

DIE TRANSGRESSION DER LICHTSTRAHLUNG DURCH BAUMBLÄTTER UNTER VERSCHIEDENARTIGEN KUNSTLICHTBEDINGUN- GEN ZUR ENTWICKLUNG GEKOMMEN

von

M. Van Miegroet & G. Vyncke

1. Einleitung

O.D.C. 181.21 - 015

1.1. Problemstellung

Frühere Untersuchungen (8) haben gezeigt dass die übliche Einteilung der Baumarten in Licht-, Schatten- und Halbschattenarten nicht völlig mit einer physiologischen Wirklichkeit übereinstimmt. Sie haben auch dazu geführt das Baumblatt primär als einen Rezeptor der Lichtstrahlungsenergie zu betrachten.

Zur Wirkung dieses Rezeptors wurden nachstehende allgemeine Feststellungen gemacht :

1. Die Lichtenergieaufnahme verläuft, im allgemeinen und auch für jede einzelne Baumart, sehr ungleich gegenüber den Strahlungen aus verschiedenen Gebieten des Spektrums herköünftig → *Der Rezeptor wirkt gewissermassen selektiv.*
2. Zwischen den Baumarten bestehen wesentliche Unterschiede in der Lichtenergieaufnahme und dies sowohl hinsichtlich der Lichtqualität als auch hinsichtlich der Lichtquantität → *Innerhalb nicht so deutlich festgelegter Begrenzungen, ist der Rezeptor weitgehend charakteristisch, möglicherweise sogar spezifisch für die Baumart.*
3. Den lichtphysiologischen Merkmalen nach, weisen die Blätter jeder Baumart örtlich und zeitlich bedingte Variationen auf, die in engem Zusammenhang mit den wechselnden, externen Lichtstrahlungsbedingungen zu beurteilen sind → *Der Rezeptor ist veränderlich und seine Merkmale werden weitgehend mitbestimmt durch die ständig wechselnde Zusammensetzung und Intensität der aufzunehmenden Lichtstrahlung.*

In der vorliegenden Arbeit wird hauptsächlich versucht festzustellen welche Eigenschaften die Blätter von einigen Baumarten aufweisen, wenn sie unter verschiedenartigen und künstlich hervorgerufenen Lichtbedingungen aufwachsen müssen.

Die Untersuchung ist ausserdem beschränkt geblieben auf die bekanntlich als Lichtart angesprochene Stieleiche (*Quercus robur*) und Esche (*Fraxinus excelsior*) und auf die als Schattenart angesprochene Buche (*Fagus sylvatica*) und Hagebuche (*Carpinus betulus*).

1.2. Versuchsanlage und Versuchsmaterial

In vier kleineren Wuchsräumen wurden einjährige Sämlinge von Stieleiche, Esche, Buche und Hagebuche während ihres zweiten Wuchsjahres unter weitgehend stabilisierten Umweltsbedingungen und bei einer unveränderlichen Tageslänge von 12 Stunden aufgezogen.

In jedem Raum wurde eine Kunstbeleuchtung anderer Art (weiss, blau, grün, rot) angebracht, aber in solcher Weise, dass in jedem Wuchsraum und mittels 9 A.C.E.C. Fluorezenzlampen, stets ein Vermögen von 300 Watt pro qm Bodenfläche erreicht wurde.

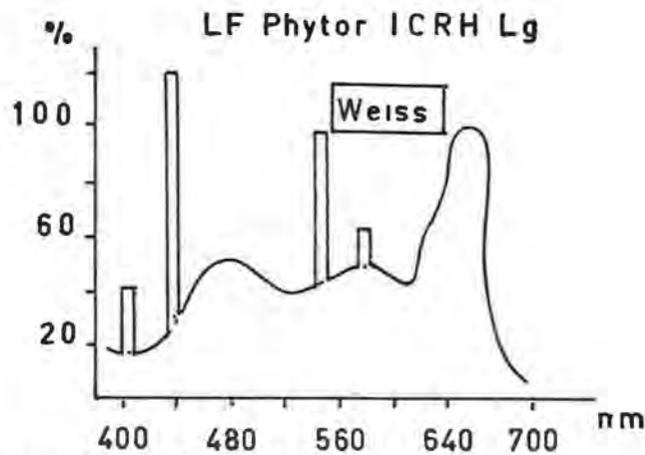
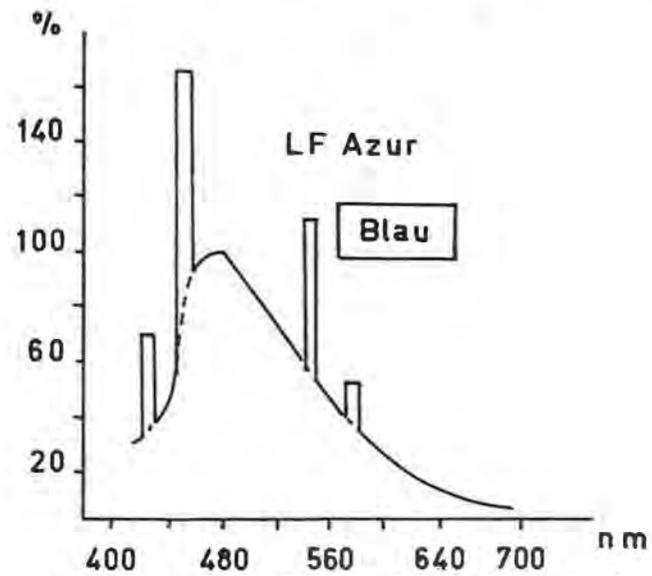
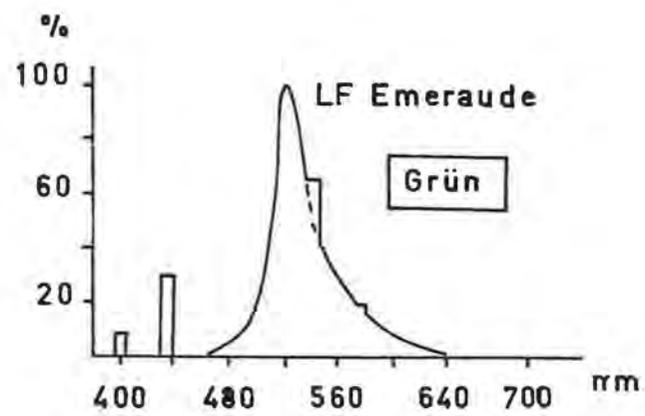
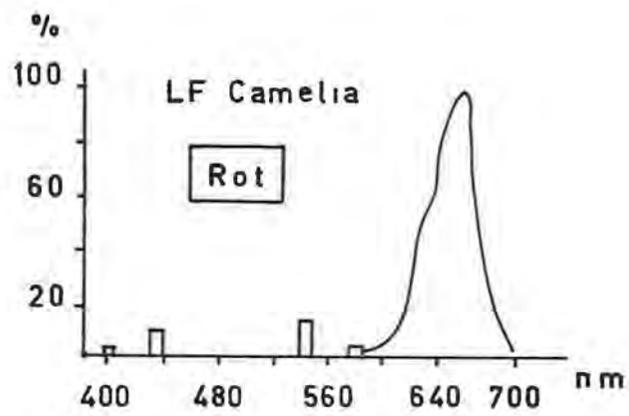
Die Merkmale der Lampen, sowie des hervorgerufenen Beleuchtungszustandes sind nachstehend und in Darst. 1 wiedergegeben.

Subjektive Lichtfarbe	Lampentyp	Beleuchtungsstärke
Weiss	LF Phytor ICRG Lg.	4.860 Lux
Blau	LF Azur	4.750 Lux
Grün	LF Emeraude	6.800 Lux
Rot	LF Camelia	3.450 Lux

Im zweiten Wuchsjahr wurden an diesen Sämlingen an vier verschiedenen Zeitpunkten (Mitte Mai, Juni, August, September) 20 gut ausgewachsene Blätter pro Baumart (4 Baumarten) und pro Wuchsraum (4 Beleuchtungsarten) gesammelt und anschliessend auf ihre Lichttransgressionsmerkmale untersucht.

1.3. Technik der Messungen

Zur Bestimmung der Lichttransgression durch die Blätter wurde die übliche Apparatur (Transgresso-Reflektor VM) nach dem öfters beschriebenen Vorgang verwendet (5, 6, 8).



Darst 1 : Relative Verteilung der Lichtstrahlung von den vier Lampentypen.

