Linie von der Länge der durchlaufenen Luftschicht ab und ist somit je nach Meereshöhe und Sonnenstand stark verschieden. Im Sommer kann sie beispielsweise auf einer Höhe von 1600—1800 m bei hohem oder mittlerem Sonnenstand den 1½—2fachen Wert gegenüber einer Höhe von 300 m erreichen. Desgleichen wird die ultraviolette Strahlung von der Diffusion in viel stärkerem Masse betroffen als die ultrarote. Letztere erleidet eigentlich nur durch die Adsorption der Luftfeuchtigkeit eine wesentliche Einbusse. Von der gesamten Energiemenge, welche die Sonne der Erde zustrahlt, gelangen nur 75 % bis zu 1800 m Höhe, und nur 50 % bis zur Meereshöhe, unter Berücksichtigung der Bewölkung sogar nur 52 % bzw. 24 %. Im Mittel erhält also durch die direkte Sonnenstrahlung das Meeresniveau nicht ganz die Hälfte derjenigen Strahlungsmenge, die bis zu 1800 m Höhe gelangt. (D o r n o [6].)

10. Zusammenfassung.

Überblicken wir die Veränderungen, die das gesamte Klima bei steigender Höhe in fortschreitendem Masse erleidet, so treten folgende Hauptzüge in den Vordergrund :

Abnahme der Temperatur
Abnahme der Luftfeuchtigkeit
Zunahme der Niederschlagshöhe
Zunahme der Strahlungsintensität.

Das sind u. a. gerade diejenigen Faktoren, die ausser dem Boden für das Leben der Pflanzen am ausschlaggebendsten sind. Der Umstand, dass die Luftdichte und der Luftdruck nach oben abnehmen, ist für die Pflanzen nicht von so wesentlicher Bedeutung. Am wenigsten verändert sich von allen Faktoren die Sonnenscheindauer, die Bewölkung und die Zusammensetzung der Luft, wogegen die Windbewegungen wiederum eine Verstärkung mit steigender Höhe erfahren.

Im Grunde genommen bedeuten derartige Veränderungen für die Pflanzen nichts anderes als eine Verschlechterung der Lebensbedingungen, was sich deutlich genug in der Abnahme der Vegetation nach oben ausdrückt. Im Zusammenhang mit dem Verschwinden der höheren Blütenpflanzen gilt in grösseren Höhen dasselbe auch für den Menschen; nur macht sich für ihn zuerst das Klima bis zu 2000 m in günstigem Sinne geltend, indem es sowohl die Atmung, als auch den Stoffwechsel anregt. Wir wollen nun im nachfolgenden Abschnitt sehen, wie sich in dieser Beziehung der pflanzliche Stoffwechsel im Hochgebirgsklima verhält.

II. Hochgebirgsklima und Stoffwechsel.

1. Beziehungen zwischen Hochgebirgsklima und Stoffwechsel im allgemeinen.

An der Wirkung des Klimas auf Stoffwechsel und Wachstum sind von den vielen Klimafaktoren lange nicht alle in gleich hohem Masse beteiligt. In erster Linie macht sich der Einfluss von Temperatur, Licht und Feuchtigkeit geltend. Das sind alles Faktoren, die, wie wir eben feststellten, im Gebirge den stärksten Veränderungen unterworfen sind. Weil sich aber einerseits Licht und Feuchtigkeit im Hochgebirge vermehren und andererseits die Temperatur abnimmt, so stösst man bei der Bewertung von Feldversuchen immer auf die fast unüberwindliche Schwierigkeit, die Elementarwirkung der einzelnen Klimafaktoren auseinander zu halten.

Auf andern Wegen ist schon versucht worden, über die Beziehungen zwischen Klima und Stoffwechsel ein Bild zu erhalten. Vor allen Dingen sind diesbezüglich reine Laboratoriumsversuche zu erwähnen, bei denen die Kurven des Wachstums, der Atmung und der Assimilation unter möglichst natürlichen Bedingungen bestimmt wurden.

So liegen z. B. genauere Messungen über die Abhängigkeit der Wachstumsgeschwindigkeit von der Temperatur vor, die u. a. besagen, dass eine für jede Art spezifische Optimumkurve be-

steht, und dass die Lage des Optimums wiederum stark von der Dauer der Temperatureinwirkung beeinflusst wird. (19) In der Regel erreicht das Wachstum sein Optimum bei Temperaturen von 25—35 Grad. Danach müsste man eigentlich ohne weiteres zur Annahme berechtigt sein, dass bei steigender Meereshöhe und dementsprechend fallender Temperatur das Wachstum der Pflanzen abnimmt. Weil aber jede Pflanze sich bis zu einem gewissen Grade an die Aussenwelt akklimatisieren kann, und weil zudem das Wachstum von Assimilation, Atmung, Stoffwanderung und Lichtintensität abhängt, ist eine direkte Auswertung der Temperaturkurve auf den Einfluss des Gebirgsklimas auf freiwachsende Pflanzen nicht möglich.

Für die *A t m u n g* der Pflanzen besteht auch eine Optimumkurve. Nur steigt sie im Vergleiche zu denjenigen des Wachstums viel steiler und noch bis zu einer viel höheren Temperatur (meistens 40—50 Grad) an, worauf sie ebenso rasch infolge Hitzeschädigung der Pflanze wieder abfällt. Da durch die Atmung namentlich Kohlenhydrate und Fette verbrannt werden, so veratmen die Pflanzen bei hohen Temperaturen entsprechend grössere Mengen an Assimilaten. Das Gebirgsklima schliesst also mit seinen tieferen Temperaturen gegenüber dem Tieflandklima den Vorteil in sich, dass es durch seine kühleren Nächte und seinen tieferen Tagestemperaturen die Atmung und damit den Verbrauch der Assimilate herabsetzt. Mit andern Worten ausgedrückt, wird die Assimilationsbilanz durch das Bergklima in dieser einen Beziehung im Sinne einer kleineren Amplitude beeinflusst.

Für die *K o h l e n s ä u r e a s s i m i l a t i o n* tritt das Optimum schon bei einer viel tieferen Temperatur als beim Wachstum und namentlich der Atmung ein. So erreichen zum Beispiel nach *L u n d e g å r d h* (19) Kartoffeln ihre Assimilationsoptimum bei 18—20° C. unter günstigsten übrigen Bedingungen. Darunter sind vor allem optimale Lichtverhältnisse und optimale Kohlensäurekonzentration der Luft zu verstehen, weil beide Faktoren sehr intensiv auf den Gesamtumsatz der Assimilation einwirken. Die niedrige Lage des Assimilationsoptimums lässt sich zum Teil daraus erklären, dass die Chloroplasten als die assimilierenden Organe bei höheren Temperaturen rascher ermüden. Andererseits kann die Pflanze bei gesteigerter Produktion die Assimilation nicht mehr in dem Masse ableiten, wie sie entstehen. Dieser Auffassung entspricht die Erscheinung, dass die Assimilationstätigkeit in der heissesten Zeit über Mittag fast auf den Nullpunkt sinkt, worauf sie im Verlaufe des Nachmittags wieder allmählich ansteigt. Abgesehen von den beträchtlichen Schwankungen, denen die CO_2 -Assimilation im Verlaufe des Tages unterworfen ist, braucht die Intensität der Assimilation bei ein und derselben Temperatur lange nicht immer dieselbe zu sein, da die Pflanze mit Hilfe der Spaltöffnungsbewegungen den Gasaustausch, im speziellen die Kohlensäure-Aufnahme, weitgehend regulieren kann.

Wie Versuche von M. H e n r i c i (12) an Alpen- und Ebenenindividuen derselben Species gezeigt haben, assimilieren die ersteren bei jeder Temperatur die Kohlensäure viel intensiver als die Vertreter des Tieflandes; gleichzeitig setzt die Assimilation des CO_2 bei den Alpenpflanzen schon bei einer viel tieferen Temperatur ein, als dies bei den Tieflandpflanzen der Fall ist. Daraus würde sich die logische Schlussfolgerung ergeben, dass die Kohlenhydratsynthese im Gebirge eine Steigerung erfährt. Eine Stütze findet dieser Satz darin, dass die Alpenpflanzen innert viel kürzerer Zeit als die Ebenenpflanzen den gesamten Jahresbedarf an Kohlehydraten aufbauen müssen. Auf der andern Seite spricht aber das geringere Wachstum der alpinen Pflanzen, sofern es als Gradmesser des Kohlehydratstoffwechsels gedeutet werden darf, eher dagegen. Es wird sich noch im Zusammenhang mit der Besprechung der übrigen Stoffwechselgruppen Gelegenheit bieten, auf diese Fragen näher einzutreten.

Die T e m p e r a t u r, insbesondere diejenige des B o d e n s, spielt fernerhin eine erhebliche Rolle bei der S t o f f a u f n a h m e aus dem Boden. Obwohl rein physiologische Erfahrungen über die Wirkung der Temperatur auf die Stoffaufnahme bisher nur ungenügend bekannt sind, wird ohne Zweifel bei gesteigerter Temperatur auch die absolute Stoffaufnahme zunehmen. Das ersieht man schon aus der Zunahme des Wachstums, das von der Wasser- und Salzaufnahme stark abhängt. In welcher Weise diese beiden Faktoren auf die verschiedenen Stoffwechselgruppen einwirken, ist vorderhand noch absolut unklar. Wir wissen lediglich, dass von der Gesamtmenge des aufgenommenen Wassers maximal 0,2 % bei der Photosynthese verbraucht werden.(17) Auch über die Beziehungen zwischen Mineralstoffwechsel und übrigen Stoffwechselgruppen ist nichts Genaueres bekannt, da selbst die modernsten Kenntnisse aus dem Gebiete der Kolloidchemie nicht zu ihrer Abklärung ausreichen. Ob und wie die Steigerung der Wasser- und Salzzufuhr eine Intensivierung aller übrigen Stoffwechselfvorgänge nach sich zieht, ist nur im Zusammenhang mit dem Wachstum feststellbar: Wir können aus dem grösseren Umfang einer Pflanze darauf schliessen, dass sämtliche Stoffwechselprozesse eine Vermehrung erfahren haben. Dazu ist aber ausdrücklich zu bemerken, dass es sich dabei um den absoluten, und nicht um den auf die Flächen- oder Grösseneinheit bezogenen Betrag handelt. Nach den Untersuchungen von Prof. G. S e n n (27), der bei seinen Messungen auf das Blattgewicht Bezug nimmt, erhält man eher ein umgekehrtes Bild von den Vorgängen in der Alpenpflanze; einer Zunahme der Wasser- und Salzaufnahme und einer Vermehrung der Assimilationstätigkeit. Seine Befunde weisen darauf hin, dass in den Alpenpflanzen grössere Salzkonzentrationen vorliegen als in den Ebenenpflanzen. Darin liegt aber wohl weniger eine Förderung des Stoffumsatzes, als vielmehr eine

physikalisch-chemische Schutz Einrichtung gegen schädliche Temperatur-extreme : Bekanntlich vertragen Samen, Knospen und Rhizome wegen ihrer Wasserarmut viel tiefere Temperaturen, als etwa die assimilierenden, wasserreicheren Vegetationsorgane. Ob die erhöhte Salzkonzentration auch eine Intensivierung der biochemischen Umsetzungen nach sich zieht, scheint sehr fraglich zu sein; zum mindesten wird der Gesamtstoffwechsel nicht in diesem Sinne beeinflusst.

Wenn wir uns nun nach der Wirkung des *L i c h t e s* auf die Pflanzen erkundigen, so stehen folgende zwei Funktionen im Vordergrund : Einesteils liefert es der Assimilation die nötige Energie, andernteils wirkt das Licht als photischer Reiz beim Wachstum. Würde im Gebirge die Kohlensäurekonzentration der Luft in demselben Masse wie die Lichtintensität steigen, so müsste sich unbedingt die Assimilationstätigkeit der Pflanzen sehr stark vermehren. Durch die ziemlich gleichmässige Kohlensäurekonzentration der Atmosphäre sind aber dieser Zunahme Grenzen gesetzt. Auch aus einem andern Grunde erreichen die Bergpflanzen kein Assimilationsoptimum : Sie enthalten prozentual viel weniger Chlorophyll als die Ebenenpflanzen (*M. H e n r i c i* [12]). Wir sehen in diesem Verhalten die Bestätigung der allgemeinen Regel, wonach die Chlorophyllmenge sich umgekehrt zur Intensität des Lichtes verhält.

Die Wirkung des Lichtes als photischer Reiz beim Wachstum macht sich dadurch geltend, dass es bis zu einem gewissen Grade die Form der zu bildenden Organe bestimmt; darüber hinaus kommt ihm Bedeutung für die geotropischen Bewegungen der Pflanzen zu. Auf Grund unserer derzeitigen Kenntnisse ist es aber nicht möglich, etwas Genaueres über die photische Reizwirkung des Lichtklimas im Gebirge auszusagen. In diesem Zusammenhang dürfte höchstens noch eine Feststellung von Interesse sein, nämlich die, dass die vermehrte Ultraviolettstrahlung im Gebirge nicht etwa wachstumsfördernd, sondern im Gegenteil hemmend ist (19, 27). *S c h a n z* (28) führt beispielsweise die Gestaltung der Alpenpflanzen — kurze Internodien, derbe Blätter, runzelige Oberfläche, dunklere Farbe — auf die grössere Intensität der ultravioletten Strahlung zurück.

Als dritter, klimatisch für die Pflanzenwelt wichtiger Faktor wurde die **Feuchtigkeit** genannt. Der Wasserfaktor setzt sich im wesentlichen aus drei Elementen zusammen : Niederschläge, Bodenfeuchtigkeit und Luftfeuchtigkeit, die z. T. unabhängig voneinander variieren. Ökologisch ausschlaggebend ist nach *L u n d e g å r d h* (19) die gesamte Wasserbilanz, d. h. das Verhältnis zwischen der Wassermenge, die die Pflanze durch Wurzeln und andere Organe aufzunehmen imstande ist, und dem bei der Transpiration abgegebenen Wasser. Wir kennen aber im allgemeinen sehr wenig über die Beziehungen zwischen dem Stoffwechsel und dem Wasserhaushalt der Pflanzen. Das rührt nicht zuletzt von den

experimentellen Schwierigkeiten her, die sich der Messung der Wasseraufnahmegeschwindigkeit am lebenden Organ entgegenstellen.

Etwas besser orientiert sind wir hinsichtlich der *Transpiration*. Sie hängt ausser von der relativen Luftfeuchtigkeit, der Temperatur und vom Winde in hohem Masse von der Bewegung der Spaltöffnungen und damit vom Licht ab. Durch Schliessen oder Öffnen der Stomata können die Pflanzen die Wasserabgabe regulieren. Eingehende Untersuchungen von *Briggs* und *Shantz* (2) haben bewiesen, dass in erster Linie die Sonnenstrahlung und die Temperatur den Tagesverlauf der Transpiration bestimmen, nebenher aber auch die Luftfeuchtigkeit daran etwas beteiligt ist. Den kleinsten Einfluss übt die Windgeschwindigkeit aus. Ob in den Gebirgslagen die Transpiration wegen der stärkeren Sonnenstrahlung und der grösseren Wasserverdunstungskraft erhöht ist, lässt sich an Hand der bisherigen Laboratoriumsversuche sehr wohl vermuten, aber nicht mit Sicherheit ableiten, da die Transpiration von der Pflanze selbst den sie umgebenden klimatischen Verhältnissen angepasst werden kann. Auch in absehbarer Zeit wird man kaum etwas Genaueres hierüber erfahren, weil die fortlaufende Kontrolle der Transpiration durch Wiegen — nach *Lundegårdh* die einzige, theoretisch einwandfreie Messmethodik — an wildwachsenen Pflanzen aus experimentellen Gründen nicht möglich ist.

Bis hierher war vom Einfluss der Klimafaktoren auf die wichtigsten Funktionen der Pflanze die Rede. Man kann daraus sofort erkennen, wie schwer es hält, etwas über die Wirkung eines auch noch so genau bekannten Klimas auf Wachstum, Atmung, Assimilation und Stoffaufnahme voraussagen zu wollen. Denn Gesetzmässigkeiten lassen sich hierüber schon deswegen nicht ableiten, weil die einzelnen Klimafaktoren einander weitgehend zu ersetzen vermögen. Nur zweckentsprechend angelegte Versuche in Gewächshäusern, in denen nach Belieben ein Klimafaktor variiert und alle übrigen absolut konstant gehalten werden können, führen hier einigermassen zum Ziel. Ferner wird es unumgänglich sein, die Abklärung zahlreicher Stoffwechselforgänge dermassen zu fördern, dass wir den Einfluss des Klimas auch von chemischen Gesichtspunkten besser verstehen. Was über die Beeinflussung von Wachstum, Atmung, Assimilation usw. gesagt wurde, gilt nämlich noch in vermehrtem Masse für den Kohlehydrat-, bzw. den Eiweiss- und Fettstoffwechsel. Wir wissen verhältnismässig nur sehr wenig über die Beziehungen, die zwischen der Aussenwelt und den einzelnen Stoffwechselgruppen bestehen. Am besten sind diesbezüglich die Verhältnisse beim Kohlehydratstoffwechsel erforscht, weil das Licht als Energielieferant für die Photosynthese eine ganz ausschlaggebende Rolle spielt. Als direktes Produkt der Photosynthese entstehen Kohlehydrate; alle übrigen organischen Pflanzenstoffe, also namentlich Proteine und Fette, stehen nur in zweiter Linie mit ihr in Verbindung.

Dementsprechend treten die Wirkungen des Lichtes auf Eiweiss- und Fettstoffwechsel nicht in so ausgeprägter Form wie beim Kohlehydratstoffwechsel in Erscheinung, wo mit dem Eintritt der Lichteinwirkung sofort die chemische Synthese beginnt und umgekehrt mit Eintritt von Dunkelheit der chemische Aufbau aufhört. Die Eiweissynthese ist weniger vom Licht, dafür um so mehr von der Nahrungsaufnahme der Wurzeln abhängig, ein Satz, der deutlich genug aus der chemischen Zusammensetzung der Eiweissstoffe erhellt: Bekanntlich beteiligen sich am Aufbau der Proteine ausser den Elementen C, H und O vor allem Stickstoff, dann aber auch Phosphor und Schwefel, alles Metalloide, die der Pflanze in Form von Sauerstoffverbindungen im Boden zur Verfügung stehen. Dadurch, dass der Eiweissstoffwechsel seine Bausteine zum Teil aus anorganischem Material bezieht, stellt er die Verbindung zwischen organischem und anorganischem Stoffwechsel her. Wenn der letztere abnimmt, wird auch der Eiweissstoffwechsel gehemmt. Dieser Fall dürfte im Gebirge eintreten, wo, wie wir vorhin feststellten, die Stoffaufnahme insgesamt zurückgeht. Letzten Endes ist — so wie für den Kohlehydratstoffwechsel das Licht — für den Eiweissstoffwechsel die Temperatur der entscheidende Klimafaktor.

In der Aufklärung des Fettstoffwechsels hat die Pflanzenchemie zwar schon sehr grosse Fortschritte gemacht, aber trotzdem nichts Genaueres über die Beeinflussung der Fettbildung durch die Aussenfaktoren herauszuschälen vermocht. Das rührt nicht zuletzt davon her, dass die Fette in ihrer Eigenschaft als Reservestoffe weniger vom Klima, als vielmehr vom Ernährungsbedarf der Pflanze abhängen. In der Regel werden die Fettkörper nur dann in grösserer Menge produziert, wenn es darauf ankommt, ein für die Erhaltung der Art besonders wichtiges Organ, also z. B. Früchte und Samen, mit einem möglichst energiereichen Reservematerial auszustatten. Hierzu sind die Fette wegen der grossen Wärmetönung bei ihrer Verbrennung besonders geeignet. Die Fettsynthese, die nachgewiesenermassen auf Kosten der Kohlehydrate vor sich geht, wird sehr wahrscheinlich im Gebirge auch Veränderungen erfahren, doch ist bis jetzt nichts bekannt, welcher Natur letztere sind, und ob eine Intensivierung oder Verlangsamung des Fettstoffwechsels stattfindet.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Alpenklima einerseits durch seine hohe Lichtintensität den Kohlehydratstoffwechsel begünstigt, dass es aber andererseits durch die tieferen Bodentemperaturen eine geringere Stoffaufnahme und damit einen geringeren Eiweissstoffwechsel bedingt. Was den Fettstoffwechsel betrifft, so sind wir heute noch nicht in der Lage, Aussagen über eine eventuelle Intensitätsänderung im Gebirge zu machen. Aus dem einfachen Grunde, weil die einzelnen Stoffwechselgruppen auch untereinander in einem Abhängigkeitsverhältnis stehen, ist es unmöglich, dass ein Stoffwechsel allein ohne Beeinflussung

der übrigen Vorgänge eine wesentliche Verstärkung erfährt; umgekehrt werden durch die Verzögerung eines einzelnen Stoffwechselprozesses auch alle andern gehemmt. Wenn der Kohlehydrataufbau im Gebirge trotz günstigsten Bedingungen kein absolutes Maximum erreicht (vgl. Wachstum), so ist daran vor allem wohl der im alpinen Klima verlangsamte Eiweißstoffwechsel schuld. Dieser Auffassung entspricht die Bedeutung, die den Proteinen in der Pflanzenchemie zukommt: stellen sie doch sowohl physiologisch wie prozentual die bedeutsamste Gruppe aller Pflanzenstoffe dar. Es erhebt sich nun nur noch die Frage, was aus dem Verhalten des Kohlehydratstoffwechsels und des Eiweißstoffwechsels im Gebirge für den Wirkstoffgehalt der alpinen Arzneipflanzen erhellt.

2. Zugehörigkeit der Wirkstoffe zu den einzelnen Stoffwechselgruppen und mutmasslicher Einfluss des Gebirgsklimas auf den Gehalt der Arzneipflanzen an solchen.

Von den vielen Wirkstoffgruppen greifen wir für unsere Betrachtungen wegen ihrer besonderen Bedeutung die Glucoside, die Alkaloide und die ätherischen Öle heraus. Es sind dies zugleich diejenigen Gruppen, die von uns experimentell untersucht wurden. Näher auf chemische Konstitution und Begriff dieser Körperklassen einzugehen, erübrigt sich hier. Hingegen möge doch darauf verwiesen sein, dass sie ihrem Chemismus nach Körper von recht verschiedenen Konstitutionen aufweisen.

Für die Abklärung der Beziehungen zwischen Wirkstoffen und grösseren Stoffwechselbereichen (Kohlehydrat-, Eiweißstoffwechsel) schliesst dieser Sachverhalt insofern Nachteile in sich, als damit die chemische Ableitung vielfach nur für einen Teil der Gruppe zutrifft. Am besten sind wir in dieser Hinsicht über die Glucoside informiert: Sie stehen mit der einen Komponente, dem Zuckeranteil, in naher Beziehung zum Kohlehydratstoffwechsel, mit der andern, dem Aglukon, unterhalten sie sehr wahrscheinlich Verbindungen mit dem Eiweissstoffwechsel. Es seien z. B. die Blausäureglucoside genannt, deren Bildung mit starkem Eiweissumsatz zusammenfällt. Auch bei N-freien Aglukonen ist eine Verbindung mit dem Eiweißstoffwechsel denkbar, nämlich so, dass vor der Bildung der Glucoside bereits aller N aus dem Aglukon entfernt und anderweitig verbraucht wurde. Wie dem nun auch sei, so ist fraglos die Glucosidbildung stark mit der Photosynthese und damit mit der Lichtwirkung verknüpft: Zahlreiche Versuche an lebenden Pflanzen haben erwiesen, dass der Glucosidgehalt tagsüber Schwankungen erleidet, die mit den Schwankungen des Kohlehydratgehaltes parallel gehen (4). Vom alpinen Strahlungsklima lässt sich demnach aus theoretischer Überlegung eine günstige Beeinflussung des Glucosidgehaltes erwarten.

Die Stellung der Alkaloide im Gesamt-N-Stoffwechsel ist — im Vergleich zu derjenigen der Glucoside im Kohlehydratstoffwechsel — noch verhältnismässig wenig abgeklärt. Wir wissen zwar, dass die Alkaloide End- oder Zwischenprodukte des Eiweißstoffwechsels darstellen; wir wissen ferner, dass zwischen Alkaloiden und niederen N-Verbindungen chemische Beziehungen bestehen. Es bleibt aber immer noch die Frage nach der Herkunft der letzteren zu beantworten übrig. Die niederen Aminoverbindungen stellen sowohl Vorstufen als auch Abbau-Produkte der Eiweißstoffe dar. Sollte sich die Hypothese, dass die Alkaloide aus den Aminosäuren des Eiweissabbaues gebildet werden, als richtig erweisen, so wäre es trotzdem noch möglich, dass die Alkaloide in irgendeiner Form wieder in den Gesamtstoffumsatz eintreten. Eine solche Annahme ist nach O. Moritz (25) um so eher berechtigt, « je näher ein Alkaloid den Aminosäuren oder den einfachen Aminen steht. Je vielfältiger dagegen die Veränderungen sind, welche am ursprünglichen Molekül des Grundkörpers stattgefunden haben, um so weniger wahrscheinlich ist die Wiedereinbeziehung in das Lebensgeschehen ». Ein Überblick über die vielen übrigen noch ungelösten Probleme des N-Stoffwechsels lehrt uns, dass vorläufig von phytochemischer Seite nur wenig über die Beeinflussung des Alkaloidgehaltes durch das Alpenklima vorausgesagt werden kann. Solange die Beziehungen zwischen Alkaloidsynthese und Eiweissumsatz nicht genauer erfasst sind, so lange bleibt der Schluss unsicher, dass Verminderung bzw. Vermehrung des Eiweissumsatzes gleichbedeutend mit Abnahme bzw. Zunahme des Alkaloidgehaltes ist.

