

Die Stoffproduktion von Kartoffelpflanzen im Tal (600 m), im Mittelgebirge (900 m) und an der Waldgrenze (1880 m) bei Innsbruck

Verwendung des ULTRAROTABSORPTIONSSCHREIBERS zur land-
wirtschaftlichen Ertragsmessung und Bilanzberechnung

(Mit 7 Tabellen, 15 Textabbildungen und 4 Lichtbildern)

Von
Erich Winkler

Inhaltsübersicht	Seite
I. Einleitung	5
II. URAS-Meßtechnik und Methodik der Untersuchung	7
III. Die Kohlendioxyd-Assimilation von Kartoffelpflanzen	14
IV. Die CO ₂ -Assimilation von Gerste und Sonnenblume	27
V. Wasserhaushalt von Kartoffelpflanzen Transpiration von Kartoffelblättern und Sonnenblumenblättern	30
VI. Witterung und Kartoffelerträge in den Jahren 1956-1957-1958-1959.....	35
Bilanzuntersuchungen an Kartoffelpflanzen	45
Zusammenfassung	57
Anhang: Klimatabelle für Patscherkofel 1941—1958 (Vegetationsmonate) .	60

I. Einleitung

Kaum eine Universitätsstadt liegt so günstig wie Innsbruck, um die Lebenstätigkeit der Pflanzen in ihrer natürlichen Umwelt zu studieren. Aus dieser Erkenntnis heraus haben Pisek und Cartellieri im Jahrzehnt von 1931—1941 den Wasserhaushalt verschiedener Pflanzentypen und Pflanzengesellschaften umfassend untersucht. Cartellieri hat 1935—1941 Grundlegendes über die Assimilation an der Waldgrenze und in der hochalpinen Region veröffentlicht. Seither ist die experimentelle Ökologie am Innsbrucker Botanischen Institut auch in anderen Richtungen erweitert worden, wovon Pisek und Schießls Arbeit (1947) über die Frostresistenz und Larchers Arbeiten über Frosttrocknis (1957) erwähnt seien. Besonders intensive Forschung galt dem Wasserhaushalt und Kohlenstoffhaushalt der Bäume (Pisek und Tranquillini 1951 und 1954, Pisek und Winkler

1953, 1956, 1958 und 1959). Seit 1950 können ausgedehnte Assimilationsstudien am Standort und im Laboratorium mit dem Ultrarotabsorptionsschreiber gemacht werden. Dieser „URAS“ wurde von der Badischen Anilin- und Sodafabrik für die Industrie entwickelt, von Seybold, Egle und Ernst und Huber für die Pflanzenphysiologie entdeckt (1949, 1950, 1951) und in diese eingeführt. Ergänzend zu den ökologischen Stoffwechseluntersuchungen Tranquillinis an Jungzirben der Waldgrenze bestimmten wir in Laborversuchen 1953–1956 das Assimilationsvermögen und die Atmung erwachsener Fichten und Zirben der Waldgrenze und fanden gute Übereinstimmung in Aktivität und Assimilationsvermögen. Obwohl Tranquillini (1954/55) seine Messungen stets unmittelbar am Standort ausführte und wir mit abgeschnittenen, rasch ins Laboratorium gebrachten Zweigen arbeiteten, erwiesen sich beide Methoden als gleichwertig.

Wir verwenden am Botanischen Institut ein von Hartmann und Braun verbessertes Uras-Modell, das gegenüber der BASF-Apparatur mancherlei Vorteile bietet. Eine Xenon-Hochdrucklampe hat sich bei den Assimilationsversuchen als künstliche Lichtquelle sehr gut bewährt.

Im Zusammenhang mit diesen mehrjährigen Untersuchungen mußte ich mich auch eingehend mit dem Großklima an der Waldgrenze befassen. Dabei unterstützten mich freundlicherweise die Meteorologische Zentralanstalt Wien, Dr. Sauberer, das Meteorologische Institut von Innsbruck, Prof. Dr. Hoinkes, Dr. Reiter und die Flugplatzwetterdienststelle Dr. Riedel durch Beratung und Einsicht in die Monatsmeßbögen. Ich charakterisierte die Großklima-Verhältnisse an der Patscherkofel-Waldgrenze (1909 m) in den Veröffentlichungen des Museum Ferdinandeum, Innsbruck 1957 und im Jahrbuch 1959 des Vereins zum Schutz der Alpenpflanzen und -Tiere. Damit wußten wir auch über das klimatische Milieu unserer Versuchsbäume ziemlich gut Bescheid.

Prof. Dr. E. Mayr, Leiter der Landesanstalt für Pflanzenzucht und Samenprüfung in Rinn, trat 1956 mit der Frage an mich heran, ob und wie man etwa das Assimilationsvermögen von Kartoffelsorten bestimmen könnte. Ich habe mich bei meinem Instituts-Chef, Prof. Dr. A. Pisek, seit 1950 in den Fragenkomplex der ASSIMILATIONS-ÖKOLOGIE eingearbeitet. Gestützt auf mehrjährige technische Erfahrungen am Ultrarotabsorptionsschreiber, bin ich nun darangegangen, das Assimilationsvermögen zweier Kartoffelsorten mittels URAS näher zu untersuchen.

Da bisher in Österreich neben der nunmehr auf dem Patscherkofel eingerichteten alpinen Forschungsstelle (Dipl.-Ing. Dr. H. Aulitzky und Doz. Dr. W. Tranquillini) nur das Botanische Institut von Innsbruck

mit dem „URAS“ arbeitet und dem Gerät auch in der landwirtschaftlichen Ertragsforschung eine Zukunft bevorsteht, will ich in Auswertung meiner nunmehr sechsjährigen Erfahrungen am Instrument gerne angeben, wie die Untersuchung landwirtschaftlicher Objekte am URAS zweckmäßig erfolgen kann und welche Resultate bei Kartoffelstauden, Gerste und Sonnenblumen hiermit erzielt wurden.

II. URAS-Meßtechnik und Methodik der Untersuchung

Hat die Pflanze genügend Licht und Wasser zur Verfügung, so nimmt sie bekanntlich Kohlendioxyd (CO_2) aus der umgebenden Luft auf und verarbeitet es zu Kohlehydraten¹ (Gesamtphotosynthese = Brutto-Assimilation). Andererseits gibt die Pflanze ständig als Endprodukt des energiebringenden Stoffabbaues durch Atmung (Respiration) oder teilweise Gärung² CO_2 ab. Da sich im Licht beide Vorgänge überdecken, kann man nur die Differenz von Gesamtphotosynthese und Atmung bestimmen, die man am einfachsten als Netto-Assimilation bezeichnet. Das ist der momentane Reingewinn aus der Photosynthese. Heutzutage ist in allen CO_2 -Meßgeräten nur die Netto-Assimilation unmittelbar quantitativ zu erfassen. Dazu läßt man über die in einem Rezipienten liegenden Versuchspflanzen (-teile) Luft von natürlichem oder künstlich dosiertem CO_2 -Gehalt strömen. Assimilieren die Pflanzen im Licht, so verarmt die Luft an CO_2 , atmen sie in der Dunkelheit, so reichert sich die Luft an CO_2 an.

Man mißt die CO_2 -Konzentration nun alle 6 Minuten sowohl hinter dem jeweiligen Pflanzen-Rezipienten als auch in einer Parallel-Luftleitung, wobei die Differenz die jeweilige Netto-Assimilation oder Atmung angibt. Im Folgenden handelt es sich immer um Netto-Assimilation, wie üblich in mg CO_2 pro Gramm Trockenmasse und Stunde angegeben.

Bei hoher Temperatur und in schwachem Licht kann es vorkommen, daß die Atmung größer als die photosynthetische Leistungsfähigkeit wird. Dann kann nicht mehr das gesamte von der Atmung gebildete Kohlendioxyd reassimiliert werden und im Gaswechsel resultiert CO_2 -Überschuß. Die trotzdem ablaufende Assimilation verringert nur den Stoffverbrauch durch die Atmung, kann aber keinen Stoffzuwachs schaffen. Dies tritt

¹ Die Pflanzen nehmen außerdem im Bodenwasser gelöste Kohlensäure und Karbonate mit dem Transpirationsstrom aus dem Boden auf. (Härtel 1938)

² In dicken Achsenten bzw. Kartoffelknollen kommt es auch teilweise zu Gärungsprozessen. (Ziegler 1957).

häufig bei alternden grünen Sproßachsen der Kartoffelpflanzen im Hochsommer und Spätsommer auf, während grüne Sproßachsen in ihrer Jugendzeit sich im Licht über 10.000 Lux noch selbst erhalten.

Bei landwirtschaftlichen Assimilationsuntersuchungen kann man entweder mit wassergekühlten Doppelkammerküvetten und langen Zuleitungsschläuchen am Versuchsfeld arbeiten oder abgeschnittene Blätter in der Laboratoriumsanlage untersuchen. Im ersteren Fall erspart man die nicht billige Xenonlichtanlage mit Kontrolleinrichtungen, bleibt aber sehr vom Wetter abhängig — sofern man nicht eine vollständige Registrierung der Tagesleistung anstrebt. In den vergangenen Jahren hatten wir in den Sommermonaten sehr oft vergeblich auf „Klartage“ (Bewölkung unter 2) gewartet. Es gibt deren in den Hochsommermonaten im Mittel nur 2—5. Erst die Verwendung der Xenonlampe macht die Assimilationsforschung von den meist stark wechselnden Außenbedingungen unabhängig und gestattet sogar wahlweise Kombination von bestimmten Lichtstufen mit interessanten Temperaturbedingungen.

Bei der labormäßigen Untersuchung — die ohne weiteres auch in einer nahe dem Versuchsfeld gelegenen Hütte mit Strom- und Wasseranschluß erfolgen kann — muß allerdings für einwandfreien Wasserzustand des Materials gesorgt werden. Beim Versuchsfeld im Botanischen Garten war dies nicht schwer. Von den Untersuchungsfeldern in Rinn oder auf dem Patscherkofel wurden morgens ganze Pflanzen ausgegraben, am Wurzelsystem gewaschen und in Nylonsäcken verpackt, binnen 2 Stunden (per Seilbahn und Bus) ins Institut geliefert. Unter Glasglocken am Licht eingefrischt stehend, war das Material mittags stets zur Assimilationsuntersuchung am URAS in bester Kondition.

Parallelbestimmung der Assimilation an vor dem Urasraum eingegrabenen Pflanzen und an abgeschnittenen eingefrischten Blättern ergaben in voller Sonne (um 50.000 LUX) ähnlich hohe Assimilation (44—48 mg/g. h), so daß weiterhin bei der Methode der abgeschnittenen eingefrischten Blätter geblieben werden konnte. Vergleiche der maximalen Assimilationsintensität im direkten Sonnenlicht und unter der Xenonlampe bei gleicher Lichtstärke zeigten ebensolche Übereinstimmung.

Abbildung 1 stellt die seit 1957 arbeitende Anlage schematisch, von oben gesehen, dar. Sie zeigt das zentrale Wasserbad mit 4 Küvetten, den URAS-Teil mit Zubehör und den Beleuchtungsteil.

**MESSUNG von CO₂-ASSIMILATION
und ATMUNG im LABORATORIUM
mit URAS und XENON-HOCHDRUCKLAMPE.**

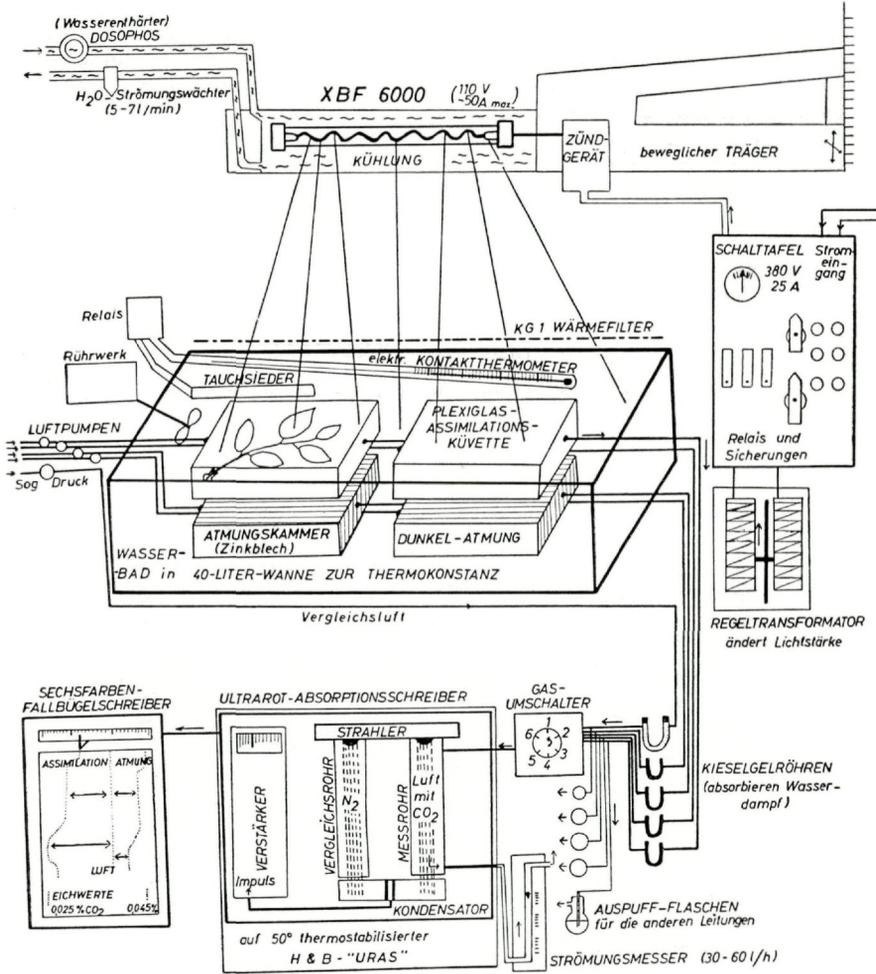


Abb. 1 Meßanlage zur automatischen Bestimmung und Registrierung von Assimilation und Atmung an abgeschnittenen Pflanzenteilen. Wannensystem mit Rezipienten, Ultrarot-Absorptionsschreiber mit Zubehör und Beleuchtungsanlage (Xenonhochdrucklampe).

Wannenanlage mit Meßkammern

Im großen, etwa 40 Liter fassenden Wasserbad, liegen 4 Meßkammern auf einem Gestell, werden von Wasser gleichmäßig umspielt und in konstanter Temperatur gehalten. Kontaktthermometer, Relais und Tauchsieder (400 Watt) lassen diese Temperatur nach Bedarf zwischen 0,3 und 40 Grad einstellen und mittels Rührwerk auf $\pm 0,1^\circ$ konstant erhalten. Zu den Kammern führen Luftzuleitungen und Ableitungen (Polyvinyl), weiterhin dient eine Luftleitung der Kontrolle des LUFT-CO₂-Gehaltes. Im Institut bewährte sich die gepufferte Luftentnahme aus einem strömungsfreien Kellerraum, der die in Innsbruck nicht seltenen Föhnampplituden glättete. Luft kann in die geschlossenen Meßküvetten gesaugt oder gedrückt werden. Wir wählten Drücken und ordneten die Pumpen vor den Küvetten in einem abgeschlossenen Raum knapp vor dem Luftkeller an. Diese Aufstellung war sehr zweckmäßig, da man damit dem auf die Dauer lästigen Lärm der 5—6 Membranpumpen entgeht und sie auch vor Atmungskohlensäure schützt. Die Meßkammern wurden mit 30 Liter Luft (pro Stunde) unter schwachem Druck durchströmt, wobei auch Vollaufen mit Wasser bei evtl. undicht gewordener Kammer vermieden wird und die Luft perlend aus Leckstellen entweicht. Die im Versuch ursprünglich durch das Pumpenfabrikat bestimmte Durchströmung reicht bei

DOPPELMANTEL-KÜVETTE

für Freiland- und Laboratoriumsversuche im Starklicht.

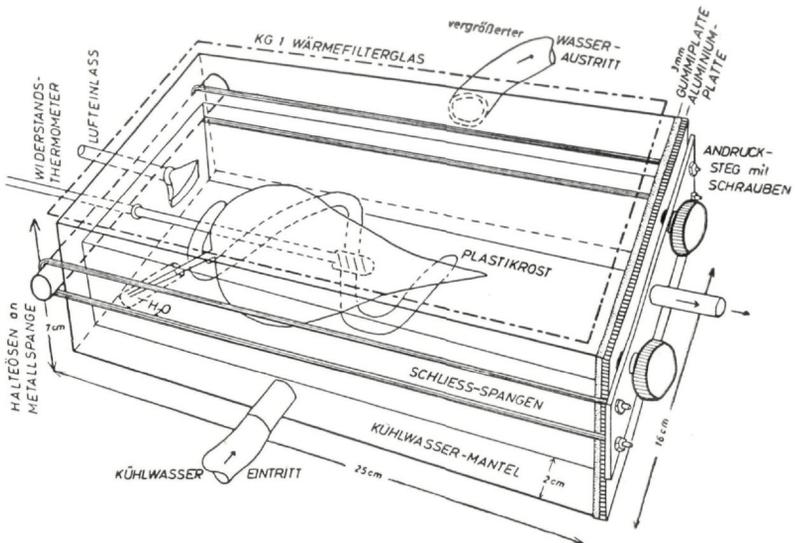


Abb. 2 Wassergekühlte Doppelmantelküvette aus Plexiglas zur Assimilationsuntersuchung im Freiland und im Laboratorium bei starkem Licht und hoher Wärmeeinstrahlung. Die Blatt-Temperatur der in Wasserröhrchen eingefrischten Blätter wird elektrisch mittels Glas-Platin-Widerstandsthermometer gemessen und registriert.

Verwendung von 200 bis 300 mg Trockensubstanz zur Voll-Assimilation der Kartoffelblätter aus, um so mehr, als die Kellerluft einen mittleren CO_2 -Gehalt von 0,037—0,038 Volumsprozent besitzt. Die im letzten Jahr beschafften Estes-Membranpumpen (Zickert-München) schaffen auch bei 20 m langen Luftzuleitungen 60 Liter in der Stunde. Dies ist für große Objekte, erwachsene Sonnenblumenblätter etc. zweckmäßig.

Seit langem gilt mein Bemühen der Entwicklung preiswerter und jahrelang haltbarer Meßküvetten. Anfangs arbeitete ich mit Küvetten aus 1 mm starkem Zinkblech. Die allseits geschlossenen Atmungskammern hatten den Vorteil, daß das in ihnen eingeschlossene Meßgut rasch die Badtemperatur annimmt, aber sie korrodieren im kohlen-säurehaltigen Wasser nach einigen Jahren besonders an den Verschlüssen des frontalen Deckels. Die Assimilationskammern hatten eine eingeklebte Glasdeckplatte, die nach einiger Zeit infolge häufigen schroffen Temperaturwechsels undicht wurde und nachgeklebt werden mußte. Die zweite Kammernserie wurde auf Grund meiner Erfahrungen aus 6 mm Plexiglas in der Größe $22 \times 9 \times 4$ cm geklebt und bewährte sich jahrelang. Nur die in den Seitenwänden befestigten Deckel-Spanner sind besser am Kammergrund zu befestigen, um Überbeanspruchungen bei zu kräftigem Verschrauben zu vermeiden.

Für Freilandversuche im vollen Sonnenlicht ließ ich eine gekühlte Kammer anfertigen, die Abbildung 2 zeigt. Um die Normal-Innenkammer liegt ein 2 cm Außenmantel, der vom Kühlwasser durchströmt wird und in Verbindung mit dem aufgelegten Wärmerfilterglas (Schott Jena, KG 1) Einstrahlungsüberwärmung über Lufttemperatur sicher vermeidet. Alle bisherigen Rezipienten kranken, besonders wenn man sie in der Sonne verwendet, an Wärmefallenwirkung. Doz. Tranquillini verwendete bei seinen ausgedehnten Untersuchungen an der Waldgrenze in Oberegurgl durch KG-1-Gläser geschützte Rundküvetten (Ber. Deutsch. Bot. Ges. 67/1954 und *Planta* 54/1959), wobei ihn allerdings geringere Lufttemperaturen und meist auftretende Luftbewegungen unterstützten. Wind herrscht ja in Waldgrenzenlagen viel häufiger und stärker als im Tal¹. In Tallagen bei mindestens 10 Grad höheren Mitteltemperaturen reicht reiner KG-1-Schutz an windruhigen Tagen nicht mehr aus. Mit Hilfe der Mantelküvette konnte ich in vollem Sonnenlicht ohne weiteres Versuche ohne Überwärmung über Lufttemperatur durchführen. Die Blattertemperatur ist sogar durch Wahl der Durchströmungsgeschwindigkeit in gewissen Grenzen regelbar.

Diese Mantelküvette bewährte sich auch unter extremen Bedingungen unter der Xenonlampe in 25—30 cm Entfernung. 65.000—70.000 Lux bei 20° C. lassen sich bei höchstem Kühlstrom (3—5 Liter/Min.) noch beherrschen. Die Mantelküvette (Abb. 2) besitzt den üblichen Kammerverschluß. Eine 3 mm Gummiplatte und der Aluminiumdeckel wird durch 2 kammerlange Seitenspannen angepreßt und durch Schrauben gespannt. Ösen in der Kammerwand verschraubt und Kurzspannen sind nach eigenen Erfahrungen wenig zweckmäßig, da die Zugspannung die Plexigumklebung der Kammerwände nach längerem Betrieb gefährdet.

Die von Bosian und Engraber beschriebene Kühlküvette mit Höpplerthermostat und Kältespeicher (Eis) ist erheblich teurer als meine vorstehend beschriebene Doppelkammerküvette, macht aber vom Wasseranschluß unabhängig (*Planta* 45, 1955).

Die Temperatur wird elektrisch gemessen und registriert. Jede Kammer enthält ein Glas-Platin-Widerstandsthermometer, dessen 2 cm langer Glaskörper einen ziemlich strahlungsfreien Platinhaardraht eingeschlossen hat (Firma Degoussa/Hanau). Dieser 50 OHM-Meßkörper liegt am Ende des basalen Blatt-Trägers in der Kammer frei und berührt in seiner ganzen Länge die dabei vor direkter Strahlung schützende Blatt-Unterseite. Er nimmt dabei rasch Blatt-Temperatur an und gestattet gleichzeitige Registrierung an einem Temperatur-Sechsfarbensreiber (Kreuzspulsreiber Firma Schenk, Wien XXI, Voltgasse 14). Wir überzeugten uns anlässlich der etwas komplizierteren

¹ Siehe Sauberer, F. und Härtel, O.: Pflanze und Strahlung, S. 73 (1959); sowie Aulitzky (1955).

Temperaturmessung an Fichtenzweigen durch Kontrollen mit den Zweig umspinnenden strahlungsfreien Platinhaardrähten², daß der anliegende Glas-Pt-Meßkörper zur Temperaturmessung des assimilierenden Zweiges (Blattes) geeignet ist. (Pisek und Winkler, *Planta* 53, 1959).

Die zu untersuchenden Blätter müssen allerdings in Wasserröhrchen eingefrischt auf Plastikrosten in die Kammern eingelegt werden, wobei sie allseitig von der Luft umströmt und Kälteübertragungen von der im Wasserbad gekühlten Kammerwand vermieden werden.

Die Luft streicht mit etwa 25 cm Geschwindigkeit über die Blätter, verarmt bei Belichtung an CO₂ (Assimilation) oder reichert sich in der verdunkelten Küvette an (Atmung). Die von den Kammern austretenden Leitungen werden zusammen mit der Luftleitung zur Meßanlage weitergeführt.

Meßanlage

Die Meßanlage ist das messende und registrierende Kernstück. Der URAS von Hartmann und Braun ist thermostabilisiert und in ein Metallgehäuse gasdicht eingeschlossen. Kontaktthermometer, Ventilator und Heizkörper innerhalb des Gehäuses halten den URAS-Meßteil konstant auf 50 Grad und machen die Messung von Schwankungen der Raumtemperatur unabhängig. Daher spielen langsame Aufheizungen des Laborraumes durch die 6000 Watt aufnehmende Xenonlampe oder Außentemperaturänderungen für die Gasanalyse keine Rolle.