Grundsatz dieser Messung ist, dass die Beleuchtungsstärke der Lichtstrahlung, von einer bekannten und stabilen Lichtquelle ausgehend, bestimmt wird nach Durchgang durch ein Baumblatt, das zwischen Lichtquelle und photoelektrischer Zelle geschoben wird.

Um jedoch auch die Transgression einer Strahlung, die von einem begrenzten Gebiet des Spektrums ausgeht, zu messen, werden, nach einer ersten Bestimmung der gesamten weissen Lichtstrahlung, zwischen Lichtquelle und Baumblatt monochromatische Interferenzfilter geschoben, die folgende Merkmale besitzen :

Filterfarbe	λ_{\max} in nm	T_{\max} in %	HW in nm
Rot	705	42	11
Gelb	580	51	10
Grün	545	41	10
Blau	440	43	11

λ_{\max} : Wellenlänge mit der maximalen Durchlässigkeit des Filters übereinstimmend.

T_{\max} : Durchlässigkeit des Filters in % bei λ_{\max} .

HW : Breite der Durchlässigkeitskurve in nm bei $1/2 T_{\max}$.

Bei Anwendung dieser Filter, hat die künstliche Lichtquelle folgende Beleuchtungsmerkmale :

Kein Filter — Weiss	3.350 Lux
Filter — Rot	12 Lux
Filter — Gelb	340 Lux
Filter — Grün	147 Lux
Filter — Blau	10 Lux

Bei der Besprechung der Messresultate werden die Lichtverhältnisse in den Wuchsräumen stets durch die subjektive Lichtfarbe der Beleuchtung charakterisiert (Weiss, blau, grün, rot).

Die in Apparat auf das Blatt fallende Lichtstrahlung dagegen wird mit dem Symbol λ , gefolgt durch den subjektiven Farbeindruck bezeichnet.

Für jede der 64, durch die Kombination „Baumart (4) — Beleuchtungsart (4) — Messzeitpunkt (4)“ gebildeten Versuchserien wurden 20 vollentwickelte Blätter untersucht.

In diesen Messungen wird sowohl die gesamte Lichtstrahlung (λ -weiss) der Lichtquelle, als die Strahlung, von beschränkten Spektrumgebieten ausgehend (λ -rot, λ -gelb, λ -grün, λ -blau) mit einbezogen.

2. Allgemeine Unterschiede in der Beleuchtungsstärke des durchfallenden Lichtes

Eine erste Analyse kann sich damit begnügen nur die Transgression der gesamten Lichtstrahlung (weisses Licht) in Betracht zu nehmen.

Durch passende Gruppierung der Messresultate kann ausserdem versucht werden Durchschnittswerte für die Beleuchtungsstärke des durchfallenden Lichtes zu berechnen (Tab. I) und zwar für jede Baumart ohne Berücksichtigung der Unterschiede, hervorgerufen durch Beleuchtungsart und Messzeitpunkt; für jede Beleuchtungsart ohne Berücksichtigung der Unterschiede, hervorgerufen durch Baumart und Messzeitpunkt; für jeden Messzeitpunkt ohne Berücksichtigung der Unterschiede, hervorgerufen durch Baumart und Beleuchtungsart.

Eine anschliessende Streuungserlegung muss erlauben, die Bedeutung der eventuellen Unterschiede zwischen den verschiedenen Durchschnittswerten nachzuprüfen und die Beziehungen zwischen den Elementen Baumart, Beleuchtungsart und Messzeitpunkt genauer zu analysieren (Tab. IIa).

Aus dieser ersten Analyse geht hervor, dass eine statistisch gesicherte Wechselwirkung besteht zwischen

$$\text{Baumart-Beleuchtungsart indem } F = \frac{10.254}{2.163} = 4,741^{00}$$

$$\text{Baumart-Messzeitpunkt indem } F = \frac{15.879}{2.163} = 7,341^{000}$$

TABELLE I

Durchschnittliche Beleuchtungsstärke in Lux-Einheiten
des durchfallenden weissen Lichtes
bei verschiedener Gruppierung der Messresultate

Baumart	Lux	Beleuchtungsart	Lux	Messzeitpunkt	Lux
Esche	427,06	Weiss	396,44	Mai	486,80
Hagebuche	410,46	Blau	352,48	Juni	421,71
Buche	383,48	Grün	405,25	August	379,69
Eiche	369,35	Rot	444,19	September	310,16

TABELLE II a
Streuungszerlegung

Streuung	Freiheitsgrade	Summe der Quadrate	Durchschnittsquadrate
Baumarten	3	82.703	27.568
Beleuchtungsarten	3	148.409	49.470
Messzeitpunkt	3	573.209	191.069
Baumart- Beleuchtungsart	9	92.284	10.254
Baumart- Messzeitpunkt	9	142.914	15.879
Beleuchtungsart- Messzeitpunkt	9	40.259	4.473
Rest	27	58.397	2.163
Insgesamt	63	1.138.175	

TABELLE II b
Streuungszerlegung / Neuer Zustand

Streuung	Freiheitsgrade	Summe der Quadrate	Durchschnittsquadrate
Beleuchtungsart- Messzeitpunkt	9	40.259	
Rest	27	58.397	
Neuer Rest	36	98.656	2.740

Dagegen ist die Wechselwirkung nicht gesichert zwischen Beleuchtungsart-Messzeitpunkt indem $F = \frac{4.473}{2.163} = 2,068$.
Referenz : $F = 4,730$ für $P = 0.01$ bei $N_1 = 24$ und $N_2 = 9$;
 $F = 2,900$ für $P = 0.05$.

Eine zweite, den obigen Feststellungen Rechnung tragende Streuungszerlegung (Tab. IIb) erlaubt zu schliessen, dass gesicherte Unterschiede bestehen

zwischen den Baumarten indem $F = \frac{27.568}{2.740} = 10,061^{000}$

zwischen den Beleuchtungsarten indem $F = \frac{49.470}{2.740} = 18,055^{000}$

zwischen den Messzeitpunkten indem $F = \frac{191.069}{2.740} = 69,733^{000}$

Referenz : $F = 7,054$ für $P = 0.001$ bei $N_1 = 3$ und $N_2 = 30$

Aus den aufgeführten Durchschnittswerten (Tab. I) kann an erster Stelle geschlossen werden, dass die untersuchten Baumarten sich der Beleuchtungsstärke des durchfallenden Lichtes nach und ungeachtet der Beleuchtungsart des Wuchsräume oder des Messzeitpunktes, nicht nur deutlich voneinander unterscheiden, sondern sich auch paarweise gruppieren.

In der Tat, Eiche und Buche gehören der Beleuchtungsstärke des durchfallenden Lichtes nach deutlich zu einem niedrigeren Wertniveau (364-383 Lux); Esche und Hagebuche dagegen gehören einem höheren Wertniveau an (427-418 Lux).

Diese Gruppierung hat eine wirkliche Bedeutung, indem gezeigt werden kann, dass zwischen Eiche und Buche, bzw. zwischen Esche und Hagebuche keine statistisch gesicherte Unterschiede vorliegen, aber dass die sonstigen Unterschiede zwischen den Baumarten sehr stark gesichert sind.

t-Werte			
Eiche-Hagebuche	5,363 ⁰⁰⁰	Buche-Esche	5,038 ⁰⁰⁰
Eiche-Esche	7,602 ⁰⁰⁰	Buche-Hagebuche	3,453 ⁰⁰⁰
Eiche-Buche	1,520	Hagebuche-Esche	1,114
Referenz : $N_1 = N_2 = 320$		$t = 1,968$ für $P = 0.05$	
		$t = 3,322$ für $P = 0.001$	

Diese Feststellungen stimmen nicht völlig überein mit der in der Waldbaupraxis üblichen Ansprache der Eiche und der Esche als Lichtbaumart, bzw. der Buche und der Hagebuche als Schattenbaumart. Wenn in der Tat angenommen wird, dass sich die Schattenbaumarten von den Lichtbaumarten unterscheiden durch eine grössere Transgression durch die Blätter des auffallenden Lichtes (8), könnten sogar, aber dann nur für die gesamte Wachstumsperiode und innerhalb der Begrenzungen, welche die vorliegende Untersuchung kennzeichnen, Hagebuche und Esche als relative Schattenart, Eiche und Buche dagegen als relative Lichtbaumart betrachtet werden.

Im gleichen Gang ist anschliessend festzustellen, dass auch die Kunstbeleuchtung im Wuchsräume (Beleuchtungsart) einen wesentlichen Einfluss auf die Lichteigenschaften der Baumblätter ausübt.