Über die Zugehörigkeit der ätherischen Öle zum Eiweißstoffwechsel waren die Meinungen lange Zeit geteilt. Heute dürfte aber doch die Frage dahin entschieden sein, dass die ätherischen Öle als Endprodukte des Eiweißstoffwechsels anzusehen sind: Sowohl die Art ihrer Bildung wie die Art ihrer Lokalisation sprechen hierfür. Von den verschiedenen Hypothesen über die Ätherisch-Öl-Bildung verdient vor allem diejenige unsere Aufmerksamkeit, nach der die Terpenkörper aus Aminosäuren durch Desaminierung hervorgehen. Dieser Weg der Terpenbildung wird offensichtlich dadurch belegt, dass die Epithelschichten, in denen die Abscheidung der ätherischen Öle erfolgt, wenig Kohlehydrate, dafür um so reichlicher Eiweißstoffe enthalten (5). Die Theorie nach v. Euler (zit. in 25), die die Bildung der ätherischen Öle auf den Fett- bzw. den Kohlehydratstoffwechsel zurückführt, scheint aus diesem Grunde fast ausgeschlossen zu sein. Eine einlässlichere Erörterung der rein chemischen Seite der Ätherisch-Öl-Bildung können wir hier übergehen, erlaubt uns doch schon das Wesen der ätherischen Öle als Ausscheidungsstoffe des N-Stoffwechsels einen weitgehend übereinstimmenden Verlauf zwischen Eiweissumsatz und Ätherisch-Öl-Bildung anzunehmen. Wenn wir daher in einem früheren Abschnitt (Seite 259) dem Gebirgs-

klima einen Eiweißstoffwechsel hemmenden Einfluss zugeschrieben, so liegt die Vermutung nahe, dass der Ätherisch-Öl-Gehalt in den alpinen Lagen abnimmt.

Wir wollen nun noch prüfen, was auf Grund von Freilandversuchen über den mutmasslichen Einfluss des Gebirgsklimas auf den **Wirkstoffgehalt** der Arzneipflanzen gesagt werden kann. Zunächst ist daran zu erinnern, dass verschiedene Arbeiten über den Einfluss des Klimas im allgemeinen auf den Gehalt der Arzneipflanzen gemacht worden sind. Sie gestatten aber aus Gründen, die schon in der Einleitung erwähnt worden sind, nicht, etwas Gesetzmässiges über den Einfluss der einzelnen Klimafaktoren auf Glucoside, Alkaloide und ätherische Öle abzuleiten. Für die Alkaloidpflanzen scheinen immerhin Sonne und Licht gehaltserniedrigend zu wirken. Für die Ätherisch-Öl-Pflanzen liefern die Freilandversuche kein einheitliches Bild: Jede Pflanze reagiert nach ihrer besonderen Art. Am wenigsten untersucht sind die klimatischen Einflüsse auf den Glucosidgehalt. Der Befund von W. H i m m e l b a u r (13), wonach die mediterranen Arten im allgemeinen mehr Glucoside enthalten, als die nördlichen, weist einzig daraufhin, dass die Glucosidbildung durch intensivere Sonnenbestrahlung eine Förderung erfährt.

Im Gegensatz zu diesen Arbeiten, die lediglich den Einfluss von einzelnen Tieflandklimata berücksichtigen, wurden vor einigen Jahren (1929—1933) durch W. H e c h t, W. H i m m e l b a u r und W. K o c h (10 und 11) die ersten ausführlicheren Versuche im alpinen Klima gemacht. Ihre Ergebnisse lassen sich dahin zusammenfassen, dass das Hochgebirgsklima den Wirkstoffgehalt der Alkaloid- und Ätherisch-Öl-Pflanzen zu erniedrigen, dagegen denjenigen der Glucosidpflanzen zu erhöhen scheint. In demselben Sinne fielen die Resultate von O. M e y e r (22) aus, der an Hand seiner Versuche feststellt, dass

1. der Ätherisch-Öl-Gehalt der *Mentha piperita* und des *Thymus vulgaris* von einer gewissen Höhe (950 m ü. M.) an abnimmt;
2. dass der Alkaloidgehalt des *Aconitum Napellus*, einer typisch alpinen Pflanze, sich mit zunehmender Höhe verringert.

Wir finden in diesen Angaben, unsere Äusserungen betreffend, den mutmasslichen Einfluss des Gebirgsklimas auf einzelne Stoffwechselprodukte bestätigt. Ob darin bereits genügend Anhaltspunkte zur Verallgemeinerung vorliegen, lässt sich zur Zeit noch nicht entscheiden. Da die Pflanzen auf klimatische Einflüsse verschieden reagieren, und weil jede Pflanzengattung nicht nur an das Klima, sondern auch an den Boden, die Pflanzengesellschaft usw. verschiedene Ansprüche stellt, ist ein abweichendes Verhalten einzelner Typen immerhin möglich. Ferner deuten gewisse Zeichen daraufhin, dass die Arzneipflanzen in einer mittleren Höhenlage einen maximalen Wirkstoffgehalt aufweisen. Jedes Über- oder Unterschreiten dieser « optimalen Lage » hat eine Abnahme

des Wirkstoffgehaltes zur Folge. Das muss berücksichtigt werden, wenn schlechthin von steigender Meereshöhe die Rede ist. Die optimale Lage wird je nach der Art der Pflanzen und je nach den Klimaverhältnissen sehr verschieden sein. In den meisten Fällen wird sie nicht in den typisch alpinen Höhen liegen, sondern tiefer zu suchen sein. Sie muss aber, will man Fehlschlüsse vermeiden, für jede Arzneipflanze besonders bestimmt werden. Die Grundlage für jede weitere Forschung auf diesem Gebiet kann aus diesem Grunde nur der experimentelle Weg sein: Durch Anlage von geeigneten Versuchen und durch Vermehrung der untersuchten Beispiele wird erst ein abschliessendes Urteil über die in diesem Abschnitt aufgeworfenen Fragen ermöglicht.

III. Massgebende Gesichtspunkte bei der Anlage von Versuchen, die den Einfluss des Gebirgsklimas auf den Gehalt der Arzneipflanzen feststellen sollen.

Bei der Aufstellung einer Versuchsordnung, durch die der Einfluss des Hochgebirgsklimas auf den Wirkstoffgehalt der Arzneipflanzen festgestellt werden soll, ist eine Reihe von Bedingungen zu erfüllen. Als erste Voraussetzung gilt, dass mit Ausnahme der Klimafaktoren alle übrigen Faktoren, die irgendwie Einfluss auf den Wirkstoffgehalt haben, gleich- oder ausgeschaltet werden. Nur wenn in bezug auf Pflanzenmaterial, Boden und Kulturbedingungen auf allen Stationen Einheitlichkeit herrscht, kommt die Wirkung des Klimas der betreffenden Höhenlage auf den Stoffwechsel allein zur Geltung.

An die Versuchspflanzen ist demnach die Forderung zu stellen, dass sie hinsichtlich Rasse, Varietät, Alter, Grösse usw. möglichst vollständig übereinstimmen, und dass sie wenn möglich vorher nur kurz auf anderem Boden gestanden haben. Desgleichen muss vom Boden verlangt werden können, dass er auf allen Stationen gleich zusammengesetzt und von derselben Provenienz ist. Will man dies richtig ausführen, so sind Erdtransporte nicht zu umgehen.

Weiterhin ist es nötig, nicht nur eine hohe und eine tiefe Station zu wählen, sondern auch Zwischenstationen, an Hand derer allein Gesetzmässigkeiten abgeleitet werden können. Die Stationen sind dermassen auf die Höhenlagen von 400 m bis 2000 m ü. M. — den in der Schweiz hauptsächlich für den Arzneipflanzenanbau in Frage kommenden Bodenerhebungen — zu verteilen, dass ein möglichst lückenloses Bild vom Einfluss der Meereshöhe auf den Arzneistoffgehalt der Versuchspflanzen entsteht, dass aber dennoch von Station zu Station deutliche klimatische Unterschiede bestehen. Im Durchschnitt wird eine Höhendifferenz von je 300 bis 400 m diesen Anforderungen am besten entsprechen. Endlich muss das Untersuchungsgebiet auf einem geogra-

phisch möglichst engen Gebiet liegen und nach Möglichkeit zu einem homogenen Klimabezirk gehören.

Damit die lokal bedingten klimatischen Unterschiede, die oftmals stark von der Hanglage, der Orientierung nach der Himmelsrichtung, der Zugänglichkeit zu den Windrichtungen abhängen, nicht zu stark zur Auswirkung gelangen, hat die Aufstellung der Pflanzen überall gleich zu geschehen. Die Versuchsböden sind entweder alle auf Nordabhängen, oder dann alle auf Südabhängen zu errichten; sie müssen ferner der Besonnung ungefähr dieselbe Zeit ausgesetzt sein. Das ist nicht immer so leicht zu erreichen, wie es auf den ersten Blick scheint, weil die topographischen Verhältnisse von der Talsohle bis in die Berglagen sehr oft stark variieren. Gleichzeitig ist auch dafür Sorge zu tragen, dass die Versuchspflanzen einen Standort erhalten, der ihren Bedürfnissen entspricht, d. h. es ist zu berücksichtigen, ob sie schattige oder sonnige Lage vorziehen. Da das alpine Strahlungsklima sehr intensiv ist, wird man für die Versuche zum vornherein nur solche Arzneipflanzen verwenden, die lange und starke Bestrahlung vertragen. Hieraus ergibt sich für die tiefergelegenen Stationen zwangsläufig die Forderung, dass sie sich in einer freien, weder von Bäumen noch Häusern behinderten Lage befinden. Daneben müssen die Kulturen leicht zugänglich sein; sie müssen, um beaufsichtigt werden zu können, in der Nähe von bewohnten Gegenden liegen; sie dürfen wegen den vorhin erwähnten Erdtransporten nicht zu weit von Fahrwegen abliegen usw. Es liesse sich noch eine ganze Anzahl von Gesichtspunkten aufzählen, die bei der Wahl der Versuchsstationen von Bedeutung sind und die alle berücksichtigt werden müssen, wenn man einerseits Missernten, anderseits viele Fehlerquellen ausschliessen will.

Auch an die Auswahl der Pflanzen sind gewisse Bedingungen geknüpft. Von den vielen Heilpflanzen vertragen lange nicht alle die gelegentlich auch im Sommer tiefen Temperaturen des alpinen Klimas. Wenn sich aber die Untersuchungen auf die Höhenlagen zwischen 400 m bis 2000 m ü. M. erstrecken sollen, so müssen Versuchspflanzen gewählt werden, die auch im alpinen Gebiet noch gedeihen. Da in den meisten Fällen nicht zu erwarten ist, dass Tieflandpflanzen in der kurzen alpinen Vegetationsperiode ihre Früchte und Samen zum Ausreifen bringen, wird man hauptsächlich Blatt-, Blüten- und Wurzelndrogen zu den Versuchen heranziehen. Mit Rücksicht auf die Platzverhältnisse dürfen die Pflanzen nicht allzu gross werden, wie dies etwa bei *Atropa Belladonna*, *Rheum officinale* oder *Rhamnus Frangula* der Fall wäre, weil mit zunehmender Grösse der Anlage die Kosten enorm steigen. Es ist ferner darauf zu achten, dass für die Pflanzen der Wahl bereits genügend genaue Gehaltsbestimmungsmethoden bestehen oder wenigstens ausgearbeitet werden können, damit der Wirkstoffgehalt auch wirklich exakt erfasst werden kann.

Aus verschiedenen Gründen könnte man versucht sein, sich auf den Anbau von Arzneipflanzen zu beschränken, die vorwiegend in den Gebirgsregionen zu Hause sind. Zum Beispiel liesse sich damit dem Einwande begegnen, dass das Untersuchungsmaterial nicht an seinem natürlichen Standort, sondern in einem ihm fremden Milieu gewachsen und deshalb zum vornherein benachteiligt sei. Davon abgesehen, sind bei der Verwendung von alpinen Heilpflanzen keine oder nur geringe Verluste beim Überwintern zu befürchten, was nicht so sehr an und für sich schwer wiegen würde, sondern vielmehr durch die Einbusse an Beweiskraft ins Gewicht fällt: Beim Ausfall von Ernten in den höher gelegenen Stationen lässt sich unter Umständen die Tendenz der Gehalts-Zu- oder -Abnahme nicht mehr genügend nachweisen. Es liegt aber nicht in unserer Absicht, das Verhalten der alpinen Pflanzen in den tieferen Lagen zu studieren, sondern es interessiert uns vor allem, in welcher Richtung sich der Wirkstoffgehalt der Tieflandpflanzen bei steigender Meereshöhe bewegt.

Die Anlage der Versuche hat sich weiterhin nach dem Vorhandensein von meteorologischen Stationen zu richten, d. h. es sollten wenn möglich auf den einzelnen Versuchsstationen ständige Klimakontrollen eingerichtet sein. Erst dadurch wird es einigermaßen möglich, die von der Aussenwelt gegebenen, klimatischen Bedingungen zu beschreiben und zwischen ihnen und dem Gehalt der untersuchten Arzneipflanzen Vergleiche zu ziehen. Wenn auch aus bekannten Gründen eine Einzel-faktorenanalyse auf Grund solcher Statistiken nicht zulässig ist, so dürfte der Verlauf der Klimaveränderungen von unten nach oben gleichwohl interessieren. Überdies kann es im Hinblick auf spätere oder in einem andern Gebiete durchgeführte Arbeiten nur von Vorteil sein, wenn die Versuchsbedingungen, die bei der Durchführung solcher Experimente massgebend waren, genauestens festgelegt sind.

Spezieller Teil.

I. Versuchsanlage.

Die vorliegende Arbeit setzt sich zum Ziel, durch geeignete Versuche den Einfluss des Hochgebirgsklimas auf die Arzneipflanzen festzustellen und daraus eventuell Schlüsse auf die Aussichten eines Anbaues im Gebirge zu ziehen. Es kann aber unmöglich Aufgabe einer Dissertationsarbeit, die während zwei bis drei Jahren laufen soll, sein, bereits zu allseitig abschliessenden Urteilen zu gelangen; vielmehr hat sie sich im Rahmen der gesamten diesbezüglichen Forschung auf ein bestimmtes Teilgebiet zu konzentrieren. Eine Beschränkung des Aufgabekreises auferlegt sich uns nicht nur wegen der grossen Zahl der

Arzneipflanzen, die für eine umfassende Behandlung dieser Fragen zur Untersuchung herangezogen werden müssten, sondern auch wegen der Vielseitigkeit der zu bestimmenden Wirkstoffe und vor allem wegen der Zeit: Wie alle bioklimatischen Experimente, so beansprucht auch dieses eine der Entwicklung der Pflanzen angemessene Frist.

Bei Beginn unserer Versuche stand zum vornherein fest, dass sie über mindestens zwei Vegetationsperioden ausgedehnt würden, nicht nur weil sich die Wirkungen des Klimas auf den Gehalt der Arzneipflanzen viel zuverlässiger beurteilen lassen, wenn Resultate mehrerer Jahre vorliegen, sondern weil wir verschiedene zwei- und mehrjährige Pflanzen anzubauen beabsichtigten. In vielen Fällen kam im ersten Jahre noch gar keine Ernte zustande, wie etwa bei *Carum Carvi*, *Petroselinum hortense*, die erst im zweiten Lebensjahr blühten und Früchte bildeten. Im dritten Versuchsjahr (1937) mussten sodann die infolge von Ausfall von Ernten nötig gewordenen Ergänzungen eingebracht werden.

Unsere Arbeit stellt im Grunde genommen nichts anderes dar als die Fortsetzung und Erweiterung der von O. Meyer (22) in den Jahren 1933 und 1934 begonnenen Versuche. Sie unterscheidet sich von ihnen nur in der Wahl der zur Untersuchung gelangenden Pflanzen; Versuchsanlage und Versuchsbedingungen sind sich hingegen im wesentlichen gleich geblieben.

1. Die Versuchstationen

blieben somit wieder auf die Orte Chur, Lüen, Peist, Litzirüti und Arosa-Maran (Kt. Graubünden) verteilt. Das Tal der Plessur, in dem sich die genannten Ortschaften befinden, steigt von Chur (600 m ü. M.) in südöstlicher Richtung bis Langwies (1350 m ü. M.) an, biegt dann in nahezu rechtem Winkel nach Südosten um und findet im Arosaer Becken seinen Abschluss. Als vorwiegend in West-Ostrichtung verlaufendes Tal ist es verhältnismässig gut windgeschützt, der Besonnung aber dennoch weitgehend zugänglich. Die Talsohle ist im untern Abschnitt, der Schanfigg genannt wird, so schmal, dass mit Ausnahme einer einzigen Ortschaft, Molinis, sämtliche übrigen in erhöhter Hanglage und von diesen wiederum nur Tschierschen und Praden auf der westlichen Talseite angelegt sind. Im obern Plessurtal (von Langwies an aufwärts) befindet sich nur noch der Flecken Litzirüti, ferner als grösste Ortschaft des Tales, wenn man von Chur absieht, der Wintersportplatz Arosa.

Das Plessurtal erwies sich deswegen als ein ganz vorzügliches Untersuchungsgebiet, weil es

1. relativ steil und kurz ist und infolgedessen in einem einheitlichen Klimabezirk liegt,

2. klimatisch sehr gut untersucht ist, indem sowohl in Chur wie in Arosa meteorologische Stationen einen genauen Messdienst versehen,
3. in relativ kurzen Abständen Ortschaften aufweist, und weil es
4. von einer Bahn bedient wird.

Es erfüllte so weitgehend die Voraussetzungen, die unserem Versuchsplan entsprachen. Für die fortlaufende Kontrolle und Überwachung der Kulturen, sowie für die rasche Erledigung der Ernten lag ein weiterer Vorteil darin, dass sich die Versuchsgärten in der Nähe der Bahnstationen befanden, nämlich in

Chur	im Garten des bischöflichen Priesterseminars St. Luzi auf	660 m ü. M.
Lüen	auf dem Stationsareal der Chur-Arosa-Bahn auf	940 m ü. M.
Peist	auf dem Stationsareal der Chur-Arosa-Bahn auf	1250 m ü. M.
Litzirüti	neben dem Stationsareal der Chur-Arosa-Bahn auf	1460 m ü. M.
Arosa-Maran	im alpinen Versuchsgarten der eidg. Landwirtschaftl. Versuchsanstalt in Zürich-Örlikon auf	1840 m ü. M.

Die Stationen verteilten sich, wie die Übersicht zeigt, mit einer einzigen Ausnahme, Litzirüti, in durchschnittlichen Höhendifferenzen von 300 m auf die ganze Talschaft. Die abweichende Stellung von Litzirüti musste nur deswegen in Kauf genommen werden, weil sich im obern Plessurtal kein geeigneterer Ort mehr finden liess.

In Chur, Lüen, Peist und Arosa lag in topographischer Hinsicht südexponierte Hanglage, in Litzirüti dagegen Tallage vor. Der zweithöchst gelegene Standort war also insofern benachteiligt, als er die kürzeste tägliche Sonnenscheindauer aufwies. Dieser Umstand fiel jedoch nicht so schwer ins Gewicht, dass er ein Weglassen der Station Litzirüti gerechtfertigt hätte. Im Gegenteil, es war uns sehr wertvoll, im Abschnitt Peist-Arosa noch eine Zwischenstation zu besitzen.

2. Die Wahl der Versuchspflanzen

musste nach verschiedenen Gesichtspunkten getroffen werden. Wenn möglich sollte nicht nur die rein wissenschaftliche Einstellung, sondern auch die praktische Seite massgebend sein. Es erhielten also vor allem solche Arzneipflanzen den Vorzug, die für den erwerbsmässigen Anbau im Gebirge am ehesten in Frage kommen. Um auf eine gewisse Geschlossenheit der Versuche hinzuwirken, gelangten ferner lediglich Vertreter bestimmter Wirkstoffgruppen in die engere Auswahl. Die Ausdehnung

der Versuchsanordnung über colline, montane, subalpine und alpine Vegetationsstufe stellte nebenher an die Auslese die Forderung, dass die Widerstandsfähigkeit der Versuchspflanzen gegenüber alpinen Temperaturen berücksichtigt wurde. Schliesslich mussten u. a. auch die Leitsätze befolgt werden, die im allgemeinen Teil auf S. 264 und 265 aufgestellt worden sind. Die Wahl der Versuchspflanzen traf demnach sowohl Vertreter der drei wichtigsten Wirkstoffgruppen Ätherische Öle, Alkaloide und Glucoside, als auch alpine wie Ebenenpflanzen.

Als **Ätherisch Ölpflanzen** gelangten zum Anbau

Mentha piperita L. (Labiatae-Stachyoideae)

Achillea Millefolium L. (Compositae)

Carum Carvi L. (Umbelliferae-Apioideae)

Petroselinum hortense Hoffmann (Umbelliferae-Apioideae)

Matricaria Chamomilla L. (Compositae),

als **Alkaloidpflanze**

Lobelia inflata L. (Campanulaceae-Lobelioideae),

als **Glucosidpflanze**

Gentiana lutea L. (Gentianaceae-Gentianoideae)

Digitalis lanata L. (Scrophulariaceae-Rhinanthoideae)

als **Gerbstoffpflanze**

Gnaphalium dioicum (Compositae).

Nach pflanzengeographischer Herkunft gruppiert gehören

<i>Gentiana lutea</i>	}	zu den typischen Alpenpflanzen
<i>Gnaphalium dioicum</i>		
<i>Carum Carvi</i>	}	zu den von der Ebene bis in alpine Lagen verbreiteten Pflanzen
<i>Achillea Millefolium</i>		
<i>Mentha piperita</i>	}	zu den Tieflandpflanzen.
<i>Petroselinum hortense</i>		
<i>Matricaria Chamomilla</i>		
<i>Digitalis lanata</i>		
<i>Lobelia inflata</i>		

Um den Ausführungen über Anbau, Pflege und Ernte, die in besondern Abschnitten zusammengefasst sind, nicht vorzugreifen, sei hier nur kurz das Wichtigste hinsichtlich der Eignung dieser Pflanzen für unsere Versuche erwähnt.

Mentha piperita und Achillea Millefolium

wiesen, nachdem sie schon von Oskar Meyer angebaut worden waren, aus zweierlei Gründen Vorteile auf :

1. liessen sie bereits im ersten Jahre Ernten zu;
2. hatten sie verhältnismässig lange Zeit unter dem Einfluss der verschiedenen Klimastufen gestanden und mussten um so eher Veränderungen in Gehalt und Habitus zeigen.

Durch den weiteren Anbau über zwei bis drei Jahre bestand zudem die Aussicht, ihre quantitative Untersuchung zu einem gewissen Abschluss zu bringen.

Mit *Gentiana lutea* und *Digitalis lanata*

hatten wir absichtlich zwei Glucosiddrogen gewählt, einmal weil diese Gruppe bioklimatisch am wenigsten untersucht ist, zweitens weil sie als Wurzel- resp. Blattdroge für unsere Versuche speziell gut geeignet waren. Davon abgesehen spielte für *Digitalis lanata* noch der Faktor eine Rolle, dass die Droge von der pharmazeutischen Industrie im grossen gebraucht wird und dass deswegen für den Anbau im Lande ein gewisses Interesse besteht.

Mit *Gnaphalium dioicum*

waren ursprünglich Gerbstoffbestimmungen vorgesehen, die aber nachträglich fallengelassen werden mussten, weil die Ernten hierfür nicht ausreichten und die Pflänzchen auf den unteren Stationen trotz wiederholtem Anbauen stets wieder eingingen.

Carum Carvi

gewährleistete als Pflanze, die in den Alpen eine sehr grosse Verbreitung aufweist, von allen Fruchtrogen liefernden Arzneipflanzen am ehesten auf sämtlichen Stationen eine Ernte, was von

Petroselinum hortense

schon weniger erwartet werden durfte, da es mediterranen Ursprungs ist. Dank des relativ hohen Ätherisch-Ölgehaltes des gesamten Petersilienkrautes waren aber im Blatt und in den Wurzeln als eine gewisse Kompensation für die ausfallenden Ernten der Petersilienfrüchte Gehaltsbestimmungen möglich.

Beide Pflanzen, sowohl *Carum Carvi* wie *Petroselinum hortense*, schienen uns zudem bei dem hohen Ätherisch-Ölgehalt von 2—5 Prozent, den sie in ihren Früchten führen, am besten Gehaltsdifferenzen von Station zu Station zum Ausdruck zu bringen, was unter Umständen für Drogen mit durchschnittlich niedrigem Wirkstoffgehalt nicht so sehr zutrifft.