Die von den 2—3 Assimilationskammern, den beiden Atmungskammern und der Luftleitung zuströmende Meßluft enthält stets auch Wasserdampf. 10 cm lange Hartglas-U-Röhrchen absorbieren etwa für 8 Stunden mit einer Kieselgelfüllung den Wasserdampf restlos und leiten die nunmehr völlig getrocknete Meßluft zum Gasumschalter. Der sechspolige Gasumschalter gestattet in jeder Minute nur jeweils einer Leitung Durchgang zum URAS, während die Luft der fünf anderen Leitungen über mit etwas Wasser gefüllte Sperrflaschen ins Freie entweicht. Die Meßluft tritt in die nunmehr mit Flußspatfenstern versehene Meßküvette des Uras ein, nimmt entsprechend ihrem CO₂-Gehalt einen Teil der von den Strahlern eingestrahlenen Wärme auf und fließt über den Strömungsmesser ab. Die Vergleichsküvette enthält reinen Stickstoff, der keine Wärme absorbiert und die gesamte Strahlung des zweiten Strahlers zum Meßkondensator gelangen läßt. Dieser Meßkondensator wandelt die verschiedenen hohe Wärmezufuhr seiner beiden Schenkel in eine der CO₂-Konzentration streng proportionale Potentialänderung um. Der neu entwickelte 7-Röhrchen-RC-Verstärker verstärkt den Meßimpuls vielfach, zeigt ihn an einem Kontrollgalvanometer in μ A an und führt ihn dem Sechsfarbensreiber zur Registrierung zu. Dieser Sechsfarbensreiber erhält nun vom Gasumschalter jede Minute einen Stromimpuls, der das Farbbandwerk auf die richtige Farbbandstellung bringt und das Fallbügelgalvanometer auslöst, so daß der URAS-Meßwert als farbiger Punkt am Schreibstreifen abgedruckt wird. Ich habe im Uras-Schema Abb. 1 auch eingezeichnet, daß im praktischen Betrieb die Luftlinie etwas rechts von der Mitte gelegt wird. Meßluft mit geringerer CO₂-Konzentration, also Assimilation kennzeichnend, wird links davon geschrieben, Atmung rechts von der Vergleichsluft verzeichnet. Die Atmungs- bzw. Assimilationsgröße ist also am Schreiber schon während des Versuches sichtbar. Der Absolutwert wird dann zu jedem interessierenden Kurvenpunkt aus der Gruppe gleichartiger Werte aus Eichabstand, Litergeschwindigkeit und Trockengewicht leicht errechnet. Für die Richtigkeit der Konzentrationsangaben bürgt die Lieferfirma Hartmann und Braun bei ihren Eichgasflaschen zuverlässig. In Meßperioden wirft nun der URAS jeden Tag 1 bis 2 Meßstreifen mit 200 bis 300 Einzelwerten aus, so daß auf jeden Versuchstag etwa 2 Rechentage bei vollständiger Auswertung vorzusehen sind. Man wählt aus jeder Punktgruppe gleichartiger —

² Dieser Platinhaardraht hat nur 0,02 mm Durchmesser!

also hochgesicherter Werte — den Mittelwert. Man ersieht schon während des Versuches aus der sechsminütlichen Punktfolge jeder Einzelkammer, ob ASSIMILATION oder ATMUNG steigen, kann nach Bedarf den Versuchsgang ändern, erkennt z. B. unmittelbar Kompensation (Gleichwerden von Assimilation und Atmung) und kann nach einiger Erfahrung meist sofort Mängel am Untersuchungsmaterial feststellen und es auswechseln.

Die hohe Zahl der Einzelwerte und stete Beobachtungsmöglichkeit des Versuchsganges machen den URAS zum universellen Forschungsgerät für Assimilationsuntersuchungen, wobei auch die Genauigkeit der Messung gegenüber allen anderen Methoden sehr hoch ist. (Differenzen von 10 Gamma CO₂ im Liter Luft sind im URAS ohne weiteres meßbar.)

Nach jeder URAS-Messung wurden nochmals Wassergehalt kontrolliert und die Proben im Thermostat bei 105 Grad wie üblich 24 Stunden getrocknet und das Trockengewicht auf einer Torsionswaage auf mg genau festgestellt.

Beleuchtungsanlage

Wir verwenden als Lichtquelle eine stabförmige XENON-Hochdrucklampe (Typ XBF 6000) der Firma Osram, Berlin. Sie wird auch in München im Forstbotanischen Institut Prof. Hubers als stehende zentrale Lichtquelle im Phytotron verwendet und mit einem starken Luftstrom gekühlt. (Rüsch-Müller, 1957).

Kollege Dr. Larcher machte sich um die zweckmäßige Anordnung unseres Lampenaggregates und seiner Zusatzeinrichtungen — wie Wasserreiniger, Strömungswächter, Kontrollschalttafel — sehr verdient.

Wir befestigten die XBF-Lampe mit ihrem Zündgerät horizontal an einem beweglichen Träger, der sich in seinem Wandrahmen etwa 1 m der Höhe und der Seite nach verschieben läßt. Die Lampe kann in Mittelstellung 4 Meßkammern in zwei Wasserwanen ziemlich gleichmäßig ausleuchten. Die hohe Lampenleistung erfordert maximal 45 Ampere bei 110 Volt und wird aus zwei Phasen des Eingangsstromes von 25 Ampere (380 Volt) gedeckt. Von der Sekundärwicklung eines zwischengeschalteten Regeltransformators können auch geringere Strommengen abgegriffen werden. Die Leistung läßt sich so auf 1/10 drosseln und bei Verwendung von Drahtnetzen können auch schwache Lichtintensitäten von 3000 bis 300 Lux bei gleicher Lichtqualität eingestellt werden. Die Lichtstärke beträgt bei voller Leistung in etwa 50 cm Entfernung von der XBF-Lampe innerhalb der Assimilationsküvette 50.000 Lux. Das entspricht ungefähr der mittleren Lichtintensität, wie wir sie in den Sommermonaten in Tallagen mittags messen können und etwa 2/3 der maximalen Intensität. Auch die Lichtqualität der Xenonlampe ist annähernd jene der Globalstrahlung (Sonnenlicht + Himmelslicht), sofern die Lampenstrahlung durch 2 mm dicke Wärmefiltergläser (KG 1) oberhalb der Meßkammern hindurchtritt. (Spektrale Energieverteilung bei KG-1-Filtern siehe Rüsch und Müller 1957.)

Bei Verwendung zweier Wannen und asymmetrischer Lampenstellung läßt sich die Assimilation in 2 Lichtstufen gleichzeitig messen.

Die hohe Lichtleistung der Xenonlampe wird von einer erheblichen Wärmeentwicklung begleitet. Der vom Kühlwasser mit etwa 5—7 Liter pro Minute durchströmte Lampenmantel führt nur einen Teil der Wärme ab. Die noch sehr kräftige Strahlung durchtritt die KG-1-Wärmefiltergläser und wird auch teilweise vom die Meßküvetten umgebenden Wasserbad absorbiert und erwärmt dann die Untersuchungsblätter um 3—6 Grad über die Kühlwassertemperatur. Im Gegensatz zur „kalten Beleuchtung“ mit Leuchtstoffröhren ist die erreichte Endtemperatur nunmehr vom ziemlich rasch in der 40-Literwanne umlaufenden Kühlwasser und der Einstrahlung abhängig. Bei Verwendung von Eiswasser zur Kühlung und 30.000—50.000 Lux Beleuchtung ließen sich Versuchstemperaturen von 5 bis 8 Grad Celsius noch für längere Zeit halten. Entfernung der Wärmefilter brachte sofort erheblichen Temperaturanstieg in den Küvetten, die

dann als „Wärmefallen“ wirkten. Höhere Versuchstemperaturen wurden unter Beibehaltung der Filter durch Füllen der Wannen mit Warmwasser, verminderte Frischwasserzufuhr oder durch Aufheizen mit 400-Watt-Tauchkörpern eingestellt. Ein Relais mit Kontaktthermometer hielt die einmal eingestellte Wammentemperatur konstant, wobei Motorrührwerk und evtl. schwacher Wassergegeneinstrom mitwirkten.

Die bisher verwendeten zu dritt gekoppelten Warmtonleuchtröhren (Firma Phillips T1 29) geben nur 10.000 Lux ab (maximal 12.000), erwärmten als „kalte Lichtquelle“ die Blätter maximal 1 Grad über die Umgebungstemperatur und sind für Assimilationsuntersuchungen bei geringen Lichtstärken praktisch und billig handzuhaben. (Allerdings ist ihr Spektrum nur im Gelb-Rotanteil sonnenlichtähnlich, im Blauanteil aber schwächer als das diffuse Tageslicht).

III. Die Kohlendioxyd-Assimilation von Kartoffelpflanzen

Assimilation und Transpiration sind zwei wichtige Säulen des pflanzlichen Stoffwechsels. Die Spaltapparate als Eintrittspforten der Luft und Austrittstore für Wasserdampf regeln durch ihre Funktion sowohl Dauer als auch Intensität von Assimilation und Transpiration.

Schon im methodischen Teil habe ich darauf hingewiesen, daß ertragreiche CO₂-Assimilation nur bei gutem Wasserzustand und wohl geöffneten Stomata erwartet werden kann und daß bei Assimilationsmessungen die gute Wasserversorgung der abgeschnittenen Blätter durch Saugfläschchen gewährleistet werden muß. Vorversuche ergaben (siehe Abschnitt Transpiration Seite 30), daß Kartoffelblätter bei Wasserdefiziten von 1/2 bis 8% ihre Spalten ausreichend geöffnet haben, so daß mit den eigentlichen Assimilationsmessungen innerhalb dieses Bereiches begonnen werden durfte.

Im klimatisch nicht besonders günstigen Jahr 1956 standen mir zur Assimilationsuntersuchung nur 3 Leuchtstoffröhren zur Verfügung, die 10.000 Lux, bzw. gealtert 8.000 Lux maximal abgaben. Im übrigen konnte nur im natürlichen Sonnenlicht am Fenster des Versuchslaboratoriums gearbeitet werden. Eine 50 Liter fassende große Wanne nahm die Zink-Glas-Meßkammern auf und kühlte sie im kräftigen Wasserumlauf. Die innerhalb der Kammern gemessenen höchsten Lichtstärken liegen zwischen 45.000 und 55.000 Lux, die Versuchsergebnisse fügen sich in den Rahmen der Hauptuntersuchungen (1957 und 1958) gut ein. Das Versuchsjahr 1956 diente zur Orientierung über Höhe, Anstieg und Abklingen der assimilatorischen Leistung.

In den Jahren 1957 und besonders 1958 stand mir seit Ende Juli 1957 die nunmehr vollendete Xenonlichtanlage zur Verfügung, die im Gegensatz zum wechselnden Sonnenlicht strenge Vergleichbarkeit aller Lichtstufen (3000, 10.000, 30.000 und 50.000 Lux) gewährleistete.

Die 1957 weitergeführten Kontrollversuche im natürlichen Sonnenlicht — die allerdings nur kürzere Zeit infolge des täglichen Sonnenganges dauern konnten — stimmen wie jene von 1956 mit den „XBF-Werten“ überein, das Assimilationsvermögen der Kartoffelblätter ist im natürlichen Licht und im Kunstlicht der Xenonhochdrucklampe — bei gleicher Lichtintensität — praktisch gleich groß.

In den folgenden Abbildungen 3 bis 6 wurden die

Meßwerte des Jahres 1957 mit vollen bzw. leeren Dreiecken ▲ △,
Meßwerte des Jahres 1958 mit Ringen und Punkten gezeichnet ● ○

wobei voll geschwärtzte Symbole  stets für jüngere, nicht voll entwickelte Pflanzenteile gelten.

1956 hatte mir Herr Walter Büttner, Gärtner des Instituts-Alpengartens auf dem Patscherkofel, von seinen zweimal erfolgreich durchgeführten Kartoffelanbauversuchen mit Oberarnbacher Frühe im Alpengarten (1900 m Seehöhe!) berichtet. Es war für mich daher sehr interessant, Rinner Originalsaatgut von Prof. Mayr nicht nur am Versuchsfeld in Innsbruck und Rinn, sondern auch nach Vorkeimen am Patscherkofelfeld (Hochmahdalm, 1880 m) auslegen zu lassen und Zuwachs und Assimilationsvermögen mitzuprüfen. Da ich aus dem Vorversuch 1956 über günstige Kartoffel-Legezeit informiert war, legten wir ganze Knollen von Originalsaatgut in 60 × 35 cm Abstand

1957 in Innsbruck	am 25. Mai
in Rinn	am 14. Mai
auf dem Patscherkofel	am 2. Juli
1958 in Innsbruck	am 5. Mai
in Rinn	am 6. Mai
auf dem Patscherkofel	am 27. Mai.

Die Assimilation der Oberarnbacher Frühkartoffel und der mitgelegten Agnesstauden wurde alle 14 Tage bis 3 Wochen bei 10.000 bis 50.000 Lux untersucht. Von den drei Versuchsgruppen

Innsbruck 610 m

Rinn 900 m

Patscherkofel-Hochmahdalm (Waldgrenzenlage-Südwesthang) 1880 m

bringe ich für die Sorten Oberarnbacher Frühe und Agnes als

Abbildung 3 Übersicht des Assimilationsvermögens junger Blätter, Oberarnbacher Frühe, Versuchsfeld Botanischer Garten Innsbruck (610 m),

Abbildung 4 Übersicht des Assimilationsvermögens voll entwickelter Blätter Oberarnbacher Frühe, Botanischer Garten Innsbruck (610 m),

Abbildung 5 Assimilationsvermögen jüngerer und voll entwickelter Blätter Oberarnbacher Frühe, Versuchsfeld Patscherkofel-Hochmahdalm (1880 m),

Abbildung 6 Assimilationsvermögen voll entwickelter und jüngerer Blätter der Sorte Agnes, Versuchsfeld Botanischer Garten Innsbruck (610 m).

Je 3 bis 6, meist 4 Versuchsreihen gleicher Altersklassen und gleicher Lichtstufe durchliefen überlappend Temperaturen von 8 bis 38 Grad (gemessen am Blatt!).

Die erzielte Netto-Assimilation wird in mg Kohlendioxydbindung pro Gramm Trockengewicht und Stunde angegeben (mg CO₂/Gr. h) und ist

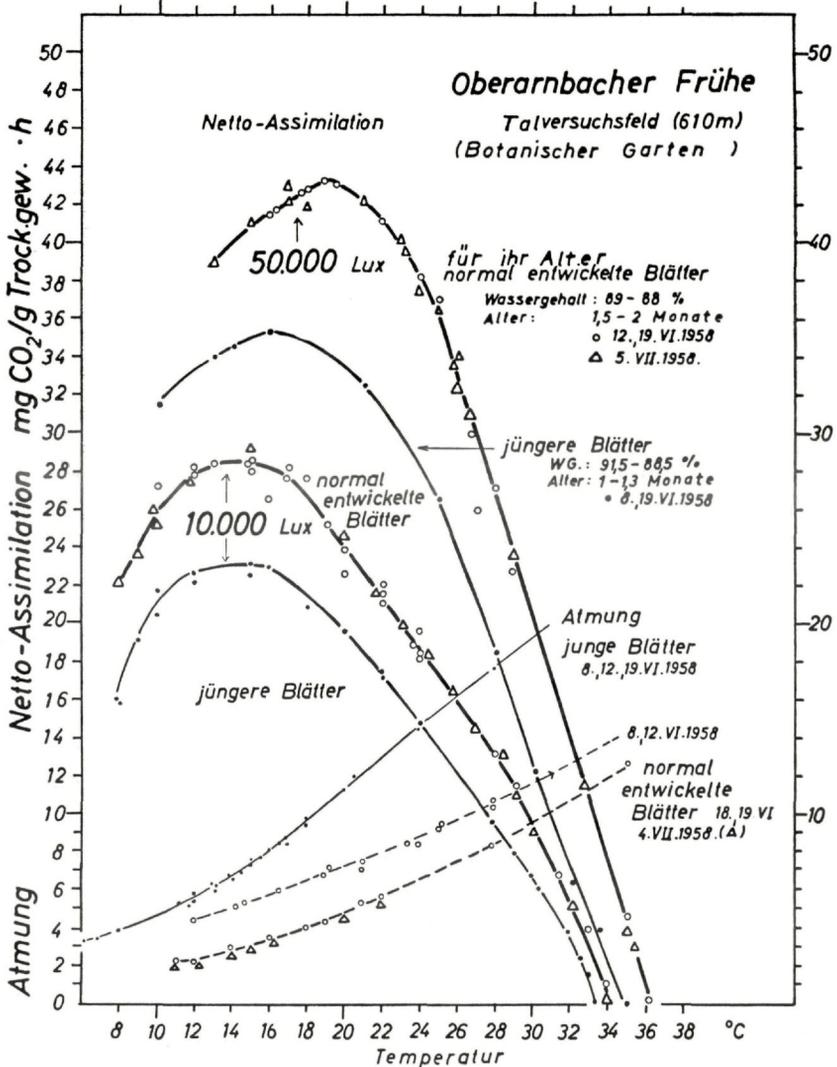


Abb. 3 Assimilationsvermögen und Atmung jüngerer Blätter der Oberarnbacher Frühkartoffel. Talversuchsfeld (610 m) im Botanischen Garten von Innsbruck; Netto-Assimilation stets in mg CO₂/G. h.



Abb. 1

Bergstation der Patscherkofel-Seilbahn (1944 m) und Eingang zum Alpengarten der Universität am Patscherkofel. Im Hintergrund der von Zwergstrauchheide bewachsene Hang der Patscherkofelkuppe



Abb. 2

Im Vordergrund Teil des Univ.-Alpengartens, dahinter Kofelalm mit Waldgrenze (1800–1900 m). Im Hintergrund Stubaital mit Serles und vergletschertem Hoch-Stubai



Abb. 3

400 m westwärts der Patscherkofelalm liegt die Hochmahdalm an der von Zirben, Lärchen und Fichten gebildeten Waldgrenze. Herr Büttner (siehe Photo) legte auf dem leicht geneigten Südwesthang der Hochmahdalm in 1880 m Höhe ein Versuchsfeld an und bepflanzte es nach guter Düngung mit Ananaserdbeeren und Oberarnbacher Frühkartoffeln. (100 m²). Sie gedeihen hier gut



Abb. 4

Voll entwickelte Kartoffelstauden mit großflächigen Blättern auf der Hochmahdalm (Oberarnbacher Frühe). (15. VIII. 1959)

recht ansehnlich. Teilweise habe ich auch auf die Blattoberfläche umgerechnet ($\text{mg CO}_2/\text{dm}^2$ (einfach) $\times h$). Dabei zeichnet man die frischen Kartoffelblätter genau nach und bestimmt die Oberfläche durch Planimetrieren aller Einzelblättchen und Stiele. Im Versuch entsprechen der Beleuchtungsstärke 10.000 Lux . . . 6,23 cal., 30.000 Lux . . . 21,80 cal., 50.000 Lux . . . 45,47 cal./ cm^2 /Stunde

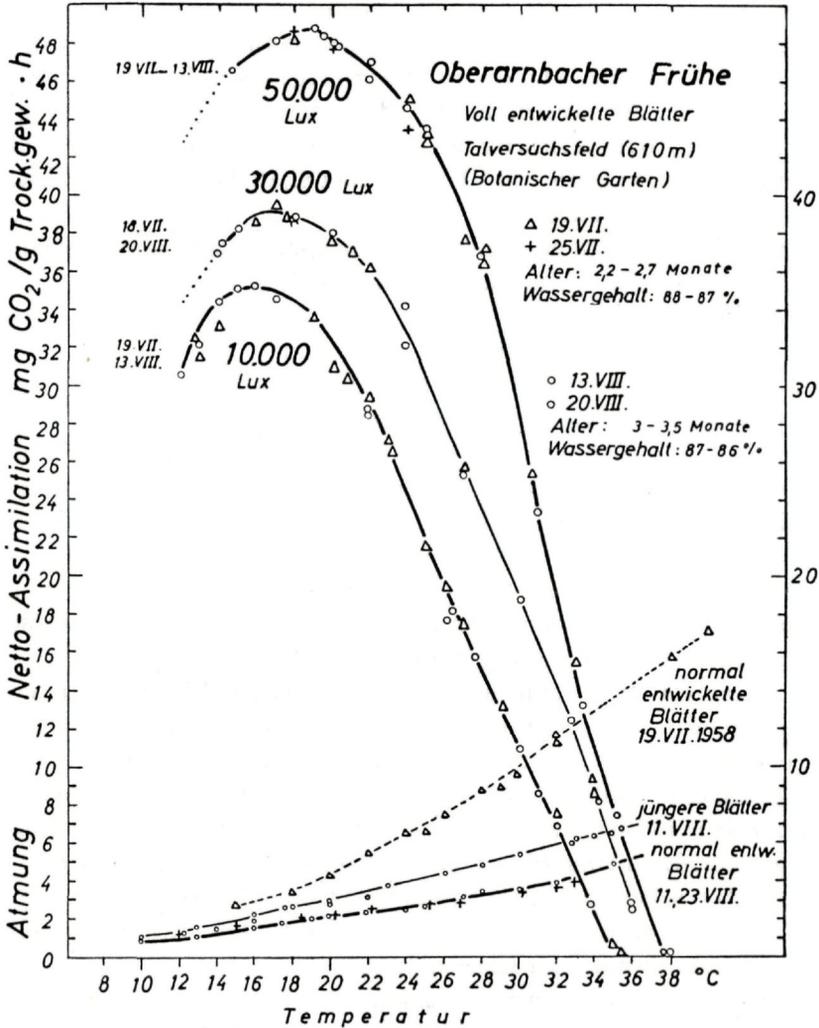


Abb. 4 Assimilationsvermögen und Atmung voll entwickelter Blätter der Oberarnbacher Frühkartoffel. Talversuchsfeld (610 m) im Bot. Garten von Innsbruck.

Unter der Voraussetzung guter Wasserversorgung kann man nun aus den Temperatur-Abhängigkeitsdiagrammen folgendes entnehmen: Das Assimilationsvermögen junger Kartoffelblätter ist noch gering! (Abb. 3). Es beträgt im Testlicht von 10.000 Lux (XBF!) bei Frühkartoffeln in der Zeit vom 8. bis 18. Juni (1958) im Optimalbereich (13° – 16°) etwa 22 mg/Gr. h und fällt bei Temperaturen über 20 Grad rasch und stetig ab. Gegen 33 Grad wird die Netto-Assimilation Null, darüber hinaus geben sie im Licht CO_2 ab, atmen also mehr als sie assimilieren.

Die zu dieser Zeit etwa 5 bis 6 Wochen alten Blätter mit einem Wassergehalt von 91–89 % atmen sehr kräftig, besonders ab 20 Grad und noch höheren Temperaturen. Mit fortschreitender Entwicklung der Blätter sinkt die Atmung auf die Hälfte (flacherer Verlauf der Atmungskurven vom 18./19. VI. gegenüber 8./12. VI.), während das Assimilationsvermögen steigt und zwischen 13 und 15 Grad (10.000 Lux) maximal wird (um 28 mg/Gr. h). Es war gleichfalls vorauszusehen, daß jüngere Blätter Mitte Juni auch in 50.000 Lux (vergleichbar direktem Sonnenlicht, durch leichte Wolken verschleiert) noch erheblich weniger leistungsfähig als Ende Juni/Anfang Juli sind.

Abb. 4 demonstriert, daß ab Mitte Juli bis Mitte August bei sehr gering gewordener Atmung (4–5 % der Assimilation im optimalen Temperaturbereich) das größte Assimilationsvermögen und damit höchster Stoffgewinn erreicht worden ist. Bei Blatt-Temperaturen von 13 bis 20 Grad können im diffusen Licht von 10.000 Lux 32 bis 35 mg CO_2 pro Gramm Trockengewicht stündlich gebunden werden. Das Optimum (für 10.000 Lux) liegt zwischen 15 und 16 Grad (um 35 mg) und verschiebt sich bei zunehmender Lichtstärke auf 16 bis 18 Grad (30.000 Lux) bzw. 17 bis 20 Grad (50.000 Lux, um 48 mg/Gr. h).