Die Blätter, im roten Kunstlicht zur Entwicklung gekommen, weisen die höchste Durchlässigkeit für die weisse Lichtstrahlung

auf; die geringste Durchlässigkeit besitzen die Baumblätter im blauen Kunstlicht aufgewachsen; der Uebergang zwischen den Blättern aus dem roten und aus dem blauen Lichtmilieu wird gebildet durch die Blätter, im grünen und im weissen Kunstlicht zur Entwicklung gekommen (Tab. I).

Die festgestellten Unterschiede sind meistens statistisch sehr stark gesichert.

t-Werte				
Beleuchtung	rot-grün	4,195 ⁰⁰⁰	grün-weiss	0,927
	rot-weiss	5,113 ⁰⁰⁰	grün-blau	6,125 ⁰⁰⁰
	rot-blau	9,761 ⁰⁰⁰	weiss-blau	5,334 ⁰⁰⁰

Eine erste vorläufige Interpretation dieser Erscheinungen, könnte zu den achstehenden Folgerungen und Hypothesen führen :

1. Die Aufnahme der Lichtstrahlung durch die Baumblätter und auch die Durchlässigkeit dieser Blätter, obwohl weitgehend spezifisch für die Baumart, wird beeinflusst durch das Lichtklima, unter dem sich die Blätter entwickelt haben.

Die Lichtcharakteristik der Baumart, wie diese durch die Beleuchtungsstärke des durchfallenden Lichtes zum Ausdruck gelangt, wäre also nicht unveränderlich.

2. Die Beleuchtungsarten des Wuchsräume sind, nach ansteigenden Werten für die Beleuchtungsstärke des durchfallenden Lichtes, welche sie mitbestimmen, zu klassifizieren in der Reihenfolge „Blau — weiss — grün — rot“.

Dies könnte ganz allgemein bedeuten, dass die Baumart bei roter Beleuchtung oder bei relativer Zunahme der Strahlung aus dem roten Gebiet, immer mehr als Schattenart reagiert und dass sie bei blauer Beleuchtung oder bei relativer Zunahme der Strahlung aus dem blauen Spektrumgebiet mehr als Lichtart reagiert. Es könnte jedoch auch die Vermutung formuliert werden, dass, in Bezug auf die Aufnahmefähigkeiten oder Bedürfnisse der Baumblätter, die Strahlung, vom dem roten Spektrumgebiet ausgehend, entweder energiereicher ist oder dass die Strahlungsenergie leichter durch das Blatt aufgenommen und verarbeitet wird. Ueber die Strahlung, von dem blauen Spektrumgebiet ausgehend, wäre dann das Gegenteil zu sagen.

Den in Tab. I enthaltenen Durchschnittswerten ist zuletzt zu entnehmen, dass die Beleuchtungsstärke des durchfallenden Lichtes abnimmt von Mai bis September. Es werden dadurch frühere Feststellungen, an im Freien aufgewachsenen Pflanzen getan, völlig bestätigt (8).

Demzufolge kann weiterhin angenommen werden, dass sich das Lichttemperament der Baumart im Laufe der Vegetationszeit absolut und relativ ändert: Unter den verschiedensten Lichtbedingungen reagiert sie in der ersten Phase der Wachstumsperiode immer als eine relative Schattenart und am Ende der Wachstumsperiode als eine relative Lichtart.

Für die Analyse der Bedeutung des Zeitfaktors, scheint ausserdem auch die Tatsache wichtig, dass die Beleuchtungsstärke des durchfallenden Lichtes nicht kontinuierlich abnimmt von Mai bis September. Eine erste, bedeutungsvolle Abnahme mit durchschnittlich 13 % findet zwischen Mai und Juni statt; von Juni bis August geht die allgemeine Verminderung viel langsamer vor sich (10 % in 2 Monaten); eine zweite starke Abnahme mit rund 16 % tritt auf von August bis September.

Diese Erscheinungen könnten hinweisen auf eine endogene physiologische Rhythmik, die weitgehend mit der energetischen Rhythmik übereinstimmt oder mit den von Galoux (1) beschriebenen Phasen, die er folgenderweise situiert:

- | | |
|------------------|----------------------------------|
| Mai-Juni | : Phénophase vernale décadente |
| Juni-August | : Phénophase préestivale |
| | Phénophase estivale |
| August-September | : Phénophase estivale décadente. |

3. Die Transgression der Lichtstrahlung aus Teilgebieten des Spektrums

Die Transgression der Lichtstrahlung, herkömftig aus eingengten Spektrumgebieten, erhalten indem zwischen Lichtquelle und Baumblatt monochromatische Interferenzfilter geschoben werden, erlaubt eine genauere Beurteilung der beschriebenen Phänomene (cfr. Abschn. 1.3: Technik der Messungen).

3.1. Die Unterschiede zwischen den Baumarten

Die für die gesamte weisse Lichtstrahlung festgestellten Unterschiede zwischen den Baumarten werden weitgehend, obwohl nicht völlig bestätigt für die Strahlungen aus einem beschränkten Spektrumgebiet (Tab. III, Tab. IV):

- Zwischen Esche und Hagebuche, bzw. zwischen Buche und Eiche liegen keine statistisch gesicherten Unterschiede in der Beleuchtungsstärke des durchfallenden Lichtes vor insoweit es sich handelt um weisse, rote, gelbe und grüne Lichtstrahlungen.
- Eschen- und Hagebuchenblätter lassen auch am meisten Licht durch (λ -weiss, λ -rot, λ -gelb und λ -grün). Diese Baumarten

TABELLE III

Durchschnittliche Beleuchtungsstärke der durchfallenden Lichtstrahlung von Teilgebieten des Spektrums ausgehend (Lux-Einheiten)

		λ-weiss	λ-rot	λ-gelb	λ-grün	λ-blau
Baumart	Esche	427,964	1,752	43,185	27,594	0,357
	Hagebuche	418,458	1,646	41,235	26,916	0,442
	Buche	383,484	1,576	36,693	23,723	0,549
	Eiche	369,352	1,526	35,947	23,753	0,318
Beleuchtung	Weiss	396,436	1,601	39,132	25,466	0,394
	Blau	352,477	1,464	33,963	22,516	0,377
	Grün	405,253	1,625	40,275	26,025	0,415
	Rot	444,193	1,811	43,690	27,979	0,479
Zeitpunkt	Mai	486,802	1,915	48,038	31,269	0,581
	Juni	421,706	1,799	41,075	26,584	0,453
	August	379,688	1,512	37,516	24,400	0,377
	September	310,163	1,174	30,430	19,732	0,252

TABELLE IV

t-Werte zu den in Tabelle III vorkommenden Durchschnittswerten für die Beleuchtungsstärke des durchfallenden Lichtes

	Objekte	λ-weiss	λ-rot	λ-gelb	λ-grün	λ-blau
Baumarten	Eiche-Hagebuche	5.363 ⁰⁰⁰	5.920 ⁰⁰⁰	5.397 ⁰⁰⁰	5.488 ⁰⁰⁰	6.806 ⁰⁰⁰
	Eiche-Esche	7.602 ⁰⁰⁰	6.991 ⁰⁰⁰	8.862 ⁰⁰⁰	8.585 ⁰⁰⁰	2.802 ⁰⁰⁰
	Eiche-Buche	1.520	1.552	0.497	0.117	12.332 ⁰⁰⁰
	Hagebuche-Esche	1.114	1.365	2.363 ⁰	1.374	4.289 ⁰⁰⁰
	Hagebuche-Buche	3.453 ⁰⁰⁰	3.948 ⁰⁰⁰	4.359 ⁰⁰⁰	4.939 ⁰⁰⁰	5.461 ⁰⁰⁰
	Esche-Buche	5.038 ⁰⁰⁰	3.026 ⁰⁰	7.151 ⁰⁰⁰	7.209 ⁰⁰⁰	9.918 ⁰⁰⁰
Beleuchtung Wuchsraum	Weiss-Blau	5.334 ⁰⁰⁰	2.703 ⁰⁰	6.074 ⁰⁰⁰	5.827 ⁰⁰⁰	1.375
	Weiss-Grün	0.927	1.621	0.989	0.851	1.424
	Weiss-Rot	5.113 ⁰⁰⁰	0.634 ⁰⁰⁰	4.522 ⁰⁰⁰	4.275 ⁰⁰⁰	3.536 ⁰⁰⁰
	Blau-Grün	6.125 ⁰⁰⁰	4.081 ⁰⁰⁰	6.961 ⁰⁰⁰	6.238 ⁰⁰⁰	2.905 ⁰⁰
	Blau-Rot	9.761 ⁰⁰⁰	12.236 ⁰⁰⁰	10.058 ⁰⁰⁰	9.042 ⁰⁰⁰	4.838 ⁰⁰⁰
	Grün-Rot	4.195 ⁰⁰⁰	6.895 ⁰⁰⁰	3.555 ⁰⁰⁰	3.303 ⁰⁰	2.408 ⁰

$n_1 = n_2 = 320$

$t = 1,968$ für $P = 0,05$
 $t = 2,591$ für $P = 0,01$
 $t = 3,322$ für $P = 0,001$

verhalten sich diesbezüglich als relative Schattenarten im Vergleich zur Eiche und zur Buche, die sich, den zitierten Lichtstrahlungen gegenüber, als relative Lichtarten vortun.