Mit *Lobelia inflata*

sollte eine Alkaloidpflanze in Anbau genommen werden, die — wie es sich im Vorversuch gezeigt hatte — auch in der Höhe der obersten Station befriedigend wuchs. Es gelingt nämlich bei näherem Zusehen nicht so leicht, eine geeignete Alkaloidpflanze zu finden: Die meisten,

wie etwa *Datura Stramonium*, *Atropa Belladonna*, *Hydrastis canadensis* usw., sind dermassen ausgesprochene Tieflandbewohner, dass sie für die Kultur im Gebirge gar nicht in Frage kommen.

Schliesslich war *Matricaria Chamomilla* neben *Achillea millefolium* die einzige Blütendroge, die einigermassen den Anforderungen entsprach, die wir an die Versuchspflanzen stellten.

Besondere Beachtung musste von Anfang an der

3. Erdauslese

geschenkt werden. Weil die von O. Meyer (22) verwendete Erde zum Teil verbraucht, zum Teil ausgeschwemmt war, und weil wir ohnehin eine grössere Anlage zu errichten gedachten, kam nur die völlige Neuinstallation in Frage. Wir suchten uns zu diesem Zweck in der Nähe von Peist einen nicht allzu schweren, aber immerhin noch kräftigen Boden aus. Die Gemeindebehörden von Peist gestatteten uns in anerkennenswerter Weise, an der gewünschten Stelle zirka 5—7 m³ Wiesland abzugraben und zu verwerten. Diese Erde wurde gut durchgemischt, direkt in Kisten abgefüllt und mit der Chur-Arosabahn nach den verschiedenen Stationen versandt. An Ort und Stelle, wo wir die Versuchsgärten errichteten, wurde sie nochmals gründlich verarbeitet, d. h. von Steinen und Unkraut weitgehend befreit. Es kam uns dabei weniger darauf an, eine bestimmte optimale Erdmischung zu erzielen, als vielmehr darauf, auf sämtlichen Stationen denselben Boden zu besitzen. Denn selbst im günstigsten Falle wird auch der Bergbauer nicht über die für jede Arzneipflanze ideale Erde verfügen.

Es liegt auf der Hand, dass die Erde nicht einfach auf die bestehende Grundlage aufgeschüttet werden durfte, sondern in speziellen Behältern vor der Vermischung mit der umliegenden Erde bewahrt werden musste. Als Behälter hatten wir absichtlich starke Holzkisten von durchschnittlich 80 cm Länge, 50 cm Breite und zirka 40—50 cm Tiefe vorgesehen. Nach den Erfahrungen in den vorausgegangenen Jahren eignen sich Tontöpfe und Steingutgefässe in keiner Weise für Freilandversuche, einesteils, weil sie bei regnerischem Wetter vollaufen, andernteils, weil sie bei langen Schönwetterperioden zu stark austrocknen. Holzkisten hatten sich dagegen sehr gut bewährt, indem die Erde in ihnen auch in der heissesten Zeit immer etwas feucht blieb, ohne indessen bei lange andauerndem Regen gestauten Wasser zu enthalten. Um auf alle Fälle ein Stagnieren von Wasser zu verhindern, wurden die Kistenböden überdies noch mit einer Anzahl von Löchern versehen.

Jede Versuchsstation umfasste elf Kisten, je eine für *Gentiana*, *Achillea*, *Mentha*, *Gnaphalium*, *Petroselinum* und je zwei für *Carum Carvi*, *Digitalis* und *Lobelia*. Als Kistenlager dienten jeweils auf ebenem Boden parallel gelegte Holzbalken; das Einsenken in den Boden wäre

zwar in gewisser Hinsicht von Vorteil gewesen, es hätte dann aber weitgehend die Gefahr der Einschwemmung und Vermischung mit der umliegenden Erde bestanden.

II. Anbau der Pflanzen.

Nachdem die soeben beschriebene Versuchsanlage Ende Mai 1935 fertiggestellt war, machten wir uns unverzüglich an den Anbau der Pflanzen. Dabei kam uns die Aufzucht von Setzlingen, die von langer Hand vorbereitet worden war, sehr zustatten, denn wir brauchten so die Pflänzchen nur noch in den Boden einzusetzen. Auch liess sich damit vor allen Dingen vermeiden, dass durch die Aussaat zuviel Zeit verloren ging, die mit Rücksicht auf die kurze alpine Vegetationsperiode ohnehin schon knapp genug bemessen war.

Das Aussetzen durfte auf den tiefer gelegenen Stationen aber auch wiederum nicht eher geschehen, als bis Arosa schneefrei war, denn nur durch gleichzeitiges Anpflanzen auf sämtlichen Stationen war eine genau gleiche Behandlung sämtlicher Pflanzen erzielt. — In den meisten Jahren tritt in Arosa-Maran vollständige Schneeschmelze erst Ende Mai ein. Vor Anfang Juni war deshalb an den Anbau von Pflanzen gar nicht zu denken, bestanden doch so für das Anwachsen der Setzlinge noch genügend Schwierigkeiten.

Um alle Unterschiede hinsichtlich chemischer Rasse, Varietät, Provenienz und Alter der Versuchspflanzen auszuschliessen, musste

1. das zur Aufzucht der Setzlinge verwendete Saatgut kontrolliert und absolut einheitlich sein;
2. die Aussaat für jede Species unter genau gleichen Bedingungen, das heisst in derselben Zeit und in derselben Erde erfolgen.

Auch so waren von Pflanze zu Pflanze noch kleine Gehaltsunterschiede möglich, für die sich nur durch die Wahl einer genügend grossen Anzahl von Versuchspflanzen ein Ausgleich schaffen liess. Die Anlage war auf der anderen Seite aber auch wieder durch finanzielle Rücksichten begrenzt, denn Versuchstationen von grösserem Ausmasse hätten unsere Kredite zu sehr überschritten.

Für die einzelnen Versuchspflanzen gestaltete sich der Anbau wie folgt :

Von *Mentha piperita* und *Achillea Millefolium* konnten überall die bereits von O. Meyer (22) angebauten, stark wuchernden Exemplare verwertet werden. Die Stöcke wurden aber, bevor sie wieder zur Verwendung gelangten, gründlich aussortiert, das heisst alte Teile verworfen und nur kräftige und lebensfähige Setzlinge frisch angepflanzt. Ein kurzer Unterbruch in ihrer Entwicklung tat dabei nichts zur Sache; viel wichtiger war es, dass ihr Wurzelwerk wieder genügend Raum zur Ausdehnung erhielt.

Die nämliche Bereinigung wurde jedes Jahr zu Beginn der Vegetationsperiode wiederholt, weil sich im Verlaufe des Sommers in den Kisten immer wieder ein dichtes Gewirr von Ausläufern bildete.

Mit *Carum Carvi* war die Aussaat im ersten Jahre bereits im frühen Frühling vorgenommen worden, so dass uns zur Anbauzeit eine genügende Auswahl von Setzlingen zur Verfügung stand. Um so weit wie möglich für das nächstfolgende Jahr eine Ernte zu sichern, wurden auf die einzelnen Stationen je dreissig Pflänzchen und von diesen wiederum je die Hälfte auf zwei Kisten verteilt.

Eine zweite Aussaat, die im Verlaufe des Sommers 1935 auf den Versuchsstationen erfolgte und die eine weitere Ernte gestatten sollte, brachte nicht überall den gewünschten Erfolg, was uns zur Genüge bewies, wie gut wir beraten waren, von Anfang an Setzlinge zum Anpflanzen zu verwenden.

Im Sommer 1936 wurde eine neue Versuchsserie durch Versämung der ersten, die inzwischen zur Ausreife gelangt war, selbsttätig angelegt. Die Keimung gelang diesmal ohne Zweifel nur deswegen viel besser, weil das Saatgut frisch war.

Mit *Petroselinum hortense* wurde der Anbau zweimal mit Setzlingen durchgeführt. Eine erste Versuchsreihe entstand im Frühling 1935, eine zweite im Sommer des Jahres 1936.

Aussaaten schlugen bei dieser Pflanze auf den höher gelegenen Stationen regelmässig fehl, und Versämung trat nur teilweise und ungenügend ein.

Von *Lobelia inflata* stand uns beim Anbau kleines Setzmaterial zur Verfügung, das wir in verdankenswerter Weise vom Botanischen Garten in Bern zugesandt erhielten. Die Pflänzchen bildeten im ersten Sommer lediglich eine Blattrosette, wuchsen dann aber im folgenden Jahre zu teils kräftigen Stöcken heran.

Eine interessante Feststellung konnten wir beim Anbau dieser Pflanze in Peist machen: Wir hatten hier in den Kisten, in denen *Digitalis lanata* wuchs, mit den übrigbleibenden *Lobelia*-Keimlingen eine Reserve für allfällige Verluste angelegt. Im Verlaufe des Sommers stellte sich nun heraus, dass die « Reservepflanzen » viel besser wuchsen, als die in Peist für die eigentlichen Versuche angebauten. Wir sehen in diesem Verhalten eine Parallele zu Beobachtungen, die aus der Literatur für andere Pflanzen bekannt geworden sind.

Digitalis lanata pflanzten wir ein erstes Mal im Frühjahr 1935 an, und zwar mit Setzmaterial, das im Pharmazeutischen Institut der E. T. H. angesät worden war. Mit Rücksicht darauf, dass *Digitalis*-Pflanzen einen verhältnismässig grossen Platz in Anspruch nehmen, waren für diese Species pro Station je zwei Kisten eingerichtet worden.

Eine zweite Serie wurde nach Abgang der ersten im Jahre 1937 mit Pflanzenmaterial angebaut, das uns Herr Prof. Himmelbauer in liebenswürdiger Weise aus dem Versuchsgarten Korneuburg (bei Wien) besorgt hatte.

Gentiana lutea war einjährig zum Anbau verwendet worden. Wir wählten absichtlich kein jüngeres Setzmaterial, weil sich der gelbe Enzian nur langsam zu grösseren Exemplaren entwickelt und anfänglich nur geringe Ernten zulässt. Von den zwanzig Pflanzen, die wir auf jede Station verteilt hatten, blieben sechs während zwei Vegetationsperioden, die übrigen drei Jahre lang stehen.

Schliesslich wurde *Matricaria Chamomilla* mehrere Male angepflanzt und gesät, ohne dass wir jedoch zu befriedigenden Ernten kamen.

III. Pflege.

Unsere Aufmerksamkeit musste sich, sobald die Versuche einmal durch die nötigen Anpflanzungen im Frühling in Gang gebracht waren, vor allem der Pflege und Beobachtung unserer Versuchspflanzen zuwenden. Es galt nun, durch geeignete gärtnerische Massnahmen, zum Beispiel Nachhilfe mit Dünger, Lockern der Erde, Entfernen von Unkraut, Beseitigung von Ungeziefer usw. Kulturbedingungen zu schaffen, die den Pflanzen eine ungestörte Entwicklung ermöglichten und die so zur Bildung geeigneter und genügender Ernten wesentlich beitrugen. Auf der andern Seite durften die Pflanzen aber auch wiederum nicht verwöhnt werden, denn es handelte sich ja um Freilandversuche, die einigermaßen den Vergleich mit wild wachsendem Pflanzenmaterial aushalten sollten. Tägliche Bedienung hätte zudem unsere ständige Anwesenheit im Gebiete vorausgesetzt und zu Ausgaben geführt, die in keinem Verhältnis zum Nutzen gestanden hätten.

Bei der Wahl der Versuchsstationen war denn auch darauf geachtet worden, dass die Versuchsstationen in die Nähe von Ortschaften zu liegen kamen, denn so war es möglich, fremde Hilfe in Anspruch zu nehmen. Sie musste sich aber aus naheliegenden Gründen auf die einfachsten Handreichungen, wie zum Beispiel Begiessen während den heissesten Tagen beschränken. Alles Übrige, was in kürzeren Zeitabständen erledigt werden konnte, besorgten wir selbst. Es erübrigt sich, hier auf die näheren Einzelheiten einer sachgemässen gärtnerischen Pflege einzugehen, denn diese dürften als bekannt vorausgesetzt werden.

Hingegen verdient der Düngersatz, der im zweiten und dritten Versuchsjahr zu Beginn der Vegetationszeit (Mitte Juni) den Pflanzen verabfolgt wurde, spezielle Erwähnung. Die für jede Pflanzenart individuell zusammengesetzte Mineralstoffzugabe, betrug pro Versuchskiste :

	NaNO ₃	NH ₄ H ₂ PO ₄	KCl	K ₂ SO ₄
<i>Mentha pip.</i>	6,70 g	2,25 g	0,33 g	4,3 g
<i>Achillea Millef.</i>	5,40 g	1,80 g	0,26 g	3,4 g
<i>Gentiana lutea</i>	5,40 g	1,80 g	0,26 g	3,4 g
<i>Digitalis lanata</i>	2,70 g	0,90 g	0,13 g	1,9 g

Es wurden danach den Blattdrogen *Mentha piperita*, *Achillea Millefolium* und *Digitalis lanata*, ferner dem gelben Enzian verschiedene Mengen von N, P, Na, K, Cl und SO₄ in Form wasserlöslicher Salze zugeführt. Mit der Verwendung eines Düngers, der in Wasser gelöst werden konnte, wurde einerseits eine gute Verteilung in der Erde, andererseits eine auf allen Stationen einheitlich zur Wirkung gelangende Nährstoffzugabe erreicht. Eine Düngung mit Thomasmehl und Torfmull schien uns nicht ratsam, weil diese Stoffe schon im Herbst oder Winter in den Boden eingegraben werden müssen und so leicht zu Verletzungen der Wurzeln führen. Organischer Dünger in Form von Mist hätte wiederum keine genaue Verteilung zugelassen, und überdies den Nachteil mit sich gebracht, dass er auf den verschiedenen Stationen nicht mit derselben Geschwindigkeit abgebaut und verwertet worden wäre.

Die Wirkung des Düngmittelzusatzes auf das Wachstum obiger Pflanzen liess sich nicht mit Sicherheit feststellen, denn wir hatten keine Kontrollversuche ohne Düngung angelegt. Versuche in dieser Richtung hätten unseren Aufgabenkreis nur unnötig vergrössert und keinen Einfluss auf das Endresultat gehabt.

IV. Ernte.

Zweifellos stellte die Ernte für den Verlauf der Untersuchungen das wichtigere Moment dar, als es die Pflege sein konnte. Sie hatte sich in erster Linie von der Rücksichtnahme auf biologische Gesichtspunkte leiten zu lassen. Gleichzeitig musste sie aber auch auf die Gehaltsbestimmungen Bezug nehmen.

Der Zeitpunkt der Ernte war demnach durch zwei Hauptzüge bestimmt. Er war so zu wählen, dass einerseits auf allen Stationen derselbe biologische Moment erfasst wurde, andererseits die Tagesschwankungen des Wirkstoffgehaltes sich möglichst auf denselben Nenner bringen liessen.

Für Blüten- und Früchteernten lagen die Verhältnisse diesbezüglich klar. Nicht so verhielt es sich jedoch bei den Blatternten, denn diese wären im Verlaufe des Sommers jederzeit möglich gewesen. Es konnte aber für unsere Versuche nicht gleichgültig sein, ob die Blätter zur Zeit des stärksten Wachstums oder im blühenden, eventuell aber auch erst im verblühten Zustand geerntet wurden. Je nachdem hätte der Wirkstoffgehalt sich in der Droge ganz unterschiedlich verhalten.

Um deshalb einen einheitlichen, vor allem durch äussere Merkmale gekennzeichneten Entwicklungszustand zu erfassen, wählten wir die beginnende Blütezeit als den für die Ernte der Blattdrogen entscheidenden Moment. Bei der Ernte der Blütendrogen waren hingegen die volle Entfaltung der Krone, bei der Ernte der Früchte der voll ausgereifte Zustand der Zeitpunkt der Wahl.

Einzig für die Wurzeldroge *Gentiana lutea* lagen keine äusserlichen Anhaltspunkte vor. Bei ihr gab deshalb die Kenntnis von der reichlichen Stoffwanderung, die Herbstes in die Wurzeln einsetzt, den Ausschlag: Die Ernten wurden, wie übrigens auch für die officinelle Droge vorgeschrieben ist, am Ende der Vegetationszeit, meistens im September beim Abwelken der Laubblätter vorgenommen.

Den Einfluss der Tagesschwankungen auf den Wirkstoffgehalt suchten wir durch Verlegen der Ernte auf bestimmte Tageszeiten auszu-schalten. In der Regel fanden sie am späten Vormittag (10 Uhr) bis in die Mitte des Nachmittags (3 Uhr), und zwar grundsätzlich nur bei trockener Witterung statt. Genauere Angaben über die Daten, an denen die Ernte der verschiedenen Pflanzen erfolgte, werden bei der Zusammenstellung der Resultate gemacht. Wir können deshalb hier eine chronologische Aufzählung aller Ernten übergehen. Hingegen soll die Art und Weise, wie die verschiedenen Drogen gewonnen wurden, nachfolgend noch zur Sprache kommen.

V. Erntemethoden.

Die besondere Bedeutung, die den Erntemethoden für unsere Gehaltsbestimmungen zukam, rechtfertigt es hier, auf die prinzipiellen Überlegungen hinzuweisen, die uns zu ihnen führten. Es ist klar, dass unsere Untersuchungen nur dann Wert hatten, wenn die Drogen auf allen Stationen in derselben Art und Weise gewonnen wurden, das heisst wenn ihr Trocknungsgrad gleich war. Bei den Alkaloidpflanzen machten sich in dieser Beziehung keine grossen Schwierigkeiten geltend. Viel heikler war das Problem indessen für die Ätherisch-Ölpflanzen, weil bei der Leichtflüchtigkeit der ätherischen Öle durch ungeeignete Trocknungsmethoden leicht Verluste eintreten, die Gehaltsdifferenzen zwischen den Drogen der einzelnen Stationen vortäuschen können. Es durfte vor allem keine Methode Anwendung finden, die mit W ä r m e arbeitete. In Frage kam nur der W a s s e r e n t z u g durch geeignete hygroskopische Chemikalien, wie z. B. gebrannter Kalk, getrocknetes Kalziumchlorid, Phosphorpentoxyd. Da sich der gebrannte Kalk unter diesen drei Trocknungsmitteln am besten handhaben lässt und sehr wirksam ist — die Pflanzen waren innerhalb vierundzwanzig Stunden bereits trocken — eignete er sich in besonderem Masse für unsere Zwecke. Mit diesem richteten wir uns in der Form der bekannten Kalkbüchsen Be-

hälter ein, die jederzeit auf die Kontrollgänge mitgenommen werden konnten und Raum genug für die Aufnahme der oft voluminösen Ernten enthielten. Um dem ätherischen Öl möglichst wenig Gelegenheit zum Entweichen zu bieten und um die Trocknung überall in gleicher Zeit durchzuführen, wurden die Pflanzen sofort nach der Ernte in Filtrierpapier eingewickelt und vorsichtig in die Kalkbüchsen verpackt.

Von dieser Erntemethode machten wir ausser für die Alkaloid- und Ätherisch-Ölpflanzen auch für die Glucosidpflanzen Gebrauch; bei letzteren allerdings mit dem Unterschied, dass dem Trocknungsverfahren eine Stabilisation durch Hitze vorausging. Weil bei den Glucosiddrogen am allerehesten nachträglich Veränderungen der Inhaltsstoffe eintreten, schien uns eine sofortige Stabilisation sehr wohl angebracht. Sie wurde für die *Gentiana lutea* in Ermangelung eines thermostatisch geregelten Trockenschrankes in der Weise durchgeführt, dass wir die frisch ausgegrabenen, von der Erde möglichst befreiten, g a n z e n Wurzeln und Rhizome drei Minuten in siedendem Wasser beliessen. (Durch das Erhitzen der ganzen Wurzeln sollte wenn möglich das Auswaschen von Wirkstoffen hintangehalten werden). Die Droge wurde hierauf gut abgetrocknet, mit einem scharfen Messer der Länge nach gespalten und in Gaze eingewickelt, sofort über Kalk getrocknet.

Von dem soeben beschriebenen Stabilisationsverfahren wichen wir im dritten Versuchsjahr (1937) insofern mit einem Teil der Enzianernte ab, als wir ihn der Fermentation überliessen. Wir bezweckten damit, sowohl eine stabilisierte, wie eine fermentierte Enziandroge zu gewinnen, um Vergleiche zwischen dem Bitterwert beider zu ziehen.

In der Zeit, die von der Ernte bis zur Durchführung der Gehaltsbestimmungen verstrich, verblieben die Drogen nach Species und Datum der Ernte geordnet, an einem kühlen Ort in gut verschlossenen, wiederholt mit frischem CaO beschickten Büchsen aufbewahrt. Minimale Gehaltsverluste, die durch das Lagern entstanden, mussten sich bei diesem Verfahren für alle Drogen innerhalb derselben Grenzen halten, so dass von dieser Seite keine Fehler für die Wirkstoffbestimmung zu befürchten waren.

VI. Das Klima der Versuchsjahre 1935, 1936 und 1937.

Es ist uns bei der Besprechung der Versuchsjahre 1935, 1936 und 1937 daran gelegen, von den Klimaverhältnissen, unter denen unsere Versuchspflanzen aufwuchsen, ein möglichst genaues Bild zu geben, damit die Bedingungen, die bei der Durchführung unserer Versuche massgebend waren, exakt festgehalten sind. Um einerseits einen Überblick über die Unterschiede zwischen der tiefst- und der höchstgelegenen Station zu gewinnen, und andererseits Klima und Gehalt miteinander in Beziehung bringen zu können, stellen wir die wichtigsten klimatischen

Daten der zwei Versuchsstationen Chur und Arosa in verschiedenen Tabellen zusammen. Das hierfür nötige Zahlenmaterial entnehmen wir den Berichten der meteorologischen Zentralanstalt in Zürich (24), welche in Chur und Arosa Zweigstationen unterhält. Auf den Zwischenstationen sind keinerlei Aufzeichnungen gemacht worden; wir konnten leider selber keine eigenen Messungen durchführen, weil uns sowohl die Zeit, wie vor allem auch die nötigen Apparaturen fehlten.

Der Besprechung der klimatischen Daten sind noch einige Bemerkungen über die Besonderheiten des Hochgebirgsklimas vorzuschicken, die nicht unmittelbar aus den Statistiken herausgelesen werden können. Zunächst sei einmal auf die Schneeschmelze im Frühjahr verwiesen. Im Gegensatz zu den Lagen des Mittellandes, in denen der Beginn der Vegetation nicht sofort nach Abgang des Schnees einsetzt, hängt die Entwicklung der Pflanzenwelt in den Bergen sehr stark vom Zeitpunkt der Schneeschmelze ab. Der Bergfrühling dauert in der Regel nur 14 Tage, währenddem den Pflanzen im Unterland eine Zeit von 1—2 Monaten zur selben Entwicklung zur Verfügung steht. In bezug auf unsere Versuchsstationen ergibt sich hierin folgendes Bild: Während Arosa-Maran Ende Mai bis Anfang Juni gewöhnlich schneefrei wird, tritt die völlige Schneeschmelze in Litzirüti schon Anfang Mai ein. In den nächst tiefer gelegenen Stationen Peist und Lünen geht der Schnee sehr unterschiedlich und je nach der Härte des Winters Ende März bis Ende April weg. In Chur wiederum kann sogar der Februar schneefrei sein. Alle diese Angaben beziehen sich nur auf bleibenden Schnee. Es können nämlich bei den drei Zwischenstationen Lünen, Peist und Litzirüti bis Mitte Mai noch Schneefälle eintreten; dieser Neuschnee bleibt indessen gewöhnlich nur 1—2 Tage liegen. Arosa weist gelegentlich selbst in den Sommermonaten Juli und August noch Schneefälle auf.

In den meteorologischen Berichten kommt ferner der Taufall am frühen Morgen ebenfalls nicht zum Ausdruck. Er leistet während den heissen Sommerperioden vor allem den Pflanzen der höheren Lagen gute Dienste, so dass diese viel weniger als die Pflanzen der tieferen Lagen eine völlige Austrocknung der Erde zu gewärtigen haben. Taufall tritt in den alpinen Lagen bei schönem Wetter in den Sommermonaten sozusagen täglich auf, in den Lagen unter 1600 m hingegen nur im Spätsommer und Herbst.

Ein weiterer Mangel der allgemeinen Klimatologie liegt darin, dass sie uns kein Bild von den Strahlungsverhältnissen zu geben vermag. Strahlungsmessungen stellen aber so hohe Anforderungen an physikalische Kenntnisse und Zeit des Beobachters, dass sich nur besonders eingerichtete Observatorien diesen Forschungen widmen können. Arosa bietet in dieser Hinsicht besonders grosse Vorteile, weil das unter der Leitung von P. D. Dr. P. G o e t z stehende lichtklimatische Observatorium sich schon seit Jahren mit diesem Forschungsgebiet befasst. In

einer ausführlichen Arbeit, betitelt «Das Strahlungsklima von Arosa», hat Dr. Goetz (7) seine jahrelangen wissenschaftlichen Forschungsergebnisse zusammengestellt und ausführlich beschrieben. Wir werden hierüber noch im Anschluss an alle übrigen Daten berichten.