Im Freien arbeiten aber die Kartoffelblätter in voller Sonne nicht so wirkungsvoll als es nach den Laborversuchen auf den ersten Blick scheinen mag. Wir können nämlich an Tagen mit bedecktem Himmel in Tallagen um Mittag Lichtstärken von 10.000 bis 20.000 Lux messen; es bleibt kühl, die Blätter haben Lufttemperatur oder nur wenig mehr. Dem entsprechen bei 10.000 Lux und 15 bis 16 Grad Blatt-Temperatur schon Assimilationsgewinne von 34 bis 35 mg/Gr. h! An Hochsommertagen mit wolkenfreiem oder bloß schwach bewölktem Himmel und nur mittlerer Einstrahlung werden die Blätter gegenüber der Lufttemperatur immer überwärmt. Ich habe diese Erwärmung in unserem Versuchsfeld mehrmals gemessen; sie betrug im Mittel, besonders an windruhigen Tagen, 2 bis 4 Grad. Dabei paaren sich Belichtungen von 50.000 Lux mit mindestens 24 oder 26 Grad, oft aber auch 30 Grad. Dabei

sinkt der Reingewinn (Netto-Assimilation) von 44 bis 41 mg/Gr. h aber auf 30 bis 28 mg/Gr. h ab! In den Hochsommermonaten liegt der Reingewinn im Tal viel öfter im Bereich von 32 bis 38 mg/Gr. h als darüber. In der Regel fallen im Innsbrucker Gebiet pro Sommermonat auf nur 4 bis 6 Klartage 15 bis 18 Regentage (mit oft starker Bewölkung) und rund 10 Wechselwettertage.

Bezieht man die Blatt-Assimilation auf die einfache Blattoberfläche, so entsprechen bei der Oberarnbacher Frühe einer Netto-Assimilation von

16°	35 mg CO ₂ /Gr. h bei 10.000 Lux	14,9 mg CO ₂ /dm ² × h
18°	41 mg CO ₂ /Gr. h bei 30.000 Lux	17,4 mg CO ₂ /dm ² × h
20°	48 mg CO ₂ /Gr. h bei 50.000 Lux	20,4 mg CO ₂ /dm ² × h

Die Kartoffelblätter zeigen nach den Sonnenblumenblättern sehr hohe Reingewinne. (Lundegårdh führt Werte in ähnlichem Größenbereich in Flora 121 (1927) an (nämlich 9,5 mg/50 cm² × h = 19 mg/dm², 20°C).

Die in Tirol beliebten und deshalb untersuchten Kartoffelsorten Oberarnbacher Frühe und Agnes unterscheiden sich bei ausgereiften Blättern im Assimilationsvermögen nur geringfügig. Das Assimilationsvermögen hängt hier vor allem vom Blattalter ab, die Sortenunterschiede sind viel geringer! Bei gleicher Setzzeit erscheinen die ersten Blätter der Agnes allerdings um 5 bis 8 Tage später und entwickeln sich etwas langsamer. Diese jungen Blätter (Abb. 6, 8./12. VI.) atmen besonders im Temperaturbereich um und über 20 Grad noch kräftiger und lassen demnach auch in diesem Bereich mit der Netto-Assimilation nach. Aber schon ab 5. Juli ist ihr Assimilationsvermögen jenem der Oberarnbacher Frühe gleichgeworden. Gemäß Abb. 6 liegen die Optima bei Agnes-Blättern gleichsinnig,

10.000 Lux	14 bis 17 Grad	34 bis 35 mg/Gr. h Reingewinn
30.000 Lux	17 bis 19 Grad	40 bis 41 mg/Gr. h Reingewinn
50.000 Lux	17 bis 20 Grad	46 bis 48 mg/Gr. h Reingewinn

Die dem Züchter und Bauern geläufige Erfahrung, daß Agnesstauden ertragreicher als Oberarnbacher Frühkartoffel sind, beruht also nicht auf verschieden großer Einzel-Blatt-Assimilation. Die mittelspäten Agnes-Kartoffelstauden entwickeln im Verlaufe ihres Wachstums viel mehr produktive Blattmasse als die Oberarnbacher Frühkartoffel, so daß Agnes mit größeren Blattmassen und relativ längerer Produktionszeit zu höheren Gesamterträgen kommt. Neben den ausgereiften Blättern findet man im Juli und August an jeder Staude kleinere jüngere, sich gerade entwickelnde Blätter. Ihr Anteil am Gesamtgewicht der um diese Zeit mächtigen Stauden ist nicht groß. Daß ihre Blatt-Atmung größer und die

Netto-Assimilation kleiner sein muß, leuchtet nach Vorstehendem ein. Ich habe in Abb. 6 auch hierfür ein Beispiel eingezeichnet (19. VII. Jungblätter-Atmung ist um etwa 25% größer als die Atmung „normaler“, der Altersstufe entsprechend entwickelter Blätter).

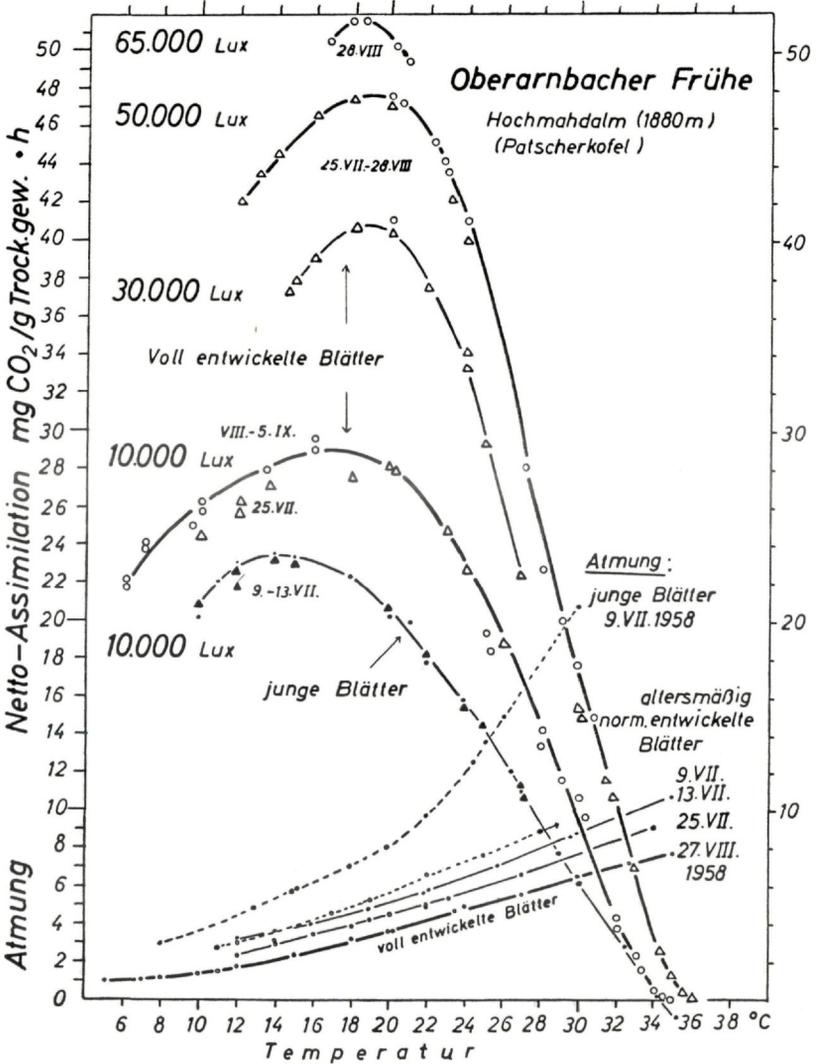


Abb. 5 Assimilationsvermögen und Atmung jüngerer und voll entwickelter Blätter von Oberarnbacher Frühkartoffel. Versuchsfeld Patscherkofel-Hochmahdalm (1880 m).

Das Versuchsfeld in RINN (Wiesenhof) liegt um 300 m höher. Dabei sinken die mittleren Lufttemperaturen um gut $2,1^0$ bis $2,5^0$ gegenüber dem Inntal ab und verzögern Wachstum und Reifungsprozesse. Die mit den Tal-Kartoffelstauden aus dem Botanischen Garten Innsbruck gleichzeitig

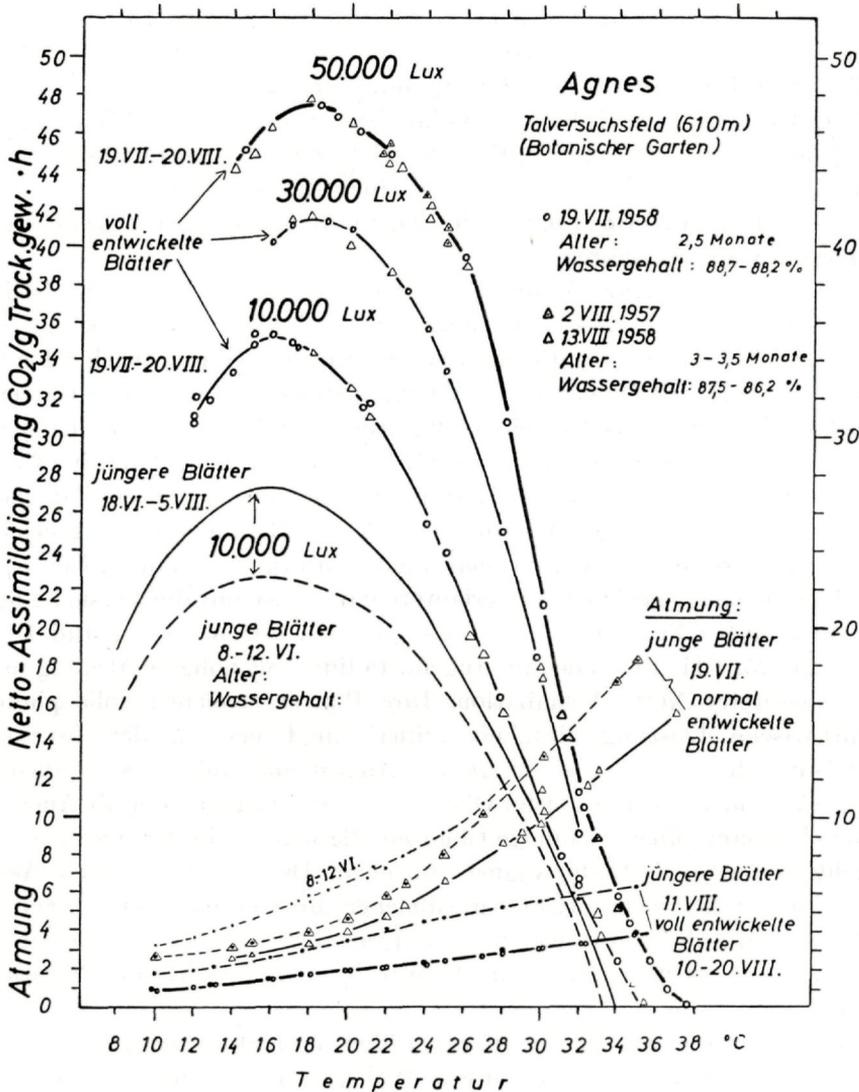


Abb. 6 Assimilationsvermögen und Atmung jüngerer und voll entwickelter Blätter der Agnes-Kartoffelstauden, Talversuchsfeld (610 m) im Botan. Garten von Innsbruck.

untersuchten Pflanzen aus dem Versuchsfeld RINN zeigten nun folgende, entwicklungsbedingte Unterschiede im ASSIMILATIONS-Vermögen: Mitte Juni bis Anfang Juli ist bei 10.000 bis 50.000 Lux das Assimilationsvermögen merklich geringer, die Atmung höher! Die maximalen Gewinne liegen bei 10.000 Lux erst bei 22 bis 26 mg und bei 50.000 Lux zwischen 32 und 34 mg/Gr. h (Temperaturbereich 14 bis 19 Grad). Die um Mitte Juli zur vollen Größe entwickelten ausgereiften Blätter erreichen aber bei 10.000 Lux nur 28 bis 29 mg (gegenüber 32 bis 35 mg/Gr. h im Tal). Es kann sein, daß die vermehrte Lichtfülle in Rinn, wo jeder Stadtdunst wegfällt, Kartoffelblätter auf 10.000 Lux noch nicht kräftig ansprechen läßt, während bei einer Belichtung mit 50.000 Lux zwischen 17 und 20 Grad immerhin CO₂-Bindung von 42 bis 44 mg/Gr. h gemessen werden konnten.

Ich verzichte natürlich auf die Veröffentlichung aller 8 Einzel-Diagramme über Rinner und „Patscherkofler“-Assimilationsuntersuchungen, und lasse Abb. 5 die wesentlichen Phasen erläutern. Oberarnbacher Frühe und Agnes-Kartoffeln wurden im Versuchshaus des Botanischen Gartens am Patscherkofel 2 bis 3 Wochen vorgetrieben und, in den einzelnen Versuchsjahren verschieden, 1958, am 27. V. und 1957 am 2. VII. ins Freie auf die Hochmahdalm-Südwestlage, 1880 m, in gut vorbereitete Parzellen von 100 m² Größe gelegt (Abstand 60 × 35 cm). Die mittelspäte Agnes ist nur in „günstigen Jahren, die man nicht vorausahnen kann“, für diese Waldgrenzenlage geeignet. Ich erläutere daher hier nur die Versuche mit Oberarnbacher Frühkartoffeln. Diese Stauden waren bis 18. Juli 1958 bzw. 24./25. VII. 1957 noch im Jugendstadium mit höherer Atmung und herabgesetzter Netto-Assimilation. Ihre Blätter erreichen volle photosynthetische Leistungsfähigkeit klimabedingt erst in der letzten Juli-Woche, behalten sie im ganzen August und Anfang September bei, während im Tal gezogene Oberarnbacher Frühkartoffel ab Augustmitte langsam gilben — infolge Chlorophyllabbau — in der Assimilation nachlassen und ab Ende August einziehen. Die maximale Netto-Assimilation der „Patscherkofler Oberarnbacher“ überschreitet bei 10.000 Lux 28 bis 29 mg nicht, während im kräftigen Sonnenlicht von 50.000 Lux zwischen 16 bis 21 Grad 46 bis 48 mg CO₂ gebunden werden (Taläquivalent!).

Nun ist es aber an der Zeit, näheres über die Lichtverhältnisse im Tal und an der Waldgrenze zu erläutern. Während um Innsbruck (600 m) in den vergangenen Jahren von uns mit Standardphotometer nach Lange in den Hochsommermonaten mittags bei voller Sonne 50.000 bis 70.000 Lux gemessen wurden (entsprechend Dunsttrübung und völlig freier

Strahlung), steigt die Gesamtstrahlung in Waldgrenzhöhe bis über 100.000 Lux, im Extremfall bis 140.000 Lux an. Dr. Turner maß diese Höchstwerte in der vergleichbar hoch gelegenen Station der Wildbachverbauung im Ötztal bei freiem Himmel mit hohen feinen Reflexwolken. Eigene Messungen am Patscherkofel (Juli/August 1958) überschritten den Meßbereich des Instituts-Instrumentes und zeigten mehrfach 90.000 bis 100.000 Lux. Für mich waren aber weitere Meßwerte am 23. VIII. 1959 während eines einsetzenden leichten Sprühregens noch interessanter. Dabei ging nämlich die Strahlung von 98.000 Lux (bei 21 Grad C) auf 30.000 und 25.000 Lux bei 16 Grad C Lufttemperatur zurück. Ein andermal war noch 28.000 Lux bei leichter Wolkendecke meßbar. Erst grauer Regenhimmel senkte die sicherlich sehr hohen Blauanteil enthaltende Belichtung auf 15.000 bis 13.000 Lux. (Vergleichsweise Talmessungen während Regen unter Stratuswolken 5000 bis 9000 Lux.) Dies bedeutet ökologisch für in Waldgrenzlagen assimilierende Pflanzen, daß sie bei

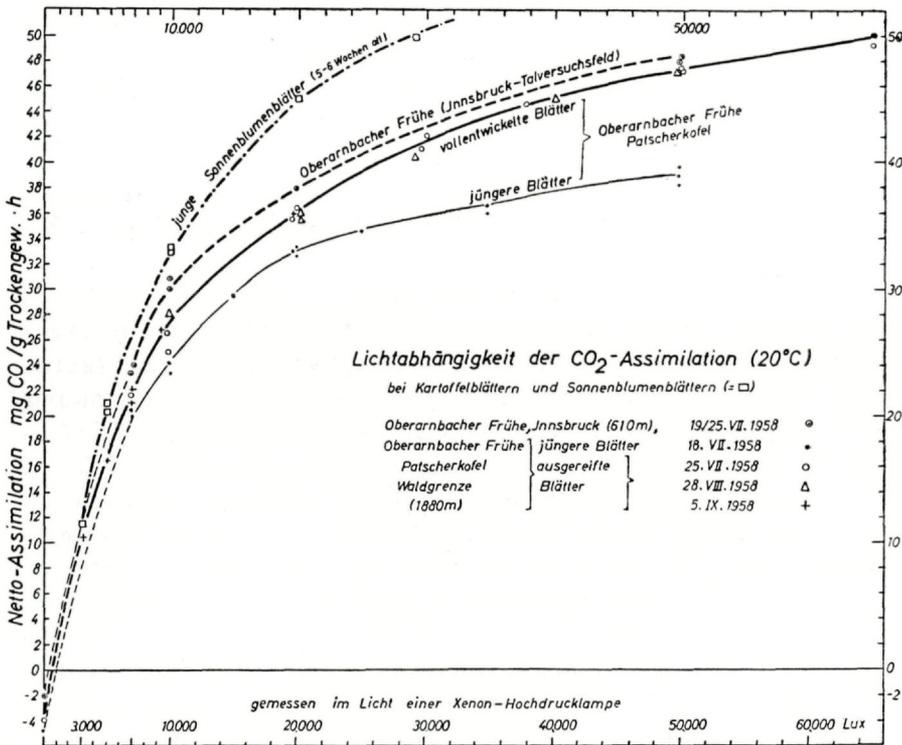


Abb. 7 Lichtabhängigkeit der CO₂-Assimilation bei Kartoffelblättern und jungen Sonnenblumenblättern (Blatt-Temperatur 20 Grad Celsius).

niederen, für sie aber meist wirklich optimalen Temperaturverhältnissen (13 bis 18 Grad) schon in sehr günstige Lichtverhältnisse kommen und dementsprechend hohen Nettogewinn erzielen können.

Da mir Versuchsserien mit nur 50.000 Lux für meine „Gebirgskartoffel-Blätter“ etwas schäbig vorkamen, testete ich ihr Assimilationsvermögen am 25. VII. und 5. IX. 1958 auch bei 65.000 (max. 70.000) Lux. Das war die Grenze des technisch Erreichbaren, da ich die Versuchstemperatur von 20 Grad mit einem KG-1-Filter halten mußte. Abb. 7 zeigt nun die Lichtabhängigkeit der Assimilation von Oberarnbacher Frühkartoffeln von 3000 bis 65.000 Lux. Jüngere Blätter der am Patscherkofel gezogenen Stauden leisten noch etwas weniger (entsprechen der tieferen Kurve) als die ausgereiften. Im Talgarten gewachsene Stauden derselben Herkunft haben ähnliche Leistungsfähigkeit (19./25. VII. 1958 . . strichlierte Kurve). Abgesehen von den etwa alle 10.000 Lux ermessenen Einzelwerten (20 Grad) ergibt sich die maximale Leistungszunahme im Bereich von 1000 bis 10.000 Lux (. . 50%) schon geringere bei einer Belichtung von 10.000 bis 20.000 Lux (25. . 28%), während über 50.000 Lux die Assimilation nur mehr um etwa 5% zunimmt. Blätter der Talkartoffel (Oberarnbacher und Agnes) verwerten übrigens Lichtstärken von 7000 bis 30.000 Lux etwas besser.

Unter 7000 bzw. 3000 Lux liegen noch keine Untersuchungsergebnisse vor, Weiterarbeit mit URAS oder Alvikmethode unter spezieller technischer Genauigkeitskritik wäre sicherlich physiologisch interessant.

Bekannterweise tragen zur Bilanz von Kartoffelstauden nicht nur grüne Blätter, sondern auch grüne Sproßachsen positiv bei. Mit unserer bewährten Methodik ließ sich auch die Assimilation der entblätterten grünen Achsen bei mittleren und höheren Lichtstärken während des Reifungsprozesses verfolgen und die für die Nachtstunden nicht unerheblichen Atmungsverluste feststellen. Dabei verwendete ich jeweils 20 cm lange grüne, entblätterte Sproßstücke aller Stärkenklassen (gemischt), die an den Schnittflächen mit Vaseline gegen Wasserverluste abgedichtet waren, belichtete sie mit 10.000 bis 30.000 Lux und stellte anschließend die Größe der Dunkelatmung fest. Die bei den Versuchen abgeschnittenen Staudenbasen — bestehend aus weißem Sproßrest und gewaschenen Wurzeln — liefen in den Versuchen — gut mit Wasserfläschchen versorgt — in den Atmungskammern mit.

Grüne Sproßachsen kompensieren im Licht von 10.000 Lux zwischen 10 und 20 Grad gerade ihre Atmungsverluste und erhalten sich im mäßigen Sonnenlicht (30.000 Lux) selbständig. Die Gewinne

betragen von Julibeginn bis anfangs August 0,15 bis um 0,03 mg/Gr. h. Mitte August kompensieren die nun bereits kräftig verholzenden Sprosse (im Gesamtwert!) und zehren ab 20 bis 22 Grad Lufttemperatur auch im Licht vom Reingewinn der Staude. Im ganzen gesehen halten sich

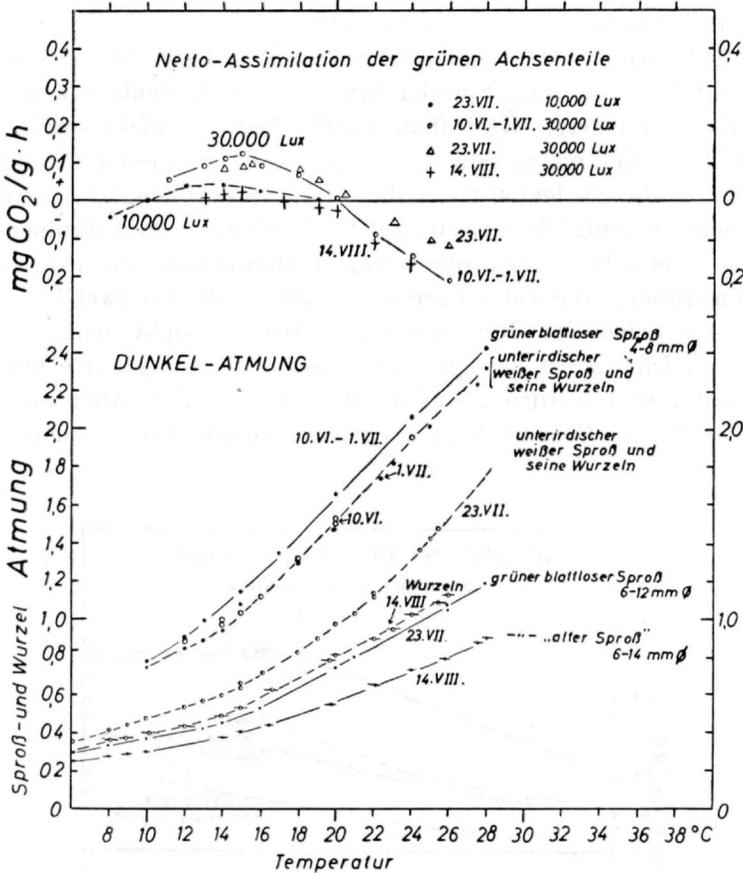


Abb. 8 Netto-Assimilation und Atmung des grünen entblättern Sprosses, Atmung weißer Sproß- und Wurzelsysteme im Verlaufe der Vegetationszeit (Juni bis August).

tagsüber die an sich geringen Assimilations-Zu- und Abgänge des grünen Sprosses die Waage und belasten die Gesamtstaude kaum. (Abb. 8 für Oberarnbacher Frühe; die Verhältnisse sind auch bei Agnes ähnlich.)

Die Dunkelatmung der grünen, blattlosen Sproßteile und auch der weißen Sproßteile mit anhängenden Wurzeln bleibt stets geringer als die Atmung gleichaltriger Blätter. Im Zuge der Ausreifung sinken die Einzelwerte (Abb. 8) erheblich ab, die Reife wird ab Ende Juli sichtlich erreicht. Ende Juli — Mitte August liegt die Atmung der grünen blattlosen Sproßachsen bereits unterhalb der Wurzeln, die Achsenaktivität ist demnach herabgesetzt.