- c) Die Unterschiede zwischen Esche- Buche, Esche-Eiche, Hagebuche-Eiche und Hagebuche-Buche sind für die vom roten, gelben und grünen Spektrumgebiet ausgehenden Lichtstrahlungen der gleichen Art wie für die gesamte weisse Lichtstrahlung der Lichtquelle. Diese Unterschiede sind statistisch stark bis sehr stark gesichert.

Gegenüber der Lichtstrahlung aus dem blauen Gebiet ($\lambda_{\max} = 440 \text{ nm}$) des Spektrums herköünftig, verhalten sich die untersuchten Baumarten jedoch sehr verschieden, so dass sich auch die Verhältnisse zwischen den Baumarten wesentlich ändern in Funktion dieser spezifischen Strahlung.

Bezüglich der Durchlässigkeit der Baumblätter gegenüber der blauen Lichtstrahlung sind nachstehende Beobachtungen zu machen :

- a) Zwischen allen vier untersuchten Baumarten liegen wesentliche Unterschiede vor und auch Esche und Hagebuche, bzw. Eiche und Buche unterscheiden sich deutlich voneinander.
- b) Aus der Klassifikation der Baumarten nach abnehmenden Werten für die Beleuchtungsstärke des durchfallenden Lichtes ergibt sich die Reihenfolge „Buche — Hagebuche — Esche — Eiche“.

Wo tatsächlich angenommen werden kann, dass die Blätter der Schattenbaumarten relativ mehr und die Blätter der Lichtbaumarten relativ weniger Licht durchlassen und insoweit ferner bewiesen werden kann, dass diese Stellung gültig ist, sowohl für die gesamte Lichtstrahlung wie für die Strahlung von eingengten Spektrumgebieten ausgehend, muss zwangsläufig festgestellt werden, dass die obige Klassifikation weitgehend übereinstimmt mit der Klassifikation derselben Baumarten nach zunehmenden Lichtbedarf, wie sie durch die waldbauliche Praxis üblicherweise gemacht wird.

Zu einer analogen Feststellung hat auch eine vorherige Untersuchung an im Freien aufgewachsenen Pflanzen geführt (8).

Diesbezüglich wäre sogar die Hypothese zu formulieren, dass das Lichtbedürfnis der Baumart, wie es durch die Praxis erfahren und charakterisiert wird an Hand der empirischen Beurteilung des quantitativen Wuchsergebnisses oder der Wuchsreaktionen, weitgehend übereinstimmt mit und bestimmt wird durch die Reaktion der Baumart auf die Strahlungen vom blauen Gebiet des Lichtspektrums ausgehend.

Zum Schluss sei noch darauf hinzuweisen, dass sowohl die Hagebuche als die Eiche immer eine gleiche Position (absolut und relativ) gegenüber den verschiedenen Lichtstrahlungen einnehmen und demzufolge als „photostabile Baumarten“ bezeichnet werden können, im Gegensatz zur Buche und zur Esche, als „photolabile Baumarten“ anzusprechen, die keine unveränderliche Position haben.

In der Tat, die Hagebuche ist für alle Lichtstrahlungen unveränderlich als eine relative Schattenbaumart (relativ hohe Beleuchtungsstärke des durchfallenden Lichtes) und die Eiche unveränderlich als eine relative Lichtbaumart (relativ niedrige Beleuchtungsstärke des durchfallenden Lichtes) zu betrachten.

Die Esche hingegen verhält sich als eine relative Schattenbaumart gegenüber den Lichtstrahlungen λ -weiss, λ -rot, λ -gelb, λ -grün und als eine relative Lichtbaumart gegenüber der Lichtstrahlung λ -blau. Bei der Buche ist gerade das Umgekehrte zu beobachten: Die Buche verhält sich als eine relative Lichtbaumart gegenüber den Lichtstrahlungen λ -weiss, λ -rot, λ -gelb, λ -grün und als eine ausgesprochene Schattenbaumart gegenüber der Lichtstrahlung λ -blau.

Diese Feststellungen betonen die Wichtigkeit der Reaktion der Baumart gegenüber der blauen Lichtstrahlung zur Charakterisierung des Lichtbedarfs oder zur Klassifikation der Baumarten nach Lichttemperament.

Dies wird ausserdem verdeutlicht, durch die Tatsache, dass gerade die grössten Unterschiede zwischen den Baumarten in ihrer Reaktion gegenüber der blauen Lichtstrahlung vorliegen, wie auch durch nachstehende Referenzahlen angegeben wird (Referenz: Eiche = 100).

Baumart	Minimale Unterschiede λ -gelb	Maximale Unterschiede λ -blau
Esche	127	112
Hagebuche	115	139
Buche	102	173
Eiche	100	100

In der ersten Gruppe betragen die Unterschiede in der Beleuchtungsstärke des durchfallenden Lichtes maximal 27 % zwischen Esche und Eiche, aber für λ -blau steigen die maximalen Unterschiede an bis 73 % zwischen Buche und Eiche.

3.2. Der allgemeine Einfluss der Kunstbeleuchtung

Die Kunstbeleuchtung des Wuchsräumcs wirkt sich auf die Blatteigenschaften aller untersuchten Baumarten aus, wie hervor-

geht aus der Analyse der nach der Beleuchtungsart und ohne Berücksichtigung der Aspekte „Baumart“ und „Messzeitpunkt“ gruppierten Werte für die Beleuchtungsstärke des durchfallenden Lichtes (Tab. III; Tab. IV).

Es ist zuerst feststellbar, dass die Auswirkung der Kunstbeleuchtung der gleichen Art ist, wenn sie beurteilt wird an Hand der Durchlässigkeitswerte gegenüber den Strahlungen aus den verschiedenen Lichtspektrumgebieten. Für alle Strahlungsbereiche (λ -weiss, λ -rot, λ -gelb, λ -grün, λ -blau) liegt eine ähnliche Reihenfolge nach zunehmenden Werten der Lichttransgression der Beleuchtungsarten im Wuchsraum „Blau — Weiss — Grün — Rot“ vor.

Die blaue Kunstbeleuchtung verursacht, im Vergleich zur weissen Standardbeleuchtung, eine Verminderung der Durchlässigkeit der Baumblätter gegenüber den Lichtstrahlungen aus allen untersuchten Spektrumgebieten. Die grüne Kunstbeleuchtung dagegen scheint, im Vergleich zur weissen Standardkunstbeleuchtung, keine bedeutende Änderungen hervorzurufen. Die rote Kunstbeleuchtung zuletzt verursacht, stets bezogen auf die weisse Standardbeleuchtung, eine wesentliche Erhöhung der Beleuchtungsstärke des durchfallenden Lichtes.

Im Sinne der vorher formulierten Hypothese, könnte aus diesen Feststellungen folgendes geschlossen werden :

- 1^o Die blaue Kunstbeleuchtung oder die relative Anreicherung einer Strahlung mit blauem Licht bewirkt, dass die Baumarten mehr als Lichtart reagieren.
- 2^o Die rote Kunstbeleuchtung oder die relative Anreicherung einer Strahlung mit rotem Licht bewirkt, dass die Baumarten mehr schattenertragend werden oder zunehmend als Schattenart reagieren.
- 3^o Die grüne Beleuchtung ändert, im Vergleich zur weissen Standardbeleuchtung, das Lichttemperament der Baumarten nicht.