Von den aus Chur und Arosa vorliegenden Messungen interessieren uns zur Hauptsache nur die monatlichen Durchschnitte, und unter diesen wiederum nur diejenigen der Vegetationsperiode Juni bis September. Als Einzeldaten werden lediglich bei der Lufttemperatur die Monatsminima und -maxima aufgeführt. Weil ferner Barometerstand, Windrichtung, Windstärke usw. ohne wesentlichen Einfluss auf die Pflanzenwelt sind, brauchen wir sie nicht in Betracht zu ziehen. Zu Vergleichszwecken zwischen dem Gebirgsklima von Arosa und dem Talklima von Chur stehen uns somit folgende Messungen zur Verfügung:

1. Bewölkung;
2. Lufttemperatur;
3. Relative Luftfeuchtigkeit;
4. Niederschläge;
5. Sonnenscheindauer;
6. Zahl der Tage, an denen Regen, Schneefall, Hagel, Gewitter, Nebel, Sonnenschein oder trübe Witterung auftreten.

Bei der Zusammenstellung der Tabellen hielten wir uns der Übersichtlichkeit wegen an ein bestimmtes Schema: Bei jedem Abschnitt werden jeweils die Daten aller drei Jahre aufgeführt und die Werte von Chur und Arosa unter Angabe der Differenzen nebeneinandergestellt.

1. Bewölkung.

Die Bewölkung wird ausgedrückt in Zehnteln der bedeckten Himmelsfläche, in der Weise, dass 0 ganz klaren, 10 dagegen vollständig bedeckten Himmel bedeutet. Diese Zahlen werden, wie übrigens auch die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit, täglich am Morgen um 7½ Uhr, nachmittags um 13½ Uhr und abends um 21½ Uhr registriert. Aus der Zusammenstellung der täglichen Daten werden die monatlichen Mittel für die Morgen-, Mittag- und Abendmessungen gezogen und aus letzteren wiederum der Monatsdurchschnitt (M) berechnet.

Tabelle 1.
1935

	Juni				M	Differenz	Juli				M	Differenz
	7½ h	13½ h	21½ h	M			7½ h	13½ h	21½ h	M		
Chur . . .	4,5	4,2	5,0	4,6	} 0,4	5,0	4,0	3,7	4,2	} 1,1		
Arosa . . .	4,9	4,9	5,2	5,0		5,0	5,4	5,5	5,3			
	August				M	Differenz	September				M	Differenz
	7½ h	13½ h	21½ h	M			7½ h	13½ h	21½ h	M		
Chur . . .	5,5	5,5	5,4	5,5	} 0,5	4,7	4,7	4,7	4,7	} 0,3		
Arosa . . .	5,8	6,5	5,6	6,0		4,5	5,5	4,9	5,0			

1936

		Juni				Juli			
		7 ¹ / ₂ h	13 ¹ / ₂ h	21 ¹ / ₂ h	M	7 ¹ / ₂ h	13 ¹ / ₂ h	21 ¹ / ₂ h	M
Chur . . .		6,5	7,6	7,9	7,3	6,9	6,9	7,0	6,9
Arosa . . .		6,5	7,2	7,1	6,9	6,5	7,2	7,1	6,9
		} 0,4				} 0,0			
		August				September			
		7 ¹ / ₂ h	13 ¹ / ₂ h	21 ¹ / ₂ h	M	7 ¹ / ₂ h	13 ¹ / ₂ h	21 ¹ / ₂ h	M
Chur . . .		5,6	5,2	5,4	5,4	6,3	6,9	6,9	6,7
Arosa . . .		4,7	5,5	5,5	5,2	6,5	7,0	6,2	6,6
		} 0,2				} 0,1			

1937

		Juni				Juli			
		7 ¹ / ₂ h	13 ¹ / ₂ h	21 ¹ / ₂ h	M	7 ¹ / ₂ h	13 ¹ / ₂ h	21 ¹ / ₂ h	M
Chur . . .		4,4	6,2	6,2	5,6	5,9	5,7	5,6	5,7
Arosa . . .		4,5	7,5	7,3	6,4	5,9	6,3	6,7	6,3
		} 0,8				} 0,6			
		August				September			
		7 ¹ / ₂ h	13 ¹ / ₂ h	21 ¹ / ₂ h	M	7 ¹ / ₂ h	13 ¹ / ₂ h	21 ¹ / ₂ h	M
Chur . . .		6,4	7,0	5,7	6,5	6,3	6,5	6,1	6,3
Arosa . . .		5,9	7,5	6,4	6,6	5,8	6,9	5,9	6,2
		} 0,1				} 0,1			

Aus dem vorliegenden Beobachtungsmaterial geht für die Jahre 1935 und 1937 eine deutliche, wenn auch nicht sehr starke Mehrbewölkung von Arosa hervor. Einzig im « Regenjahr » 1936 wies Chur eine stärkere Bewölkung auf. Wenn wir näher zusehen, sind die Unterschiede aber dermassen gering, dass sie für unsere Versuche nicht von Belang sein konnten. Das Untersuchungsgebiet entsprach somit, was die Einheitlichkeit der Witterung betrifft, unsern Voraussetzungen.

Das ausnehmend schlechte Jahr 1936 gibt sich gleichfalls in den Zahlen der

2. Lufttemperatur

kund. Es seien hier zunächst einmal die Monatsmittel, darauf folgend die Monatsminima und -maxima aufgeführt.

Tabelle 2.

Lufttemperatur.

A. Monatsmittel (Normalmittel).

M = Monatsmittel.

1935

		Juni				Juli			
		7 ¹ / ₂ h	13 ¹ / ₂ h	21 ¹ / ₂ h	M	7 ¹ / ₂ h	13 ¹ / ₂ h	21 ¹ / ₂ h	M
Chur . . .		14,7	23,1	16,8	17,9	15,5	23,0	17,8	18,5
Arosa . . .		9,9	15,6	9,5	11,1	10,8	16,5	9,9	11,8
		} 6,8				} 6,7			
		August				September			
		7 ¹ / ₂ h	13 ¹ / ₂ h	21 ¹ / ₂ h	M	7 ¹ / ₂ h	13 ¹ / ₂ h	21 ¹ / ₂ h	M
Chur . . .		13,4	20,9	15,6	16,4	11,3	19,5	13,4	14,4
Arosa . . .		8,7	13,7	8,4	9,8	7,2	13,5	7,4	8,9
		} 6,6				} 5,5			

1936									
Juni					Juli				
	7 ¹ / ₂ h	13 ¹ / ₂ h	21 ¹ / ₂ h	M		7 ¹ / ₂ h	13 ¹ / ₂ h	21 ¹ / ₂ h	M
Chur . . .	13,2	19,6	14,2	15,3	} 7,0	14,2	20,0	15,2	16,3
Arosa . . .	7,4	12,1	6,8	8,3		9,1	13,6	9,0	10,2
August					September				
	7 ¹ / ₂ h	13 ¹ / ₂ h	21 ¹ / ₂ h	M		7 ¹ / ₂ h	13 ¹ / ₂ h	21 ¹ / ₂ h	M
Chur . . .	13,4	21,0	15,6	16,4	} 6,0	12,1	17,9	13,2	14,1
Arosa . . .	9,0	14,9	8,8	10,4		6,9	11,4	6,8	8,0
1937									
Juni					Juli				
	7 ¹ / ₂ h	13 ¹ / ₂ h	21 ¹ / ₂ h	M		7 ¹ / ₂ h	13 ¹ / ₂ h	21 ¹ / ₂ h	M
Chur . . .	14,6	26,6	16,1	17,1	} 6,6	15,6	22,5	17,2	18,4
Arosa . . .	9,3	13,8	8,4	10,5		9,9	15,6	9,7	11,7
August					September				
	7 ¹ / ₂ h	13 ¹ / ₂ h	21 ¹ / ₂ h	M		7 ¹ / ₂ h	13 ¹ / ₂ h	21 ¹ / ₂ h	M
Chur . . .	14,5	20,7	16,2	17,1	} 7,0	11,2	17,7	12,5	13,8
Arosa . . .	8,8	13,1	8,5	10,1		5,8	10,2	5,8	7,3

Die durchschnittliche Temperaturdifferenz zwischen Arosa und Chur beträgt nach obiger Zusammenstellung 6,3° Celsius, entsprechend einer Abnahme von 1° Celsius pro 200 m Höhenunterschied. Das Temperaturmittel der Monate Juni, Juli, August und September liegt in

Chur	für das Jahr 1935	bei 16,8° Celsius
»	»	» 1936 » 15,5° »
»	»	» 1937 » 16,6° »
Arosa	»	» 1935 » 10,4° »
»	»	» 1936 » 9,2° »
»	»	» 1937 » 9,9° »

Verglichen mit den entsprechenden Werten im Zeitraum 1891 bis 1920 (15,8° C für Chur; 9,5° C für Arosa) darf man also den Sommer 1935 mit seinem Plus von zirka 1° Celsius über die Norm als sehr warm bezeichnen. Die Vegetationsperiode Juni bis und mit September 1936 weist im Gegensatz dazu ein Minus von 0,3° auf und reiht sich somit eher unter die Durchschnittsjahre. Beim letzten Versuchsjahr tritt dann nochmals ein Plus von 0,4° Celsius auf.

Tabelle 3.

Monatsminimum und -maximum der Lufttemperatur.

1935						
Juni			Juli			
	Min.	Max.	Diff.	Min.	Max.	Diff.
Chur	7,0	33,6	26,6	9,8	31,8	22
Arosa	0,7	24,0	23,3	2,2	25,0	22,8
August			September			
	Min.	Max.	Diff.	Min.	Max.	Diff.
Chur	7,0	29,4	22,4	6,4	27,8	21,4
Arosa	0,9	20,1	19,2	—0,4	20,4	20,0

1936						
	Juni			Juli		
	Min.	Max.	Diff.	Min.	Max.	Diff.
Chur	4,8	27,0	22,2	6,2	30,8	24,6
Arosa	-1,2	21,2	22,4	0,8	23,0	22,2
August						
	Min.	Max.	Diff.	Min.	Max.	Diff.
	Chur	10,7	24,7	14,0	3,7	25,9
Arosa	3,8	20,2	16,4	-4,7	22,5	27,2
1937						
	Juni			Juli		
	Min.	Max.	Diff.	Min.	Max.	Diff.
Chur	9,0	32,6	21,6	6,9	30,0	23,1
Arosa	1,8	22,4	20,6	0,8	20,4	19,6
August						
	Min.	Max.	Diff.	Min.	Max.	Diff.
	Chur	10,2	23,4	13,2	5,0	26,2
Arosa	2,4	21,0	18,6	1,2	18,6	16,4

Die vorliegende Tabelle gibt Aufschluss über die monatlichen Temperaturschwankungen in Chur und Arosa. Im allgemeinen erwartet man für die alpinen Lagen eher grössere Schwankungen, als für das Tiefland. Dass dies meistens nicht der Fall ist, beweist die Mehrzahl der obigen Zahlen. Eine Zusammenstellung der Daten von Chur und Arosa aus der Zeitspanne von 1910 bis 1920 ergibt übrigens dasselbe Bild. Bis auf die Septembermonate von vier dieser zehn Jahre war die Differenz zwischen Minimum und Maximum in Chur grösser. Die irrige Annahme von den stärkeren Temperaturschwankungen in den Alpen dürfte wohl nicht zuletzt davon herrühren, dass die Temperatur in den Gebirgslagen selbst im Sommer unter den Nullpunkt sinken kann.

3. Relative Luftfeuchtigkeit.

In der Klimatologie unterscheidet man zwischen relativer und absoluter Luftfeuchtigkeit. Die relative Luftfeuchtigkeit gibt den Prozentsatz vorhandenen Wasserdampfes bezogen auf den bei der betreffenden Temperatur maximal möglichen Wassergehalt an. Unter absoluter Luftfeuchtigkeit versteht man hingegen die in 1 cm³ Luft enthaltene Menge Wasserdampf in Grammen.

Wir geben nachstehend die Tabellen der relativen Luftfeuchtigkeit von Chur und Arosa wieder :

Tabelle 4.

Relative Luftfeuchtigkeit.

M = Monatsmittel.

1935							
	Juni				Juli		
	7 ¹ / ₂ h	13 ¹ / ₂ h	21 ¹ / ₂ h	M	7 ¹ / ₂ h	13 ¹ / ₂ h	21 ¹ / ₂ h
Chur	75	46	70	64	78	49	67
Arosa	65	47	69	60	69	50	73

		August				September			
		7 ¹ / ₂ h	13 ¹ / ₂ h	21 ¹ / ₂ h	M	7 ¹ / ₂ h	13 ¹ / ₂ h	21 ¹ / ₂ h	M
Chur		84	53	77	71	83	50	77	70
Arosa		75	58	79	71	69	50	71	63
1936									
		Juni				Juli			
		7 ¹ / ₂ h	13 ¹ / ₂ h	21 ¹ / ₂ h	M	7 ¹ / ₂ h	13 ¹ / ₂ h	21 ¹ / ₂ h	M
Chur		86	57	84	76	77	54	78	70
Arosa		76	58	81	72	77	62	77	72
		August				September			
		7 ¹ / ₂ h	13 ¹ / ₂ h	21 ¹ / ₂ h	M	7 ¹ / ₂ h	13 ¹ / ₂ h	21 ¹ / ₂ h	M
Chur		83	54	79	72	81	56	79	72
Arosa		74	54	80	69	77	62	80	73
1937									
		Juni				Juli			
		7 ¹ / ₂ h	13 ¹ / ₂ h	21 ¹ / ₂ h	M	7 ¹ / ₂ h	13 ¹ / ₂ h	21 ¹ / ₂ h	M
Chur		80	50	75	68	84	53	80	72
Arosa		73	56	75	68	79	55	82	72
		August				September			
		7 ¹ / ₂ h	13 ¹ / ₂ h	21 ¹ / ₂ h	M	7 ¹ / ₂ h	13 ¹ / ₂ h	21 ¹ / ₂ h	M
Chur		87	61	81	76	88	61	86	78
Arosa		82	67	83	77	77	62	78	72

Ein Blick über diese Zusammenstellung sagt uns schon, wie wenig die relative Luftfeuchtigkeit zwischen Chur und Arosa schwankt. Im Mittel der Jahre 1891 bis 1920 betrug sie für die Monate Juni, Juli, August und September in Chur 71, in Arosa 69, woraus sich also eine minime Abnahme nach oben ergibt.

Die absolute Luftfeuchtigkeit nimmt dagegen, wie schon bei der allgemeinen Besprechung des Hochgebirgsklimas erwähnt wurde (siehe S. 249), mit steigender Höhenlage stärker ab.

4. Niederschläge.

Eindrücklicher als die Luftfeuchtigkeitsmessungen vermögen die Daten der Niederschlagsmengen den Wasserfaktor zu demonstrieren. Aus der nachstehenden Tabelle, in der die monatlichen Niederschlagssummen für Chur und Arosa zusammengetragen sind, ist deutlich ersichtlich, wie stark die Niederschlagshöhe in den Gebirgslagen zunimmt:

Tabelle 5.

Monatssummen der Niederschlagsmengen in Millimetern.

		1935			
		Juni	Juli	August	September
Chur		65	79	124	51
Arosa		123	158	195	79
1936					
Chur		76	288	75	62
Arosa		131	328	106	99

	1937			
	Juni	Juli	August	September
Chur	37	92	91	113
Arosa	140	188	172	184

Arosa meldet in allen Monaten viel höhere Niederschlagssummen, in einzelnen Fällen sogar doppelte Mengen als Chur. Dabei hat aber Arosa keine wesentlich grössere Zahl von Tagen mit Niederschlag, sondern nur eine grössere Niederschlagsdichte (Niederschlag : Anzahl der Tage mit Niederschlag) (G o e t z [7]). Es hängt dies mit der intensiveren Kondensation der Luftfeuchtigkeit zusammen, die durch die tieferen Temperaturen des Gebirgsklimas bedingt wird.

5. Sonnenscheindauer.

Die Sonnenscheindauer richtet sich nicht allein nach den Bewölkungsverhältnissen, sondern gleichzeitig auch nach der Lage eines Ortes, d. h. nach seinem natürlichen Horizont. Die örtlich mögliche Sonnenscheindauer ist für Arosa bestimmt länger als für Chur, das am Fusse dreier Bergketten liegt (im Osten der Montalin, im Südwesten der Dreibündenstein und im Westen der Calanda). Leider wird in Chur die tägliche Sonnenscheindauer nicht registriert, so dass wir die aus dem Plantahof bei Landquart in der Nähe von Chur vorliegenden Aufzeichnungen zum Vergleiche heranziehen müssen.

Tabelle 6.

Monatssummen der Sonnenscheindauer in Stunden.				
	1935			
	Juni	Juli	August	September
Landquart	259	253	182	178
Arosa	270	261	185	200
	1936			
Landquart	143	155	218	134
Arosa	132	174	219	140
	1937			
Landquart	213	227	162	141
Arosa	196	216	151	155

Im grossen und ganzen weist Arosa gegenüber Landquart einen so geringen Vorsprung in den Monatssummen der Sonnenscheindauer auf, dass er für unsere Versuche vernachlässigt werden kann, sowie denn auch G o e t z in seiner Arbeit [(7) Seite 7] ausdrücklich bemerkt : « Man muss sich hüten, auf kleinere Differenzen allzu sehr Gewicht zu legen; so handlich und sinnreich der Autograph (der Sonnenschein-autograph nach Campbell-Stokes) ist, hat er doch auch schon scharfe Kritik über sich ergehen lassen müssen. » Wir sind somit zur Annahme berechtigt, die Sonnenscheindauer sei auf allen unsern Versuchsstationen mit Ausnahme von Litzirüti durchschnittlich dieselbe gewesen.

6. Zahl der Tage,
an denen Regen, Schneefall, Hagel, Gewitter, Nebel, Sonnenschein
oder trübe Witterung auftreten.

Eine Statistik könnte von den Klimaverhältnissen unserer Ver-
suchsstationen kein vollständiges Bild vermitteln, wenn sie nicht zu-
gleich auch angeben würde, wie Niederschläge, Bewölkung und Sonnen-
schein auf die Vegetationsperiode verteilt waren. Diesem Zweck soll
die nachfolgende Tabelle dienen, die in instruktiver Weise die Wit-
terungsverhältnisse für die einzelnen Monate festhält.

Tabelle 7.

Zeichenerklärung:

- = Tage, an denen Niederschläge in Form von Regen oder Schnee eintreten.
- * >1,0 = Tage, an denen die Niederschlagshöhe mehr als 1 mm beträgt.
- * = Tage, die Schneefall verzeichnen.
- ▲ = Tage, die Hagel verzeichnen.
- ☩ = Tage, an denen Gewitter niedergehen.
- ≡ = Tage mit Nebelbildung.

		1935							
		●	●*	*	▲	☩	≡	heiter	trüb
		*	>1,0						
Chur:	Juni	11	11	—	—	2	—	9	7
	Juli	10	9	—	—	4	—	8	4
	August	13	8	—	—	—	—	8	11
	September	8	7	—	—	—	—	8	4
Arosa:	Juni	14	13	2	—	2	2	7	9
	Juli	11	10	—	—	5	7	6	5
	August	20	17	2	—	2	6	7	11
	September	10	9	—	—	—	3	9	8
		1936							
Chur:	Juni	17	9	—	—	1	—	—	13
	Juli	20	18	—	—	3	—	3	10
	August	12	9	—	—	5	—	8	9
	September	10	9	—	—	2	—	5	13
Arosa:	Juni	20	16	5	—	4	9	1	14
	Juli	22	20	2	—	3	9	1	12
	August	13	13	1	—	5	7	9	9
	September	17	14	4	—	3	11	3	14
		1937							
Chur:	Juni	11	7	—	—	—	—	3	5
	Juli	13	12	—	—	4	—	3	9
	August	12	10	—	—	2	—	5	12
	September	12	10	—	—	—	—	4	10
Arosa:	Juni	17	15	2	1	3	8	1	10
	Juli	14	14	2	5	7	11	2	12
	August	19	16	—	—	4	8	3	15
	September	14	12	7	1	2	7	5	13

Für Arosa macht sich, wie aus den beiden ersten Rubriken hervorgeht, die erhöhte Niederschlagsmenge in einer Vermehrung der Regentage bemerkbar. Was ferner auffällt, sind die hier ab und zu im Sommer noch eintretenden Schneefälle. Hagel scheint hingegen fast nie auf diese Gegend niederzugehen. In bezug auf die Anzahl der Gewitter stellen wir für Arosa ein leichtes Ansteigen derselben fest. Sehr prägnant sind sodann die Unterschiede zwischen Chur und Arosa in der Rubrik «Regentage»: Während Chur trotz der Nähe des Rheins nie solche verzeichnet, hüllt sich Arosa sehr häufig in Nebel ein. Man darf allerdings nicht übersehen, dass sich in Arosa weniger bei schönem als vielmehr bei schlechtem Wetter Nebel bildet. Dies hat Arosa vor allem seinen besondern topographischen Verhältnissen zu verdanken, indem sich im Arosaer Becken meistens die von allen Talhängen abfallenden Wolkenzüge ansammeln. Etwas geringer fällt in Arosa die Zahl der Tage, an denen die Witterung heiter ist, aus; ferner verzeichnet Arosa mehr trübe Tage als Chur. Wenn wir also zu einem Gesamturteil übergehen, ist das Arosaer Klima, wenigstens was die Witterungsverhältnisse betrifft, rauher zu nennen als dasjenige von Chur.

7. Strahlungsverhältnisse.

Die grosse Bedeutung, die den Strahlungsverhältnissen für das Wachstum der Pflanzen zukommt, lässt es als zweckmässig erscheinen, dass wir den meteorologischen Daten noch eine Übersicht der wichtigsten Strahlungsunterschiede zwischen Chur und Arosa anschliessen. Wir entnehmen hierfür der eingehenden Arbeit von Goetz (7), betitelt «Das Strahlungsklima von Arosa», einige der charakteristischsten Daten:

1. Gesamtintensität der Sonnenstrahlung.

Als solche bezeichnet man die gesamte Wärmeenergie, die die Sonnenstrahlung einer zur Strahlungsrichtung senkrechten Fläche zukommen lässt. Sie wird in Grammkalorien pro Minute und Quadratcentimeter (g cal/min cm^2) gemessen. Als Mittel der mittäglichen Sonnenintensitäten gibt Goetz für

Arosa	im Juni	. . .	1,50	g cal/min cm^2
	» Juli	. . .	1,49	»
	» August	. . .	1,50	»
	» September	. . .	1,51	»

an, während sie für dieselben Monate in

Chur im Mittel zirka $1,35 \text{ g cal/min cm}^2$

beträgt.

Die Gesamtintensität der Sonnenstrahlung ist also in Arosa zirka 10 % grösser als in Chur.

2. Kurzwellige ultraviolette Sonnenstrahlung.

Die ultraviolette Strahlung wird von der Luftfeuchtigkeit viel stärker absorbiert als alle übrigen Strahlensorten. Dementsprechend ist der Anteil der U.-V.-Strahlung an der Gesamtstrahlung im Gebirge grösser als in der Ebene. Als Verhältniszahl zwischen der U.-V.-Sonnenstrahlung in Arosa und Chur berechnet G o e t z

1,31

für den höchsten Sonnenstand (65 Grad) in den Monaten Mai bis Juli, woraus deutlich die Überlegenheit des alpinen Klimas im Gehalte an der U.-V.-Strahlung resultiert.

3. Himmelsstrahlung (Schattenlicht) im Ultraviolett.

Das diffuse Licht enthält ebenfalls in Arosa meistens etwas mehr U.-V.-Strahlen, als dies in Chur der Fall ist. Zum Beispiel beträgt die Verhältniszahl zwischen beiden Stationen

1,05 bei einem Sonnenstand von 35 Grad
1,02 » » » » 55 »

4. Das Verhältnis der U.-V.-Strahlung des direkten Sonnenlichtes (s) zu derjenigen des diffusen Lichtes (d) beträgt für

Arosa s : d

0,03 bei einem Sonnenstand von 10° und Horizontalbeleuchtung
1,10 » » » » 60° » »

Chur s : d

0,02 bei einem Sonnenstand von 10° und Horizontalbeleuchtung
0,86 » » » » 60° » »

An beiden Orten ist demnach der U.-V.-Strahlenanteil, der aus dem direkten Sonnenlicht stammt, bei 10 Grad Sonnenhöhe sehr viel kleiner als des U.-V.-Anteil des diffusen Lichtes. Bei steigendem Sonnenstand verschiebt sich dann das Verhältnis aber immer mehr zugunsten der U.-V.-Strahlung des direkten Sonnenlichtes, so dass diese schliesslich in Arosa bei mittäglichen Sonnenständen (von 50—65 Grad) überwiegt. In Chur bleibt der U.-V.-Anteil des Sonnenlichtes auch bei den höchsten Sonnenständen immer kleiner als der des diffusen Lichtes.