Die Atmung der Kartoffelknollen selbst ist erheblich geringer als die Blatt- und Sproßatmung. Unsere Meßanlage konnte mit kleinen und mittleren Kartoffeln unmittelbar beschickt werden; nur größere Kartoffelknollen fanden in eigenen 10 cm weiten Rundgläsern Aufnahme. Abb. 9 demonstriert die Temperaturabhängigkeit der Kartoffelknollenatmung (Oberarnbacher Frühe, — ganz ähnlich liegen auch die Werte bei Agnes, nur geringere Reifungsunterschiede machen sich bemerkbar). Die bei jungen zarthäutigen ein bis zwei Zentimeter großen Knöllchen im Juni erhebliche Atmung sinkt schon im Juli kräftig ab. Im August betragen die einzelnen Atmungswerte nur mehr ein Zehntel und werden ab November sehr gering. Allerdings summieren sich die Gesamt-Atmungsverluste durch die nunmehr große

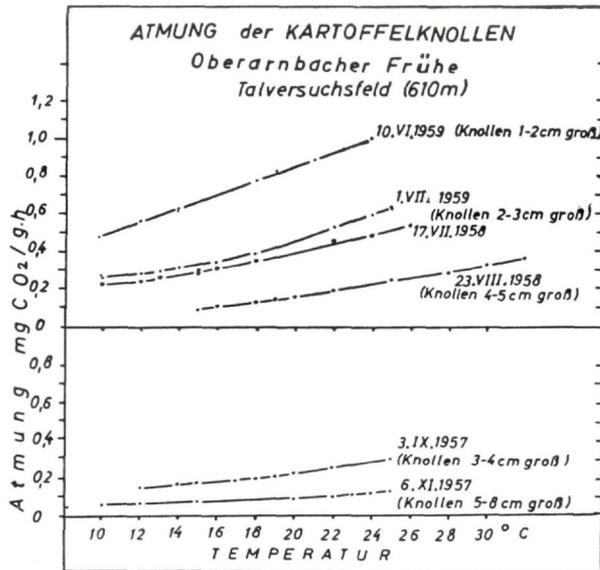


Abb. 9 Atmung von Kartoffelknollen in Abhängigkeit vom Alter und der Größe der Knollen (Oberarnbacher Frühe, Talfeld).

Kartoffelmenge Ende Juli-August zu erheblichen Abgangsposten für die gesamte Pflanzenbilanz (siehe auch Seite 49).

Die Kartoffelschale ist bei Jungkartoffeln

(1 cm \varnothing) etwa 100 bis 120 μ

(2 bis 3 cm \varnothing) etwa 140 bis 230 μ breit,

während die Schale gereifter Kartoffeln (Oberarnbacher)

(5 bis 6 cm \varnothing) 200 bis 250 μ

(6 bis 8 cm \varnothing) 220 bis 300 μ stark ist.

Die Schale der ausgewachsenen Kartoffelknolle schützt mit ihren zahlreichen Lagen verkorkter Zellen gegen Wasserverluste gut, erschwert den Gaswechsel erheblich und setzt damit auch die Atmungsverluste während der Winterruhe zusammen mit der niedrigen Temperatur wünschenswert tief herab.

IV. Die CO₂-Assimilation von Gerste und Sonnenblumen-Blättern

Prof. Mayr züchtet am Rinner Versuchsfeld unter vielen anderen auch sechszeilige Pumpergerste und zweizeilige Baringerste. Seinem Wunsch, die Assimilationsleistung beider Sorten vergleichend zu bestimmen, kam ich 1958 gerne nach. Am 8. V. 1958 wurde im Versuchsfeld im Botanischen Garten in 2 Parzellen mit 12 cm Reihenabstand und je 5 cm Kornabstand Original-Saatgut gelegt (Düngung pro 50 m². .1 kg Patentkali, 1,5 kg Blaukorn, 1,5 kg Superphosphat).

Nach guter Entwicklung und Bestockung entnahm ich am 25./26. VI. und 11. VII. 1958 ganze Pflanzen im besten Wasserzustand, schnitt im Laboratorium 15 cm lange Halmstücke mit 3 bis 5 Blättern ab und legte sie — wie üblich in Phiolen eingefrischt — in die Assimilations- und Atmungskammern. Weiterhin kamen Versuchsstücke mit 3 bis 4 cm langen Halmstücken und 2 bis 3 Blättern in die Kammern, um den Blattanteil am Assimilationsergebnis möglichst hoch zu halten. Die 18 bis 22 mm breiten Blätter der Pumpergerste sind besonders in 10.000 Lux, aber auch in 50.000 Lux den nur 10 bis 16 mm breiten Blättern der Baringerste assimilatorisch überlegen. Das Optimum für 10.000 Lux liegt zwischen 13 und 16 Grad und verschiebt sich bei 50.000 Lux in den Bereich von 18 bis 22 Grad. Die Assimilation beträgt dabei

für Pumpergerste 21,3 mg bzw. 30,5 mg

bei Baringerste 15,2 mg bzw. 29,5 mg CO₂/Gr. h

Die Netto-Assimilation sinkt mit steigender Temperatur ab, während die Atmung wie üblich zunimmt (10° = 1,22 mg . . . 40° = 5,5 mg/Gr. h).

Frischgewichts- und Trockengewichtsangaben bestätigen die intensivere Assimilation der Pumpegerste.

Gemäß mündlicher Mitteilung von Prof. Hagberg an Prof. Mayr während des Kongresses der europäischen Gesellschaft für Züchtungsforschung (VII 1959) ist an der Stoffgewinnung zur Ausbildung der Getreidekörner auch die Assimilationstätigkeit der Spelzen wesentlich beteiligt. Die Veröffentlichung der umfassenden Arbeit von Stoy erfolgt demnächst.

Es könnten in Versuchskammern ohne weiteres abgeschnittene wasserversorgte Sproßköpfe mit jungen Ähren auf ihren Gaswechsel untersucht werden, um die Stoffgewinnung durch Blatt- bzw. Spelzen-Assimilation unserer heimischen Landsorten näher zu klären.

Für Reihenversuche an beblätterten ganzen Halmen sind aber Langkammern (Größe 50- bis 70 mal 6 cm) zweckmäßig, wobei mehrere Pflanzen mit ihren Versorgungswasserrohr nebeneinander auf einem Plastikrost befestigt und dann rasch und in definierter Lichtlage zur Messung in die Langkammer eingeschoben werden könnten.

Die Meßergebnisse bei Atmung und Assimilation sind, wenn Sortenvergleich angestrebt wird, auf den gesamten Sproß zu beziehen und auch die sortenverschiedene Bestockung und Ährenbildung zu berücksichtigen.

Im Anschluß an die zahlreichen Messungen zur Licht- und Temperaturabhängigkeit der CO₂-Assimilation von FICHTE und Zirbe (Pisek und Winkler 1959) konnten wir uns nicht versagen, auch die höchst intensiv assimilierende Sonnenblume in unsere Untersuchungen miteinzubeziehen. Da wir mehrere 22 × 9 × 4 cm große Küvetten besitzen, verwendeten wir passend große erste und zweite Blattpaare von jüngeren Sonnenblumenpflanzen. Das Assimilationsvermögen dieser noch sehr wasserreichen etwa 10 × 6 cm großen Jungblätter ist noch etwas größer als bei Kartoffelblättern. Es beträgt schon bei Lichtintensität 10.000 Lux zwischen 10 und 17 Grad um 34 bis 37 mg/Gr. h und erreicht bei 30.000 Lux zwischen 18 und 24 Grad Maxima von 54 bis 58 mg/Gr. h. Ich habe die Zunahme der Netto-Assimilation mit steigender Belichtung zur Lichtabhängigkeitskurve der Kartoffelblätter vergleichsweise hinzugezeichnet (Abb. 7). Einzelne weitere Versuche (VIII/IX 59) mit 20 × 18 cm großen ausdifferenzierten Sonnenblumenblättern in großen Plexikammern bei verdoppelter Luftdurchströmung lieferten im natürlichen Sonnenlicht einige Werte in ähnlicher Größenordnung.

Die 4 bis 6 cm breiten Spreiten der Maisblätter sind auch in Abschnitten von 20 cm Länge für Assimilationsmessungen verwendbar. Einzelne Vorversuche an einer nicht näher feststellbaren Maissorte im Botan. Garten Innsbruck zeigten, daß mit Vaseline an den Schnittflächen verschlossene 20 cm lange Maisblatt-Abschnitte kurzfristig ohne zusätzliche Wasserversorgung mit beachtlicher Intensität assimilieren.

10.000 Lux 17—18°	17,7—18,3 mg/Gr. h
10.000 LUX 22—24°	17,4—16,4 mg/Gr. h

Abschließend kann somit festgestellt werden, daß der Ultrarotabsorptionsschreiber zur Assimilationsmessung und -Registrierung an landwirtschaftlichen Nutzpflanzen wie Kartoffel, Getreide, Mais, Sonnenblumen und auch Rüben bei Verwendung zweckmäßig angefertigter Assimilationsküvetten voll geeignet ist.

V. Wasserhaushalt von Kartoffelpflanzen. Transpiration von Kartoffelblättern und Sonnenblumenblättern

Assimilationsuntersuchungen können nur sinnvoll und erfolgreich durchgeführt werden, wenn der Wasserhaushalt der Untersuchungsobjekte bereits bekannt oder vor der Assimilations-Untersuchung in einigen orientierenden Messungen in seinen großen Zügen festgestellt wird.

Bekanntlich regeln die Spaltapparate den Gasaustausch (Wasserdampf, CO₂ usw.). Allerdings wird es bei „neuen Untersuchungsobjekten“ meist nötig sein, festzustellen, bei welchen Wasserdefiziten die Stomata weit geöffnet sind, wann sie die Spaltweite langsam reduzieren und bei welchen Wasserverlusten sie völlig geschlossen haben und damit stomatäre Transpiration und positive Netto-Assimilation unterbinden. Dazu bestimmt man am besten die Transpiration abgeschnittener Blätter (bzw. beblätterter Halme) im gedämpften Licht (um 10.000 Lux) und bei mittlerer ziemlich konstanter Evaporation (300 bis 500 mg/h grüne 5 cm Filterpapierscheiben = „Stockerscheiben“). Die Wägungen können mit 3- bis 6-Minutenintervallen für etwa 3 bis 4 Parallelreihen an Torsionswaagen erfolgen. Trägt man die auf das Gramm Frischgewicht und Stunde umgerechneten Transpirationswerte im Diagramm zusammen mit den jeweiligen Wasserdefiziten ein (siehe Abb. 11), so ersieht man leicht, daß z. B. ausgewachsene Kartoffelblätter nur zwischen 1,5 bis 4% Wasser-Defizit maximale Transpirationswerte geben, ihre Spalten detto weit geöffnet sind und höchsten Gasaustausch erwarten lassen (Assimilationsmaximum!). Bei weiteren Wasserverlusten, hier zwischen 5 und 10% des Sättigungsgewichtes, verengen sich die Stomata sehr, worauf die Transpiration absinkt. Assimilationsversuche bei Kartoffelpflanzen sind augenscheinlich sinnlos, wenn das Wasserdefizit bereits 8% überschreitet und man Höchstwerte messen möchte. Völliger Spaltenschluß tritt allerdings erst viel später auf, um 22 % Defizit. Die Kartoffelblätter verlieren weiterhin durch kutikuläre Transpiration Wasser und erleiden um 40% Defizit erste Trockenschäden. Der subletale Bereich, in dem 2 bis 5 % Schäden an den Blattflächen auftreten, wird ab 42% Defizit irreversibel überschritten, weiterer Wasserverlust ist letal.

Durch die beschriebenen Vorversuche sind die artspezifischen Grenzen des Wasserhaushaltes für das „neue Untersuchungsobjekt“ abgegrenzt und die eigentliche Assimilationsmessung läßt sich nunmehr sinnvoll ansetzen.

Insgesamt 30 Versuchsreihen mit jungen und ausdifferenzierten Kartoffelblättern von Oberarnbacher Frühe und Agnes ergaben nur sehr wenig sortentypische Unterschiede, so daß ich die Ergebnisse in Abb. 11 (oben) gemeinsam darstellen konnte. Junge Kartoffelblätter reagieren trotz höheren Wassergehaltes auf Wasserverluste viel empfindlicher als voll ausgestaltete. Ähnliches fanden Pisek und Winkler 1953 bei allen untersuchten Sonnenpflanzen und Schattenpflanzen jugendlicher Ausprägung. Die Kartoffel-Jung-Blätter (Mitte Juni/anfangs Juli) reduzieren ihre Transpiration ab 2 bis 4% Wasser-Defizit und schließen bei Wasserverlusten von 10 bis 18 Prozent. Dabei transpirieren die am Patscherkofel gewachsenen Stauden der Oberarnbacher und Agnes bei 10.000 Lux, 500 mg/h Evaporation träger und schließen, da sie zum gleichen Datum gegenüber Talpflanzen viel jünger sind, auch erheblich früher ihre Spalten.

Erwachsene Kartoffelblätter engen die Transpiration im Mittel nach 4 bis 6% Gewichtsverlust kräftig ein und haben die Stomata bei 20 bis 24% Wasser-Defizit völlig geschlossen. Die Kartoffelpflanzen vertragen größere Wasserverluste als Laub- und Nadelhölzer und empfindliche Schattenpflanzen, bis sie zu sparen beginnen und schließen müssen,

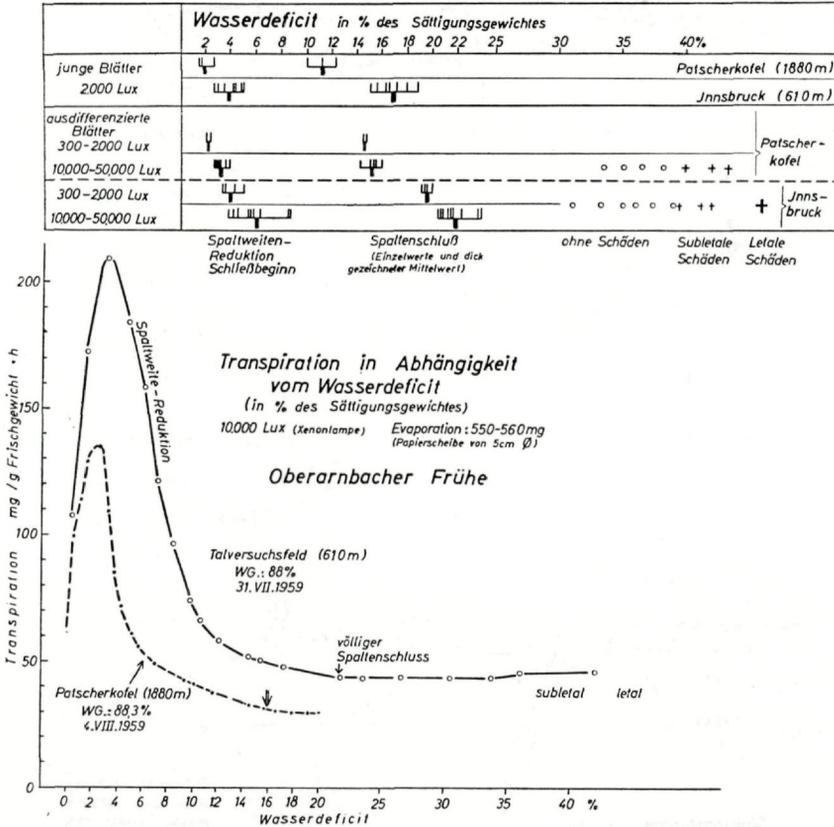


Abb. 11 Transpiration von Kartoffelblättern in Abhängigkeit vom Wasserdefizit, Beginn und Ende der Spaltenschließbewegung, Bereiche sublethaler Schädigung bei Wasserverlust.

und können ganz erhebliche Entwässerung (mehrfach 36 bis 39%) ohne Schäden überstehen. Ich möchte sie auf Grund ihres Wasserhaushalts an den Beginn der „Sonnenpflanzen“ stellen. (Siehe Pisek und Cartellieri 1931/1932.)

Erich Winkler, Stoffproduktion von Kartoffelpflanzen

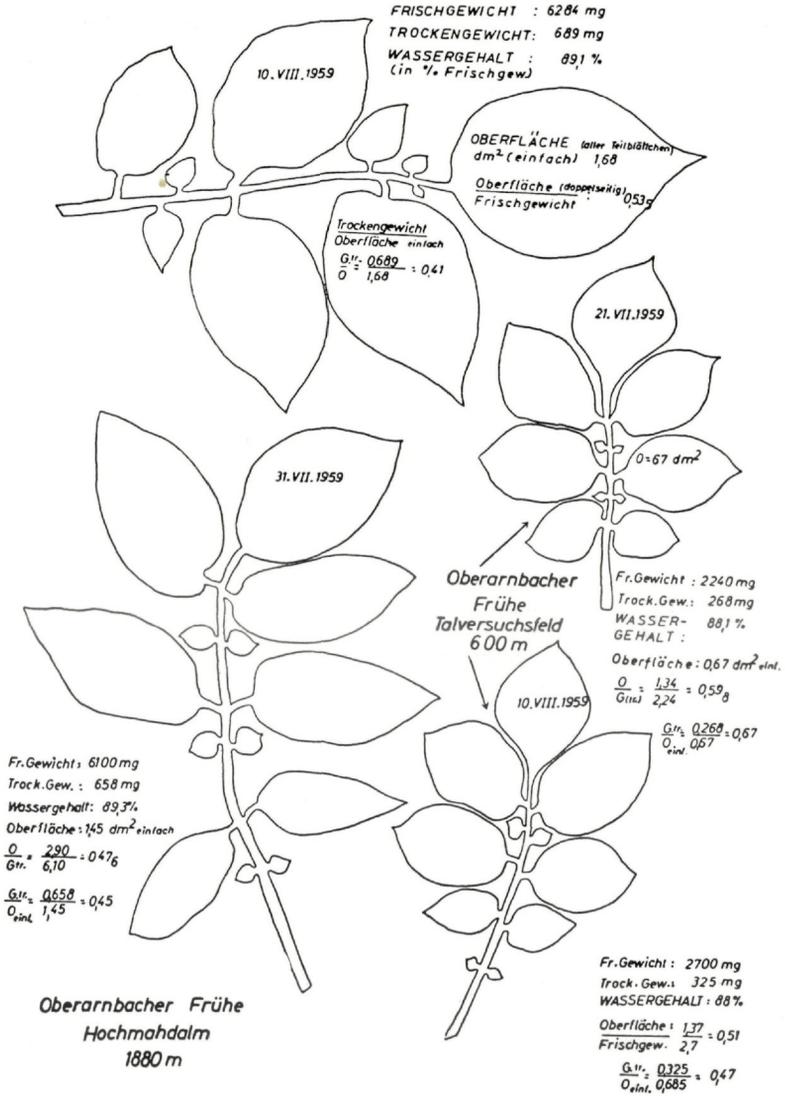


Abb. 12 Oberflächenentwicklung, Frischgewicht und Trockengewicht bei typischen voll entwickelten Kartoffelblättern der Oberarnbacher Frükartoffel (rechts Blätter aus dem Talversuchsfeld (610 m), links Blätter vom Patscherkofel-Hochmahdalm (1880 m).

Kartoffelblätter tragen beiderseits Stomata. Sie sind bei beiden untersuchten Sorten im Durchschnitt $18 \mu \times 25 \mu$ groß, an der Blattoberseite nur spärlich, etwa 18 bis 20 pro mm^2 , an der Unterseite reichlich, etwa $100/\text{mm}^2$ vorhanden. Trotz großen Zentralspaltes, der sich 4μ bis 6μ weit öffnen könnte, bleibt die maximale Transpiration relativ gering. Ich habe unter extremen Bedingungen im Laboratorium (50.000 Lux 1200 mg/h Evaporation) 400 bis 300mg/Gr. h und im Freien an einem föhnigen Hochsommertag an stets neu abgeschnittenen Blättern 650 bis 800 mg/Gr. h als Höchstwerte gemessen. Mittelhohe Transpirationswerte sind für die Pflanzen sicherlich vom Vorteil und sprechen für gut zureichende Regulationsfähigkeit.

Der Blatt- und Achsen-Wassergehalt ist stets bedeutend und sinkt mit der Ausreifung von über 90% auf 86,5% des Frischgewichtes ab. Abb. 12 bringt Übersicht für mittleren Wassergehalt von Oberarnbacher- und Agnes-Blättern sowie das Oberflächen-/Frischgewichtsverhältnis und Trockengewichts-/Oberflächenverhältnis als Maß der Oberflächenentfaltung. (Die Oberflächenbestimmung erfolgte durch genaues Abzeichnen und Planimetrieren aller Einzelblätter und Stiele.) Während sich in Innsbruck und Rinn gepflanzte Kartoffelstauden gleichen Saatguts in Größe und Blattform kaum unterscheiden, entwickelte dasselbe Oberarnbacher und Agnes-Saatgut beim Aussetzen am Patscherkofel wesentlich größere Blätter und niedrigere Stauden. Abb. 12 zeigt reife Durchschnittsblätter aus dem Jahre 1958, um eine Vorstellung von den erheblichen Größenunterschieden zu geben. Die starke Vergrößerung der Blattflächen in Hochlagen kann nur als Reaktion auf das strahlungsreiche und in den Hochsommermonaten nachts auch taufeuchte Gebirgsklima gedeutet werden.

1957 am Patscherkofel gezogene großblättrig gewordene Stauden der Oberarnbacher Frühe lieferten bei der Einpflanzung ihrer Knollen 1958 im Botanischen Garten Innsbruck ganz „normalblättrige“ Individuen. Eine weitere drastische Probe lieferte der Nachzuchtversuch 1959. Anfangs August zu Tal gebrachte Stauden (deren Blatt Abb. 12 darstellt) besaßen noch harte Altkartoffel mit mehreren kleinen Trieben neben 3 großen wohlbeblätterten Sprossen. Als ich 2 dieser Altkartoffel von ihren beblätterten Sprossen löste und am 4. VIII. 1959 im Botanischen Garten ins Versuchsfeld einsetzte, trieben sie von neuem aus. Die Ende August und im September noch frisch gebildeten Blätter waren auch im Alter von 4 bis 5 Wochen „erwartungsgemäß“ von der im Tal „üblichen Größe“.

Die extreme Blattflächenentwicklung in alpinen Hochlagen ist also eine Klimamodifikation.

Tabelle 1 erläutert morphologische Unterschiede an Blättern der Oberarnbacher Frühe nach Messungen an je 12 Blättern. (8. VIII. 1959, voll ausgebildete Blätter aus dem Gartenversuchsfeld und Versuchsfeld Patscherkofel.)

Oberarnbacher Frühe **Talfeld (610 m)**
Innsbruck**Endblätter**

Größe	5 × 4 cm (max. 6 × 4,5 cm)	
Epidermiszellen	24–27 μ lang	15–16 μ breit
Epidermisoberwand	1,5–2 μ breit	
Palisadenzellen	86–96 μ lang	115 μ lang
(einschichtig)	15–18 μ breit	20 μ breit
Schwammparenchym	110–130 μ breit	
(locker) Zellen	24–21 μ lang,	12–15 μ breit
gesamte Blattbreite	216–240 μ	im Mittel
	270 μ	maximal

Seitenblätter

Größe	4–3 cm
gesamte Blattbreite	220–230 μ
Epidermiszellen	20–21 μ lang
	12–15 μ breit
Epidermisoberwand	1–1,5 μ breit
Palisadenzellen	80–100–110 μ lang
	12–15 μ breit
Schwammparenchym	110–120 μ lang
Einzelzellen	18–21 μ lang
	12–14 μ breit

Kleinblätter

Größe	3 × 2,5 cm im Mittel
gesamte Blattbreite	212–225 μ
Palisadenzellen	95–108 μ lang
Schwammparenchym	95–100–120 μ breit

Oberarnbacher Frühe

Hochmahdalm (1880 m)**Endblätter**

im Mittel	6 × 4 cm
maximal	8 × 6 cm
Epidermiszellen	25–30 μ lang
	12–16 μ breit
Epidermisoberwand	2–3 μ breit
Palisadenzellen	180–210 μ lang
	18–24 μ breit
Schwammparenchym	230–270 μ breit
(locker) Zellen	25 × 15 μ
gesamte Blattbreite	410–480 μ
	540 μ !