3.3. *Die allgemeine Bedeutung der Zeitfunktion*

Wie vorher bereits festgestellt wurde, sowohl für die Lichtstrahlung in der Natur (8), wie für die gesamte weisse Lichtstrahlung künstlicher Herkunft (Tab. I), nimmt die Durchlässigkeit der Baumblätter im allgemeinen ab im Laufe der Vegetationszeit. Diese Tatsache gilt für alle Spektrumbereiche des auffallenden Lichtes (Tab. III, Tab. IV).

Diese Entwicklungstendenz in die Richtung des zunehmenden Lichtbedarfs oder der abnehmenden Toleranz bei fortschreitender

Vegetationszeit, wahrscheinlich verursacht durch eine verminderte Effizienz in der Energieaufnahme, die als eine allmähliche physiologische Abwertung oder Degradation zu betrachten wäre, geht am schnellsten vor sich wenn sie auf die Strahlung λ -blau bezogen wird (Tab. V).

TABELLE V
Abnahme der Beleuchtungsstärke des durchfallenden
Lichtes im Laufe der Vegetationszeit
 (% der Durchschnittliche Beleuchtungsstärke für Mai)

Monat	λ -weiss	λ -rot	λ -gelb	λ -grün	λ -blau
Mai	100	100	100	100	100
Juni	87	94	86	85	78
August	78	79	78	78	65
September	64	61	63	63	43

Vom Mai bis September vermindert die Beleuchtungsstärke des durchfallenden blauen Lichtes mit 57 % und vom Mai bis Juni mit 22 % gegenüber 37 bis 39 % für die Periode Mai-September und 6 bis 15 % für die Periode Mai-Juni bei den übrigen untersuchten auffallenden Lichtstrahlungen.

Die Bedeutung der Lichtstrahlung aus dem blauen Spektrumgebiet herkömftig als Beurteilungsmassstab für das Lichttemperament der Baumart, sowie zur Feststellung der Aenderungen im Lichttemperament, die sich im Laufe der Entwicklung vortun können, gelangt damit erneut zum Ausdruck.

4. Die Beziehungen zwischen Baumart, Beleuchtung und Zeitverlauf

Die Verhältnisse zwischen den verschiedenen Elementen und Umweltfaktoren, die das Wachstum der Pflanze, die Entwicklung der Blätter, sowie ihre Durchlässigkeit für die Lichtstrahlung beeinflussen, sind dermassen vielseitig und kompliziert, dass vorläufig darauf verzichtet werden muss diese Wechselbeziehungen zu untersuchen für alle Teilgebiete des Lichtspektrums.

In den hiernach folgenden Betrachtungen wird versucht, eine Detailanalyse der beobachteten Phänomene durchzuführen, nachdem in den vorigen Abschnitten vor allem bezweckt wurde einige allgemeine Gesetzmässigkeiten betriffs der Baumart, bzw. der Bedeutung des Lichtklimas und der Zeitfunktion abzuleiten.

Diese Detailanalyse befasst sich aber ausschliesslich mit der Durchlässigkeit der Baumblätter für die gesamte weisse Lichtstrahlung, die von der im Apparat eingebauten künstlichen Lichtquelle ausgeht.

4.1. Änderung der Lichtdurchlässigkeit der Baumblätter im Laufe der Vegetationszeit

Die allgemeine Feststellung der Abnahme, im Laufe der Vegetationszeit, der Lichtdurchlässigkeit der Baumblätter für alle Lichtstrahlungen in dem Bereich von 400 bis 750 nm (Tab. I, III, IV, V) wird weitgehend bestätigt für jede individuelle Baumart unter vier verschiedenen Beleuchtungsarten aufgewachsen und an vier ausgewählten Messzeitpunkten kontrolliert (Tab. VI).

TABELLE VI

Durchschnittliche Beleuchtungsstärke des durchfallenden weissen Lichtes an den vier Messzeitpunkten

Absolute Werte in Lx-Einheiten

Relative Werte : Index Mai bzw. Esche

Baumart	Mai	Juni	August	September
Esche	444,656	461,363	449,550	352,687
Hagebuche	549,956	430,144	381,038	312,694
Buche	522,956	368,213	347,118	295,650
Eiche	429,638	427,106	341,044	279,619
Esche	100	104	101	79
Hagebuche	100	78	69	57
Buche	100	70	66	57
Eiche	100	99	79	65
Esche	100	100	100	100
Hagebuche	124	93	85	89
Buche	118	80	77	84
Eiche	97	92	76	79

Dies bedeutet im wesentlichen, dass sowohl die als Lichtart angesprochenen Esche und Eiche, als die als Schattenart bezeichneten Buche und Hagebuche sich gegen das Ende der Vegetationszeit in zunehmendem Ausmass als relative Lichtbaumarten vortun und dies vor allem in Vergleich zu den Zuständen, die am Anfang der Wachstumsperiode vorliegen. Es zeigen sich dabei Unterschiede zwischen den Baumarten, die vor allem quantitativer Art sind (Tab. VI : Relative Wertzahlen. Tab. VII).

Bei der Esche ändert sich die Beleuchtungsstärke des durchfallenden Lichtes fast nicht von Mai bis August (maximaler Unterschied nur 4 %), aber gegen das Ende der Vegetationsperiode (August-September) tritt eine sehr bedeutende Verminderung auf.

Bei Buche und Hagebuche hingegen kommt eine starke Abnahme der Beleuchtungsstärke des durchfallenden Lichtes vor allem im ersten Viertel der Vegetationsperiode vor : Von Mai bis

Juni tritt eine Verminderung mit 30 %, bzw. mit 22 % auf; nach dieser initialen Periode ist eine ähnliche, aber sich viel langsamer vollziehende Weiterentwicklung bis am Ende der Kontrolleperiode zu beobachten.

TABELLE VII

t-Werte zu den in der Tabelle VI zum Vorschein tretenden Unterschieden zwischen den Durchschnittswerten für die Beleuchtungsstärke des durchfallenden weissen Lichtes (Gesamte Lichtstrahlung)

Objekte	Esche	Hagebuche	Buche	Eiche
Mai-Juni	0,127	6,837 ⁰⁰⁰	9,798 ⁰⁰⁰	0,183
Mai-August	0,365	10,991 ⁰⁰⁰	11,986 ⁰⁰⁰	7,152 ⁰⁰⁰
Mai-September	6,646 ⁰⁰⁰	16,404 ⁰⁰⁰	12,475 ⁰⁰⁰	13,513 ⁰⁰⁰
Juni-August	0,871	3,207 ⁰⁰	1,744	6,132 ⁰⁰⁰
Juni-September	7,817 ⁰⁰⁰	8,170 ⁰⁰⁰	4,505 ⁰⁰⁰	11,422 ⁰⁰⁰
August-September	7,866 ⁰⁰⁰	5,882 ⁰⁰⁰	3,441 ⁰⁰⁰	5,505 ⁰⁰⁰

$$n_1 = n_2 = 80$$

$$t = 1,990 \text{ für } P = 0.05$$

$$t = 2,638 \text{ für } P = 0.01$$

$$t = 3,416 \text{ für } P = 0.001$$

Die Eichenblätter zuletzt, bleiben fast unverändert von Mai bis Juni; nachher vermindert die Durchlässigkeit ständig und regelmässig (mit 20 % von Juni bis August und mit 14 % von August bis September).

Wenn also der allgemeine Entwicklungsgang für alle Baumarten analog ist, bestehen jedoch zwischen den Baumarten Unterschiede quantitativer Art, die genügend gross sind und eine deutliche Individualcharakterisierung der Baumart erlauben. Diese Unterschiede bestehen zwischen den vorher schon besprochenen absoluten Wertzahlen für die Beleuchtungsstärke des durchfallenden Lichtes (Tab. VI); sie gelangen auch deutlich zum Ausdruck beim Studium der relativen Wertzahlen.

Aus diesen relativen Wertzahlen sind in der Tat vorläufig nachstehende Folgerungen zu ziehen :

- 1° Dem allgemeinen Verlauf der Beleuchtungsstärke des durchfallenden Lichtes nach, gruppieren sich die untersuchten Baumarten in den Paaren Esche-Eiche (allmähliche Abnahme, die spät einsetzt) und Buche-Hagebuche (ziemlich starke und frühzeitig einsetzende Abnahme).
- 2° Am Ende der Kontrolleperiode (September) machen sich die grössten relativen Verminderungen (— 43 %) an Buche und Hagebuche bemerkbar.