Aus allen diesen Zahlen geht deutlich hervor, dass die Strahlung — sowohl was U.-V.-Strahlung als auch Gesamtintensität betrifft — in Arosa bedeutend intensiver ist als in Chur.

VII. Methoden zur Bestimmung des Wirkstoffgehaltes.

Es soll hier gleich vorausgeschickt sein, dass es sich bei der Bestimmung der Wirkstoffe nicht um die Isolierung einzelner, chemischer Körper aus dem Gesamtstoffwechsel handelte, sondern dass bei den nachfolgend beschriebenen Methoden immer ganze Gruppen von chemisch ähnlichen Verbindungen erfasst wurden. Dies bringt gewisse Nachteile für die Beurteilung von Stoffwechselfragen mit sich, indem mit der Bestimmung ganzer Körperklassen noch nicht das erreicht wird, was der Biologe für die Aufklärung seiner Probleme als notwendig erachtet. Er wird sich z. B. viel mehr um den Verlauf des Stickstoffgehaltes interessieren, als um den Verlauf des Ätherisch-Ölgehaltes. Für uns war nun gerade das Gegenteil der Fall, weil wir das Fachwissenschaftliche den allgemein pflanzenchemischen Gesichtspunkten voranstellten. Es dürfte aber Aufgabe künftiger ähnlicher Arbeiten sein, durch geeignete phytochemische Analysen in vermehrtem Masse den Zielen der Pflanzenbiologie zu dienen.

Entsprechend den drei Wirkstoffgruppen, die wir untersuchten, führen wir die Bestimmungsmethoden unter drei gesonderten Gruppen auf. Die erste und zugleich grösste umfasst die Ätherisch-Ölbestimmungen in *Fol. Menthae pip.*, *Fol. Achilleae*, *Flos Achilleae*, *Fructus Carvi*, *Fructus Petroselini* und *Fol. Petroselini*. Ihr folgen die Alkaloidbestimmungsmethode in *Lobelia inflata* und die Bitterstoffbestimmung in *Gentiana lutea*.

A. Die Bestimmung der ätherischen Öle.

Von den verschiedenen Ätherisch-Öl-Bestimmungsmethoden, die aus der einschlägigen Literatur bekannt sind, kam für unsere Arbeit zum vornherein nur eine solche in Betracht, die bei genügender Exaktheit mit möglichst wenig Substanz durchführbar war. Nach den Erfahrungen, die in den vorausgegangenen Jahren mit der von E. S c h e n k e r (29) und O. M e y e r (22) verbesserten Zäch'schen Oxydationsmethode (32) gemacht worden sind, leistete diese unsern Anforderungen am weitgehendsten Genüge. Als eigentliche Titrationsmethode war sie schon in der Ablesegenauigkeit allen übrigen, die das zu bestimmende Öl direkt volumetrisch messen, überlegen. Sie musste aber je nach der Leichtigkeit, mit der die ätherischen Öle aus der Droge ausgetrieben werden konnten, und je nach dem Prozentsatz der in den einzelnen Pflanzen vorhandenen Ölmengen für jede Pflanzenart ausprobiert und zweckentsprechend abgeändert werden.

Der Verlauf einer solchen Analyse ist im Prinzip der folgende: 0,1—0,4 g frisch pulverisierte oder zerstoßene Droge (genau gewogen) werden in einer eigens für diesen Zweck hergestellten Glasapparatur mit 25 cm³ Wasser einer verlustfreien Wasserdampfdestillation unterworfen und das Destillat in verschlossenem Kolben mit einem bestimm-

ten Überschuss an 0,5 n Kaliumbichromatlösung und 60 cm³ konzentrierter Schwefelsäure beschickt. Durch die Erwärmung, die beim Schwefelsäurezusatz eintritt, wird das eingeschlossene ätherische Öl vom Kaliumbichromat oxydiert unter gleichzeitiger Reduktion der entsprechenden Menge Bichromat zu Chromat. Nach Ablauf der zirka 3—4 Stunden dauernden Oxydation wird sodann die Destillat-Schwefelsäuremischung mit 1 Liter Wasser verdünnt, mit 1—2 g festem Kaliumjodid versetzt und das ausgeschiedene Jod mit 0,1 n Natriumthiosulfat titriert, d. h. die Menge des noch unverbrauchten Kaliumbichromates jodometrisch bestimmt. Aus der Differenz zwischen vorgelegtem Kaliumbichromat und unverbrauchtem Bichromat stellt man den bei der Oxydation des ätherischen Öles eingetretenen Chromsäureverbrauch fest, aus welchem sich wiederum durch Einsatz eines für jedes Öl spezifischen Ölfaktors die Anzahl Milligramm Öl berechnen lässt, die bei der Destillation aus der Droge abgeschieden wurden.

Die Methode liefert unter Innehaltung genau gleicher Bedingungen sehr gut übereinstimmende Resultate. Sie leistet vor allem dann hervorragende Dienste, wenn Pflanzen, die leichtflüchtige und leichtoxydierbare ätherische Öle enthalten, auf ihren Gehalt an solchen geprüft werden sollen. Für Drogen, die hingegen schwerer flüchtige und vor allem schwerer oxydierbare Öle aufweisen, treten je nach der Oxydationsdauer zum Teil stark divergierende Resultate auf. Der Grund für diesen Sachverhalt wird wahrscheinlich darin zu suchen sein, dass die Oxydation bei stark gesättigten Terpenkörpern viel langsamer verläuft als bei ungesättigten, alkoholresthaltigen Terpenen. Es wird deshalb noch eingehender Untersuchungen bedürfen, bis die vorliegende Bestimmungsmethode auch für Drogen mit schwer oxydierbarem Öl zu genauen Resultaten führt.

Wie wir durch Vorversuche feststellten, war es sehr gut möglich, bei genau gleicher Durchführung der Bestimmungen zu übereinstimmenden Resultaten zu gelangen. Auf diese Weise mussten sich auch geringe Gehaltsdifferenzen zwischen den Drogen der verschiedenen Stationen zu erkennen geben. Unter genau gleicher Durchführung der Bestimmungen sind in erster Linie gleiche Destillationsgeschwindigkeit, gleiche Oxydationsdauer und Verwendung gleich grosser Oxydationsgefässe zu verstehen. Auf die übrigen Finessen hinzuweisen, die bei den einzelnen Operationen zu beachten waren, hat erst dann einen Sinn, wenn die Destillationsapparatur und der genaue Verlauf der Analysen beschrieben sind.

Die Destillationsapparatur.

Zur Aufnahme des Destillationsgutes dient ein 11—12 cm hohes Langhals-Rundkölbchen aus schwer schmelzbarem Geräteglas, dessen Inhalt 50 cm³ beträgt. In den Hals des Destillationskölbchens ist ein

Hohlstopfen eingeschliffen, der nach oben von einem zweimal umgebogenen, 6—7 mm weiten Rohr fortgesetzt wird und nach unten in ein zirka 3 cm langes, schräg abgeschnittenes und seitlich in mittlerer Höhe mit einem Loch versehenes Rohrstückchen von 6—7 mm innerem Durchmesser ausläuft. Das zweimal umgebogene Rohr wird, wie aus der Abbildung ersichtlich ist, durch ein kurzes Schlauchstück mit dem senk-

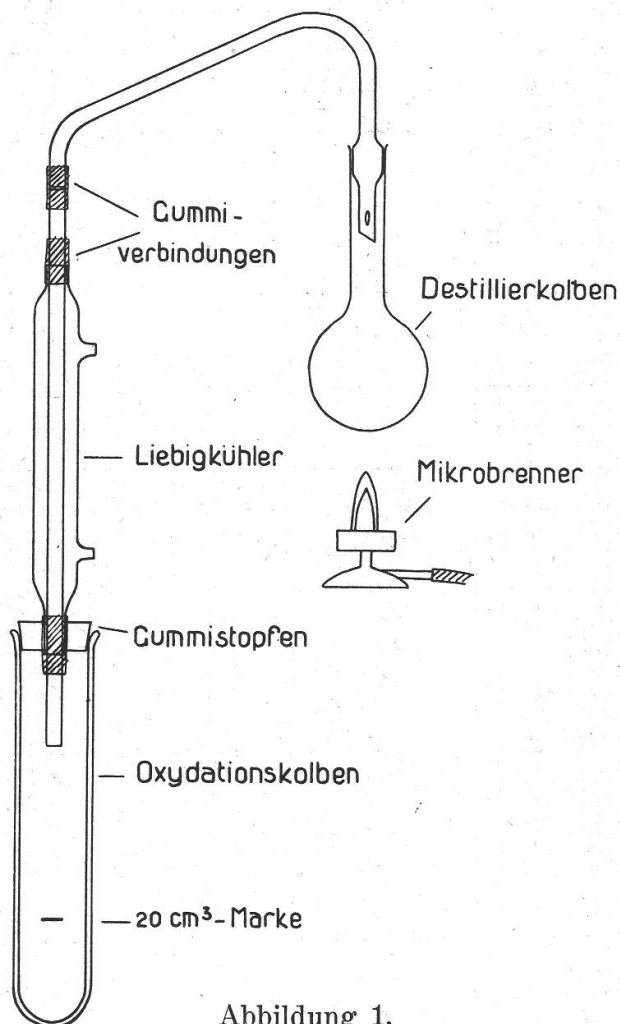


Abbildung 1.

recht stehenden, 30 cm langen und 6—7 mm weiten Kühlrohr eines Liebigkühlers eng verbunden. Am untern Ende des Liebigkühlers ist sodann mit einem Gummistopfen der von Prof. H. Flück und O. Meyer eingeführte, aus starkem Glase hergestellte « Oxydationskolben » angebracht, welcher sowohl als Vorlage wie als Oxydationsgefäß dient. Damit der während der Destillation auftretende Überdruck entweichen kann, muss in der Längsrichtung des Gummistopfens eine Rille eingekerbt sein. Der Oxydationskolben ist mit einem exakt eingeschliffenen Glasstopfen verschliessbar und fasst genau 90 cm³ Inhalt. An seinem untern Ende ist eine Marke angebracht, die 20 cm³ Destillat anzeigt. Während der Oxydation, die unter starker Wärmetönung vor

sich geht, werden Kolben und Stopfen in ein speziell konstruiertes Metallgestell, das jedes Lüften des Stopfens durch den entstehenden Druck verhindert, eingespannt. Schliesslich wird als Wärmequelle ein Mikrobrenner mit Kaminaufsatz verwendet.

Die gesamte Apparatur lässt sich leicht an einem einzigen Stativ montieren. Für Serienbestimmungen, wie wir sie durchführten, empfiehlt es sich jedoch, nicht nur eine einzelne, sondern gleich vier solcher Destillationsapparaturen aufzustellen. So lassen sich mit demselben Arbeitsaufwand und innert derselben Zeit vier Vergleichswerte erhalten. Der aus ihnen errechnete Durchschnitt erhebt dann auch um so eher Anspruch auf Genauigkeit.

Vorschrift für die Bestimmung des Ätherisch-Ölgehaltes in F o l i u m

M e n t h a e p i p e r i t a e.

Das Destillationskölbchen wird mit zirka 0,2 g (genau gewogen) der höchstens grob zerkleinerten Droge und etwas grob gepulverten Bimsstein beschickt, dann 25 cm³ Wasser zugefügt, das Ganze bis zur völligen Benetzung der Droge umgeschwenkt und dann das Kölbchen an die Apparatur angeschlossen. Unter häufigem Umschwenken des Kölbcheninhaltes werden 20 cm³ langsam abdestilliert und hierauf die Destillation unterbrochen.

Dem Destillat fügt man 5,0 cm³ 0,5 n Kaliumbichromatlösung zu (Pipette) und unterschichtet dann mittels eines langstieligen Trichters (Pyknometertrichter) mit 60 cm³ konzentrierter Schwefelsäure, die man vorher durch den Kühler der Destillationsapparatur hat fließen lassen und in einem Messzylinder aufgefangen und abgemessen hat. Die am Trichter anhaftende Flüssigkeit wird mit 2—3 cm³ Wasser in den Oxydationskolben abgespritzt, dann der Kolben sofort verschlossen, der Glasstopfen mit einer Metallklammer gesichert und das Ganze vorsichtig durchgemischt.

Um der Gefahr eines allfälligen Springens des Oxydationskolbens zu begegnen, wird dieser am besten vor dem Mischen in eine Schachtel mit Holzwolle gebettet.

Die eben gebrauchten Trichter und Messzylinder werden mit 500 cm³ Wasser abgespült und das Spülwasser in einem starkwandigen, 2 Liter fassenden Glasstopfenerlenmeyer aufgefangen. Den Oxydationskolben lässt man nach dem Durchmischen ohne besonders zu kühlen 4—5 Stunden stehen, giesst die Flüssigkeit in den 2 Litererlenmeyer und spült mit 500 cm³ Wasser nach. Nach Zugabe von 1 g Kaliumjodid lässt man 30 Minuten im Dunkeln stehen und titriert mit 0,1 n Thio-sulfatlösung unter Stärkezusatz bis zum Farbumschlag von Blau in Hellgrün.

$$\text{Ölfaktor} = 0,361.$$

Diese Vorschrift bedarf zu ihrem vollen Verständnis noch einiger Erläuterungen. Sie ist nämlich in der Form, wie sie hier vorliegt, nur auf Blattdrogen wie z. B. *Fol. Menthae pip.*, *Fol. Thymi*, eventuell auch auf *Fol. Melissa* anwendbar. Für alle übrigen Drogen wie *Fructus Carvi*, *Flos Achilleae*, *Fol. Achilleae*, *Fol. Petroselini* mussten an ihr in der Ausführung, nicht im Prinzip, Veränderungen vorgenommen werden. Hauptsächlich betraf dies die Menge der zu Bestimmung gelangenden Droge, die Menge der vorgelegten Anzahl Kubikzentimeter 0,5 n Kaliumbichromatlösung, und die Zerkleinerungsart, mit der die Drogen für die Bestimmung vorbereitet wurden. Da der Chromsäureverbrauch je nach der chemischen Zusammensetzung der ätherischen Öle und je nach den Mengen, in denen sie in den einzelnen Pflanzenorganen vorkamen, inert weiter Grenzen variierte, war es auch nötig, verschiedene Drogenmengen und verschiedene Volumina an Bichromatlösung zu verwenden.

Die Zerkleinerung des Untersuchungsmaterials durfte wegen der bedeutenden Verluste, die beim Lagern von gepulverten oder zerstoßenen Ätherisch-Öldrogen entstehen, nicht eher vorgenommen werden, als bis die Drogen zur Bestimmung gelangten. Auch so hatte sie noch möglichst unter Vermeidung von Verlusten zu geschehen. Wie S c h e n k e r schon in seiner Arbeit darauf hinweist, führen P u l v e r i s i e r e n und S i e b e n zu merklichen Gehaltseinbussen und damit auch zu entsprechend grossen Analysenfehlern (29). Für Blattdrogen, bei denen das ätherische Öl in Drüsenhaaren lokalisiert ist und infolgedessen bei Siedehitze leicht freigegeben wird, genügt denn auch blosses Zerdrücken in gröbere Bruchstücke. Für Drogen, die hingegen das ätherische Öl im Gewebe eingeschlossen enthalten (wie z. B. Umbelliferenfrüchte), liess sich das Pulverisieren, welches möglichst rasch zu geschehen hatte, nicht umgehen. Dieses hatte für alle Drogen einer Vergleichsserie mit derselben Apparatur und in gleicher Art und Weise zu geschehen.

Nachfolgend seien noch die Veränderungen aufgeführt, die an der vorhin im Wortlaut wiedergegebenen Bestimmungsmethode für die übrigen, von uns untersuchten Drogen angebracht werden mussten :

a) Bei *Folium Achilleae*

wurden 0,2 g (genau gewogen) grob zerkleinerte Droge einer langsamen, vorsichtigen Destillation unterworfen. In 1—2 cm³ 0,5 n Kaliumbichromatlösung lag ein genügender Überschuss an Oxydationsmittel vor.

Oxydationsfaktor = 0,389.

b) Bei *Flos Achilleae*

wurden durchschnittlich 0,4 g (genau gewogen) unzerkleinerte Droge und 2 cm³ 0,5 n Kaliumbichromatlösung als Überschuss angewendet.

Oxydationsfaktor = 0,389.

c) Von *Fructus Carvi*

brauchten wir in der Regel 0,1—0,2 g pulverisierte Droge (auch 50 mg genügten noch) und 5 cm³ 0,5 n Kaliumbichromatlösung pro Bestimmung. Das in der Drogenmühle durch eine Siebtrommel von der Lochgrösse 1 mm erhaltene Pulver wies einen Feinheitsgrad auf, wie er ungefähr der Siebnummer IV der Ph. H. V. entspricht. Als Destillierflüssigkeit verwendeten wir jedoch nicht Wasser, sondern eine Mischung von 20 cm³ gesättigter Kochsalzlösung und 10 cm³ Wasser. Es hatte sich nämlich anlässlich der Vorversuche gezeigt, dass das ätherische Öl mit Wasser nur unvollständig aus der Droge zu vertreiben war. Durch die Verwendung einer Kochsalzlösung wurde dagegen eine Siedepunkterhöhung der Destillierflüssigkeit erzielt und damit das ätherische Öl bis auf Spuren aus der Droge verjagt. Die Destillation liess sich in diesem Falle aber besser ohne Bimssteinzusatz durchführen, weil letzterer starkes Schäumen bewirkt und so die Gefahr mit sich brachte, dass Drogenteilchen in das Destillat gelangten und die Bestimmung unbrauchbar machten.

Oxydationsfaktor = 0,400.

d) Mit *Fructus Petroselini*

wurden die Bestimmungen in analoger Weise wie bei *Fructus Carvi* durchgeführt.

Oxydationsfaktor = 0,443.

e) Bei *Folium Petroselini*

verwendeten wir 0,2 g Droge und als Destillierflüssigkeit eine Mischung von 15 cm³ gesättigter Kochsalzlösung und 15 cm³ Wasser. Die Destillation musste auch in diesem Falle ohne Bimssteinzusatz erfolgen.

Oxydationsfaktor = 0,395.

f) *Matricaria Chamomilla*

verlangte bei der Destillation trotz Verwendung von Wasser als Destillierflüssigkeit und trotz Bimssteinzusatz stets grosse Vorsicht, da leicht Überschäumen in die Destillationsrohre eintrat. Die Droge gelangte am besten unzerkleinert in Mengen von 0,20—0,40 g mit 2 cm³ 0,5 n Kaliumbichromatlösung zur Bestimmung.

Oxydationsfaktor = 0,412.

Bestimmung des Oxydationsfaktors der ätherischen Öle.

1 Tropfen des ätherischen Öles von 10—20 mg Gewicht wird in einem Wägegläschen genau gewogen. In einem Oxydationskolben werden 10 cm³ 0,5 n K₂Cr₂O₇ (Pipette) + 10 cm³ Wasser mit 60 cm³ konzentrierter Schwefelsäure unterschichtet und das geöffnete Wägegläschen vorsichtig in schwimmende Lage auf die Flüssigkeit gebracht.

Hierauf wird der Oxydationskolben sofort unter Sicherung mit der Metallklammer verschlossen und langsam umgeschwenkt, so dass das abgewogene Öl, die wässerige Bichromatschicht und die konzentrierte Schwefelsäure durcheinanderzufließen beginnen. Sobald die vollständige Mischung der Flüssigkeiten erreicht ist, lässt man das Ganze unter zeitweiligem Umschwenken 4—5 Stunden stehen.

Nach beendeter Oxydation giesst man den Inhalt des Oxydationskolbens unter gründlichem Nachspülen desselben in 500 cm³ Wasser, das vorher in einem starkwandigen, 2 l fassenden Glasstopfenerlenmeyer bereitgestellt worden war. Die gesamte Flüssigkeit wird hernach mit Wasser auf zirka 1 l verdünnt. Nach Zugabe von 1 g Kaliumjodid lässt man 30 Minuten im Dunkeln stehen und titriert dann mit 0,1 n Natriumthiosulfatlösung unter Zugabe von Stärke bis zum Farbumschlag von Blau in Hellgrün.

Der Oxydationsfaktor errechnet sich durch Division der abgewogenen Gewichtsmenge ätherisches Öl in Milligrammen durch die bei der Oxydation verbrauchten Anzahl cm³ 0,1 n Kaliumbichromatlösung. Er gibt somit an, wieviel Milligramm ätherisches Öl durch 1 cm³ 0,1 n K₂Cr₂O₇ oxydiert werden.

Für die Öle aus *Folium Menthae pip.*, *Folium Petroselini*, *Folium achilleae* waren die Oxydationsfaktoren bereits bekannt. Neu mussten sie bestimmt werden für die Öle aus *Fructus Carvi*, *Fructus Petroselini*, ferner für *Flos Chamomillae*: Wir lassen hier eine Zusammenstellung der Oxydationsfaktoren für die verschiedenen ätherischen Öle, die wir untersuchten, folgen:

Oxydationsfaktoren:	Mittlerer Wert
<i>Ol. Menthae pip.</i>	0,361
<i>Ol. Achilleae Millefolii e foliis</i>	0,389
<i>Ol. Carvi</i>	0,400
<i>Ol. Petroselini e fructu</i>	0,443
<i>Ol. Petroselini e foliis</i>	0,395
<i>Ol. Matricariae Chamomillae</i>	0,416

Berechnung der Resultate.

Um den Ätherisch-Ölgehalt des Untersuchungsmaterials möglichst genau zu erfassen, wurden mit jeder einzelnen Droge 4—6 Parallelbestimmungen durchgeführt, und wenn diese noch keine übereinstimmenden Resultate ergaben, bis zur Erzielung von einheitlichen Werten weitere Analysen gemacht. Die Untersuchung einer Ernteserie dauerte auf diese Art meistens eine Woche; sie durfte jedenfalls keine längere Unterbrechung erfahren, weil die beim Lagern eintretenden Ätherisch-Ölverluste für alle Glieder einer Versuchsserie gleich gross sein mussten. Da die über Kalk getrockneten Pflanzen immer noch etwas Wasser

enthielten, hatte man ferner bei der Berechnung der Werte eine entsprechende Korrektur anzubringen.

Wenn z. B. bei Verwendung von 0,2048 g über Kalk getrockneter Menthadroge und bei Vorlage von 5 cm³ 0,5 n K₂Cr₂O₇ ein Verbrauch von 15,75 cm³ 0,1 n Na₂S₂O₃ eintrat, so berechnete sich der Ölgehalt wie folgt :

Von den 5 cm³ 0,5 n Kaliumbichromatlösung, die 24,45 cm³ 0,1 n Natriumthiosulfatlösung (nicht etwa 25,00 cm³ 0,1 n Na₂S₂O₃*) entsprachen, war bei der Oxydation des ätherischen Öles eine

$$\begin{array}{r} \text{der Differenz} \quad 24,45 \text{ cm}^3 \quad 0,1 \text{ n Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \\ - 15,75 \quad \text{»} \quad \text{»} \quad \text{»} \\ \hline = 8,70 \text{ cm}^3 \quad 0,1 \text{ n Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \end{array}$$

gleichzusetzende Menge Bichromat zu Chromat reduziert worden. Dieser Differenz entsprachen in $\frac{1}{10}$ n Lösung ausgedrückt

$$8,70 \text{ cm}^3 \quad 0,1 \text{ n K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7.$$

Multiplizieren wir den vorliegenden Wert mit dem für Oleum Menthae gültigen Oxydationsfaktor, so erhielten wir die aus 0,2048 g Droge abdestillierte Menge ätherisches Öl direkt in Milligrammen, also

$$8,70 \times 0,361 = \underline{3,140 \text{ mg}}$$

(Faktor)

Die Prozentberechnung erfolgte dann in der üblichen Weise unter Berücksichtigung des in der abgewogenen Drogenmenge noch vorhandenen Wassers.

Ätherisch-Ölgehalt in Prozent :

$$\begin{array}{l} \frac{\text{Anzahl mg bestimmtes ätherisches Öl} \times 100}{\text{abgewogene Menge der wasserfreien Droge}} = \\ = \frac{0,003140 \cdot 100}{0,1983} = 1,58 \% \end{array}$$

* Die 5 cm³ 0,5 n Kalibichromatlösung dürfen bei der Berechnung nicht gleich 25,00 cm³ 0,1 n Na₂S₂O₃lösung gesetzt werden, weil bei der Oxydation Bestandteile aus der konzentrierten Schwefelsäure mitoxydiert werden, und dadurch ein geringer Verlust an Bichromat eintritt, der für jede Schwefelsäuresorte durch Blindversuche festgestellt werden muss. Zur Ermittlung dieser Fehlerquelle werden in einem Oxydationskolben 20 cm³ reinstes destilliertes Wasser und 5 cm³ 0,5 n K₂Cr₂O₇lösung vermischt, mit 60 cm³ konzentrierter Schwefelsäure unterschichtet und wie in der Bestimmungsmethode für das ätherische Öl angegeben ist, nach 4—5stündiger Oxydationsdauer der Verbrauch an 0,1 n Na₂S₂O₃ gemessen.