Seitenblätter

im Mittel	5 × 3 bis	4,5 × 3 cm
gesamte Blattbreite		400–450 μ
Epidermiszellen		22–25 μ lang
		10–14 μ breit
Epidermisoberwand		1,7–2 μ breit
Palisadenzellen		170–200 μ lang
		18–20 μ breit
Schwammparenchym		235–246 μ lang
Einzelzellen		20–22 μ lang
		12–14 μ breit

Kleinblätter

4 × 3 bis	3 × 2,5 cm
gesamte Blattbreite	270–310 μ
Palisadenzellen	135–150 μ lang
Schwammparenchym	140–160 μ breit

Die anlässlich unserer Sonnenblumenuntersuchungen durchgeführten Wasserhaushaltskontrollen ergaben für

5 bis 6 Wochen alte Blätter

Wassergehalt 86 bis 90% des Turgeszenzgewichtes

Reduktion der im Mittel ab 4% Wass.-Def.
Spaltweite

völliger im Mittel bei 18,4% W.-Def.
Spaltenschluß (2000 Lux), 20, 5% W. Def.
(10.000 Lux)

3 Monate alte Blätter

Wassergeh. 80 bis 85%

im Mittel ab 6% Wass.-Def.

Spaltenschluß bei 25% bzw. 27,5% W.-Def.(10.000Lux)

Demnach verhalten sich Sonnenblumenblätter und Kartoffelblätter auch in ihrer Spaltenreaktion und im Wassergehalt ähnlich.

VI. Witterung und Kartoffelerträge in den Jahren 1956 bis 1959. Bilanzuntersuchungen an Kartoffelpflanzen

Zur „Eichung der Ergebnisse meiner Assimilations-Untersuchungen“ machte ich regelmäßige Zuwachskontrollen. Ich entnahm meinem Versuchsfeld monatlich 2 bis 3 mal je 3 bis 6 Einzelpflanzen durch vorsichtiges Ausgraben, wusch das Wurzelsystem und bestimmte an der Staude nach Abtrocknung der Basis Frischgewicht und Trockengewicht der Blätter, grünen blattlosen Achsen, weißen Achsen und der Wurzeln. Auch Prof. Mayr und Herr Büttner sandten mir alle 14 Tage bis 3 Wochen je 3 bis 6 Pflanzen von Rinn oder Patscherkofel — im Nylon wohlverpackt — ins Institut, so daß parallele Zuwachsmessungen vorliegen.

Die 50 bzw. 70 m² großen Versuchspartzellen im Botanischen Garten haben schwach basischen humosen sandigen Lehm Boden in gutem Kulturzustand, das große Versuchsfeld in Rinn ist saurer Mullboden, dessen Krume aus humosem lehmigen Feinsand besteht. Herr Büttner, Gärtner am Alpengarten des Bot. Institutes, erwarb sich 1955 500 m² Weidegrund der Hochmahdalm. Dieser subalpine Grund liegt in einer breiten Waldlichtung bei südwestlicher Exposition 1880 m hoch und hat gute Wasserführung. Der etwa 20 Grad geneigte Boden reagiert schwach sauer, besteht aus podsoliger Braunerde und dürfte vor etlichen Jahrzehnten noch mit Wald bestanden gewesen sein. Einzelne Zirben und Waldbegleitpflanzen in der Almrasesgesellschaft deuten dies heute noch an. Nachdem Herr Büttner schon 1954 im Rohhumusboden des Alpengartens Oberarnbacher Frühkartoffel mit Erfolg gezogen hatte und 1956 von 10,5 kg Oberarnbacher Saatgut 120 kg Kartoffeln geerntet hatte, wurde in den Jahren 1957/58/59 im Parallelversuch zu Rinn und Innsbruck 80 m² mit Oberarnbacher Frühe und Agnes im Abstand 60 × 35 cm bestellt. Die Düngung betrug je 1,5 kg Blaukorn/Superphosphat 1 kg Patentkali pro 50 m² wie in den Talfeldern und wurde 1958/1959 am Patscherkofel zur Rohbodenverbesserung verdoppelt.

Ich kann hier aus Platzmangel nicht alle 5 gezeichneten Zuwachsdigramme veröffentlichen und beschränke mich auf die Jahre 1957 und 1958 (Oberarnbacher und Agnes. . . Abb. 13a und Abb. 13b) In diesen Oekogrammen¹ wird der Trockengewichtszuwachs in Verbindung mit dem Großklima erläutert. Aus den Oekogrammen ersieht man, daß in Tallagen gepflanzte Kartoffelstauden ihre Assimilationsgewinne im Juni und Juli vornehmlich in neuen Blättern und Achsen anlegen. Die Stauden wachsen kräftigst, ihr Trockengewicht nimmt fast linear zu, aber der Kartoffelansatz bleibt noch mäßig. Erst ab Mitte Juli nimmt die Krautneubildung schwächer zu, die meisten Assimilate strömen nach der stoffzehrenden Blühphase in die Speicherorgane ab. Die Blattfläche erreicht Ende Juli anfangs August maximale Größe und nimmt ab Mitte August ab, während nunmehr alle Assimilate und die Nährstoffe der einziehenden Blätter der Kartoffelausbildung zu gute kommen. (Walter berichtete

¹ Auch Aulitzky veröffentlichte 1958 Oekogramme über Klimafaktoren und Pflanzengesellschaften subalpiner Lage (Ötztal-Obergurgl).

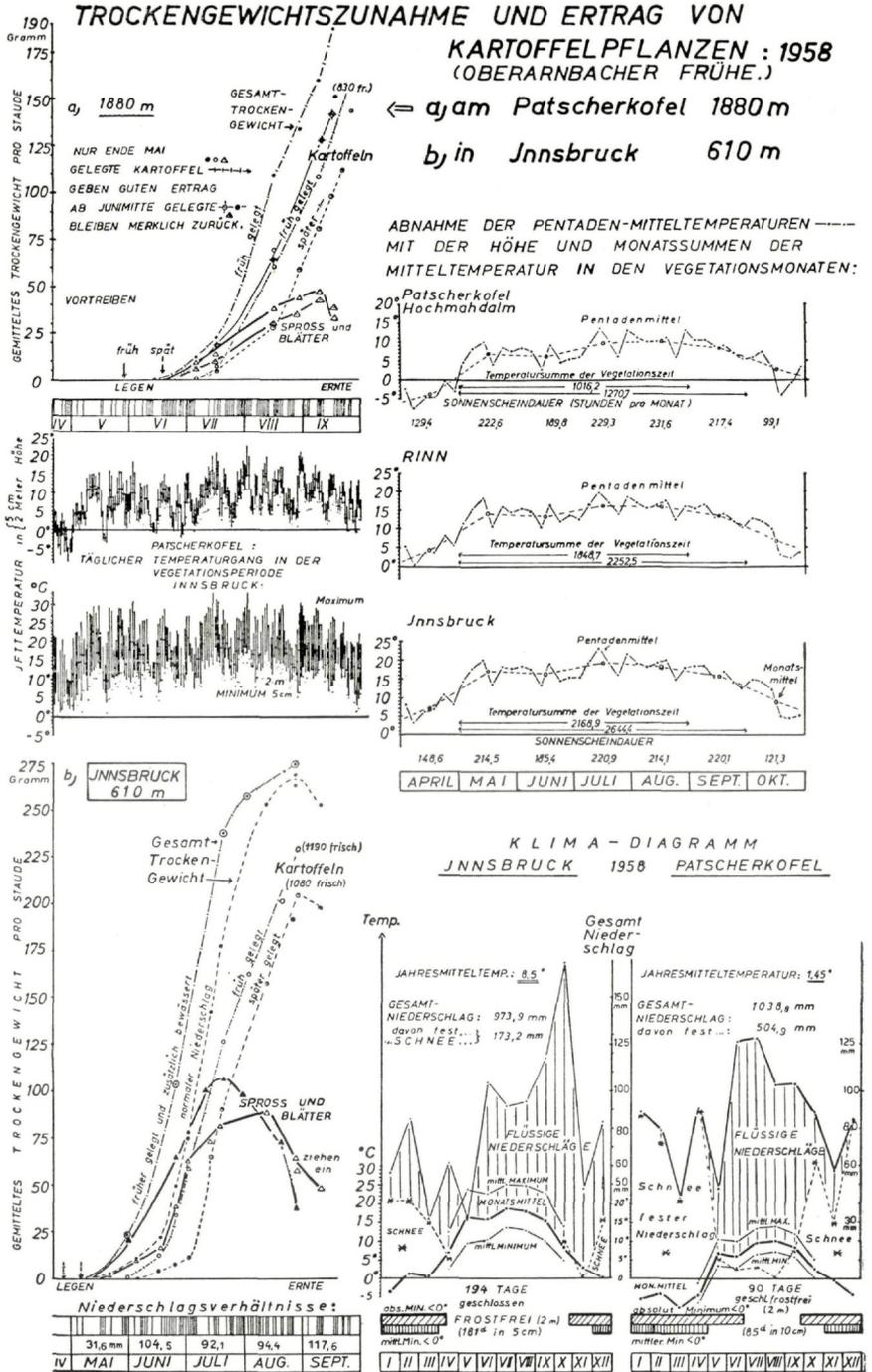


Abb. 13a Trockengewichtszunahme der Oberarnbacher Frühkartoffel im Verlaufe der Vegetationszeit im Zusammenhang mit dem Großklima. Versuchsjahr 1958. Innsbruck (610 m) und Patscherkofel (1880 m).

TROCKENGEWICHTSZUNAHME UND ERTRAG VON KARTOFFELPFLANZEN: 1958 (SORTE AGNES)

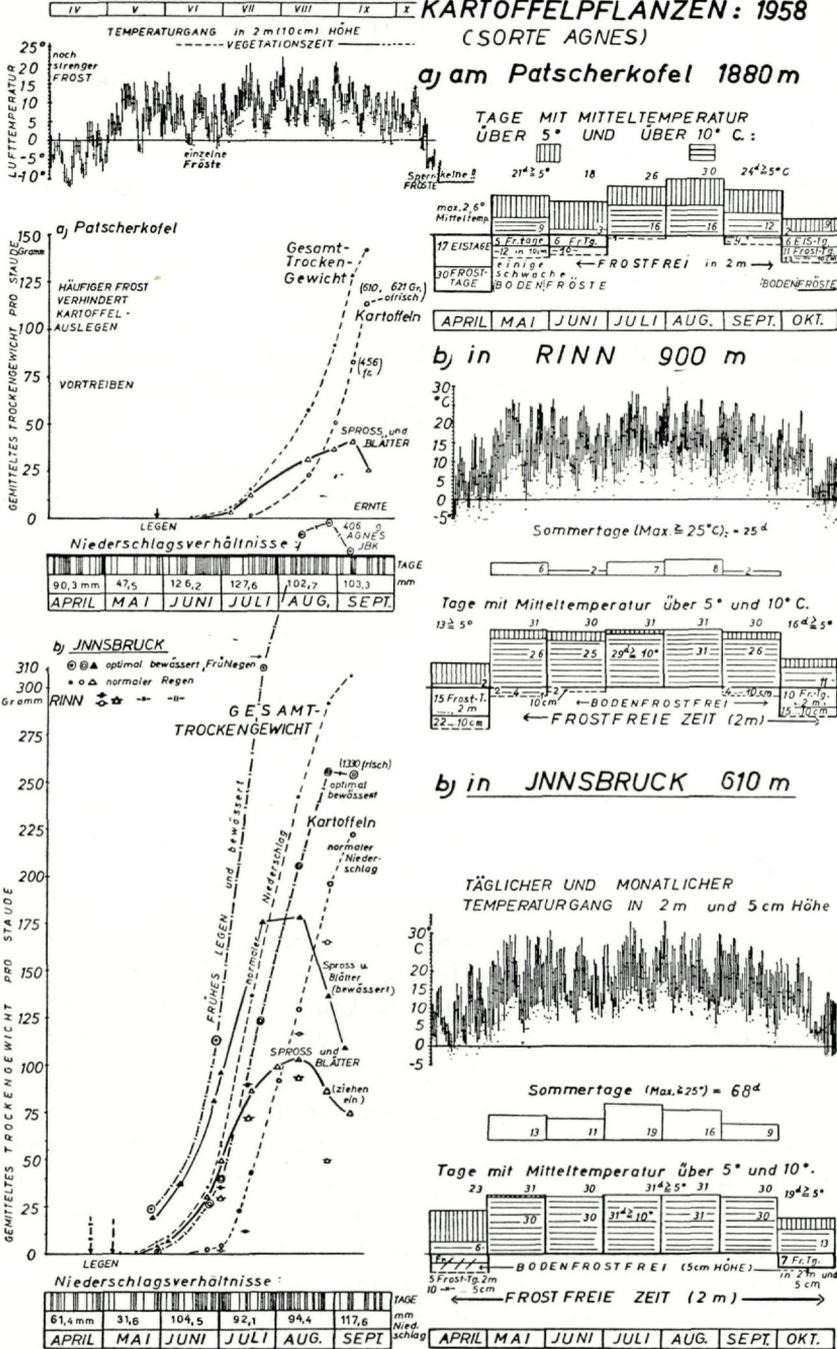


Abb. 13b Trockengewichtszunahme der Agnes-Kartoffel im Verlaufe der Vegetationszeit im Zusammenhang mit dem Großklima. Versuchsjahr 1958. Innsbruck (610 m) und Patscherkofel (1880 m).

1951 in der Phytologie, Standortslehre I/383 darüber ausführlicher für *Solanum nodiflorum* (nach Larsen, 1942). Erfreulicherweise liegt das Meteorologische Institut der Universität in Innsbruck, die agrarmeteorologische Station von Prof. Mayr direkt an seinem Versuchsfeld und die Wetterwarte Patscherkofel in den Jahren 1956 und 1957 nur 300 m von Büttners Feld entfernt auf der Hochmahdalm. Zuwachs und Ertrag sind in Innsbruck und Rinn durch das verschiedene Wärmeangebot bedingt, etwas verschieden. In Innsbruck herrschen bei Schlechtwetter für Wachstum sicherlich thermisch günstigere Bedingungen als in Rinn (900 m). Allerdings bewirken Klartage im Juli und August in Innsbruck bei Blatt-Temperaturen nahe 30 Grad und Bodentemperaturen um 20 Grad (10 cm Tiefe) höhere Atmungsverluste, während die um 300 m höher gelegenen Rinner Felder ihren Pflanzen günstigere Assimilationsbedingungen bieten. Im Alpenraum fallen in den Sommermonaten 45 bis 150 mm Niederschläge (im Mittel um 100 mm) und waren ab Juni zur Wasserversorgung sicherlich voll ausreichend. Der Monat Mai ist manchmal trockener. Zusätzliche Bewässerung bringt hierbei raschere und vermehrte Blattentwicklung und damit ansehnlich höheren Endertrag. Ich habe dies in den Jahren 1958 und 1959 an Sonderparzellen in Innsbruck nachgeprüft¹ und gelangte maximal zu 1,12 kg (OA.) und 1,27 kg (Agnes) mittleren Kartoffelertrag pro Staude. (Siehe Abb. 13 a/b.)

Der Kartoffelbau geht in Österreich nach Schneider-Baier-Hula's Lehrbuch der Landwirtschaft bis gegen 1600 m. Tiroler Bergbauern auf den Rofenhöfen im Ventertal (2014 m) und im Hoch-Schnalsertal bauen einzeln Kartoffeln an. Persönliche Vorsprachen von Herrn Büttner ergaben, daß in Vent (Südlagen, Südwestlagen) mit Stallmist gedüngte Kartoffelstauden (Ackersegen) in günstigen Jahren „etwas tragen“ (Wägewerte liegen keine vor!). Die als Anhang gegebenen langjährigen Klima-Tabellen für den Patscherkofel (Waldgrenzenlage 1909 bzw. 2045 m) zeigen, daß in den drei Vegetationsmonaten, zweite Junihälfte — Juli, August und erste Septemberhälfte — Kartoffelbau klimatisch gerade noch möglich ist. Im April herrschen an der Patscherkofelwaldgrenze noch reichlich winterliche Temperatur- und Schneeverhältnisse. Auch der Mai ist fast bis zum Monatsende frostreich. Werden Kartoffeln in dieser Zeit 10 bis 14 Tage vorgetrieben und gegen Maiende ausgelegt, so kommen sie Mitte Juni mit den ersten Blättchen an die Bodenoberfläche, sobald die Temperaturverhältnisse nach dem üblichen anfänglichen Kälterückfall günstiger geworden sind. Abb. 15 schildert nun für

¹ Als „optimale Bewässerung“ wurde von Anfang Mai bis Ende August an allen niederschlagslosen Tagen abends je 5 Liter Wasser pro Staude gegeben.

diese subalpine Lage Gang der Lufttemperatur und Bodentemperaturen¹, Sonnenscheindauer und Niederschlagsverhältnisse. Die Jungtriebe der Kartoffel überstehen die ersten kalten Junitage im Boden gut geschützt. Wenige Tage schönen Wetters erwärmen den Boden kräftig, die ersten Blätter entfalten sich bald darauf. Die oberen Bodenlagen erwärmen sich stark, in 2 cm Tiefe sind 30 Grad und späterhin bis und über 48 Grad im Versuchsfeld gemessen worden! Der anfangs in den Kartoffelkulturen noch weitgehend unbedeckte Boden heizt sich rasch etliche Grade über die Lufttemperatur auf, strahlt tagsüber und lange nachtsüber Wärme ab und stellt „das warme Bett“ der jungen Stauden dar. Während im Tal im Juli alle Kartoffelstauden blühen und schon zu Monatsmitte kräftiger Kartoffelknollen ansetzen, entfalten die Kartoffelstauden auf der Hochmahdalm im Juli und bis Mitte August ihre großflächigen Blätter und setzen erst Mitte August und zu Septemberanfang kräftig an. Bleibt ihr Laub bis Monatsmitte, womöglich Septemberende (im oft milden Bergherbst) erhalten, werden auch die Erträge ansehnlich. Mit Zusammenschließen der Kartoffelblätter¹ wird die oberflächliche Bodenerwärmung etwas herabgesetzt, der Boden bleibt aber im Mittel von 2 cm und 10 cm Tiefe um 5 bis 6 Grad wärmer als die Luft.

Tabelle 2

	Lufttemperatur Monatsmittel (2 m)				mittlere Bodenerwärmung über die Lufttemperatur in Grad Celsius:			
	VI.	VII.	VIII.	IX.	VI.	VII.	VIII.	IX.
Innsbruck (1906—1955)								
Luft 2 m	16,6	17,9	17,3	14,3				
Boden 40 cm (1949—1955)					-0,5	+0,4	+1,0	+1,4
Rinn (1943—1952)								
Luft 2 m	13,7	15,6	15,7	12,3				
Boden								
2 cm					+3,7	+3,5	+2,4	+2,0
10 cm					+2,7	+2,5	+2,0	+2,1
20 cm					+2,3	+2,1	+1,9	+2,3
Patscherkofel								
(1932—1955)	LUFT	7,7	9,8	9,3	5,9			
1959	2 m	6,5	10,1	7,9				
Boden								
2 cm					+7,1	+9,3	+4,5	
10 cm					+3,4	+5,2	+3,1	
30 cm (1959)					+1,1	+1,7	+1,7	

¹ Drei Bodenthermometer lagen zwischen den Furchen des Versuchsfeldes in 2 cm, 10 cm und 30 cm Tiefe und wurden täglich um 7 Uhr und 14 Uhr von Herrn Büttner abgelesen. Die anfänglich hohen Temperaturen der oberflächennahen Schicht gingen ab Mitte Juli infolge Bodenbeschattung zurück. Die Bodenthermometer waren ab 16. Juli von den kräftig wachsenden Kartoffelstauden bedeckt und maßen also die „Temperaturverhältnisse innerhalb des Bestandes“.

Im langjährigen Durchschnitt von 18 Beobachtungsjahren (1941—1958 Tab. 7, Anhang) kommen in den Hochsommermonaten Juli und August am Patscherkofel keine oder 1 bis 3 Frosttage mit schwachem Frost vor (zusammen selten 5 bis höchstens 8 Tage). Das mittlere Minimum der Lufttemperatur liegt vom Juni bis September im Bereich von 4,2 bis 7,2 Grad, das mittlere absolute Minimum beläuft sich auf $-0,9$ Grad! Im fast zwanzigjährigen Meßzeitraum waren jährlich in den Hochsommermonaten also nur schwache Fröste um -1 Grad zu erwarten, nur Anfang Juni bzw. Mitte bis Ende September traten in den Jahren 1944, 1950, 1952—1954 tödliche Fröste um -4 Grad auf! Nach orientierenden Messungen der Jahre 1958 und 1959 (Minimumthermometer 10 cm über dem Boden) und weiteren Beobachtungen von Herrn Büttner sind in den Hochsommermonaten zusammen nur drei bis fünf Bodenfrosttage mit mittleren Minima von $-0,5$ Grad (bis selten -2 Grad) aufgetreten. Diesen Temperaturen sind aber Kartoffelblätter gewachsen.

Kollege Dr. Larcher führte von Mitte Mai bis Ende Juli 1958 im Botanischen Institut Innsbruck Frosthärteuntersuchungen unter anderem auch an Kartoffelblättern (Oberarnbacher Frühe) durch. Bei 28 Proben ergab sich, daß im Durchschnitt bei $-1,9^{\circ}$ ($\pm 0,2^{\circ}$) in einer Population mit dem Auftreten erster Erfrierungen zu rechnen ist. Nach der Behandlung der Stauden mit 0,3% Borsäure oder 0,5% Borax bzw. guter Düngung mit Blaukorn (B-Gehalt 0,55%) liegt im statistischen Mittel der Gefrierpunkt der Blätter bei einer um $\frac{3}{4}$ Grad tieferen Temperatur als bei unbehandelten Kontrollblättern.

Man muß also in Hochlagen wachsende Kartoffelstauden, die gegen -2 Grad erste Frostschäden aufweisen können, durch Blaukordüngung (Borbehandlung) dagegen schützen. Die Eisbildung muß aber nicht bei -2° (bzw. $-2,7^{\circ}$ gedüngt!) eintreten!

Kartoffelblätter sind, wie bekanntlich viele andere Pflanzen, im bestimmten Ausmaß unterkühlbar. Diese Unterkühlbarkeit wird um so größer, je wasserärmer das Gewebe ist, je langsamer der Abkühlungsprozeß verläuft und je weniger die abgekühlten Pflanzen erschüttert werden. Demzufolge werden auch noch tiefere Temperaturen als $-2,7$ Grad von Kartoffelblättern überstanden. Fällt die Temperatur aber sehr rasch, so daß Eisbildung in den Blättern schlagartig einsetzt, führt dies zum Erfrierungstod des betreffenden Gewebeabschnittes. Im Freiland erfolgt Abkühlung durch Ausstrahlung aber in der Regel langsam; der wie vorher gezeigt, wohl durchwärmte Boden arbeitet wirkungsvoll entgegen, besonders, wenn sich die einzelnen Stauden zu einem Blattdach zusammengeschlossen haben.

Einige Laboratoriumsversuche mit am Patscherkofel gewachsenen und mit Blaukorngedüngten Oberarnbacher Stauden zeigten, daß über vier und auch über 14 Stunden lang währende Abkühlung auf $-1,9$ und $-2,3$ Grad ohne jeden Schaden überstanden wurde. Bei -3 Grad hatten 10 bis 15% der Blattmasse Frostschäden, bei $-3,3$ Grad kam es zu 20 bis 30% Ausfällen an den Blättern und bei -4 Grad sanken die meisten Blätter schlaff zusammen, bräunten und erlitten fast immer Totalschaden. Herr Büttner, unser am Kartoffelbau in Hochlagen sehr verdienter und interessierter Alpengärtner, hat „seine Kartoffelstauden“ schon seit 1956 mit bestem Erfolg durch Blaukorndüngung gegen Frost unempfindlicher gemacht und mehrfach beobachtet, daß ungedüngte Kontrollpflanzen um -2 Grad erfroren sind, während die gedüngten Stauden die im Versuchsfeld sehr seltenen Fröste von $-2,7$ Grad mit kaum 10% Blattausfall überstanden. Die Blaukorndüngung sichert somit den Ertrag! Der Großanbauversuch brachte 1958 auf der Hochmahdalm bei der üblichen Düngung (je 1,5 kg Blaukorn und Superphosphat + 1 kg Patentkali pro 50 m²) von 28 Stauden der Oberarnbacher Frühe 17,38 kg Knollen (= 620 Gramm pro Staude) und auf der Hauptparzelle mit doppelter Düngemenge von 281 Oberarnbacher Stauden 212 kg Knollen als Ernte (also im Mittel 754 Gramm pro Staude). Ein natürlicher Großversuch (31. VIII./1. IX. 1959) bewies nochmals die Richtigkeit unserer Vorstellungen. In diesen fast windstillen Nächten kam es vorzeitig zu Strahlungsfrösten, wie sie sonst erst in der Regel um die Septembermitte auftreten. Das Minimum von -3 und -4 Grad (10 cm über dem Boden gemessen) vernichtete dabei etwa 50 Prozent der Blätter total, während die grünen Achsen intakt blieben. Die nun rasch vergilbende zweite Hälfte des Kartoffelkrautes führte ihre Nährstoffe ungehindert in die Knollen ab, so daß eine diesem klimatisch sonst günstigen Sommer entsprechende Ernte von 236 kg von 319 Stauden eingebracht werden konnte (Septemberende: 740 Gramm Kartoffel/Staude).