Eine weiter durchgeführte Analyse zeigt auch, dass all diese gleichzeitig auftretenden Änderungen bewirken, dass sich die relative Position der einem Baumart gegenüber der andern merkbar bis tiefgehend ändern kann im Laufe der Vegetationszeit, wie gezeigt wird, wenn eine dieser Baumarten (z.B. Esche) an jedem Messzeitpunkt als Referenz genommen wird (Tab. VI).

So sind die Unterschiede zwischen Esche und Eiche im Anfang (Mai) sehr gering, aber gegen das Ende (September) der Kontrolleperiode lässt das Eschenblatt durchschnittlich 21 % mehr Licht durch als das Eichenblatt.

Hagebuche und Buche dagegen reagieren nicht wesentlich verschieden, obwohl sich die Entwicklung doch bedeutend schneller vollzieht bei der Buche.

Dagegen ändert sich das Verhältnis dieser Baumarten gegenüber der Esche vollkommen im Laufe der Wuchsperiode. Im Mai lassen die Blätter von Hagebuche und Buche mehr Licht durch als die Eschenblätter (+ 24 %, bzw. + 18 %). Am Ende der Kontrolleperiode (September) aber sind die Verhältnisse deutlich umgekehrt und lassen die Blätter von Hagebuche und Buche im Vergleich zur Esche weniger Licht durch (— 11 %, bzw. — 16 %).

Diese Erscheinungen können folgenderweise zusammengefasst und interpretiert werden :

- 1^o Bei allen Baumarten nimmt die Lichtdurchlässigkeit der Blätter ab vom Anfang bis zum Ende der Vegetationsperiode. Diese Änderungen sind relativ und absolut am stärksten bei den Baumarten (Buche, Hagebuche), die im Anfang anscheinend ein geringes Lichtbedürfnis haben und deswegen als relative Schattenbaumarten zu betrachten sind.
- 2^o Infolge des ungleichen Verlaufs dieses Phänomens, ändern sich die relativen Positionen zwischen den Baumarten ständig und ist ihr Lichttemperament als ein sehr relatives Merkmal zu betrachten. Diese Tatsache muss unbedingt das Zusammenleben zwischen den Bäumen tiefgehend beeinflussen und ist deswegen bei der waldbaulichen Behandlung, welche die sozialen Verhältnisse im Waldbestand zu regulieren versucht, zu berücksichtigen.
 - a) Im Vergleich zur Esche sind Hagebuche und Buche beim Anfang der Vegetationsperiode als relative Schattenbaumarten und gegen das Ende als relative Lichtbaumarten zu betrachten (maximaler Unterschied im August) die sich, ab August, sehr stark der Eiche annähern.
 - b) Beim Beginn der Kontrolleperiode sind die Unterschiede zwischen Esche und Eiche gering, aber ab August ist die

Esche als eine relative Schattenbaumart gegenüber der Eiche zu betrachten.

- c) Die geringsten absoluten und relativen Unterschiede im Laufe der Wachstumsperiode treten bei Esche und Eiche auf (— 21 %, bzw. — 35 % von Mai bis September) : Sie sind deswegen als „photostabile“ Baumarten zu betrachten, wodurch zu verstehen wäre, dass sie sich weniger stark ändern im Laufe der Vegetationszeit.

Tiefgehende Änderungen von Mai bis September liegen dagegen vor bei Buche und Hagebuche (— 43 %), die deswegen als „photolabile“ Baumarten bezeichnet werden.

4.2. Die Interferenz der Kunstbeleuchtung

Die bisherige Analyse der Wertzahlen für die Beleuchtungsstärke der Lichtstrahlung nach Transgression durch Baumblätter, hat bisher erlaubt nachstehende allgemeine Schlüsse zu ziehen :

- 1^o Das Lichttemperament ist weitgehend charakteristisch für die Baumart.
- 2^o Es ist jedoch ein veränderliches und nicht völlig unabhängiges Merkmal
 - a) Der Lichtdurchlässigkeitsgrad der Blätter ist verschieden für die Strahlung aus abgetrennten Teilgebieten des Lichtspektrums herköünftig.
 - b) Die Lichtdurchlässigkeit ändert sich im Laufe der Vegetationszeit.
 - c) Die Lichtdurchlässigkeit wird selber auch gewissermassen beeinflusst durch die herrschenden Lichtverhältnisse.

Für eine spätere waldbaupraktische Interpretation ist vor allem das Studium über den Einfluss der Lichtbedingungen wichtig. Gerade aus diesen Gründen wurde der Einfluss von den vier Kunstbeleuchtungen untersucht (Tab. VIII).

Es sei auch noch betont, dass zur erweiterten Interpretation im waldbaulichen oder energetischen Sinne der berechneten Durchschnittswerte für die Beleuchtungsstärke des durchfallenden Lichtes, immer von den folgenden Beurteilungsgrundsätzen ausgegangen wurde :

Durchlässigkeit Blatt	Lichtcharakter Baumart oder evtl. Blatt	Ausnützung Lichtenergie
Hoch Niedrig Ansteigend Absinkend	Schattentyp Lichttyp Zunahme Schattencharakter Zunahme Lichtcharakter	Gut Schlecht Verbesserung Verschlechterung

TABELLE VIII

Durchschnittliche Beleuchtungsstärke in Lux-Einheiten des weissen Lichtes nach Durchgang durch die Blätter von vier Baumarten in einem ungleichen Lichtklima zur Entwicklung gekommen und an vier gestaffelten Zeitpunkten während der Vegetationszeit gemessen

Beleuchtung Wuchsraum	Baumart	Mai	Juni	August	September	Durchschnitt pro Baumart
Weiss	Esche	376,650	479,250	461,025	364,500	420,356
	Hagebuche	544,725	434,700	444,825	328,725	438,244
	Buche	423,900	349,650	341,550	250,425	341,381
	Eiche	449,550	469,800	342,900	280,800	385,763
Blau	Esche	421,203	372,600	384,075	267,975	361,463
	Hagebuche	519,750	296,325	324,000	256,500	349,144
	Buche	462,375	328,050	298,350	236,250	331,256
	Eiche	479,925	389,475	334,800	267,975	368,044
Grün	Esche	444,150	446,175	444,150	385,425	429,975
	Hagebuche	569,700	476,550	377,325	338,850	440,606
	Buche	570,375	338,850	354,375	315,226	394,706
	Eiche	382,725	427,275	348,975	263,925	355,725
Rot	Esche	536,625	547,425	508,950	392,850	496,463
	Hagebuche	565,650	513,000	378,000	326,700	445,838
	Buche	635,175	456,300	394,000	380,700	466,594
	Eiche	406,350	421,875	337,500	305,775	367,875

In den hiernach folgenden Betrachtungen wird nur der Transgression der gesamten weissen Lichtstrahlung von der künstlichen Lichtquelle im Messapparat ausgehend Rechnung getragen.

4.2.1. Der Einfluss der Beleuchtung auf die individuelle Baumart

Von den Durchschnittswertzahlen für die Beleuchtungsstärke des durchfallenden Lichtes für die gesamte Kontrolleperiode von Mai bis September ausgehend (Tab. VIII), können nachstehende relative Wertzahlen ausgearbeitet werden :

Beleuchtung	Esche	Hagebuche	Buche	Eiche
Weiss	100	100	100	100
Blau	86	80	97	95
Grün	102	101	116	92
Rot	118	102	137	95

Es lässt sich daraus ganz allgemein ableiten, dass die blaue Kunstbeleuchtung zu einer Verminderung der Lichtdurchlässigkeit der Blätter der Esche (-14%) und der Hagebuche (-20%) führt, was bedeuten könnte, dass das Lichtbedürfnis dieser Baumarten unter dem Einfluss der blauen Lichtstrahlungen grösser wird.

Die grüne Beleuchtung scheint nur wesentlich auf die Buche einzuwirken ($+16\%$) und den Schattencharakter dieser Baumart noch deutlicher zum Ausdruck zu bringen.

Die rote Kunstbeleuchtung ruft fast keine Änderungen bei Hagebuche und bei Eiche hervor, aber sie bewirkt eine Zunahme der Lichttransgression mit 18% bei der Esche und mit 37% bei der Buche. Beide Baumarten, aber vor allem die Buche, nehmen unter dem Einfluss der roten Lichtstrahlung, einen ausgesprochenen Schattencharaktertyp an.

Sehr auffallend ist, in diesem Zusammenhang, auch die deutliche Photostabilität der Eiche.