In dem angeführten Beispiel war der durch die Schwefelsäure verursachte Bichromatverlust zu 0,55 cm³ 0,1 n K₂Cr₂O₇lösung bestimmt worden, woraus der Wert von 24,45 cm³ resultiert.

B. Alkaloidbestimmungsmethode für *Lobelia inflata*.

Wir wählten zur Bestimmung der Alkaloide in *Lobelia inflata* die in der Ph. H. V. (26) auf Seite 479 angegebene Methode, bei der sämtliche Operationen wegen der Zersetzlichkeit des Lobelins unmittelbar nacheinander durchgeführt werden müssen :

12 g Lobelia (V) werden in einer Arzneiflasche von 200 cm³ Inhalt mit 84 g Äther und 8 g verdünntem Ammoniak R. versetzt und während einer halben Stunde häufig und kräftig geschüttelt. Dann wird die frisch aufgeschüttelte Mischung auf einen mit etwas Watte beschickten Trichter von zirka 10 cm Durchmesser gegossen und unter Bedeckung des Trichters mit einer Glasplatte in eine Arzneiflasche von 150 cm³ Inhalt abfiltriert. Sollten die ersten cm³ Filtrat trüb durchgehen, so werden sie nochmals auf das Wattefilter gegossen. Wenn aller Äther abgelaufen ist, gibt man noch einige cm³ (ca. 5) Wasser auf den Pulverbrei und lässt den durch das Wasser verdrängten Äther vollständig ablaufen. 49 g des ätherischen Filtrates (= 7 g Droge) werden in einen Scheidetrichter von 200 cm³ Inhalt gegeben, mit 30 cm³ Äther verdünnt, 4mal mit je 20 cm³ 0,1 n-Salzsäure je 2 Minuten lang geschüttelt und jeweils bis zur Trennung stehengelassen. Sobald die beiden Flüssigkeiten sich bis auf geringe Mengen (ca. 1 cm³) einer Emulsion getrennt haben (was nach ca. 5 Minuten der Fall ist), werden die salzsauren Auszüge jeweils sogleich in einen Scheidetrichter von mindestens 150 cm³ Inhalt abgelassen, in welchem sich zwei Tropfen Methylrot befinden. Jeder eingebrachte salzsaure Auszug wird sogleich tropfenweise mit verdünntem Ammoniak R. versetzt bis zum Farbumschlag nach Gelb. Nach dem letzten Ammoniakzusatz werden noch weitere 20 Tropfen verdünntes Ammoniak R. zugefügt. Nun wird die Mischung dreimal mit je 40 cm³ Äther während je zwei Minuten kräftig geschüttelt. Die vereinigten ätherischen Auszüge werden durch ein glattes, mit Äther benetztes Filter von 7 cm Durchmesser in einen Erlenmeyerkolben von 200 cm³ Inhalt filtriert unter Nachwaschen mit etwas Äther. Das Lösungsmittel wird in einem Wasserbad von zirka 45 Grad vollständig abdestilliert, der Rückstand mit 2 cm³ Äther umgeschwenkt und nach Zufügen von 5 cm³ Weingeist vollständig in Lösung gebracht. Hierauf setzt man 2 cm³ 0,1 n Salzsäure hinzu, schwenkt um, verdünnt mit 30 cm³ frisch ausgekochtem und wieder erkaltetem Wasser, gibt 3 Tropfen Methylrot zu und titriert den Säureüberschuss sogleich mit 0,1 n Natronlauge bis zur Gelbfärbung zurück (Mikrobürette).

1 cm³ 0,1 n HCl = 0,033722 g Alkaloide.

C. Methoden zur Bestimmung der Glucoside.

1. in *Gentiana lutea*.

Weil zur Bestimmung der Bitterstoffe in Radix Gentianae bis heute noch keine rationell arbeitende chemische Methode bekannt ist, wandten wir uns der von R. Wasicky (31) ausgebauten biologischen Prüfungsmethode zu. Diese beruht im Prinzip auf der Geschmacksprüfung von Drogenauszügen, die in abgestuften, stark verdünnten Konzentrationen vorliegen. Nach den Angaben von Wasicky weisen solche Bitterwertsbestimmungen eine Genauigkeit bis zu 5 % auf (31).

Man stellt die Auszüge nach folgender Vorschrift her: 1,00 g mittelfein pulverisierte Enzianwurzel (Sieb V) wird während einer Stunde mit 100 cm³ Wasser am Rückflusskühler gekocht, der Auszug nach Ergänzen auf das ursprüngliche Volumen noch heiss durch ein gehärtetes Filter filtriert und von ihm durch Verdünnen mit 30—40 Grad warmem Wasser verschiedene Konzentrationen bis zu 1 : 100,000 hergestellt.

Man geht dabei am besten so vor, dass man der Reihe nach in eine Anzahl von Erlenmeyerkolben 300 g, 400 g, 500 g bis zu 1000 g warmes Trinkwasser abwägt und vom konzentrierten Auszug 1 : 100 je 1 cm³ in die einzelnen Flüssigkeiten abpipettiert. So erzielt man direkt Verdünnungen von 1 : 30,000, 1 : 40,000, 1 : 50,000 usw. bis zu 1 : 100,000.

Die Geschmacksprüfung wird nun mit der schwächsten Konzentrationsstufe begonnen. Nachdem der Mund mit 35°—40° warmem Wasser gründlich ausgespült worden ist, werden 10 cm³ der zu prüfenden Lösung 2 Minuten in ständiger Bewegung im Mund behalten, so dass alle Teile der Mundhöhle mit den Bitterstoffen in Berührung kommen. Wird die Lösung nicht als bitter empfunden, so prüft man in derselben Weise die nächsthöhere Konzentration, bis eine Verdünnung deutlich bitter schmeckt. Damit keine Kumulationserscheinungen auftreten, ist es nötig, zwischen den Prüfungen Ruhepausen von $\frac{1}{4}$ bis $\frac{3}{4}$ Stunden einzuschalten, oder dann mit einer schwachen, lauwarmen Kochsalzlösung die Geschmacksempfindung « bitter » an den Geschmacksnerven auszulöschen. Alkoholhalige Flüssigkeiten oder Pastillen, die Menthol, Extractum Liquiritiae und dergleichen enthalten, dürfen zu diesem Zweck nicht verwendet werden, da sie die Nervenendigungen partiell lähmen. Es ist ferner zu beachten, dass alle Konzentrationen mit 35—40 Grad warmem Wasser angelegt werden, da kalte Lösungen einen Kälteschock und damit verringerte Geschmacksempfindlichkeit verursachen.

Die mit den obengenannten Verdünnungsstufen vorläufig gefundenen Bitterwerte sind hierauf an Hand kürzerer Konzentrationsintervallen noch weiter auszudifferenzieren. Wenn z. B. die Verdünnung von 1 : 50,000 als schwach bitter empfunden wird, so müssen die zwischen 1 : 50,000 und 1 : 55,000 gelegenen Konzentrationen von 1 : 51,000, 1 : 52,000 usw. noch nachgeprüft werden.

Da die Geschmacksempfindlichkeit bei verschiedenen Personen, selbst bei ein und derselben Person zu verschiedenen Zeiten nicht immer gleich ist, stellen die gefundenen Bitterwerte keine absoluten Grössen dar. Damit an sie ein einheitlicher Maßstab angelegt werden kann, ist es daher nötig, dass mit den Bitterwertsprüfungen gleichzeitig eine Eichung der Bitterempfindlichkeit an einem Standardspräparat vorgenommen wird. Zu diesem Zweck eignen sich am besten Lösungen von *Chininum hydrochloricum* (in einer Verdünnung von zirka 1 : 150,000) oder von analytisch reinem *Bruzin* (1 : 4,000,000). Man stellt sich z. B. Bruzinlösungen von 1 : 4,000,000, 1 : 4,100,000, 1 : 4,200,000 usw. her und führt die Bitterprüfungen in genau gleicher Weise wie oben beschrieben durch. Aus den ermittelten Verdünnungszahlen der zu prüfenden Lösung und der Standardlösung lässt sich die *Bitterzahl*, die für das Bruzin auf 1 : 100,000 willkürlich festgesetzt ist, nach der folgenden Formel berechnen :

$$\text{Bitterzahl} = \frac{E \cdot 100,000}{B}$$

wobei

E = die äusserste, noch als schwach bitter empfundene Verdünnung des Enzians,

B = die äusserste, noch als schwach bitter empfundene Verdünnung der Bruzin-Standardlösung

darstellt.

Angenommen, der nach Vorschrift hergestellte Auszug der Enzianwurzel reagiere noch in einer Verdünnung von 1 : 45,000, und die Bruzinlösung in einer Verdünnung von 1 : 4,100,000 bitter, so ergibt sich daraus folgende *Bitterzahl* für den Enzian :

$$\frac{45,000 \cdot 100,000}{4,100,000} = 1097.$$

2. in *Digitalis lanata*.

Für die zweite Glucosiddroge *Digitalis lanata* hatten wir die biologische Wertbestimmung an Fröschen vorgesehen. Wie uns dann aber Herr Prof. Rothlin, Basel, mitteilte, werden für eine einzelne Bestimmung mindestens 50 g Droge benötigt. Unsere *Digitalis*-Ernten reichten leider für eine sichere Wertbestimmung nicht aus.

VIII. Resultate.

A. Ätherisch-Öldrogen.

1. Folium Menthae piperitae.

Ernten 1935.

Die nachfolgenden Analysenergebnisse wurden mit einer ersten Blatternte erhalten, die am 8. September 1935 gleichzeitig auf sämtlichen Stationen an nichtblühenden Menthasprossen vorgenommen worden war :

Analysenergebnisse :

	Gehalt an ätherischem Öl
Chur	1,38 %
Lüen	1,51 %
Peist	1,17 %
Litzirüti	1,18 %
Maran	0,81 %

Graphische Darstellung :

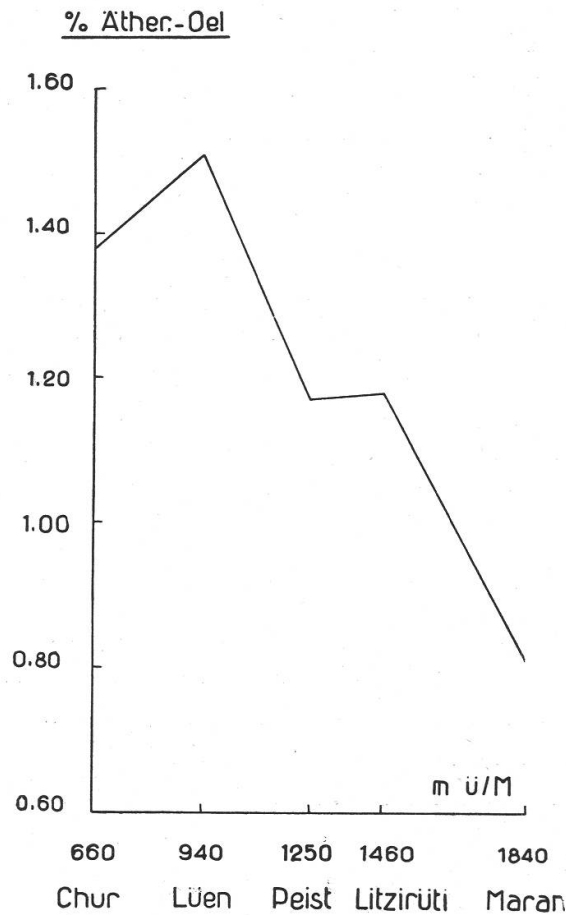


Abbildung 2.

Eine zweite Analysenserie bezieht sich sodann auf Blatternten, die im Verlaufe des Herbstes 1935 an blühenden Sprossen durchgeführt worden war :

Analysenergebnisse :

	Gehalt an ätherischem Öl
Chur	1,20 %
Lüen	1,34 %
Peist	1,17 %
Litzirüti	1,08 %
Maran	keine Ernte.

Graphische Darstellung :

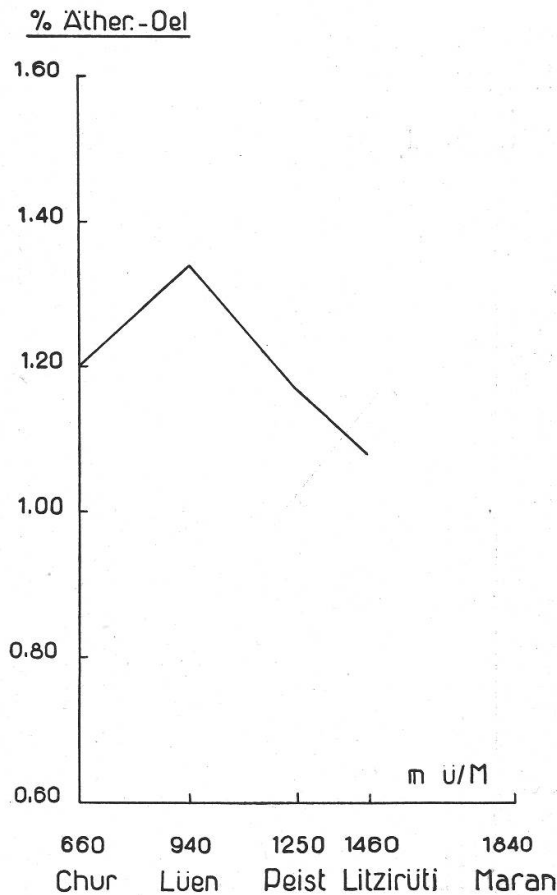


Abbildung 3.

Die beiden vorliegenden Kurven zeigen sozusagen denselben Verlauf : Zunahme des Ölgehaltes bis Lüen, dann konstante Abnahme der Werte bis Arosa-Maran, bzw. bis Litzirüti. Die kleine Gehaltszunahme von Peist bis Litzirüti in Abb. 2 vermag keine Zweifel an der allgemeinen Tendenz der betreffenden Kurve aufkommen zu lassen, denn die Gehaltsunterschiede zwischen Lüen und Peist einerseits und Peist bis Arosa andererseits treten zu deutlich in Erscheinung. Dass der Höchstwert jedesmal in Lüen liegt, gibt uns später noch Anlass zur Diskussion.

Ernten 1936.

Im Jahre 1936 wurden wiederum zwei Ernten durchgeführt, wovon aber die eine — die an blühendem Material — nicht lückenlos auf sämtlichen untern Stationen zustande kam. Wir führen deshalb nur die Werte der Blatternte an nichtblühenden Sprossen auf. Erntedatum: 23. September.

Analysenergebnisse :

	Gehalt an ätherischem Öl
Chur	1,22 %
Lüen	1,36 %
Peist	1,18 %
Litzirüti	1,18 %
Maran	1,07 %

Graphische Darstellung :

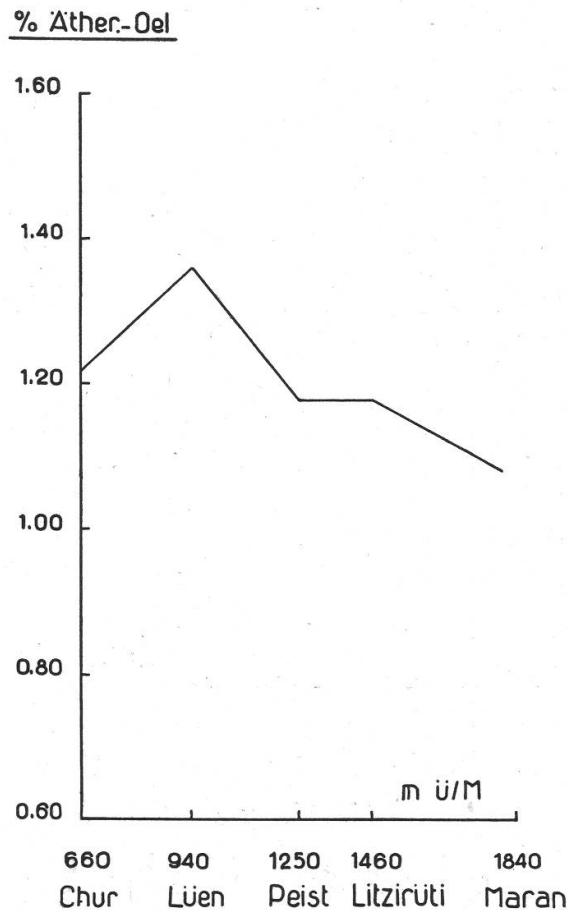


Abbildung 4.

Der Sinn dieser Kurve entspricht ganz den Befunden, die im vorhergehenden Jahre mit der Blatternte an nichtblühenden Sprossen gemacht worden waren : Wenn wir Abb. 2 mit Abb. 4 vergleichen, so fällt sofort das Zusammenfallen der Optima in Lüen auf. Auch das übrige Verhalten der Kurven stimmt weitgehend überein.

Ernten 1937.

Aus dem Jahre 1937 liegen die Ergebnisse von drei Ernten vor : Eine erste Ernte erfolgte am 2. August, eine zweite am 6. September an nichtblühendem Pflanzenmaterial.

Die an blühenden Trieben eingesammelten Blätter wurden in Chur am 2. August, in Lüen am 15. August und in Peist am 6. September eingebracht.

Analysenergebnisse :

a) der an nichtblühenden Sprossen geernteten Blätter

	1. Ernte Ölgehalt	2. Ernte Ölgehalt
Chur	1,34 %	1,59 %
Lüen	1,40 %	1,39 %
Peist	1,43 %	1,52 %
Litzirüti	1,31 %	1,33 %
Maran	1,29 %	1,26 %

Graphische Darstellung :

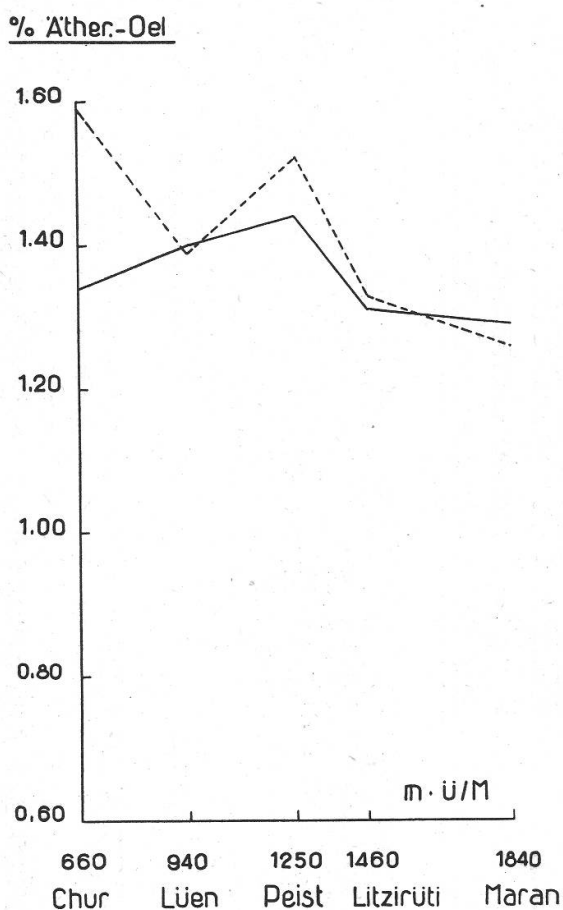


Abbildung 5.

Zeichenerklärung : ————— = 1. Ernte.
 - - - - - = 2. Ernte.

Analysenergebnisse :

b) der an blühenden Trieben geernteten Blätter

	Gehalt an ätherischem Öl
Chur	1,34 %
Lüen	1,39 %
Peist	1,25 %
Litzirüti	keine Ernte
Maran	keine Ernte

Graphische Darstellung :

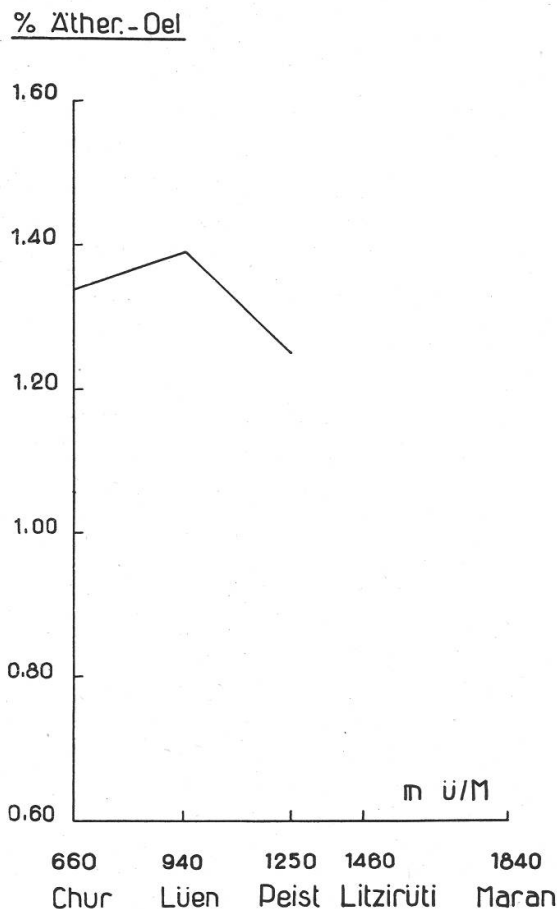


Abbildung 6.

In den hier zusammengestellten Resultaten finden wir grösstenteils wiederum die Parallelen zu den Ergebnissen der Jahre 1935 und 1936. Die Verschiebung der Optima auf Peist hin ändert im Grunde genommen nichts an dem Charakter, den die Kurven tragen, denn auch so bleibt der Eindruck einer typischen Gehaltsabnahme in alpinen Lagen bestehen. In allen Abbildungen zeigen die Kurven immer wieder denselben charakteristischen Verlauf: Zuerst steigen sie leicht bis Lüen, eventuell bis Peist an, dann sinken sie ständig und stark bis Arosa-Marana. Wir werden in der Folge dieser Optimumkurve noch mehrmals begegnen, abgesehen davon, dass schon Meyer in Lüen und nicht in Chur die Höchstwerte für *Mentha* und *Thymus* fand.

Die Wirkung des Hochgebirgsklimas auf *Mentha piperita* lief aber nicht nur auf eine Herabminderung des Ätherisch-Ölgehaltes, sondern wie zu erwarten war, auch auf eine Hemmung des Wachstums hinaus. Während die drei untersten Stationen Chur, Lüen und Peist immer recht schöne Menthabestände aufwiesen, waren die Pflanzen in Litzirüti vielfach erst im Herbst zur vollen Entwicklung gelangt. Bei der Arosaer Mentha war schliesslich nicht einmal dies mehr der Fall, denn hier wuchs die Mentha in den ganzen Vegetationsperioden höchstens zu einem Drittel der Grösse der Churer Pflanzen heran.

2. Folium Achilleae Millefolii.

Einen etwas weniger regelmässigen Verlauf nehmen die Kurven der Blätter von *Achillea Millefolium*. Die Resultate der drei Jahre 1935, 1936 und 1937 sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt.

Analysenergebnisse :	1935	1936	1937
	Ölgehalt	Ölgehalt	Ölgehalt
Chur	0,194 %	0,393 %	—
Lüen	0,198 %	0,277 %	0,172 %
Peist	0,176 %	0,212 %	0,206 %
Litzirüti	0,177 %	0,144 %	0,185 %
Maran	0,128 %	0,146 %	0,160 %

Graphische Darstellung :

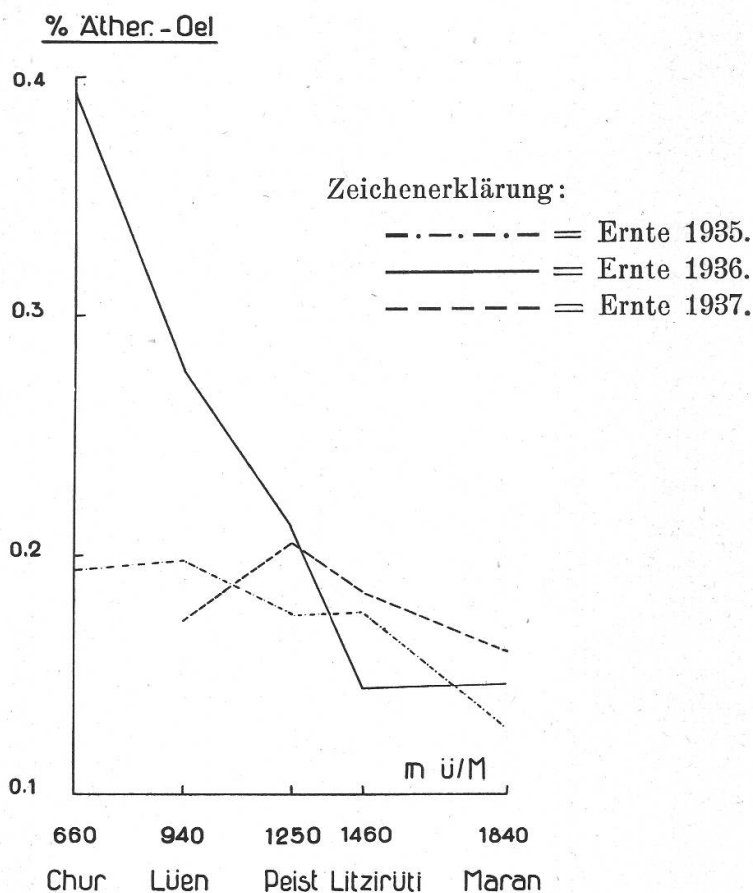


Abbildung 7.