Es ist im Zentralalpengebiet also noch möglich, in Südlagen bis zur Waldgrenzenhöhe mit etwa 90% Erfolgchancen Kartoffel zu bauen und hier bei intensiver Blaukorndüngung durchschnittlich 60 bis 70% des Talertrages zu ernten. Damit wäre höchstgelegenen Höfen und evtl. Almbetrieben Selbstversorgung mit Speisekartoffeln und Futterkartoffeln wirtschaftlich möglich. Allerdings sind von meinen beiden Versuchssorten nur die Oberarnbacher Frühkartoffel für Hochlagen geeignet, da die mittelspäte Agnes zufolge langsamerer Entwicklung besonders in schlechten Jahren zurückbleibt und dann im Ertrag ziemlich versagt.

Tab. 3:

Ort	Monatliche Summe der Tagesmitteltemperatur					Summe d. Mittel-Temperaturen in der Vegetationszeit der Kartoffeln	Mittlerer Kartoffelertrag		
	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.		Frischgewicht; Gramm pro Oberarnbacher Frühe	Stauden	Agnes
Innsbruck									
Talversuchsfeld (610 m)						(V.—IX.)			
1956	420,3	417,3	573,0	523,7	470,8	2.405,1	820	24. IV.	1.230
1957 spät gelegt	(328,9)	536,3	555,6	511,6	390,0	2.322,4 (1.993,5)	510	25. V.	640
1958	525,1	488,0	590,0	565,8	475,5	2.644,4	1050	5. V.	1.180
						Mittel 1956—58: 2.457,4 = 100%			
Rinn (900 m)						(V.—IX.)			
1956	343,4	340,4	493,9	446,1	419,6	2.043,4	600	7. V.	652
1957	242,4	461,5	478,5	429,6	330,0	1.942,0	811	14. V.	776
1958	445,1	408,6	505,0	490,0	403,8	2.252,5	800	6. V.	870
							(333,3 dz/ha)		(414,4 dz/ha)
						Mittel 1956—58: 2.079,3 = 84,6%			
Patscherkofel									
Hochmahdalm (1880 m)						(VI.—IX.) (V.—IX.)			
1955	(113,8)	230,4	294,0	272,6	205,9	1.002,9 (1.116,7)			
1956	(144,1)	149,4	316,1	292,9	295,2	1.053,6 (1.197,7)	550	10. VII.	—
1957	(53,7)	288,4	306,7	278,2	206,3	1.079,6 (1.133,3)	290	2. VII.	150
1958	(215,8)	184,9	296,8	318,7	254,5	1.054,9 (1.270,7)	620	27. V.	456
						Mittel 1956—58: 1.062,7 (1.200,6)			
1958							754	(hohe Düngung mit Blaukorn) 27. V.	620
1959	(109,0)	196,8	317,9	249,6	235,3	999,6 (1.108,6)	740 (319 Staud.)	25.V.	—
							796 Maximalertrag		
						Mittel 1955—59: 1.038,1 (1.165,4) = 42,3% (=47,5%) des Wärmeangebots von Innsbruck			

Frühes Legen der Kartoffeln (24. IV. 1956/5. V. 1958) bewirkt in Tallagen rasche Blattentfaltung im meist sonnenscheinreicheren Mai und damit höhere Enderträge. In Innsbruck kamen 1957 die Kartoffeln erst am 25. Mai in den Boden, um die gegenüber Rinn sonst vorseilende Entwicklung abzubremsen. Schlechter Ertrag war die Folge (siehe Abb. 14). Rechtzeitig gesetzt, entwickeln Agnes-Kartoffel in Tallagen im Durchschnitt 20 Prozent mehr Blattmassen als die Oberarnbacher, welche frühzeitiger Assimilate in die Knollen ableiten und sie rascher reifen lassen. Während um Mitte August die Oberarnbacher Stauden zu gilben beginnen und dann einziehen, wird die Agneskrautmasse erst Ende Juli/Anfang August optimal und assimiliert mit großer Blattfläche noch lange in den August hinein kräftig weiter und zieht erst gegen Ende August, anfangs September ein. Der Kartoffel-Gewichtsertrag ist damit bei Agnes Ende September-Anfang Oktober größer geworden als bei den wirtschaftlich preisgünstigeren Frühkartoffeln.

Summiert man die einzelnen Tagesmittel-Temperaturen in den Vegetationsmonaten (monatsweise), so erhält man ein relatives Maß für die zur Verfügung stehende Wärmemenge. Diese „Mittel-Temperatursummen“ charakterisieren im Tal und an der Waldgrenze (zusammen mit der Zahl der Bodenfrosttage) die Möglichkeiten der Entwicklung näher und begründen augenscheinlich Phasen besserer Entwicklung oder Hemmung infolge Witterungseinflüssen.

Tabelle 3 führt nun abschließend Monatssummen der Mitteltemperatur und Kartoffelerträge in den einzelnen Beobachtungsjahren an und zeigt die Korrelation von Spätsetzen im Tal (1957), Hochlagen gemäßen Anbau mit geringer Temperatursumme und vermindertem Kartoffelertrag. Demnach ist es zweckmäßig, Kartoffeln in Tallagen gegen Ende April zu legen, in Hochlagen (vorgekeimt) Ende Mai.

Die Saatkartoffel treibt ihre Keime etwa bei 8 Grad Bodentemperatur aus. (Siehe Dr. Ing. Kallbrunner, Scholle-Band 63, 1947, S. 21 „Die Kartoffel“.) Die großen, zum Teil neu angelegten Versuchsflächen am Patscherkofel wurden in den Jahren 1958 und 1959 zur Bodenverbesserung und Frostabwehr mit der doppelten Blaukorn-Kalidüngung versehen (siehe Seite 41). Besonders in Hochlagen sichert die vermehrte Düngung gegen evtl. Frostrückschläge und brachte erwartungsgemäß wesentlich höhere Kartoffelerträge.

TROCKENGEWICHTSZUNAHME UND ERTRAG VON
KARTOFFELPFLANZEN (Oberarnbacher Frühe).

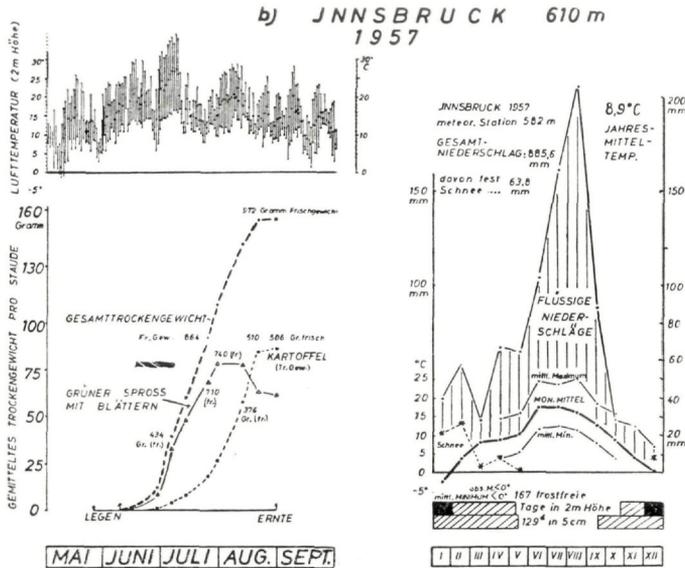
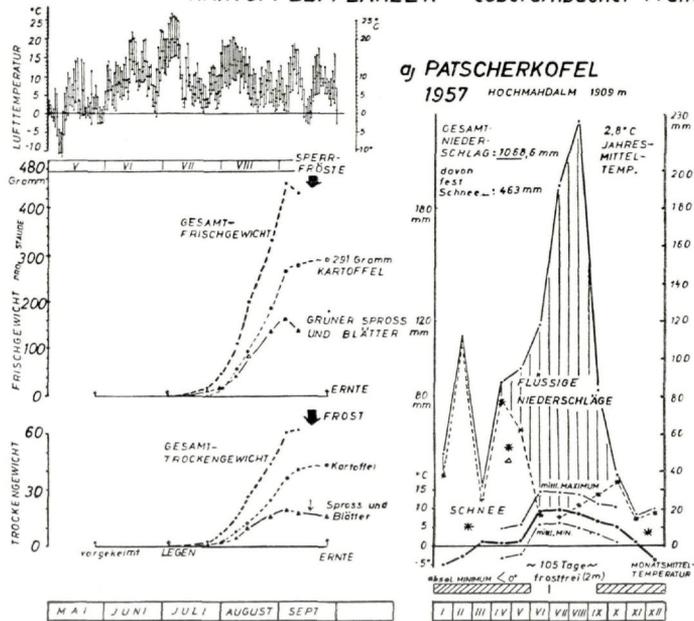


Abb. 14 Trockengewichtszunahme der Oberarnbacher Frühkartoffel im Verlaufe der Vegetationszeit bei spätem Legen der Kartoffel. Versuchsjahr 1957. Innsbruck (610 m) und Patscherkofel (1880 m). — Klimaangaben.

Bilanzübersicht

Nach Besprechung der Kartoffel-Erträge möchte ich eine Bilanz-Übersicht geben. Übertragung des unter definierten Bedingungen genau feststellbaren Assimilationsvermögens auf Freilandversuche ist möglich, wenn für die im Freiland in gewissen Bereichen wechselnden Temperatur- und Lichtverhältnisse richtige Mittelwerte angegeben werden.

Schon Poul Larsen hat 1939 in Kopenhagen Assimilationsuntersuchungen an *Solanum nodiflorum*-Rassen mit ähnlicher Methodik durchgeführt und auch Bilanzübersichten pro Hektar gegeben (Planta 32, 1942). Die Assimilationsbestimmung erfolgte mit der von Boysen-Jensen 1928/32 angegebenen Luftstrommethode an abgeschnittenen Blättern bei 20 Grad, die wechselnde Beleuchtung mittels 500-Watt-Metallfadlampen. Obzwar Larsen die Assimilationswerte von 20 Grad auf die jeweilige Lufttemperatur korrigiert verwendete und keine direkte Kohlenstoffgehaltsbestimmung von *Solanum nodiflorum* besaß und auch die Atmungswerte für 16 Grad teilweise nach anderen Pflanzen korrigierte, hat er doch die Höhe der einzelnen Bilanzposten ziemlich gut erfaßt. Ich erhielt von dieser in der Methodik ähnlichen Arbeit an *Solanum nodiflorum* erst nach Abschluß meiner unabhängigen Untersuchung an *Solanum tuberosum* Kenntnis und freue mich über die ähnlichen Erfolge der Bilanzberechnung über die auf Oberfläche bezogene Assimilation. Ich halte es allerdings für zweckmäßiger und rascher, Assimilation auf Trockengewicht zu berechnen, da Atmungsverluste ohnehin nur auf dieser Basis abzurechnen sind¹. Die inzwischen am Institut fortentwickelte halbautomatische Uras-Meßtechnik gab uns die Möglichkeit, gleichzeitig Assimilation und Atmung mehrerer Proben über den gesamten ökologisch wichtigen Temperaturbereich viel genauer als 1939 mit der Boysen-Jensen-Methodik zu bestimmen und damit die Bilanz genauer zu gestalten. Die Innsbrucker Forschungsstelle für Lawinenvorbeugung studiert seit 1953 an der Waldgrenze bei Obergurgl (Ötztal) mittels modernster apparativer Ausstattung Kleinklima, Assimilation und Atmung von Jungzirben und berichtete schon mehrfach darüber Aulitzky: 1954, 1955, 1958, 1960 (Turner 1958). Doz. Tranquillini registrierte vom 23. 10. 1954 bis 4. X. 1955 mittels Uras Assimilation und Atmung bei mehreren Jungzirben und veröffentlichte auch die volle Bilanz dieser 5-, 8jährigen Jungbäume (Planta 54 (1959)). Dabei ließ sich der mögliche jährliche Zuwachs errechnen und forstlich überprüfen. Jungzirben legen allerdings nur rund ein Drittel der photosynthetisch gewonnenen Trockensubstanz als Zuwachs an und erleiden offenbar durch Mykorrhizapilze der Wurzeln erhebliche Substanzverluste. Tranquillini erstellte seine Endbilanz durch Addition der einzelnen Tagesausbeuten abzüglich aller Verluste, ich wählte folgenden etwas kürzeren Weg:

Man kann entweder den Gaswechsel ganzer oberirdischer Pflanzen unter speziell angefertigten gekühlten Glocken messen und die Assimilationsleistung der etwa 100 tägigen Vegetationsperiode integrieren oder bei mittlerer Belichtung und mittlerer Temperatur die monatliche Netto-Assimilation des „Kartoffelkrautes“ aus den Diagrammen des Assimilations-Vermögens (siehe Abschnitt III, Abb. 3—5) berechnen und schließlich mit dem genau feststellbaren monatlichen Zuwachs vergleichen.

¹ Nitchiporovitch und Zalensky führten im großen Maßstab im klimatisch verschiedenen russischen Gebiet hektarweise Zuwachsmessungen an Kartoffelpflanzen und Assimilationsbestimmungen mit ähnlicher Oberflächen bezogener Intensität durch.

Die Atmungsverluste der unterirdischen Teile und der oberirdischen Teile bei Nacht sind entsprechend den mittleren Temperaturen abzusetzen. Die meteorologischen Institute lieferten uns aus ihren täglichen Terminbeobachtungen Mittel- und Extremwerte, die bei monatlicher Mittelung brauchbare Durchschnittstemperaturen gaben. Aus Ekharts Arbeit (Das Klima von Innsbruck) kennen wir den täglichen mittleren Gang der Lufttemperatur stundenweise berechnet und können aus den Einzelamplituden bei bekannter Monats-Mitteltemperatur für jede Stunde die wahrscheinliche Lufttemperatur angeben.

Kartoffelblätter im Freiland sind im Sonnenlicht nach mehreren Einzelmessungen in der Zeit guter Besonnung durchschnittlich um ein bis drei Grad wärmer als die umgebende Luft. Ich habe in einem Diagramm zur stündlichen Lufttemperatur in der Zeit von 9 bis 17 Uhr diese mittlere Überwärmung von zwei Grad gezeichnet und erhielt für die Hauptvegetationsmonate Juni, Juli, August eine Übersicht der mittleren Temperatur besonnener Blätter. Diese für die Assimilation des betreffenden Blattes maßgebliche Temperatur entspricht zahlenmäßig ($\pm 0,2$ Grad) dem mittleren monatlichen Maximum der meteorologischen Lufttemperaturmessung in der Wetterhütte! Die Temperaturen sinken nach Sonnenuntergang langsam ab und erreichen gegen 5 bis 6 Uhr morgens ihr Minimum. Allerdings wärmt der tagsüber mitbestrahlte Boden auch nachtsüber durch Ausstrahlung lange noch nach, so daß ich für die Nachtatmung der einen Wärmeschirm bildenden Kartoffelstauden die meteorologische Mitteltemperatur der Luft wählte.

Die mittlere Bodentemperatur (gemessen in Innsbruck in 40 cm Tiefe) ist im Monatsablauf in den Monaten Juni, Juli, August um 0,4 bis 1 Grad größer als die mittlere Lufttemperatur, kann also gleichfalls zur Berechnung der mittleren Kartoffel- und Wurzelatmung abgeleitet werden. Die Lichtstärken schwanken im Tal zwischen 9 Uhr und 17 Uhr an klaren Sonnentagen um 50.000 Lux, an Schlechtwettertagen um 10.000 Lux. Klartage (Bewölkung unter 20% der Himmelsfläche) gibt es in den Hochsommermonaten im Mittel seltener, etwa 3 bis 5 Tage pro Monat, Regentage schon mehr, 14 bis 18 Tage! Entsprechend der häufigeren Wechselwettertage mittelte ich die Lichtstärke zwischen 10.000 und 50.000 Lux und wählte 30.000 Lux als Berechnungsbasis im Monatsmittel. Mehrfache Auszählung und Auswägung der Einzelblätter zeigten aber auch, daß nur rund die Hälfte der Kartoffelblätter voll besonnt stehen und die andere Hälfte nur mehr teilweise besonnt oder im Staudeninneren verschieden stark beschattet liegt. In der Bilanz ist dem Rechnung zu tragen; ich wählte also für die zweite Hälfte der Blattmasse als mitt-

lere Beleuchtungsstärke 10.000 Lux. Einzelmessungen dieses „Halblichtes“ ergaben an den Stauden von 20.000 Lux in Lichtflecken auch 2000 bis 3000 Lux mit allen Zwischenwerten, wobei aber Werte um 10.000 Lux überwogen.

Die Gesamtdauer der kräftig assimilatorisch wirksamen Besonnung wird von den meteorologischen Instituten mit Sonnenschein-Autographen registriert und als Licht-Brennspur in Zehntel-Stunden angegeben. Man kann diese Zahl für die Assimilationsdauer direkt übernehmen. Der Tag dauert, ortsmäßig durch den Berghorizont begrenzt, natürlich länger, als der Sonnenscheinschreiber angibt. Die Belichtung sinkt dabei im Staudeninneren rasch ab, so daß bald Kompensation der Atmungsverluste oder ganz schwacher mathematisch und meteorologisch unfaßbarer Gewinn resultiert.

Die grünen Sproßachsen erhalten sich nur im Licht von 10.000 und mehr Lux selbständig, zehren aber unterhalb dieser Grenze vom Gesamtgewinn. Ihre stoffzehrende Atmung dauert also 24 Stunden minus Stunden des vollen Sonnenscheins! Die Nacht-Atmungsverluste der Blätter ergeben, nach einer kurzen Zeit der Kompensation im Schwachlicht, über den Monatszeitraum berechnet, einen ganz erheblichen Betrag. Die Atmung der Blätter während des Tages ist zufolge der Netto-Assimilationsmessung schon im „Reingewinn“ berücksichtigt. Auch die Atmungsverluste der Wurzeln und Kartoffelknollen erreichen für 24 Stunden und auf den Gesamt-Monat berechnet, erhebliche Werte, die den Reingewinn der Staude weiter schmälern. Mit zunehmender Bodenbedeckung durch das sich schließende Blattdach sinkt die zusätzliche Bodenaufheizung ab, so daß mit Kronenschluß anfangs Juli die mittlere Bodentemperatur nur 0,4 bis 1 Grad über der mittleren Lufttemperatur (im Tal!) liegt.

Viel höhere, sich rascher ändernde Atmung der Jung-Blätter und wechselnde Lichtverhältnisse innerhalb der Stauden erschweren eine sinnvolle Bilanz im Monat Juni außerordentlich, zumal auch der Knollenansatz recht gering ist.

Ich gebe also nur eine Bilanzübersicht (Tabelle 4) für Juli und August. Mehr als eine gute Betragsübersicht war hierbei nicht angestrebt, da die monatsweise Berechnung der

Blatt-Assimilation im Starklicht	(30.000 Lux),
Blatt-Assimilation im „Halblicht“	(10.000 Lux),
Jungblatt-Assimilation	(30.000 Lux),

Sproß-, Blatt-, Wurzel- und Kartoffelknollenatmung mit monatlichen Mitteltemperaturen generalisierend erfolgte und natürlich auch mittlere

Blatt-, Wurzel- und Kartoffelmengen eingesetzt wurden. Dieser Trockengewichts-Mittelwert der produzierenden und verbrauchenden Organe ist das gemittelte Integral aus den Zuwachskurven des betreffenden Monats (siehe Abb. 13a, 1958). Der Mittelwert stimmt aber infolge der scharfen Steigung der Ertragskurven auch zahlenmäßig gut mit den am 15. VII. bzw. 15. VIII. genommenen Feldproben überein!

Tabelle 4 erläutert nun die einzelnen Bilanzposten im Monat Juli 1958. Die mittlere Masse der erwachsenen Blätter (Oberarnbacher Frühe, Talfeld! 18,1 Gramm Trockensubstanz) bindet also in den 7,1 Sonnenstunden stündlich 30,5 mg CO₂ pro Gramm und assimiliert folglich in 31 Tagen 121,5 Gramm CO₂. Die an der Gesamt-Blattmasse zu 15% beteiligten Jungblätter geben im Juli infolge geringerer Assimilationsintensität nur 44,4 Gramm. Zusammen liefern also die vollbesonnenen Blätter 165,9 = 57% des monatlichen Netto-Gewinnes, während die im Halbschatten etwas weniger intensiv arbeitende Blattfläche 124,9 Gramm = 43% beisteuert.

Die Kartoffelstaude kann aber keinesfalls alle diese im Monatsverlauf gebundenen 290,8 Gramm CO₂ zu Assimilaten verarbeiten. Wenn auch die Tages-Atmungsverluste der Blätter infolge Netto-Assimilationsmessung schon abgezogen sind, müssen wir die erheblichen Nachtverluste aller Organe noch absetzen. Die grünen blattlosen Achsenteile arbeiten ja nur im Starklicht kompensierend bis ganz schwach positiv, veratmen also in 24 Stunden — 7,1 Stunden = 16,9 Stunden ganz ordentliche Stoffmengen. Die Blatt-Nachtatmung, geschlüsselt nach altersmäßig normal entwickelten und jungen Blättern, ist beträchtlich (zusammen 67,1 Gramm/Monat). Der Berghorizont um Innsbruck schränkt die astronomisch gegebene Sonnenscheindauer etwas ein. Orographisch bedingt beträgt die effektive Sonnenscheindauer im Juli 13,2 Stunden. Die Nachtatmung dauert im Innsbrucker Gebiet im Monatsmittel also 24 — 13,2 = 10,8 Stunden. Die geringe Wurzelsystem-Masse belastet die Bilanz viel weniger als die im Juli kräftig wachsenden und atmenden Jungkartoffel, für die im Monatsmittel 30 Gramm CO₂ abzusetzen sind.

Aus der gesamten Netto-Assimilation verbleiben der Staude im Juli rechnerisch gerade nur 173,86 Gramm = 60 Prozent. Die jeden Monat drei- bis viermal durchgeführte Zuwachskontrolle an insgesamt 15 bis 20 Stauden des Versuchsfeldes läßt uns nun auch den Trockengewichtszuwachs feststellen. Die Krautmasse betrug anfangs Juli 61 Gramm, Ende Juli 86 Gramm, der Zuwachs also 25 Gramm (Trockengewicht) pro Staude. Wurzeln und weißer Sproß nahmen nur um 2 Gramm (tr.) zu, während die Kartoffelmenge von 11 Gramm am Monatsbeginn auf 127

Tabelle 4

4 Museum Ferdinandeum

Oberarnbacher Frühe Talversuchsfeld (610 m) Juli 1958	M a s s e (Trockengewicht in Gramm im Monatsmittel)	Assimil. Tage im Monat	tägl. Assimil. Dauer (Sonnen- schein-Autogr. in Stunden)	stündliche Netto-Assimil. Bindung von mg CO ₂ /Gr. (Trock.)	NETTO-ASSIM. mg CO ₂ /Gramm Monat und Stauede				
Stoffgewinn durch Netto-Assimilation:									
1. Blattassimilation im Starklicht (erwachsene Blätter)	18,1	×	31	×	7,1	×	30,5	=	121.506 mg
2. Jungblatt-Assimilation im Starklicht	7,7	×	31	×	7,1	×	26,2	=	44.403 mg
3. Halbschatten-Assimilation (erwachsener Blätter)	25,8	×	31	×	7,1	×	22,0	=	124.920 mg
									<u>290.829 mg</u>
Atmungsverluste:									
(Grüne Achsen und Blätter nachtsüber, weißer Sproß mit Wurzeln und Kar- toffeln ganztägig).	M a s s e	Atm. Tage	Atmungsdauer	stündl. Atmungsgröße	Atmung				
1. Atmung der grünen blattlosen Achsenteile	25,8	×	31	×	16,9	×	1,1	=	14.872 mg
2. Atmung normal entwickelter Blätter	43,9	×	31	×	10,8	×	3,8	=	55.855 mg
3. Atmung junger Blätter	7,7	×	31	×	10,8	×	4,4	=	11.334 mg
4. Atmung des weißen Sprosses mit anhängenden Wurzeln	6,3	×	31	×	24	×	1.09	=	5.109 mg
5. Kartoffel-Atmung									
junge (1—2 cm ø) Knollen	24,4	×	31	×	24	×	0,82	=	14.886 mg
mittlere (2—3 cm ø) „	31,0	×	31	×	24	×	0,42	=	9.687 mg
größere (3—5 cm ø) „	18,5	×	31	×	24	×	0,38	=	5.230 mg
									<u>116.973 mg</u>
	Netto-Assimilation:		290,83 g CO ₂	im Juli pro Stauede					
	Atmungsverluste:		116,97 g CO ₂						
	errechneter Reingewinn:		<u>173,86 g CO₂</u>	= 104,5% des tatsächlichen Reingewinns					
„Kartoffelkraut“	Anfang Juli 61,0 Gramm, Ende Juli 86,0 Gramm	Zuwachs: 25 Gramm Trockengewicht =	30,2 g CO ₂ Wert						
Weißer Sproß und Wurzeln	Anfang Juli 4,5 Gramm, Ende Juli 6,5 Gramm	Zuwachs: 2 Gramm Trockengewicht =	1,77 g CO ₂ Wert						
Kartoffeln	Anfang Juli 11,0 Gramm, Ende Juli 127,0 Gramm	Zuwachs: 116 Gramm Trockengewicht =	134,20 g CO ₂ Wert						
		Gesamtzuwachs hat	<u>166,17 g CO₂ Wert</u> (100% !)						