Die erweiterte Detailanalyse auf Basis von den Durchschnittswerten pro Messzeitpunkt (Tab. VIII) oder von relativen Wertzahlen (Tab. IX, Tab. X) ausgehend, verneint diese allgemeinen Feststellungen nicht, aber sie führt doch zu mehr nuanzierten Aussprachen und Beurteilungen.

ESCHE

- B. Weiss : Sehr starke Zunahme im Juni ($+27\%$) und im August ($+22\%$); auf Anfangsniveau zurückfallend im September ($+3\%$).
- B. Blau : Leichte Abnahme im Juni (-12%) und im August (-9%), gefolgt durch starke Abnahme im September (-36%).
- B. Grün : Erst im September bedeutende Abnahme (-13%).
- B. Rot : Unverändert im Juni und im August, aber plötzliche starke Abnahme im September (-27%).

Die grössten Änderungen im Laufe der Vegetationszeit vollziehen sich

- a) im positiven Sinne bei weisser Kunstbeleuchtung ($+27\%$ für Juni/Mai);
- b) im negativen Sinne bei blauer (-36% für September/Mai) und bei roter (-27% für September/Mai) Kunstbeleuchtung.

Der Verlauf unter blauer, und vor allem unter roter Kunstbeleuchtung stimmt weitgehend überein mit dem Allgemeinbild für die Esche (Tab. VI), das gekennzeichnet ist durch eine plötzliche Abnahme der Beleuchtungsstärke des durchfallenden Lichtes gegen das Ende der Wachstumsperiode.

Bei grüner Kunstbeleuchtung tritt die gleiche Tendenz, jedoch etwas abgeschwächt, zum Vorschein.

Für die weisse Kunstbeleuchtung liegt ein wesentlich verschiedenes Bild vor infolge der bedeutenden Zunahme der Beleuchtungsstärke des durchfallenden Lichtes während des grösseren Teils der Wachstumszeit.

TABELLE IX

t-Werte zu den in Tabelle VIII aufgeführten Durchschnittswerten Vergleich: Messzeitpunkte pro Baumart bei jedem der 4 Wuchsräumebeleuchtungen

	Beziehung	Esche	Hagebuche	Buche	Eiche
Beleuchtung weiss	Mai-Juni	4,073 ⁰⁰⁰	3,500 ⁰⁰⁰	3,448 ⁰⁰	1,246
	Mai-August	3,418 ⁰⁰⁰	2,676 ⁰	4,111 ⁰⁰⁰	6,920 ⁰⁰⁰
	Mai-September	0,288	6,927 ⁰⁰⁰	8,414 ⁰⁰⁰	13,389 ⁰⁰⁰
	Juni-August	0,725	0,328	0,618	7,555 ⁰⁰⁰
	Juni-September	11,345 ⁰⁰⁰	4,600 ⁰⁰⁰	7,100 ⁰⁰⁰	13,251 ⁰⁰⁰
	August-September	10,780 ⁰⁰⁰	3,698 ⁰⁰	7,409 ⁰⁰⁰	4,672 ⁰⁰⁰
Beleuchtung blau	Mai-Juni	2,145 ⁰	7,214 ⁰⁰⁰	7,174 ⁰⁰⁰	2,749 ⁰
	Mai-August	1,632	6,777 ⁰⁰⁰	9,313 ⁰⁰⁰	4,770 ⁰⁰⁰
	Mai-September	9,803 ⁰⁰⁰	9,164 ⁰⁰⁰	13,602 ⁰⁰⁰	7,893 ⁰⁰⁰
	Juni-August	0,496	1,526	1,652	1,481
	Juni-September	7,062 ⁰⁰⁰	2,227	5,397 ⁰⁰⁰	3,571 ⁰⁰
	August-September	7,617 ⁰⁰⁰	4,836 ⁰⁰⁰	3,939 ⁰⁰⁰	2,112 ⁰
Beleuchtung grün	Mai-Juni	0,103	3,111 ⁰⁰⁰	8,866 ⁰⁰⁰	1,632
	Mai-August	0,000	6,657 ⁰⁰⁰	8,622 ⁰⁰⁰	1,560
	Mai-September	6,217 ⁰⁰⁰	7,924 ⁰⁰⁰	9,887 ⁰⁰⁰	6,297 ⁰⁰⁰
	Juni-August	0,123	5,763 ⁰⁰⁰	0,825	2,122 ⁰
	Juni-September	7,180	7,819 ⁰⁰⁰	1,192	4,801 ⁰⁰⁰
	August-September	7,269 ⁰⁰⁰	2,439 ⁰	2,129 ⁰	2,688 ⁰
Beleuchtung rot	Mai-Juni	0,455	1,841	7,239 ⁰⁰⁰	0,586
	Mai-August	1,557	5,357 ⁰⁰⁰	10,746 ⁰⁰⁰	2,653 ⁰
	Mai-September	6,045 ⁰⁰⁰	10,187 ⁰⁰⁰	10,187 ⁰⁰⁰	4,536 ⁰⁰⁰
	Juni-August	2,031	3,697 ⁰⁰	2,239 ⁰	3,201 ⁰⁰
	Juni-September	6,263 ⁰⁰⁰	7,270 ⁰⁰⁰	2,623 ⁰	5,128 ⁰⁰⁰
	August-September	5,570 ⁰⁰⁰	1,571	0,597	1,442

$$n_1 = n_2 = 20$$

$$t = 2,086 \text{ für } P = 0.05$$

$$t = 2,845 \text{ für } P = 0.01$$

$$t = 3,850 \text{ für } P = 0.001$$

TABELLE X

Relative Wertzahlen für die Beleuchtungsstärke
des durchfallenden Lichtes
(Referenz : Mai)

Beleuchtung	Baumart	Mai	Juni	August	September
Weiss	Esche	100	127	122	97
	Hagebuche	100	80	82	60
	Buche	100	82	81	59
	Eiche	100	105	76	62
Blau	Esche	100	88	91	64
	Hagebuche	100	57	62	49
	Buche	100	71	65	51
	Eiche	100	81	70	56
Grün	Esche	100	101	100	87
	Hagebuche	100	84	66	59
	Buche	100	59	62	55
	Eiche	100	112	91	69
Rot	Esche	100	102	95	73
	Hagebuche	100	91	67	58
	Buche	100	72	62	60
	Eiche	100	104	83	75

HAGEBUCHE

- B. Weiss : Starke Abnahme im Juni (-20%); Niveau weiter unverändert von Juni bis August und starke Abnahme am Ende der Periode (-40%).
- B. Blau : Sehr starke Abnahme im Juni (-43%) und anschließende Weiterabnahme bis September (-51%).
- B. Grün : Allmähliche Abnahme von Mai über Juni (16%) und August (-34%) bis September (-41%).
- B. Rot : Allmähliche Abnahme von Mai über Juni (-9%) und August (-33%) bis September (-42%).

Die Verminderung der Beleuchtungsstärke des durchfallenden Lichtes im Laufe der Vegetationsperiode ist als eine allgemein auftretende Erscheinung bei der Hagebuche zu betrachten.

Die stärkste Reaktion wird durch die blaue Kunstbeleuchtung hervorgerufen (September/Mai = -51%).

Der Verlauf bei weisser und bei blauer Kunstbeleuchtung stimmt am besten mit dem Allgemeinbild für die Hagebuche über-

ein (Starke Verminderung während des ersten Viertels der Vegetationszeit).

Bei grüner und bei roter Kunstbeleuchtung vollzieht sich eine ähnliche, jedoch langsamer verlaufende Entwicklung.

BUCHE

- B. Weiss : Bedeutende Abnahme im Juni (-18%) bis August (-19%) und anschliessend sehr starke Abnahme im September (-41%).
- B. Blau : Starke Abnahme im Juni (-29%) bis August (-35%) und anschliessende Weiterabnahme gegen Mitte September (-49%).
- B. Grün : Schon sehr starke Abnahme im Juni (-41%). Anschliessend treten nur noch geringe Änderungen auf (August = -38% ; September = -45%).
- B. Rot : Sehr starke Abnahme im Juni (-28%) und allmähliche Weiterabnahme über August (-38%) bis September (-40%).

Auch bei der Buche ist, wie für die Hagebuche, eine sehr starke Verminderung der Beleuchtungsstärke der durchfallenden Lichtstrahlung feststellbar, die folgende Merkmale aufweist :

- 1^o Sie setzt frühzeitig ein und erreicht bereits im Juni 18% bis 41% .
- 2^o Sie ist vor allem gegen das Ende der Kontrolleperiode von Bedeutung indem sie zwischen 40% und 49% beträgt.