Die Kurven bieten auf den ersten Blick ein recht divergierendes Bild. Währenddem der Ätherisch-Ölgehalt im Jahre 1935 von Chur bis Arosa von 0,194 % auf 0,128 % abfällt, tritt im Jahre 1936 zwischen beiden Stationen ein bedeutend grösserer Gehaltsunterschied auf: Einem Werte von 0,393 % in Chur steht ein solcher von 0,146 % in Arosa gegenüber. Es mag dies daran liegen, dass die Ernte des Jahres 1935 nicht sofort untersucht werden konnte, da wir bis Mitte Winter 1935/36 noch mit der Prüfung der Bestimmungsmethode beschäftigt waren. Die nächstfolgende Ernte gelangte hingegen bereits im Herbst zur Bestimmung. Dadurch wurden Verluste, die beim Lagern eintreten, auf das Mindestmass herabgesetzt.

Die letzte Versuchsserie aus dem Jahre 1937 zeigt sodann auffallend hohe Werte für Peist und Litzirüti, was mit der ausnehmend guten Entwicklung der Achilleaexemplare auf diesen Stationen in Zusammenhang zu bringen ist. In Litzirüti standen zum Beispiel bis 80 cm hohe, schön entwickelte und reichlich blühende Triebe, wogegen die Lüener Versuchspflanzen — im Gegensatz zu früheren Jahren — in Wachstum und Blütenreichtum etwas zurückfielen. Einzig in Arosamaran war die Achillea während allen drei Vegetationsperioden sehr klein geblieben und hatte nur spärlich Blütentriebe ausgebildet.

In den Kurven der Abbildung 7 kommt also trotz scheinbarer Gegensätze doch deutlich die Tendenz zur Gehaltsverminderung in den höheren Lagen zum Ausdruck. Wir werden nun noch sehen, wie sich die Blütendroge von Achillea Millefolium in dieser Beziehung verhält :

3. Flos Achilleae Millefolii.

Bei der Ernte der Achilleablüten waren nur rotblühende Köpfchen berücksichtigt worden, da auf den höher gelegenen Stationen keine weissen mehr vorhanden waren. Es hatte sich nämlich im Verlaufe der Versuche gezeigt, dass die Pflanzen, die ursprünglich weissblütig waren, im Hochgebirgsklima eine Veränderung in der Blütenfarbe vornahmen, in dem Sinne, dass sie auf den höher gelegenen Stationen nicht mehr weisse, sondern vorwiegend rosafarbene Dolden bildeten.

Die nachfolgenden Ergebnisse stammen von einem Blütenmaterial, das im Verlaufe der Vegetationsperiode 1936 eingesammelt wurde :

Analysenergebnisse :

	Gehalt an ätherischem Öl
Chur	0,376 %
Lüen	0,271 %
Peist	0,219 %
Litzirüti	0,246 %
Maran	0,200 %

Graphische Darstellung :

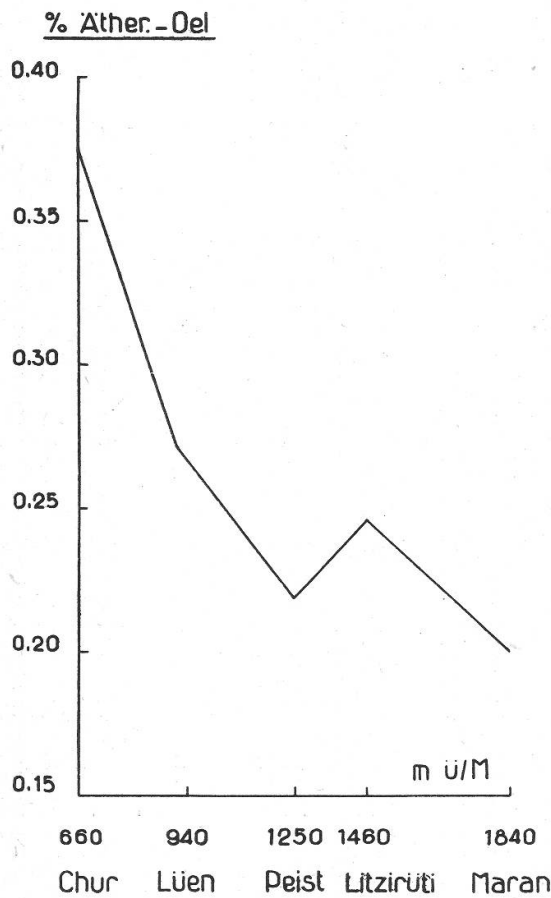


Abbildung 8.

Wie die Kurve deutlich zum Ausdruck bringt, fällt der Ätherisch-Ölgehalt der Blüten ebenfalls von Chur bis Arosa ganz wesentlich ab. Ein Vergleich mit der Blatternte von 1936 (in Abb. 7) lehrt uns ferner, dass der Ätherisch-Ölgehalt in Blatt und Blüten von Achillea Millefolium ungefähr derselbe ist.

4. Fructus Carvi.

Von Carum Carvi gelangten in den Jahren 1936 und 1937 je eine Serie von Früchteernten zur Untersuchung. Der Übersichtlichkeit wegen sind die Resultate in zwei Tabellen nebeneinander aufgeführt :

Analysenergebnisse :	1936	1937
	Ölgehalt	Ölgehalt
Chur	3,24 %	keine Ernte
Lüen	2,02 %	2,88 %
Peist	2,35 %	3,32 %
Litzirüti	1,62 %	3,20 %
Arosa	1,64 %	2,31 %

Graphische Darstellung :

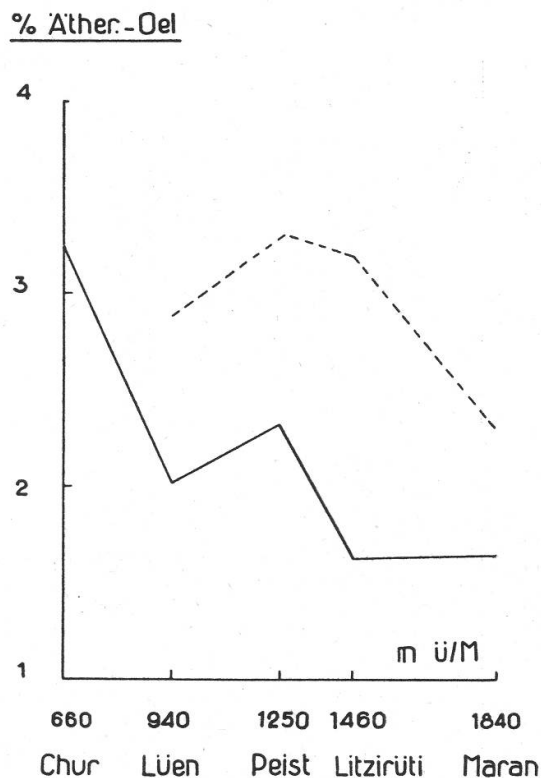


Abbildung 9.

Zeichenerklärung: ————— = Ernte 1936.
 - - - - - = Ernte 1937.

Die in Mitteleuropa vor allem in Berglagen heimische Arzneipflanze *Carum Carvi* erfährt, wie an Hand beider Kurven belegt werden kann, mit Zunahme der Seehöhe von 1200 m an eine ganz auffällige Gehaltseinbusse an ätherischem Öl. Warum Lüen stets kleinere Werte als Peist aufweist, ist uns unerklärlich; auf jeden Fall standen die *Carum*-Pflanzen in Lüen in Wachstum und Entwicklung den in Peist gewachsenen in keiner Weise nach. Die in Litzirüti und Arosa angepflanzten *Carum*-Stöcke waren hingegen im Verhältnis zu den übrigen viel kleinwüchsiger geblieben und hatten wesentlich geringere Ernten gebracht.

Als weitere Qualitätsprüfung hatten wir für *Fructus Carvi* noch die Bestimmung der Kornzahl pro 1 g Gewicht durchgeführt und gefunden, dass Ölgehalt und Kornzahl auffallend parallel gehen. Zur Veranschaulichung dieses Sachverhaltes möge die nachfolgende Übersicht dienen :

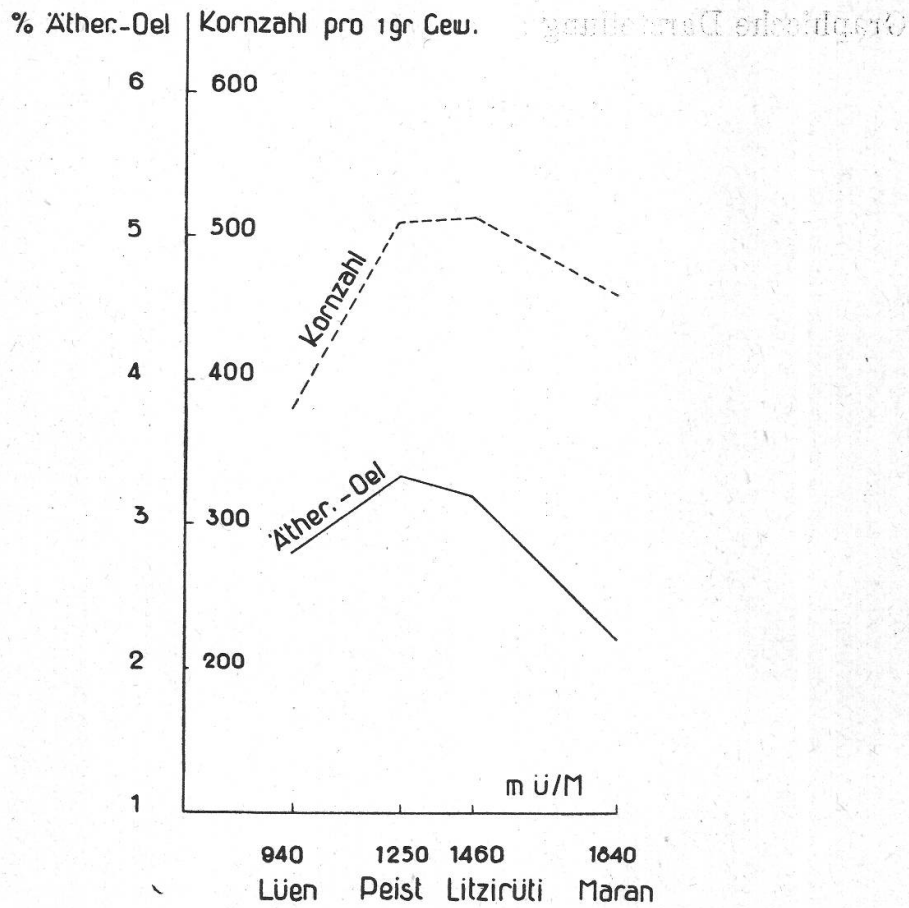


Abbildung 10.

Aus der Abbildung 10 erhält man gleichzeitig einen Begriff von den Beziehungen, die zwischen Ölgehalt und Korngrösse bestehen, indem Körner, die in einer geringeren Zahl das Grammgewicht erreichen und demnach gross sind, einen kleineren prozentualen Ölgehalt aufweisen als solche, die klein sind.

5. Fructus Petroselini.

Ganz analog zu *Fructus Carvi* verhält sich die zweite Umbelliferenfrucht, die wir untersuchten: *Fructus Petroselinii*. Trotzdem hier nur Resultate aus den tiefer gelegenen Stationen Chur, Lüen und Peist vorliegen, besagen diese deutlich genug, in welchem Sinne sich der Ölgehalt der Droge mit steigender Meereshöhe verändert:

Analysergebnisse:	1936	1937
	Ölgehalt	Ölgehalt
Chur	4,09 %	5,23 %
Lüen	3,30 %	3,91 %
Peist	1,84 %	keine Ernte
Litzirüti	keine Ernte	keine Ernte
Arosa	keine Ernte	keine Ernte

Graphische Darstellung :

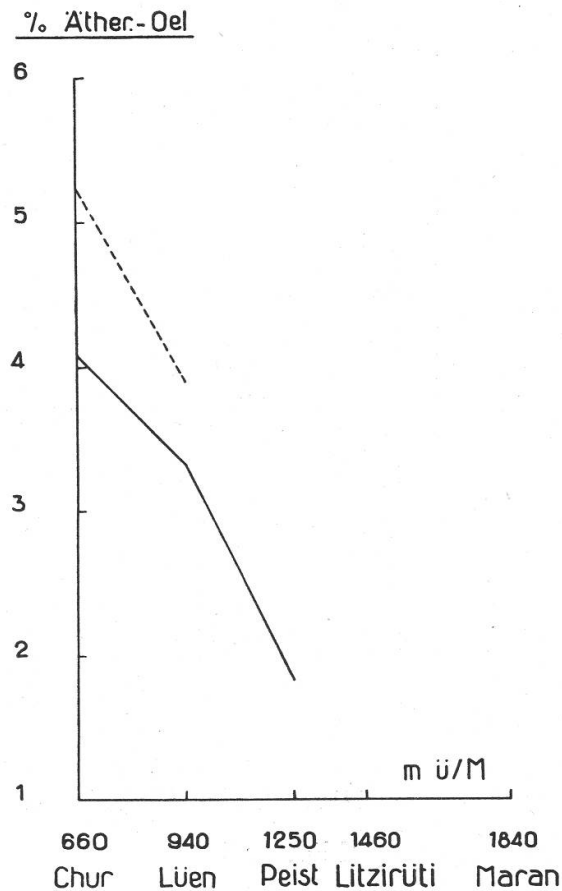


Abbildung 11.

Zeichenerklärung: ————— = Ernte 1936.
 - - - - - = Ernte 1937.

Vermutlich bilden die obigen Kurven nur den absteigenden Teil einer Optimum-Kurve, die schon viel tiefer ihr Maximum erreicht. Bioklimatische Untersuchungen an *Petroselinum hortense* müssen sich deshalb auch auf tiefergelegene Stationen erstrecken, was leider in unserem Untersuchungsgebiet nicht möglich war.

6. Folium Petroselini.

Dank dem relativ hohen Ätherisch-Ögehalt, den das Kraut von *Petroselinum hortense* aufweist, war eine Blatternte an dieser Pflanze in hohem Masse geeignet, für den Ausfall der Früchteernten in die Lücke zu treten. Sie vermittelt denn auch zu den Stoffwechselfvorgängen, die in dieser Pflanze stattfinden, zum mindesten ein ebenso genaues Bild, wie es die Früchteernte zu geben vermag.

Analysenergebnisse :

	1936
	Gehalt an ätherischem Öl
Chur	0,585 %
Lüen	0,411 %
Peist	0,483 %
Litzirüti	0,381 %
Arosa-Maran	0,322 %

Graphische Darstellung :

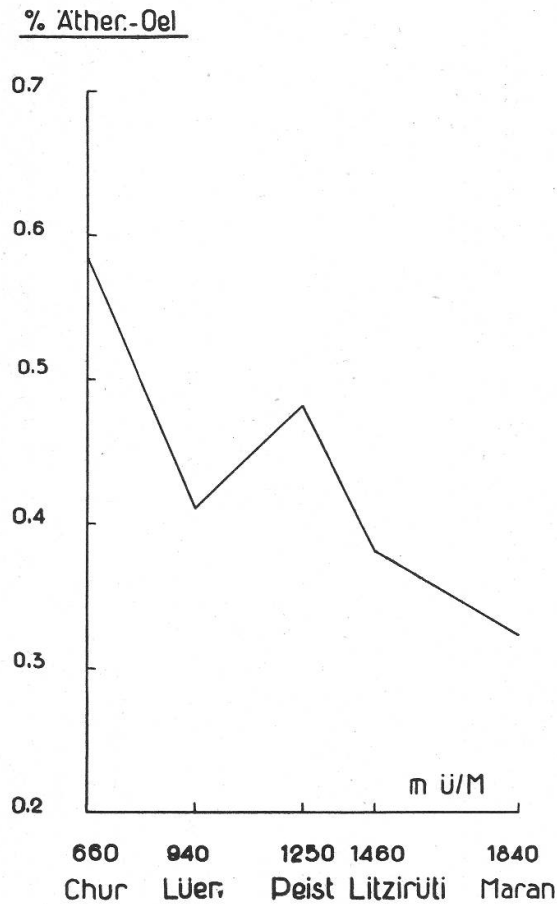


Abbildung 12.

Die Kurve der zur Blütezeit geernteten Petersilienblätter zeigt im wesentlichen denselben Verlauf, wie wir ihn schon bei den Früchteernten beobachten konnten. Dadurch wird auf alle Fälle die Abnahme des Ätherisch-Ölgehaltes für *Petroselinum hortense* in den höheren Lagen, wie sie schon Meyer feststellen konnte, erneut unter Beweis gestellt.

B. Alkaloid-Droge.

7. Herba Lobeliae.

Als einzige Alkaloidpflanze musste die *Lobelia inflata* in besonderem Masse unser Interesse in Anspruch nehmen, denn bisher war nur der Akonit folgerichtig auf sein Verhalten im Gebirgsklima geprüft worden. Es sei hier gleich vorweggenommen, dass *Lobelia inflata* sich

für unsere Versuche sehr gut bewährte, indem sie selbst auf den höchstgelegenen Stationen zum Blühen kam.

Analysenergebnisse :

	1936 Alkaloidgehalt
Chur	—
Lüen	0,431 %
Peist	0,406 %
Litzirüti	0,362 %
Arosa	0,351 %

Graphische Darstellung :

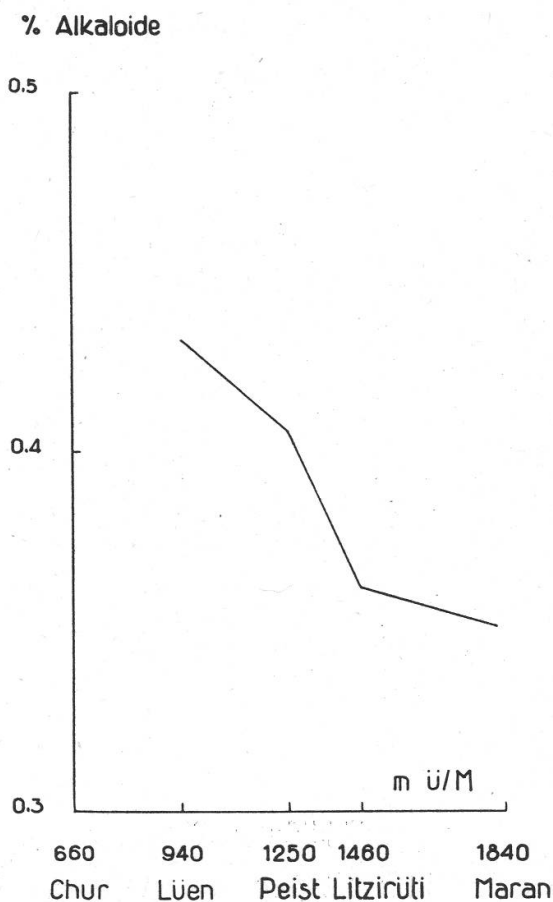


Abbildung 13.

Aus der vorliegenden Abbildung ist deutlich ersichtlich, dass auch in der Alkaloidpflanze *Lobelia inflata* der Wirkstoffgehalt mit steigender Meereshöhe abnimmt. Die Gehaltsdifferenz zwischen der höchsten und der tiefsten Station (Arosa und Lüen) ist aber im Vergleich zu den Gehaltsunterschieden, die bei den Ätherisch-Ölpflanzen gefunden wurden, auffallend gering. Dies steht in einer gewissen Übereinstimmung mit den Befunden von Meyer, der — wie wir — eine Abnahme mit steigender Höhenlage konstatierte, jedoch die Differenzen ebenfalls gering fand.

C. Glucosid-Droge.

8. Radix Gentianae.

Auf Grund der im allgemeinen Teil gemachten Überlegungen war von *Radix Gentianae* zum vornherein ein gegenüber den übrigen Versuchspflanzen verschiedenes Verhalten zu erwarten. Man konnte aber dennoch im Zweifel sein, wie sich das Hochgebirgsklima auf den Wirkstoffgehalt des Enzians auswirken würde, weil Glucosidpflanzen auf klimatische Einflüsse sehr verschieden reagieren.

Entsprechend den zwei Methoden, Stabilisation oder Fermentation, die bei der Gewinnung der Drogen angewandt wurden, sind die Resultate in zwei gesonderten Gruppen zusammengestellt.

1. Stabilisierte Drogen.

Analysergebnisse :	1936	1937
	Bitterzahl	Bitterzahl
Chur	670	—
Lüen	820	930
Peist	1000	1600
Litzirüti	1250	2000
Arosa	1350	2440

Graphische Darstellung :

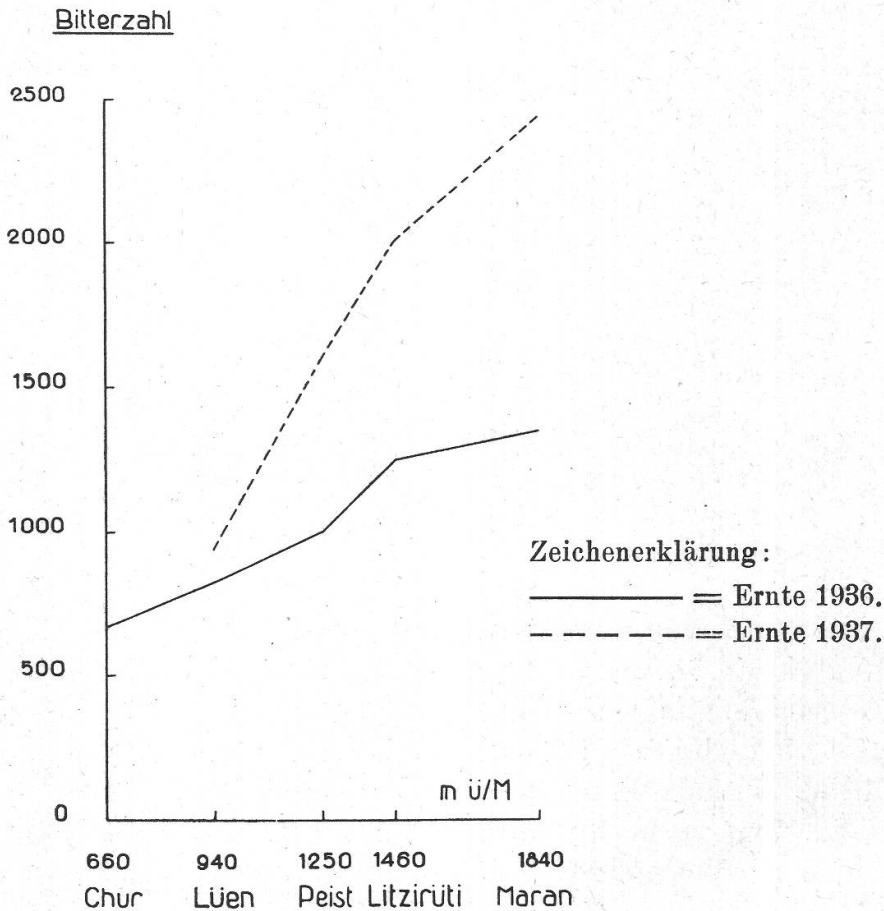


Abbildung 14.

2. Fermentierte Droge.

Analysenergebnisse :

	1937 Bitterzahl
Chur	—
Lüen	1628
Peist	2500
Litzirüti	2580
Arosa	4190

Graphische Darstellung :

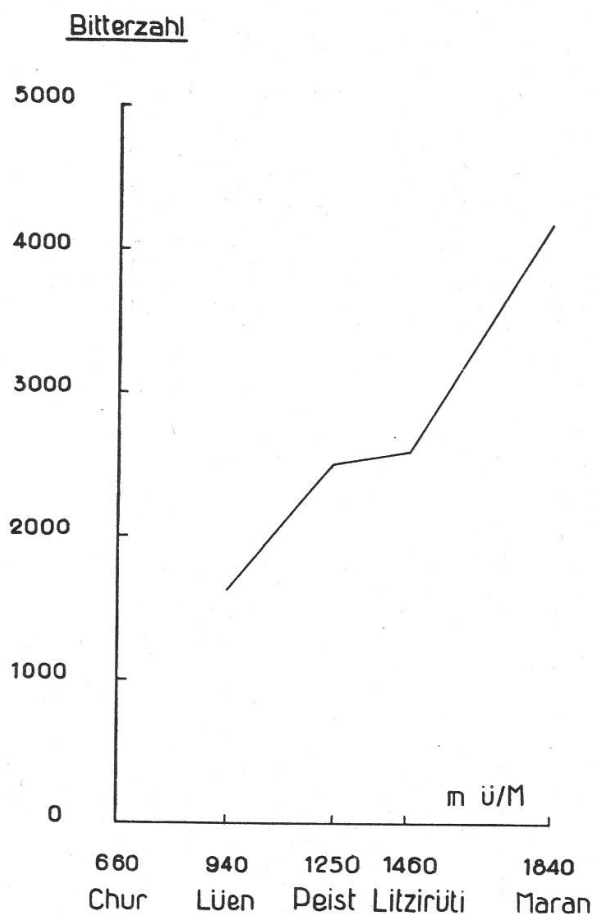


Abbildung 15.