Bilanzuntersuchungen an Kartoffelpflanzen

Gramm zu Monatsende anstieg = 116 Gramm Zuwachs. Diesem Zuwachs an Trockengewicht entspricht ein CO_2 -Aufwand (CO_2 -Wert) von 166,17 Gramm. Setzen wir diesen im Feldversuch gefundenen Zuwachs gleich 100 Prozent, so ist damit verglichen der errechnete assimilatorische Reingewinn von 173,86 Gramm CO_2 gleich 104,5 Prozent! Auch für die im Talfeld gepflanzte Kartoffelsorte AGNES liegen für Juli und August 1958 vollständige, hier nicht mehr veröffentlichte Monats-Bilanzrechnungen vor, bei denen der rechnerisch ermittelte Zuwachs 110% bzw. 106% des tatsächlichen Feldzuwachses beträgt. Damit wird demonstriert, daß aus den Ergebnissen der Assimilationsbestimmung am URAS eine den Anforderungen der Praxis entsprechende monatsweise Bilanzberechnung durchaus möglich ist, sofern zur Bilanzrechnung hierfür geeignete physiologisch sinnvolle Temperatur-Mittelwerte herangezogen werden.

Ergänzend muß ich aber anführen, wie der CO_2 -Wert, der Zusammenhang zwischen Trockengewicht der Staude und Kohlensäurebindung errechnet wurde! Die landwirtschaftliche Untersuchungsanstalt in Wien bestimmte 1958 den Kohlenstoffgehalt an 10 großen Mischproben (je 100 Gramm Trockengewicht) auf Zehntelprozent genau. Die bekannte Beziehung $12 \text{ Gramm C} + 32 \text{ Gramm O}_2 = 44 \text{ Gramm CO}_2$ besagt auch, daß im Gramm Kohlendioxyd 272,7 mg Kohlenstoff enthalten ist. 1 Gramm trockene Stengel-Blattmasse (Oberarnbacher Frühe) enthält im Juli gemäß Analysebefund 330 mg C (=33,0%). 1 mg C ist dabei in $\frac{1000}{330}$ mg nachzuweisen. 272,7 mg C (entsprechend 1 Gramm CO_2) sind in $\frac{272,7 \times 1000}{330} = 827$ mg Blatt- und Achsen-Trockenmasse enthalten.

Die Kartoffelstaude baut also im Assimilationsprozeß aus 1 Gramm CO_2 (C-Gehalt 272,7 mg) 827 mg trockene Blatt- und Stengelmasse auf. Den übrigen Analysen entsprechend entstehen aus 1 Gramm CO_2 957 mg trockener, weißer Sproß und sogar 1,33 Gramm trockene Wurzelmasse (C-Gehalt nur 20,5%). Aus 1 Gramm CO_2 entstehen ferner auch 865 mg Trockensubstanz junger Kartoffeln (Oberarnbacher) und 820 mg großer Kartoffeln. Folgende Tabelle erläutert kurz, wieviel Trockengewicht und Frischgewicht die Sorten Oberarnbacher Frühe und Agnes 1958 aus 1 Gramm Kohlendioxyd und entsprechend Wasser bilden konnten:

Bilanzuntersuchungen an Kartoffelpflanzen

51

	Kohlenstoffgehalt der Trockensubstanz	aus einem Gramm CO ₂ werden in der Assimilation gebildet:			
		Trockensubstanz in Gramm	Mitte Juli	Mitte Aug. (in Gramm)	Ende Aug. Anf. Sept.
Oberarnbacher Frühe					
(610 m)					
Blätter mit grünem Sproß (66% Blattanteil)	33,0%	0,827	6,72	6,04	
weißer Sproß im Boden	28,5%	0,957	4,65	4,18	
Wurzeln	20,5%	1,33	5,86	5,43	
junge bis mittl. Kartoffeln (2–5 cm Ø)	31,5%	0,865	5,03	5,0	
große Kartoffeln (um 10 cm)	33,2%	0,82	4,80	4,38	4,27
Agnes					
(610 m)					
Blätter mit grünem Sproß (66%) (34%)	33,5%	0,814	6,90	6,26	
ältere Blätter (25%) mit grünem Sproß (75%)	29,0%	0,94			5,31
weißer Sproß	28,5%	0,957	4,74	4,28	
Wurzeln	20,5%	1,33	6,21	5,13	
junge bis mittl. Kartoffeln (2–5 cm Ø)	31,6%	0,863	5,46	5,4	
große Kartoffeln (um 10 cm)	33,2%	0,822		4,42	4,32
Oberarnbacher Frühe					
(1880 m)					
Blätter m. gr. Spr.	33,0%	0,827	9,10	6,95	4,62
mittelgr. Kartoff.	32,5%	0,839	7,17	6,00	4,94

Tabelle 5:

Oberarnbacher Frühe Talversuchsfeld (610 m)	Netto-Assimilation mg CO ₂ /Gramm × Monat und Staud			
August 1958				
Stoffgewinn durch Netto-Assimilation:				
1. Blatt-Assimilation im Starklicht				
a) erwachsene rein grüne Blätter				79.143 mg
b) erwachsene gelbgrüne Blätter				25.275 mg
2. Jungblatt-Assimilation im Starklicht				
rein grüne Blätter				25.026 mg
3. Halbschatten-Assimilation				
a) erwachsene rein grüne Blätter				63.756 mg
b) erwachsene gelbgrüne Blätter				21.039 mg
				214.239 mg
Atmungsverluste:				
1. Atmung grüner blattloser Achsenteile				8.879 mg
2. Atmung normaler Blätter				26.215 mg
3. Atmung jüngerer Blätter				4.207 mg
4. Atmung des weißen Sprosses mit anhängenden Wurzeln				3.693 mg
5. Kartoffelatmung				
kleinere (2—3 cm ø)				8.499 mg
mittlere (3,5—5,5 cm ø)				7.703 mg
große (6—10 cm ø)				6.260 mg
				65.456 mg
Netto-Assimilation:				214,24 Gramm
Atmungsverluste:				65,46 Gramm
Abgänge durch Blattverluste Ende August:				38,7 Gramm
Errechneter Reingewinn:				110,08 Gramm
	Anfang August	Ende August	Zuwachs	= CO ₂ -Wert
„Kartoffelkraut“	86 g (Tr.)	88,5 g	2,5 g	3,02
Weißer Sproß und Wurzeln	6,5 g (Tr.)	7,0 g	0,5 g	0,44
Kartoffeln	127 g (Tr.)	205,0 g	78,0 g	92,70
				96,16

Tabelle 6:

Oberarnbacher Frühe Hochmahdalm (1880 m) August 1958	Netto-Assimilation mg CO ₂ /Gramm × Monat und Staude
--	--

Stoffgewinn durch Netto-Assimilation:

1. Blatt-Assimilation im Starklicht erwachsene rein grüne Blätter	67.264 mg
2. Jungblatt-Assimilation im Starklicht, rein grüne Blätter	23.727 mg
3. Halbschatten-Assimilation erwachsene, rein grüne Blätter	75.659 mg
	<u>166.650 mg</u>

Atmungsverluste:

1. Atmung grüner Achsenteile	4.547 mg
2. Atmung erwachsener Blätter	15.126 mg
3. Atmung jüngerer Blätter	4.029 mg
4. Atmung des weißen Sprosses mit anhängenden Wurzeln	2.175 mg
5. Kartoffel-Atmung	
kleine (ca. 1 cm ø)	11.093 mg
kleinere (2–3 cm ø)	10.917 mg
mittlere (3–4 cm ø)	5.004 mg
	<u>52.891 mg</u>

Netto-Assimilation:	166,650 Gramm
Atmungsverluste:	52,891 Gramm
Errechneter Reingewinn: (ohne Berücksichtigung der Verluste durch Blüten und Fruchtansatz)	<u>113,759 Gramm</u>

	Anfang August	Ende August	Zuwachs	=	CO ₂ -Wert
„Kartoffelkraut“	27 g (Tr.)	45 g	18 g		21,76 g
Weißer Sproß und Wurzeln	2,7 g	4,1 g	1,4 g		1,24 g
Kartoffeln	30 g	93 g	63 g		75,10 g
					<u>98,10 g</u>

Im Versuchsfeld Botanischer Garten, Innsbruck (610 m), war also die Bilanz der Oberarnbacher Frühkartoffeln im Juli 1958 ausgeglichen.

Die Tabelle 5 zeigt weiterhin für August 1958 nur die Endsummen in den einzelnen Gewinn- und Verlustspalten. Platzmangel verhindert leider Angabe der Einzelposten, doch die Berechnung erfolgte analog zum Juli, nur in Trockenmassen und Mitteltemperaturen modifiziert. Bis etwa 20. August halten sich die Gewinne in ähnlichem Rahmen, lassen aber späterhin infolge Chlorophyllabbaus — Vergilben der Blätter — um etwa 40% nach! Der Gesamtgewinn belief sich nur mehr auf 74% der Netto-Assimilation im Monat Juli. Allerdings zehrt die doppelt so große Kartoffelmeng (170 Gramm tr.) nicht mehr so stark am Tagesgewinn, weil die stündlichen Atmungsverluste infolge Alterung und besserer Verkorkung stark abgesunken sind. Veratmen doch 1 bis 2 cm große Jungkartoffeln pro Gramm und Stunde (19⁰) im Juli noch bis 0,82 mg CO₂, während im August mittlere Kartoffeln von 3 bis 5,5 cm Größe nur mehr 0,21 mg und Großkartoffeln von 6 bis 10 cm Größe gar nur mehr 0,09 mg pro Stunde abgeben. Berücksichtigen wir in der Augustbilanz einen Abgang von 38,7 Gramm CO₂ durch teilweisen Blattverlust bis zum Monatsende, so kommt der errechnete Reingewinn von 110,08 Gramm CO₂ dem tatsächlichen Zuwachs von 96, 16 Gramm CO₂-Wert ziemlich nahe. (Zuwachsbestimmung erfolgte aus dem Feldversuch wie im Vormonat!)

Jede Kartoffelstaude der Oberarnbacher Frühsorte bindet in Tallagen im Juli photosynthetisch 378 Gramm CO₂, im August 247 Gramm CO₂. Dieser Mittelwert der Brutto-Assimilation wurde aus 20 Versuchstauden ermittelt.

Die Einzelstaude verliert im Mittel durch ATMUNG während der Lichtstunden im Juli 24%, im August 16% der Brutto-Assimilation, wendet weiterhin für die ATMUNG oberirdischer Teile in der Dämmerung und in den Nachtstunden sowie 24 Stunden lang für die Atmung unterirdischer Teile 32% (Juli) bzw. 29% (August) auf. Vom verbliebenen Reingewinn verwenden die Stauden im Juli noch 8% zur Schaffung neuer Blätter und grüner Sproßachsen und setzen nur 35,5% der Brutto-Assimilation in Kartoffelknollen an (= 46% der Netto-Assimilation). Im August beträgt der „Krautzuwachs“ knapp 1,2%, ab Monatsmitte geht das Assimilationsvermögen der Blätter um 40% zurück und teilweiser Blattfall setzt die Brutto-Assimilation der Staude weiter herab. Von der Brutto-Assimilation werden im August 37,5% zur Ausbildung von Knollen verwendet (bzw. 43% auf Netto-ASSIMILATION bezogen).

Auf der Hochmahdalm waren die Stauden der Oberarnbacher Frühe im August 1958 gut ausgereift, setzten zufriedenstellend Knollen an und verlockten mich gleichfalls zum Bilanzversuch (Tabelle 6). Legt man der Bilanzrechnung eine mittlere Lichtstärke von 50.000 Lux in den „Starklichtstunden“ zugrunde, so wird die Netto-Assimilation viel zu groß errechnet. Ich blieb also bei der mittleren Lichtstärke von 30.000 Lux, um so mehr als 1959 die 14tägig durchgeführte direkte Registrierung eine mittlere Lichtstärke von 36.000 Lux in den „Starklichtstunden“ ergab. Die im August häufigeren Trübtage (8 bis 10!) drücken das Mittel herab. Die Netto-Assimilation betrug im August 1958 166,65 Gramm CO_2 pro Staude. Trotz gegenüber Tallage geringerer Blattmasse ist dieser Gewinn dank günstigem Licht und kühler Temperatur ganz ansehnlich! (Mittleres Maximum der Lufttemperatur 14° , Monatsmittel $10,1^\circ \text{C}$.) Die Atmungsverluste sind viel geringer als im Tal; allerdings mußte als mittlere Bodentemperatur 16°C gewählt werden, da sich der Boden in 2 bis 10 cm Tiefe in der subalpinen Lage um etwa 6° über die mittlere Lufttemperatur erwärmt.

Die errechnete Bilanz kommt zu einem monatlichen Reingewinn von 113,76 Gramm CO_2 im August 1958, entsprechend 116% des tatsächlichen Trockengewichtszuwachses (als CO_2 -Wert = 98,10 Gramm). Die Bilanzabweichung von 16% führe ich auf noch nicht ausreichend genaue Erfassung der mittleren Lichtstärke am Versuchshang selbst und vor allem auf möglicherweise nachwirkende Assimilationshemmung während kürzerer kälterer Perioden zurück (siehe auch Tranquillini 1959, Planta 54, Seite 118). Von der Brutto-Assimilation (= 187 Gramm CO_2 pro mittlere Staude) werden im August für Atmung im Sonnenlicht 14,3%, für nächtliche Atmung des „Kartoffelkrautes“ sowie 24stündige Atmung der Wurzeln und Kartoffeln 33,3% aufgewendet. Der Krautzuwachs erfordert 11,6%, so daß 40,1% der Brutto-Assimilation (= 45% der Netto-Assimilation) zum Knollenansetzen verbleiben.

Diese Monatsbilanz für Hochlagen-Kartoffel kann vorläufig nur als Übersicht dienen, bis die kleinklimatischen Verhältnisse dieser Höhenlage genauer bekannt sein werden.

Als Ansatz hierzu gibt Abb. 15 als Ökogramm der Vegetationsmonate des Jahres 1959 eine Übersicht der Licht-, Niederschlags- und Temperaturverhältnisse im subalpinen Versuchsfeld auf der Hochmahdalm (1880 m) im Zusammenhang mit dem Kartoffelzuwachs (Ökogramme aus subalpinen Lagen des Gurgler Gebietes liegen ja bereits von Aulitzky (1958), Tranquillini (1959) und Turner (1958) vor.) Die Bodentemperaturen in 2 cm und 10 cm Tiefe sind größer als die Lufttemperatur.

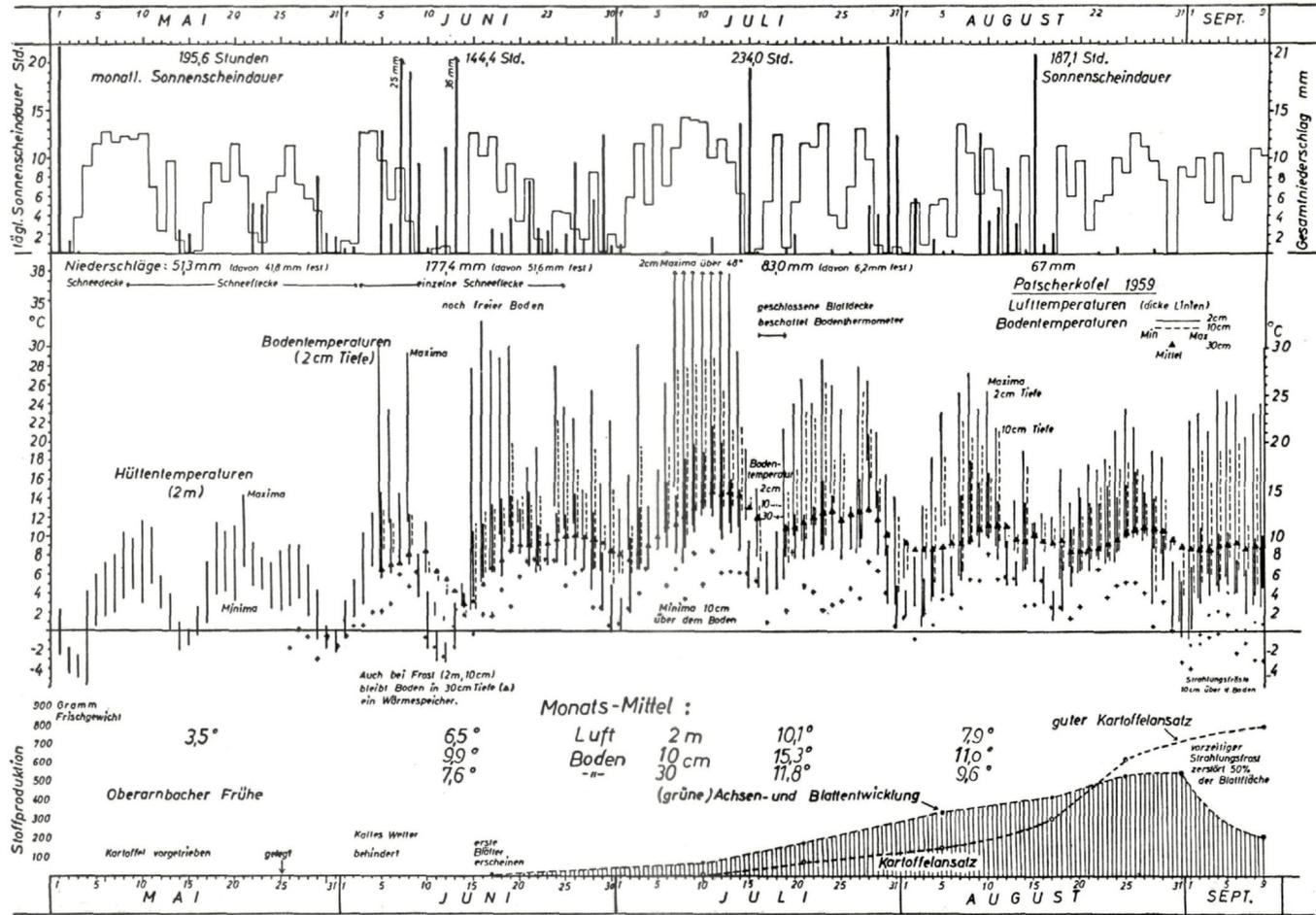


Abb. 15 Witterung der Sommermonate 1959 am Patscherkofel, mit Lufttemperaturen, Bodentemperaturen (2 cm, 10 cm und 30 cm Tiefe), Sonnenscheindauer und Niederschlagsverhältnissen. (Tägliche Sonnenscheindauer als Blockdiagramm, tägl. Niederschläge als stärkere schwarze Linien vermerkt.) Krautentwicklung und Kartoffelansatz der Oberarnbacher Frühe bei guter Blaukorndüngung in Abhängigkeit von der Witterung (Patscherkofel — Hochmahdalm 1880 m).

Der auch in 30 cm Tiefe noch gut durchwärmte dunkle Rohboden stabilisierte kurzfristige Schwankungen der Witterung ziemlich gut und gestattete den Kartoffelpflanzen gerade noch ausreichende Krautentwicklung, zufriedenstellenden Kartoffelansatz im Verlauf des Augustmonats und leidlich guten Kartoffelertrag im September trotz zeitlich früher einbrechender Fröste. Von beiden untersuchten Kartoffelsorten bewährte sich besonders die Oberarnbacher Frühe, während die Sorte Agnes als Mittelspäte auch in diesem günstigen Jahr etwas zurückblieb.

Zusammenfassung

1. Die Assimilation und Atmung von Kartoffelstauden kann nicht nur im Feldversuch unter wechselnden Bedingungen, sondern viel rascher und genauer an eingefrischten Blättern im Laboratorium mit gleichen Resultaten durch den Ultrarot-Absorptionsschreiber (URAS) fortlaufend gemessen und registriert werden.
Desgleichen ist der URAS zur Assimilationsbestimmung an Sonnenblumenblättern, Maisblättern und Getreidearten, evtl. unter Verwendung von Langküvetten geeignet (Abb. 1 und 2).
2. Die im Botanischen Institut der Universität Innsbruck entwickelte URAS-Anlage wird eingehend, besonders mit Hinblick auf Messung der Assimilation landwirtschaftlicher Nutzpflanzen, beschrieben. Die Anlage ist in der Lage, auch bei hohen Lichtstärken (50.000/30.000 Lux) im Licht einer Xenonhochdrucklampe (mit sonnenähnlichem Spektrum) Assimilation von Laub- und Nadelhölzern und Kartoffeln etc. im Bereich von 10 bis 40 Grad Celsius zu messen. Vergleichsuntersuchungen im direkten Sonnenlicht unter Benützung wassergekühlter Freilandmeßkammern (mit KG-1-Filter) ergaben bei gleichem Licht und gleicher Temperatur gleiche Assimilationsgröße.
3. Das Assimilationsvermögen der Kartoffelblätter ist sehr vom Alter und der Belichtung der Blätter abhängig, weniger von der Sorte (Oberarnbacher Frühe, mittelspäte Agnes) und wird erst bei völliger Blattrife maximal (Tallagen 600 m, anfangs bis Mitte Juli). Die voll entwickelten Blätter beider Kartoffelsorten binden bei 10.000 Lux zwischen 15 und 16 Grad 34 bis 35 mg CO₂/Gr. (tr.) h. Dieses Optimum verschiebt sich bei 30.000 Lux auf 16 bis 18 Grad und liegt bei einer Lichtstärke von 50.000 Lux im Bereich von 17 bis 20 Grad um 48 mg/Gr.h. Abb. 3-5.
4. Die Atmung junger Blätter, junger grüner blattloser Sproßachsen und junger Wurzeln ist hoch und sinkt mit der Reifung auf $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}$ des Anfangwertes ab (Abb. 3 bis 6).

5. Seit 1954 wurden am Patscherkofel-Hochmahdalm in 1880 m Meereshöhe in Südwestlage Kartoffeln mit Erfolg kultiviert. Sie assimilieren mit 50.000 Lux belichtet, gleiche Menge CO₂ wie die Tal-Kartoffelstauden, bei 10.000 Lux etwas weniger (Höhenlichtanpassung?). Messungen in 65.000 Lux ergaben nur mehr geringfügige Leistungszunahme von 5% gegenüber 50.000 Lux.

Die aus Originalsaatgut gezogenen Oberarnbacher Frühkartoffel- und Agnesstauden vergrößern die Blattflächen im „Höhenklima“ wesentlich, legen bei Weiterzucht im Tal aber Blätter früherer Größen an. (Höhenklima-Modifikation).