Wie sowohl aus den Kurven der stabilisierten als auch der fermentierten Enzianwurzel hervorgeht, wird der Wirkstoffgehalt in *Radix Gentianae* im Gegensatz zu allen bisher besprochenen Drogen im Hochgebirgsklima erhöht. Diese Feststellung ist namentlich deswegen von Bedeutung, weil damit die früher schon geäußerte Ansicht vom vermutlich günstigen Einfluss des alpinen Strahlungsklimas auf den Glucosidgehalt eine experimentelle Begründung erhält.

9. Sichtung der Resultate.

Überblicken wir die Resultate der von uns untersuchten Arzneipflanzen, so stellen wir fest, dass der Wirkstoffgehalt:

1. bei sämtlichen Ätherisch-Öl-Pflanzen in den typisch alpinen Höhenlagen, d. h. über 900—1200 m Höhe abnimmt;
2. bei der Alkaloidpflanze *Lobelia inflata* mit steigender Meereshöhe von 900—1800 m ü. M. sich ständig verringert, und
3. bei der Glucosidpflanze *Gentiana lutea* mit zunehmender Höhe eine Vermehrung erfährt.

Weiterhin lassen sich in den Kurven der Ätherisch-Öl-Blattdrogen — zum mindesten von *Folium Menthae* und *Folium Achilleae* — gewisse gemeinsame Züge erkennen, die darauf hinweisen, dass der Gehalt an ätherischem Öl nicht parallel mit zunehmender Meereshöhe abfällt, sondern dass er zunächst bis auf mittlere Lagen von 900—1200 m eine Steigerung erfahren kann. Bei *Flos Achilleae*, *Fructus Carvi*, *Fructus Petroselinii* und *Folium Petroselinii* ist hingegen die Korrelation zwischen Höhenlage und Abnahme des Wirkstoffgehaltes ausgeprägter, obschon auch hier noch hin und wieder geringere Abweichungen vom Gesamtverlauf auftreten. Der Sinn aller Kurven spricht aber eindeutig für eine Herabminderung des Ätherisch-Öl-Gehaltes im typisch alpinen Klima, d. h. in Höhen über 1200 m ü. M.

Für die Alkaloidpflanze *Lobelia inflata* ist das auf S. 310 Gesagte zu wiederholen, wonach der gehaltsvermindernde Einfluss des alpinen Klimas auf die beiden Alkaloidpflanzen *Aconitum Napellus* und *Lobelia inflata* schwächer zu sein scheint, als dies bei den Ätherisch-Öldrogen der Fall ist.

Schliesslich nimmt die einzige Glucosidpflanze, die wir untersuchen konnten, eine von den übrigen Versuchspflanzen grundsätzlich verschiedene Stellung ein, indem sich bei ihr der Wirkstoffgehalt mit steigender Meereshöhe vermehrt.

IX. Diskussion der Resultate.

Wenn im Anschluss an die Auseinandersetzung der Stoffwechselfragen im allgemeinen Teil schon ausdrücklich bemerkt wurde, dass vom alpinen Klima für den N-Stoffwechsel und seine Neben- und Zwischenprodukte, die ätherischen Öle und die Alkaloide, keine fördernde Beeinflussung zu erwarten sei, so sind wir nun in der Lage, die Erfüllung dieser Vermutungen wenigstens für die von uns geprüften Arzneipflanzen bestätigen zu können. Auch was über den mutmasslichen Einfluss

auf den Glucosidgehalt gesagt wurde, hat sich, wie das Beispiel der *Gentiana* zeigt, als richtig erwiesen.

Man wird sich nun fragen, welche Klimafaktoren die Verantwortung für die Vermehrung oder Verminderung des Wirkstoffgehaltes tragen. Dazu ist zu sagen, dass, wenn auch die Lokalklimata der einzelnen Versuchsstationen genauestens durchgemessen worden wären, die konstatierten Beeinflussungen des Wirkstoffgehaltes niemals mit Sicherheit dem einen odern andern Klimafaktor zugeschrieben werden könnten. Derartige Einzelfaktoren-Analysen können, wie übrigens schon früher erwähnt wurde, unmöglich mit Freilandversuchen durchgeführt werden; es gibt dafür keinen andern Weg als die Anordnung der Versuche in einem Gewächshaus, in dem nach Belieben ein Klimafaktor variiert und alle andern absolut konstant gehalten werden können.

Immerhin dürften wir mit der Annahme kaum fehlgehen, dass die Temperaturerniedrigung im Gebirge hauptsächlich an der Verminderung des Wirkstoffgehaltes in Ätherisch-Öl- und Alkaloidpflanzen schuld ist. Beide Wirkstoffe entstammen dem N-Stoffwechsel, und da dieser, wie aus der Pflanzenphysiologie bekannt ist, stark von der Temperatur abhängt, in dem Sinne, dass er bei niederen Temperaturen langsamer, bei höheren intensiver verläuft, so ist es durchaus denkbar, dass das kältere Gebirgsklima eine Verflachung des N-Stoffwechsels und damit auch eine Herabsetzung der dabei auftretenden Nebenprodukte wie ätherische Öle und Alkaloide mit sich bringt. Weil der N-Stoffwechsel von der U.V.-Strahlung weitgehend unabhängig ist — er läuft ja ohne Zutun des Chlorophylls ab — so vermag das intensivere alpine Strahlungsklima die hemmende Wirkung der tieferen Temperaturen nicht zu kompensieren.

Für die im Gebirge vermehrte Glucosidbildung in *Gentiana lutea* ist nun im Gegensatz dazu das stärkere Lichtklima der Alpen verantwortlich zu machen. Wir wissen, wie eng die Glucosidbildung mit dem Kohlehydratstoffwechsel verknüpft ist; ferner ist durch eine Reihe von Versuchen sichergestellt, dass intensivere U.V.-Strahlung eine Intensivierung des Kohlehydratstoffwechsels bedingt. Wenn daher mit steigender Höhenlage die Strahlung zunimmt, so ist es sehr naheliegend, wie die vermehrte Glucosidbildung im Gebirge erklärt werden kann. — Von den übrigen Klimafaktoren lässt sich zur Zeit noch nicht entscheiden, wie sie die Glucosidbildung zu beeinflussen vermögen. Jedenfalls kann von einer Überkompensation des Lichtklimas durch andere Faktoren nicht die Rede sein.

Weiter zu gehen und aus einzelnen klimatischen Daten etwas auf den Wirkstoffgehalt ableiten zu wollen, würde jedoch zu ganz falschen Ergebnissen führen. Wir können, solange der Beeinflussungsmechanismus nicht genauer bekannt ist, nur die Wirkung des Gesamtklimas beurteilen, und auch hier dürfen wir wiederum nicht in den Fehler ver-

fallen, dass wir die Meereshöhe zu sehr überschätzen, sondern es sind immer die lokalbedingten klimatischen Einflüsse mit in Betracht zu ziehen.

Verfolgen wir zum Beispiel den Verlauf der Kurven bei *Folium Menthae piperitae* auf den Seiten 298 und 299 oder bei *Folium Achilleae* auf Seite 303, so treffen wir wiederholt in Lünen und Peist Höchstwerte an, währenddem die Churer Versuchspflanzen niederere Gehalte aufweisen. Für die Erklärung dieser Erscheinung bestehen nur zwei Möglichkeiten: Entweder weist Chur wegen seinen ständigen Windbewegungen ein für die Bildung der ätherischen Öle ungünstigeres Klima auf (trockenere Erde bei gleichzeitig erhöhter Transpiration), oder, was auch wahrscheinlich ist, nehmen die Wirkstoffgehalte der Ätherisch-Ölpflanzen prinzipiell immer zuerst bis zu einer gewissen Meereshöhe zu, um dann in höheren Lagen wieder abzusinken. Für diese These sprechen nicht nur die Maximalwerte von Lünen, sondern in einzelnen Fällen auch die noch über die Resultate von Chur und Lünen hinausgehenden Gehalte von Peist. Restlos abklären liesse sich dieser Sachverhalt allerdings nur dann, wenn das Untersuchungsgebiet auf noch tiefere Lagen als 600 m ausgedehnt würde.

Bei den übrigen Ätherisch-Öldrogen, wie zum Beispiel *Flos Achilleae*, *Fructus Carvi*, *Folium Petroselinii* fallen die Kurven von Chur bis Arosa hingegen fast ununterbrochen ab, und wenn gelegentlich noch Nebenoptima auftreten, so vermögen diese am Sinn der Gehaltsbeeinflussung nichts zu ändern. Hier ist also überall der Schluss angängig, dass der Ätherisch-Ölgehalt von 660 m an gleichzeitig mit der Meereshöhe abnimmt. Wie es scheinen möchte, liegt darin ein Widerspruch zu dem vorhin Gesagten. Es ist aber immerhin zu bedenken, dass die betreffenden Pflanzen ihr Gehaltsoptimum vielleicht schon in 660 m Höhe oder noch tiefer aufwiesen und deshalb jetzt nur noch sinkende Werte verzeichnen. In diesem Falle müssten wir in den oben genannten Kurven den absteigenden Teil einer Optimumkurve sehen.

Gegen die hier geäußerte Auffassung sind allerdings Einwände möglich, und wir stellen deshalb auch ausdrücklich fest, dass wir sie lediglich als theoretische Überlegung bewertet sehen möchten. Letzten Endes wird auch hier nur der praktische Versuch eine Entscheidung bringen können.

Aus welchem Grunde der Wirkstoffgehalt der Alkaloidpflanzen viel weniger auf klimatische Einflüsse reagiert, als derjenige der Ätherisch-Ölpflanzen, lässt sich an Hand unserer derzeitigen pflanzenchemischen Kenntnisse nicht beantworten. Ob darin ein Unterschied in der Stellung zum N-Stoffwechsel zum Ausdruck kommt, in dem Sinne, dass die Alkaloide Zwischen-, die ätherischen Öle dagegen Endprodukte desselben darstellen, ist unter Umständen denkbar, aber noch keineswegs erwiesen. Wie andere Beispiele zeigen, kann der Alkaloidgehalt immerhin

Schwankungen erleiden, wenn auch eine Beeinflussung weniger von seiten des Klimas, als vom Nährstoffgehalt des Bodens beobachtet worden ist.

Allgemein haben die bisherigen Resultate gezeigt, dass man nicht zum vornherein sagen kann, eine im alpinen Klima gewachsene Arzneipflanze sei reicher an Wirkstoffen, als eine in der Ebene gewachsene. Im Gegenteil werden eine ganze Anzahl von Pflanzen besonders in den Lagen über 1000—1200 m in ihrem Wirkstoffgehalt nachteilig beeinflusst. Andererseits zeigt gerade das Beispiel der *Gentiana*, dass auch eine erhebliche Steigerung des Wirkstoffgehaltes eintreten kann. Im ganzen beweisen diese Untersuchungen ferner, wie komplex die natürlichen Verhältnisse sind, die man beim Arzneipflanzenanbau berücksichtigen muss. Es wird noch einer langen Reihe von Untersuchungen bedürfen, bis auch diese so einfach scheinende Frage der Beeinflussung der Arzneipflanzen durch das alpine Klima für die wesentlichsten Drogenpflanzen abgeklärt ist.

X. Schlüsse auf den praktischen Arzneipflanzenanbau im Gebirge.

Aus den vorliegenden Analysenergebnissen, sowie aus den beobachteten Gehaltsveränderungen lassen sich nur dann einigermaßen verwertbare Rückschlüsse auf den praktischen Arzneipflanzenanbau im Gebirge ziehen, wenn auch die Erfahrungen, die anlässlich der Durchführung der Versuche gemacht worden sind, mit in Betracht gezogen werden. Hauptsächlich betrifft dies das Wachstum der Pflanzen und die Ernteerträge, von denen in hohem Masse der Erfolg des erwerbsmässigen Anbaues abhängt. Es können aber, wie schon früher betont wurde, auf Grund von Kleinversuchen keine Berechnungen angestellt werden, sondern es sind höchstens Vorschläge möglich, bis in welche Höhenlage mit einiger Aussicht angebaut werden kann.

Verfolgen wir einmal die Verhältnisse bei *Mentha piperita*: Als Blattdroge liefernde Pflanze musste diese sowieso in den alpinen Lagen, wo das Wachstum gehemmt wird, kleinere Ernten ergeben als in der Ebene. Es wäre aber bei einem eventuellen Mehrgehalt an ätherischem Öl ein Ausgleich eingetreten, der den Anbau im Gebirge dennoch aussichtsreich gestaltet hätte, besonders wenn die Droge auf ätherisches Öl verarbeitet worden wäre. Im Moment, wo aber der Gehalt gleichzeitig mit dem Wachstum von zirka 1200 m Höhe an stark abfällt, dürfte es schwer fallen, aus Kulturen in so hohen Lagen wie Litzirüti und Arosa Nutzen zu ziehen. Wie uns die Versuche lehrten, wären in Litzirüti und Arosa nur eine einmalige Ernte im Herbst, in Chur, Lünen und Peist dagegen zwei bis drei Ernten im Verlauf des Sommers möglich gewesen. Dies ist unseres Erachtens ein deutlicher Fingerzeig, dass mit der Menthakultur nicht höher als bis etwa 1300—1400 m über Meer oder

im allgemeinen nicht über die Grenzen des Obstbaues gegangen werden darf.

Von allen übrigen Ätherisch-Öldrogen ist ungefähr dasselbe zu sagen, setzt doch das Hochgebirgsklima bei sämtlichen von uns untersuchten Ätherisch-Ölpflanzen nicht nur den Wirkstoffgehalt, sondern gleichzeitig auch die Ernteerträge ganz erheblich herab. Sogar die in den Alpen vorwiegend verbreitete Pflanze *Carum Carvi* würde unter günstigsten Bedingungen in höheren Lagen pro Flächeneinheit kaum die Hälfte der Drogenmenge ergeben, die im Tiefland erzielt werden kann. Der wachstumshemmende Einfluss des Gebirgsklimas macht sich allerdings bei *Carum Carvi* erst von einer durchschnittlichen Höhe von 1300 m an in verstärktem Masse bemerkbar, so dass in mittleren Lagen bis zu etwa 1200 m über Meer noch mit ansehnlichen Kümmelernten von gutem Ätherisch-Ölgehalt gerechnet werden darf. Hingegen wird sich *Petroselinum hortense* selbst in Höhen von 900—1200 m kaum mehr für den Anbau zur Fruchtgewinnung eignen, da die Früchte hier vielfach nur mit Mühe zur Reife gelangen (wie zum Beispiel in Peist). Es empfiehlt sich denn auch, für den Arzneipflanzenanbau im alpinen Gebiete keine Früchtedrogen, sondern vor allem Kraut- oder Blattdrogen zu verwenden, damit eine Ernte zum vornherein sichergestellt ist.

Bei der Alkaloidpflanze *Lobelia inflata* nimmt der Wirkstoffgehalt mit steigender Meereshöhe zwar ebenfalls ab; er bleibt aber auf allen Stationen — auch auf den höchstgelegenen — über dem vom Arzneibuch geforderten Mindestwert. Den begrenzenden Faktor spielt in diesem Falle lediglich die Wachstumsverminderung, die in der alpinen Stufe ziemlich ausgeprägt in Erscheinung tritt. Nach unserem Dafürhalten dürften von dieser Pflanze in Seehöhen über 1200—1300 m kaum mehr hinreichende Ernten zu erwarten sein, es sei denn, dass der Anbau unter ganz besonders günstigen Bedingungen erfolgt.

Nicht einmal die *Gentiana lutea*, die doch als typisch alpine Pflanze zu bewerten ist, weist in alpinen Regionen annähernd das rasche Wachstum der Wurzeln auf, wie es in der Ebene gezogene Stöcke verzeichnen. Es handelt sich hier allerdings mehr um einen Unterschied in der Wachstumsgeschwindigkeit, als um Unterschiede in der endgültigen Grösse, denn die Pflanze wächst ja auch im alpinen Gebiete im Lauf der Jahre zu kräftigen Exemplaren heran. — Weil der gelbe Enzian für den gewerblichen Anbau im Gebirge schwerlich in Frage kommt, hat die bei ihm beobachtete Zunahme der Glucosidbildung weniger praktischen, als vorwiegend theoretischen Wert. Man wird daraus für andere, für die Kultur besser geeignete Glucosidpflanzen den Analogieschluss ziehen, dass der Wirkstoffgehalt auch bei ihnen in den Alpen eventuell im günstigen Sinne beeinflusst werden könnte. Immerhin sind bei den meisten Species die Beweise hierfür erst noch zu erbringen.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass der Arzneipflanzenanbau im Gebirge bis in eine der Höhenstufe 1400 m im Schanfigg entsprechende Lage sicher vollwertige, wenn auch nicht bessere Drogen hervorbringen vermöchte. Die ausgesprochen alpine Region über 1400 m bietet dagegen vielen aus der Ebene stammenden Medizinalpflanzen nicht die klimatischen Voraussetzungen, die sie zu ihrer Entwicklung benötigen. Übrigens ist die Anbaufläche der in der Schweiz einigermaßen eine Rendite versprechenden Heilpflanzen nach den Berechnungen von Fachleuten auf zirka zweihundert Hektaren beschränkt, so dass sie in den vielen Berggemeinden, die auf die Höhen bis zu 1400 m verteilt sind, genügend Platz finden würde.

Auf die vielen, den praktischen Arzneipflanzenbau angehenden Fragen geben die Erfahrungen, die im Tiefland mit der Drogengewinnung gemacht worden sind, Auskunft. Es erübrigt sich deshalb, hier näher darauf einzutreten. Hingegen sei doch kurz erwähnt, dass sich, so wie die Verhältnisse heute liegen, auf die Heilpflanzengewinnung kein selbständiges Unternehmen aufbauen lässt. Als Betriebsform kommt lediglich der Nebenbetrieb im kleinbäuerlichen Gewerbe in Frage. Zu diesem Zwecke muss der Anbau nach Talschaften gut durchorganisiert sein, damit eventuell nötige Aufbereitungsanlagen gemeinsam benützt und so rationell verwertet werden können. Es hängt natürlich sehr vieles von der Geschicklichkeit und vom Organisations-talent der Produzenten ab, denn der Reinertrag richtet sich nicht nur nach den Marktpreisen, sondern auch in hohem Masse nach den Arbeitslöhnen, dem Bodenzins und den Versandkosten.

Abschliessend ist zu sagen, dass der Heilpflanzenanbau im Gebirge sowohl aus volkswirtschaftlichen als auch aus nationalen Gründen erwünscht ist.

XI. Zusammenfassung.

1. Es wird eine Übersicht über die Unterschiede zwischen Hochgebirgsklima und Tieflandklima gegeben.
2. Es wird auf Grund der bisher bekannt gewordenen bioklimatischen Untersuchungen, sowie vom Stande der heutigen Kenntnisse der Pflanzenphysiologie und der Pflanzenchemie aus der mutmassliche Einfluss des Hochgebirgsklimas auf den Wirkstoffgehalt der Ätherisch-Ölpflanzen, der Alkaloidpflanzen und der Glucosidpflanzen theoretisch erörtert.
3. Es werden an der Zäch'schen Ätherisch-Öl-Bestimmungsmethode Verbesserungen angebracht (Apparatur, Kochsalzzusatz zur Destillierflüssigkeit, Blindversuche) und für *Oleum Carvi e fructu*,

Oleum Petroselini e fructu und *Oleum Chamomillae* die Oxydationsfaktoren bestimmt.

4. Wir stellen an Hand von zahlreichen Wirkstoffbestimmungen fest, dass das Hochgebirgsklima auf die
Ätherisch-Ölpflanzen *Mentha piperita*, *Achillea Millefolium*, *Carum Carvi*, *Petroselinum hortense* sowie auf die Alkaloidpflanze *Lobelia inflata*
gehaltserniedrigend wirkt, auf die Glucosidpflanze *Gentiana lutea* dagegen einen
gehaltserhöhenden Einfluss ausübt.
5. ziehen wir aus den gefundenen Veränderungen des Wirkstoffgehaltes, sowie aus den beim Anbau beobachteten Wachstumserscheinungen Rückschlüsse auf den praktischen Arzneipflanzenanbau im Gebirge.

XII. Literaturverzeichnis :

1. Beausite, F.: Etude sur la teneur alcaloïdique de la belladonne cultivée. Diss. Paris (1919).
2. Briggs, L. J., und Schanz, H. L.: Journ. agric. Science **5**, 1936, S. 583.
3. Brunner, E.: Über den Alkaloidgehalt von Aconit. Nap. und Aconit. paniculat. Diss. E. T. H. Zürich (1921).
4. Dafert, O.: Der Einfluss des Tageslichtes auf den Gehalt an wirksamen Stoffen bei Digitalis. Angew. Bot. **3**, 23, Berlin (1923).
5. Doetsch, R.: Beitrag zur Kenntnis der Bildung von ätherischem Öl. Diss. E. T. H. Zürich (1937).
6. Dorno, C.: Studie über Licht und Luft des Hochgebirges. Davos (1911).
7. Goetz, W.: Das Strahlungsklima von Arosa (1926).
8. Goris, A., und Métin, M.: Variations de la teneur en alcaloïdes dans les racines d'aconit. Bull. des sc. pharm. **31**, 330 (1924).
9. Hann, J. v.: Handbuch der Klimatologie I, 3. Auflage. Stuttgart (1908).
10. Hecht, W., Himmelbaur, W., Koch, W.: Versuche über den Einfluss der Höhenlage auf Ertrag und Gehalt einiger Arzneipflanzen. Heil- und Gewürzpfl., Bd. XIV, Lief. 4 (1932).
11. — Himmelbaur, W., Koch, W.: Bioklimatische Versuche zur Erforschung der Ursachen der Gehaltsschwankungen der Arzneipflanzen. Heil- und Gewürzpfl., Bd. XVII, Lief. 2/3 (1937).
12. Henrici, M.: Chlorophyllgehalt und Kohlensäureassimilation bei Alpen- und Ebenenpflanzen. Diss. Basel (1918).
13. Himmelbaur, W., und Zwillinger, E.: Biolog.-chemische Formenkreise in der Gattung Digitalis. Biologia generalis **3** (Ref. Hecht 10).
14. Kerner, A. v.: (Zitiert in Schröter [30].)
15. Kofler, L., und Herrenschand, G. v.: Über die Bestimmung der ätherischen Öle in Drogen. Arch. d. Ph. **273**, 388 (1935).
16. — L., und Müller, E.: Einfluss von Standweite und Sammelzeit auf Rhiz. filicis. Arch. d. Ph. **268**, 644 (1930).
17. Kostytschew, S.: Lehrbuch der Pflanzenphysiologie. Bd. I und II.

18. Lüdi, W.: Über die Verdunstungsmessungen und ihre Bedeutung in der ökologischen Pflanzengeographie. *Mitteilg. der Berner Naturforsch. Gesellschaft* 1918, Bern, S. XI, und ebenda 1919, S. XIV (Ref. in Schröter [30]).
 19. Lundegårdh, H.: *Klima und Boden*. Jena (1930).
 20. Maurer, Billwiller und Hess: *Das Klima der Schweiz*, 2 Bände. (1901/10).
 21. Métin, M.: Les variations de la teneur alcaloïdique de l'Aconit Nap. *Bull. d. sc. pharm.* **33**, 197 (1926).
 22. Meyer, O.: Untersuchungen über den Einfluss der Höhenlage auf den Gehalt von Arzneipflanzen an Inhaltstoffen. *Diss. E. T. H. Zürich* (1936).
 23. Mörkifer, W.: Das Hochgebirgsklima, in Loewy: *Physiologie des Höhenklimas*, Berlin (1932).
 24. *Mitteilungen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt Zürich*.
 25. Moritz, O.: *Einführung in die Allgemeine Pharmakognosie* (1936).
 26. *Pharmacopoea Helvetica Ed. V. Bern* (1933).
 27. Senn, G.: *Verhandlg. der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft in Bern*, II, S. 154.
 28. Schanz, F.: *Ber. d. d. botan. Ges.* **36** (1918); **37** (1919), S. 430; **41** (1923), S. 165.
 29. Schenker, E.: Studien über die Bestimmung des ätherischen Öles in Alkaloidrogen und Gewürzen. *Diss. E. T. H. Zürich* (1933).
 30. Schröter, C.: *Das Pflanzenleben der Alpen*, 2. Auflage, Zürich (1923).
 31. Wasicky, R.: *Physiopharmakognosie*, Leipzig und Wien (1929).
 32. Zäch, C.: Zur Bestimmung der ätherischen Öle in Gewürzen; die Bestimmung d. äther. Öles durch Chromsäureoxydation. *Mitteilg. d. Lebensmittelunters. und Hyg.* **22**, 72 (1931), Bern.
-