Die klimatischen Bedingungen erlauben um Innsbruck in Waldgrenzenlage Kartoffelbau ab Mitte Juni bis Mitte September, weil mittlere Fröste (bis um -4°) nur anfangs Juni bzw. Ende September/anfangs Oktober das Kraut gefährden. Im Mittel fast zwanzigjähriger meteorologischer Beobachtungen der Patscherkofel-Wetterwarte treten Juli August nur 1 bis 3 oder keine Frosttage auf. (Mittleres absolutes Minimum um -1° , absolutes Minimum überschreitet sehr selten $-2,5^{\circ}$). In den Hochsommermonaten Juli-August treten keine oder bis maximal 5 Tage mit gelinden Bodenfrösten auf, welche die seit 1954 fortgeführten Kartoffelkulturen in 1880 m Höhe nicht schädigten. Experimentell geprüft, beginnen Kartoffelblätter bei $-1,9 \pm 0,2$ Grad erste Schäden zu zeigen, sind aber meist noch tiefer schadenfrei unterkühlbar. Die Frosthärte wird durch 0,3% Borsäuregaben oder gute Blaukorndüngung um $\frac{3}{4}$ Grad im statistischen Mittel erhöht, so daß (experimentell und durch Großversuche am Standort überprüft) diese Stauden -3° gerade noch mit geringen Schäden (5 bis 10% Blattausfall) ertragen.

6. Aus den klimatologischen Daten (siehe Anhang!) und den Assimilationsmessungen für 50.000/30.000/10.000 Lux Belichtung im Bereich von 13—36 Grad lassen sich für Kartoffelstauden vollständige Monatsbilanzen erstellen und der monatliche Stoffzuwachs errechnen. Dieser errechnete Zuwachs ist nur um 4% bis 6%, maximal 16% größer als der im Feldversuch festgestellte tatsächliche Zuwachs im Juli bzw. August 1958 (Tabellen 4 bis 6). Diese Differenz entsteht durch schwerer kontrollierbaren Verlauf des Blattfalles im August (siehe auch Tabellen 4 und 5). Bisher wurden 5 Monatsbilanzen erstellt (Juli und August 1958 jeweils für Oberarnbacher Frühe und Agnes, Talfeld, sowie August 1958 Oberarnbacher Frühe, Hochmahdalm, 1880 m).

Aus der Brutto-Assimilation verblieben im Juli den Stauden der Tallage (610 m) nach Abzug aller Atmungsverluste rund 8% (Ob.-Arnb.) bzw. 17% (Agnes) für Blattansatz und rund 26% (Agnes) bzw. 35% (Ob.-Arnb.) für Knollenausbildung, während im August nur mehr 1–2% dem Blattzuwachs und 38% (Ob.-Arnb.) bzw. 45% (Agnes) der Brutto-Assimilation der Knollenbildung zugutekommen.

(Dem entsprechen 43% bzw. 52% der Netto-Assimilation.)

Für Kartoffelknollen-Zuwachs, dem landwirtschaftlichen Reingewinn, stehen jeder Staude der untersuchten 2 Sorten im August also nur rund 40–45% der Brutto-Assimilation zur Verfügung.

7. Die Kartoffelerträge der Oberarnbacher Frühe und Agnes belaufen sich in Abhängigkeit von der Witterung der einzelnen Versuchsjahre im Tal (610 m) und Mittelgebirge (900 m ... Rinn) auf 800 bis 1200 Gramm pro Staude (Mittelwert). Oberarnbacher Frühkartoffeln sind zufolge rascherer Entwicklung für Almlagen nahe der Waldgrenze geeignet (Agnes nur in günstigen Jahren) und geben je nach Auslegezeit und Witterung bei üblicher Düngung 300–600 Gramm Kartoffelknollen pro Staude, bei intensiver Blaukorndüngung und günstigem Sommerwetter bis 880 Gramm/Staude. Der erste Großanbauversuch am Patscherkofel (Hochmahdalm 1880 m) erbrachte im Jahre 1958 mit Oberarnbacher Frühe bei 11,7 kg Saatgut von 281 Stauden 211,94 kg Knollen, der Anbau im Jahre 1959 von 319 Oberarnbacher Stauden 236 kg Knollen als zufriedenstellende Ernte (im Mittel 740 Gramm pro Staude). Demnach ist in Südlagen der Zentralalpen noch bis zur Waldgrenze (1800–1900 m) auf guten (Alm)-Böden Anbau von Oberarnbacher Frühkartoffeln sowohl klimatologisch als physiologisch möglich.

Die bisherigen Untersuchungen behandelten vorwiegend physiologisch-klimatologische Fragen, während die Belange hoher Wirtschaftlichkeit nicht untersucht worden sind. Die Auswirkungen auf den landwirtschaftlichen Kartoffelbau und Eignungsprüfung einzelner Kartoffelsorten sollen in einer späteren Veröffentlichung behandelt werden.

Anhang: Klimatabelle für Patscherkofel (Waldgrenzenlage)
 (2045 m, bzw. 1909 m)

Monat	Lufttemperatur				Frost- tage	Eis- tage	Niederschläge		
	mittl. Maxi- mum	Monats- Mittel	mittl. Mini- mum	absol. Mini- mum			Tage	Gesamt- menge mm	feste Niederschl. (Schneeuwsw.) mm
April (winterlich)									
1941	0,9		-3,8	-13,1	25		20		
1942	2,1		-3,1	-9,2	26		16		
1943	4,3		-2,6	-12,0	21		16		
1944	3,3		-1,8	-12,2	17		15		
1946	6,4		0,2	-7,5	12	1	8		
1947	5,3		-0,6	-10,4	15	6	13		
1948	2,2		-2,7	-9,0	21	7	14		
1949	6,0		-0,1	-12,0	11	3	13		
1950	0,9		-4,9	-12,0	20	16	22		
Mittel				-10,8					
41—50	3,5	0,6	-2,2	(-13,1) (absolut)	19,7		15,2	51	
1951	0,6		-3,8	-8,6	22	13	16		
1952	4,6		-0,5	-14,0	9	5	11		
1953	3,3		-1,8	-7,3	20	6	12		
1954	-0,4		-5,2	-12,4	29	17	17		
1955	2,4	-1,1	-4,3	-10,7	26	10	16	124,2	120
1956	1,3	-1,8	-4,5	-14,4	25	9	16	98,4	98,4
1957	4,8	0,4	-3,1	-11,5	23	6	17	87,2	78,2
1958	-1,3	-4,0	-6,6	-12,8	30	17	18	90,3	90,3
Mittel				-11,6					
49—58	2,2		-3,5	(-14,4) (absolut)	22,4	10,2	15,8		
Mai (25—50% aller Tage noch Frosttage)									
1941	4,2		-1,8	-9,8	21		23		
1942	7,4		+1,2	-10,0	6		17		
1943	9,1		2,1	-7,4	7		15		
1944	7,3		1,1	-7,0	15		16		
1946	9,9		3,6	-1,7	4	0	13		
1947	9,4		3,2	-3,0	6	0	14		
1948	8,1		2,6	-3,2	6	0	11		
1949	6,2		0,4	-8,9	11	4	21		
1950	8,5		2,5	-1,9	7	0	16		
Mittel				-5,9					
41—50	7,8	4,4	1,7	(-10,0) absolut	9,2		16,2	67	
1951	5,4		0,5	-5,0	14	3	19		
1952	6,1		0,4	-6,7	15	1	15		
1953	7,4		1,4	-10,6	13	5	21		
1954	4,1		-0,6	-6,1	16	6	16		
1955	8,7	3,4	-0,3	-7,0	16	1	19	109,3	61,1
1956	8,9	4,5	0,8	-7,2	14	2	16	123,6	71,7
1957	5,9	1,5	-2,0	-11,7	22	2	21	94,5	62,1
1958	10,5	6,8	3,3	-3,7	5	1	8	47,5	10,7
Mittel				-6,9					
49—58	7,2		0,6	(-11,7) (absolut)	13,3	2,5	17,2		

Monat	Lufttemperatur		absol. Min..	Frost- tage	Eis- tage	Niederschläge Gesamt- Tage menge. mm	feste Niedersch. mm (Schnee usw.)
	mittl. Max.	mittl. Min.					

Juni (Vegetationszeit, aber einzelne Kälterückfälle)

1941	11,7	5,2	-2,0	2		19	
1942	11,9	4,5	-2,8	5		14	
1943	9,5	3,1	-3,0	7		23	
1944	10,2	3,6	-2,0	3		25	
1946	9,4	3,4	-3,0	5	1	17	
1947	12,5	5,6	-3,0	3	0	15	
1948	8,6	2,9	-3,0	13	2	18	
1949	9,5	3,3	-1,6	2	0	13	
1950	12,6	6,7	2,3	0	0	15	

Mittel

41—50	10,7	7,1	4,3 (-3,0) (absolut)	4,5		17,7	111
-------	------	-----	----------------------------	-----	--	------	-----

1951	9,6	4,1	-0,1	1	0	23	
1952	12,0	5,2	1,9	0	0	16	
1953	9,6	3,4	-6,6	5	0	21	
1954	10,6	4,2	-2,2	1	0	22	
1955	12,0	4,2	-2,9	6	0	22	38,0
1956	9,1	4,8	-3,6	8	1	20	130,5
1957	14,6	9,4	-0,7	1	0	21	117,3
1958	9,8	5,9	-2,6	6	0	17	126,2

Mittel

49—58	10,9	4,2	-1,6 (-6,6) (absolut)	3,0	0,1	19	
-------	------	-----	-----------------------------	-----	-----	----	--

Juli (Vegetationszeit, selten Frost)

1941	13,6	7,8	2,8	0		16	
1942	13,3	5,9	0,0	0		20	
1943	13,7	6,8	0,0	0		20	
1944	13,5	7,0	1,8	0		24	
1946	13,9	6,9	0,0	0	0	17	
1947	13,9	7,8	1,5	0	0	15	
1948	10,0	4,0	-2,0	8	0	23	
1949	12,4	6,3	-0,3	2	0	15	
1950	15,0	8,1	3,2	0	0	22	

Mittel

41—50	13,3	9,6	6,7 (-2,0) (absolut)	1,1	0	19,1	126,0
-------	------	-----	----------------------------	-----	---	------	-------

1951	12,4	6,4	1,3	0	0	17	
1952	15,0	8,6	0,2	0	0	20	
1953	13,3	6,6	0,0	0	0	22	
1954	9,5	3,4	-2,7	6	2	20	
1955	13,8	6,6	0,9	0	0	23	109,8
1956	15,1	9,9	1,8	0	0	17	150,4
1957	14,4	9,9	0,4	0	0	19	191,6
1958	13,3	6,3	0,6	0	0	17	127,6

Mittel

49—58	13,4	6,5	+0,5 (-2,7) (absolut)	0,8	0,2	19,2	
-------	------	-----	-----------------------------	-----	-----	------	--

Monat	Lufttemperatur				Frost- tage	Eis- tage	Niederschläge	
	mittl. Max.	Monats- mittel	mittl. Min.	absol. Min.			Tage Gesamt- menge mm	feste Niederschl. (Schnee usw.) mm
August (Vegetationszeit, selten Frost)								
1941	12,2		6,0	0,4	0		25	
1942	13,8		7,0	0,0	0		18	
1943	16,4		8,6	3,0	0		12	
1944	16,2		10,4	4,4	0		14	
1946	12,5		6,1	-2,0	2	0	15	
1947	13,4		7,6	0,5	0	0	10	
1948	12,3		6,3	-1,6	2	0	21	
1949	11,8		5,8	-2,8	5	0	19	
1950	12,9		7,3	-0,3	1	0	19	
Mittel				+0,2				
41—50	13,5	9,8	7,2	(-2,8) (absolut)	1,1	0	17	126
1951	12,9		6,9	1,2	0	0	17	
1952	13,8		7,3	2,2	0	0	22	
1953	12,2		6,0	-0,8	1	0	12	
1954	11,3		4,4	-0,4	2	0	16	
1955	13,2	8,6	5,8	0,4	0	0	18	76,6
1956	14,1	9,2	5,8	-0,1	1	0	20	144,4
1957	13,9	8,7	5,1	0,5	0	0	18	226,2
1958	14,0	10,1	7,2	2,1	0	0	19	102,7
Mittel				+0,2				
49—58	13,0		6,2	(-0,8) (absolut)	1	0	18	
September (teilweise noch Veg.-Zeit; besonders 1951—58 stärkere Frühfröste in zweiter Monatshälfte)								
1941	8,9		4,3	-3,0	5		10	
1942	12,7		6,5	0,0	0		17	
1943	12,3		5,7	-3,0	5		19	
1944	10,4		4,3	-3,7	5		18	
1946	12,3		5,8	0,0	0	0	9	
1947	12,9		6,7	-0,2	1	0	8	
1948	10,6		5,1	-2,5	3	0	12	
1949	12,2		7,1	2,4	0	0	15	
1950	8,7		3,4	-4,2	5	0	19	
Mittel				-1,6				
41—50	11,2	7,8	5,4	(-4,2) (absolut)	2,7	0	14,1	92
1951	10,6		5,5	-0,9	2	0	11	
1952	5,6		0,4	-6,9	14	2	20	
1953	11,2		5,1	-1,5	3	0	10	
1954	10,7		4,1	-7,5	5	1	20	
1955	11,4	6,6	3,3	-3,5	7	0	17	137,5
1956	14,4	9,6	6,1	0,9	0	0	11	84,3
1957	11,4	6,7	3,4	-3,1	6	0	16	83,2
1958	11,8	8,3	5,6	-1,2	1	0	13	103,3
Mittel				-2,5				
49—58	10,8		4,4	(-7,5) (absolut)	4,3	0,3	15,2	

Patscherkofel. . . Tiroler Zentralalpen. (2247 m Höhe). Hausberg südlich von Innsbruck
Wetterwarte Patscherkofel (Hangstation) 1941—1954 2045 m 1958—jetzt
Wetterwarte Patscherkofel (Hochmahdalm) nur 1955—1957. Ab 1. 1. 1958 wieder im
alten Stationsgebäude (2045 m).

Literaturverzeichnis

- Aulitzky, H.: Über mikroklimatische Untersuchungen an der oberen Waldgrenze zum Zwecke der Lawinenvorbeugung, *Wetter und Leben*, 6. Jg. 93—98 (1954).
- , Die Bedeutung meteorologischer und kleinklimatischer Unterlagen für Aufforstungen im Hochgebirge. *Wetter und Leben*, 7. Jg. 241—252 (1955).
- , Über die lokalen Windverhältnisse einer zentralalpiner Hangstation. *Arch. f. Met. und Geophys. Serie B*, 353—373 (1955).
- , Waldbaulich-ökologische Fragen an der Waldgrenze. *Cent.-Bl. für das ges. Forstwesen*, 75. Jg., 18—33 (1958).
- , Die Bodentemperaturverhältnisse einer zentralalpiner Hangstation beiderseits der subalpiner Waldgrenze. *Archiv für Met. und Geophys. Serie B* (1960 ... im Druck).
- Bosian, G.: Über die Vollautomatisierung der CO₂-Assimilationsbestimmung. *Ber. Deutsche Bot. Ges.*, 66, (35—36) (1953) und *Planta* 45, 470—492 (1955).
- Boysen-Jensen, P.: Über neue Apparate zur Messung der Kohlendioxidassimilation, der Öffnungsweite der Spaltöffnungen und der Beleuchtungsstärke. *Planta* (Berlin) 6, 456—472 (1928).
- , Die Stoffproduktion der Pflanzen. Jena: Gustav Fischer 1932.
- , Über die Bestimmung der Assimilationsintensität. *Planta* (Berlin) 21, 368—380 (1933).
- Egle, K. und A. Ernst: Die Verwendung des Ultrarotabsorptionsschreibers für die vollautomatische und fortlaufende CO₂-Analyse bei Assimilations- und Atmungsmessungen an Pflanzen. *Z. Naturforsch.* 4 b, 351—360 (1949).
- Egle, K. und W. Schenk,: Die Anwendung des Ultrarotabsorptionsschreibers in der Photosyntheseforschung. *Ber. Deutsche Bot. Ges.* 64, 180—196 (1951).
- Härtel, O.: Die Bedeutung der Bodenkohlensäure für die grüne Pflanze; *Jb. wiss. Bot.* 87, 173—209 (1938).
- Holdheide, H., B. Huber, und O. Stocker,: Eine Feldmethode zur Bestimmung der momentanen Assimilationsgröße von Landpflanzen. *Ber. Deutsche Bot. Ges.* 54, 168—188 (1936).
- Huber, B.: Registrierung des CO₂-Gefälles und Berechnung des CO₂-Stromes über Pflanzengesellschaften mittels Ultrarotabsorptionsschreiber. *Ber. Deutsch. Bot. Ges.* 63, 53—63 (1950).
- Kallbrunner, H.: Die Kartoffel: Scholle-Band 63, 21, Scholle-Verlag, Wien (1947).
- Larcher, W.: Frostrocknis an der Waldgrenze und in der alpinen Zwergstrauchheide auf dem Patscherkofel und bei Innsbruck. Veröffentlichungen Museum Ferdinandeum Innsbruck, (49—81, (1957).
- Larsen, Poul: Vergleich der direkt bestimmten und der aus Messungen der Assimilation und Atmung errechneten Stoffproduktion einjähriger Pflanzenbestände. *Planta* (Berlin) 32, 343—363 (1942).
- Lundegårdh, H.: Der Temperaturfaktor bei Kohlendioxidassimilation und Atmung. *Biochem. Z.* 154, 195—215 (1924).
- , Die Kohlendioxidassimilation der Zuckerrübe. *Flora* (Jena) 121, 273—300 (1927).
- , Klima und Boden in ihrer Wirkung auf das Pflanzenleben. Jena 1954.
- Mayr, E.: Die Landesanstalt für Pflanzenzucht und Samenprüfung in Rinn. *Schlern-Schriften*, Band 145, 1956, Univ.-Verlag Wagner, Innsbruck.
- Nitchiporovitch, A. A.: La photosynthèse des plantes et quelques moyens d'augmenter leur récolte. Russische Originalarbeit und französische Übersetzung anlässlich des Pariser Botanischen Kongresses 1954 in *Essais de Botanique*, Editions de l'académie des sciences de l'URSS 1954 (II 609—649).
- Pisek, A. und Schiessl, R.: Die Temperatureinflussbarkeit der Frosthärte von Nadelhölzern und Zwergsträuchern an der alpinen Waldgrenze. *Ber. Naturwiss. med. Verein Innsbruck*, 47, 33—52 (1947).

- Pisek, A. und Cartellieri, E.: Zur Kenntnis des Wasserhaushaltes der Pflanzen I., Sonnenpflanzen. Jb. f. wiss. Bot. LXXV, 195—251 (1931).
 II. Schattenpflanzen. Jb. f. wiss. Bot. Band LXXV, 643—678 (1932).
 III. Alpine Zwergsträucher — ebenda, Band LXXIX, 131—190 (1933).
 IV. Bäume und Sträucher — ebenda, Band LXXXVIII, 22—68 (1939).
- Pisek, A. und W. Tranquillini,: Transpiration und Wasserhaushalt der Fichte (*Picea excelsa* Link) bei zunehmender Luft- und Bodentrockenheit. Physiol. Plant. (Cph.) 4, 1—27 (1951).
 —, Assimilation und Kohlenstoffhaushalt in der Krone von Fichten- (*Picea excelsa* Link) und Rotbuchenbäumen (*Fagus sylvatica* L.) Flora (Jena) 141, 237—270 (1954).
- Pisek, A. und E. Winkler,: Die Schließbewegungen der Stomata bei ökologisch verschiedenen Pflanzentypen in Abhängigkeit vom Wassersättigungszustand der Blätter und vom Licht. Planta (Berlin) 42, 253—278 (1953).
- Pisek, A. und E. Winkler,: Wassersättigungsdefizit, Spaltenbewegung und Photosynthese. Protoplasma 46, 597—611 (1956).
- Pisek, A. und E. Winkler,: Assimilationsvermögen und Respiration der Fichte (*Picea excelsa* Link) in verschiedener Höhenlage und der Zirbe (*Pinus Cembra* L.) an der alpinen Waldgrenze. Planta (Berlin) 51, 518—543 (1958).
- Pisek, A. und E. Winkler,: Licht- und Temperaturabhängigkeit der CO₂-Assimilation von Fichte (*Picea excelsa* Link), Zirbe (*Pinus Cembra* L.) und Sonnenblume (*Helianthus annuus* L.) Planta (Berlin) 53, 532—550 (1959).
- Reiter, E.: Klima von Innsbruck 1931—1955 (Anhang 1956 und 1957), Statistisches Amt der Landeshauptstadt Innsbruck, 1958.
- Rüsch, J. und J. Müller,: Die Verwendung der Xenon-Hochdrucklampe zu Assimilationsversuchen. Ber. Deutsche Bot. Ges. 70, 489—500 (1957).
- Sauberer, F. und Härtel, O.: Pflanze und Strahlung, S. 73; Leipzig, Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig (1959).
- Schneider-Baier-Hula: Lehrbuch der Landwirtschaft, spezieller Pflanzenbau, S 56, Verlag Fromme, Wien (1957).
- Stälfelt, M. G.: Die Spaltöffnungsweite als Assimilationsfaktor. Planta (Berlin) 23, 715—759 (1935).
 —, Über die Natur der Licht- und Temperaturoptima in der Kohlensäureassimilation. Svensk bot. T. 33, 383—417 (1939).
- Tranquillini, W.: Der Ultrarot-Absorptionsschreiber im Dienste ökologischer Messungen des pflanzlichen CO₂-Umsatzes. Ber. Deutsche Bot. Ges. 65, 102—112 (1952).
 —, Über den Einfluß von Übertemperaturen der Blätter bei Dauereinschluß in Küvetten auf die ökologische CO₂-Assimilationsmessung. Ber. Deutsche Bot. Ges. 67, 191—204 (1954).
 —, Die Bedeutung des Lichtes und der Temperatur für die Kohlensäureassimilation von *Pinus Cembra* — Jungwuchs an einem hochalpinen Standort. Planta (Berlin) 46, 154—178, (1955/1956).
 —, Standortklima, Wasserbilanz und CO₂-Gaswechsel junger Zirben (*Pinus Cembra* L.) an der alpinen Waldgrenze. Planta (Berlin) 49, 612—661 (1957).
 —, Die Stoffproduktion der Zirbe (*PINUS Cembra* L.) an der Waldgrenze während eines Jahres. I. Standortklima und CO₂-Assimilation, Planta 54, 107—129 (1959). II. Zuwachs und CO₂-Bilanz. Planta 54, 130—151 (1959).
- Turner, H.: Maximaltemperaturen oberflächennaher Bodenschichten an der alpinen Waldgrenze. Wetter und Leben, 10. Jahrg., 1—11, (1958).
 —, Über das Licht- und Strahlungsklima einer Hanglage der Ötztaler Alpen bei Obergurgl und seine Auswirkung auf das Mikroklima und auf die Vegetation. Arch. Met. Geoph. Biokl., B, 8, 273—325 (1958).

- Winkler, E.: Klimatelemente für Innsbruck (582 m) und Patscherkofel (1909 m) im Zusammenhang mit der Assimilation der Fichten in verschiedenen Höhenlagen. Veröff. Ferdinandeum Innsbruck, 19—48 (1957).
- , Vegetation und Stoffproduktion an der Waldgrenze am Patscherkofel und ihre Abhängigkeit vom Niederschlag und Temperatur. (Zentralalpen-Klimadiagramme). Jahrb. d. Ver. z. Schutze d. Alpenpflanzen und -Tiere, 24. Jahrg., München, 121—128 (1959).
- Walter, H.: Einführung in die Phytologie, Bd. III/1. Standortslehre. Seite 383, Stuttgart: Eugen Ulmer 1951.
- , Die Klimagramme als Mittel zur Beurteilung der Klimaverhältnisse für ökologische, vegetationskundliche und landwirtschaftliche Zwecke. Ber. Deutsche bot. Ges. 68, 331—344 (1955).
- Ziegler, H.: Über den Gaswechsel verholzter Achsen. Flora (Jena) 144, 229—250 (1957).
- Zalensky, O. V.: Photosynthèse dans les conditions naturelles. (Russische Originalarbeit und französische Übersetzung anlässlich des Pariser Botanischen Kongresses . . . in Essais de Botanique, Editions de l'academie des sciences de l'URSS 1954, (61—87).

Anschrift des Verfassers: Dr. Erich Winkler, Assistent am Botanischen Institut der Universität Innsbruck, Sternwartestraße 15.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Veröffentlichungen des Tiroler Landesmuseums Ferdinandeum](#)

Jahr/Year: 1959

Band/Volume: [39](#)

Autor(en)/Author(s): Winkler Erich

Artikel/Article: [Die Stoffproduktion von Kartoffelpflanzen im Tal \(600m\), im Mittelgebirge \(900m\) und an der Waldgrenze \(1880m\) bei Innsbruck \(mit 7 Tabellen, 15 Textabbildungen und 4 Lichtbildern\). 5-65](#)