Wie im vorigen Fall (Hagebuche), wird die stärkste Reaktion, gemessen am Ende der Kontrolleperiode, hervorgerufen durch die blaue Kunstbeleuchtung (-49%).

Dagegen wird die schnellste Reaktion (Verminderung nach einem Monat) bewirkt durch die grüne (-41%) und nicht durch die blaue Kunstbeleuchtung (-29%). Gerade in dieser Hinsicht unterscheidet sich die Buche von der Hagebuche, bei welcher Baumart die schnellste Reaktion durch die blaue (-43%) und nicht durch die grüne (-16%) Beleuchtung verursacht wird.

EICHE

- B. Weiss : Eine wesentliche Änderung in der Beleuchtungsstärke setzt erst nach Ende Juni ein; sie besteht aus einer starken Abnahme im August (-24%) und einer sehr starken Abnahme im September (-38%).

- B. Blau : Regelmässige Abnahme von Mai bis September (— 44 %).
- B. Grün : Bedeutende Zunahme im Juni (+ 12 %) und anschliessend geringe Verminderung im August (— 9 %) bis sehr starke Verminderung im September (— 31 %).
- B. Rot : Der Verlauf ist wie bei der weissen Kunstbeleuchtung, aber die Verminderung beträgt nur 17 % im August, bzw. 25 % im September.

Die Übereinstimmung zwischen Esche und Eiche tritt ziemlich klar zum Vorschein :

- a) Allmähliche Abnahme der Beleuchtungsstärke der durchfallenden Lichtstrahlung, evtl. nach einer initialen Periode (Juni) unveränderter (Eiche : B. weiss und B. rot; Esche : B. grün und B. rot) oder zugenommener (Eiche : B. grün; Esche : B. weiss) Strahlungsintensität.
- b) Wie für die Esche ist auch die Abnahme gegen das Ende der Kontrolleperiode bei der Eiche ziemlich gering (— 44 % bis — 25 %).

Die beste Übereinstimmung zwischen den beiden Baumarten liegt bei der blauen und bei der roten Kunstbeleuchtung vor.

Sie unterscheiden sich hingegen bei

- B. weiss : Zunahme für die Esche in der Periode Juni-August.
Niveau September = Niveau Mai.
Starke Verminderung bei der Eiche ab August.
- B. grün : Für die Periode Mai-Juni starke Zunahme bei der Eiche und unverändert für die Esche.
Am Ende der Kontrolleperiode starke Verminderung bei der Eiche (— 31 %) gegenüber geringer Verminderung bei der Esche (— 13 %).

Aus diesen verschiedenen Ergebnissen sind nachstehende zusammenfassende Folgerungen zu ziehen :

1. Unter jeder der vier Kunstbeleuchtungen nimmt die Beleuchtungsstärke der durchfallenden Lichtstrahlung sehr stark ab gegen das Ende der Wuchsperiode, wie ausserdem auch der Fall ist bei in der freien Natur, unter normalen Lichtverhältnissen aufgewachsenen Pflanzen (8).
2. Diese Verminderung ist am stärksten an Pflanzen in der blauen Kunstbeleuchtung aufgewachsen. Die Verminderung beträgt — 36 % bis — 51 % gegenüber — 3 % — 41 % für B. weiss, — 13 %/— 41 % für B. grün und — 25 %/— 40 % für B. rot.

3. Die Verminderung im Laufe der Wuchsperiode ist auch am stärksten bei der als Schattenbaumart angesprochenen Buche und Hagebuche (durchschnittlich : — 44 %); geringer bei der Eiche (— 44 % bis — 25 %) und am geringsten bei der Esche (— 3 % bis — 36 %).

4. Eine zu beachtende Zunahme der Beleuchtungsstärke der durchfallenden Lichtstrahlung (relative Zunahme gegenüber Mai) ist nur feststellbar

bei der Eiche : B. grün/juni = + 12 %

bei der Esche : B. weiss/Juni = + 27 %

B. weiss/August = + 22 %.

5. Jedenfalls tun sich die geringsten Änderungen bei der Esche vor, die nur stark auf die blaue Kunstbeleuchtung reagiert und dies nur gegen das Ende der Kontrolleperiode (photostabile Baumart).

Ziemlich photostabil ist auch die Eiche und bedeutende Änderungen vollziehen sich bei dieser Baumart erst ab August und dann nur an Exemplaren im blauen (— 30 %) und im weissen (— 24 %) Kunstlicht aufgewachsen.

Bei Buche und Hagebuche hingegen vollziehen sich die Lichtstrahlungsvermindernungen frühzeitig. An Hagebuche ist schon im Juni für B. blau eine Verminderung mit 43 % feststellbar; an der Buche beträgt die Verminderung im Juni gegenüber Mai bei B. grün bereits 41 %.

Der Versuch diese festgestellten Phänomene energetisch zu interpretieren, könnte zur Formulierung folgender Hypothesen führen :

a) Jede Baumart entwickelt sich im Laufe der Vegetationszeit von einer relativen Schattenart zu einer relativen Lichtart. Dieses Phänomen wäre zu erklären durch einen zunehmenden Energiebedarf oder/und durch eine Verschlechterung der Energieaufnahmemöglichkeiten mit zunehmendem Alter.

b) Diese Tendenz äussert sich deutlicher (Änderungen grösser) bei den sogenannten Schattenbaumarten wie Buche und Hagebuche, die als photolabile Baumarten bezeichnet werden können als bei den sogenannten Lichtbaumarten wie Eiche und Esche, die als photostabile Baumarten anzusprechen sind.

c) Diese Art der Entwicklung wird besonders stark stimuliert durch die blaue Kunstbeleuchtung. Sie führt zu einer sehr deutlichen Differenzierung zwischen Licht- und Schattenbaumarten und zu einer Verschnellerung des Überganges zum Schattentyp, sowohl bei den relativen Lichtbaumarten wie bei den relativen Schattenbaumarten.

Die Bedeutung der spezifischen Auswirkung der blauen Lichtstrahlung ist besonders hervorzuheben.

4.2.2. Die Verhältnisse zwischen den Baumarten

Ein Versuch zur Determination der gegenseitigen Verhältnisse zwischen den Baumarten wurde unternommen: Hierbei wurde, getrennt für jede Kunstbeleuchtungsgruppe, die Beleuchtungsstärke der durchfallenden Lichtstrahlung bei Hagebuche, Buche und Eiche ausgedrückt als Prozentsatz der übereinstimmenden Beleuchtungsstärke für Esche (Tab. XI, XII).

TABELLE XI
Relative Wertzahlen
(Referenz : Esche)

Beleuchtung	Baumart	Mai	Juni	August	September
Weiss	Esche	100	100	100	100
	Hagebuche	145	91	96	90
	Buche	113	73	74	69
	Eiche	119	98	74	77
Blau	Esche	100	100	100	100
	Hagebuche	123	80	84	96
	Buche	110	88	78	88
	Eiche	114	105	87	100
Grün	Esche	100	100	100	100
	Hagebuche	128	107	85	88
	Buche	128	76	80	82
	Eiche	86	96	79	68
Rot	Esche	100	100	100	100
	Hagebuche	105	94	74	83
	Buche	118	83	77	97
	Eiche	76	77	66	78

Aus einem derartigen Vergleich geht zuerst hervor, dass die relativen Verhältnisse zwischen den Baumarten sich ständig ändern und dass dadurch sehr komplizierte Wuchsrelationen entstehen (Tab. XII), die noch nicht genügend charakterisiert werden können an Hand von Durchschnittswerten für die Beleuchtungsstärken des Transgressionlichtes, die sich auf eine komplette Wuchs- oder Kontrolleperiode beziehen.

Wenn aber bei der Beurteilung der Messresultate den verschiedenen Messzeitpunkten Rechnung getragen wird, können nachstehende allgemeine Folgerungen gezogen werden

TABELLE XII

Relative Beleuchtungsstärke des durchfallenden weissen Lichtes
(Referenz : Esche/weisse Beleuchtung/Messpunkt Mai)

Beleuchtung	Baumart	Mai	Juni	August	September	Index für Durchschnitt
Weiss	Esche	100	127	122	97	112
	Hagebuche	145	115	118	87	117
	Buche	113	93	91	66	91
	Eiche	119	125	91	75	102
Blau	Esche	112	99	102	71	96
	Hagebuche	138	79	86	95	93
	Buche	123	87	79	63	88
	Eiche	127	103	89	71	98
Grün	Esche	118	118	118	102	114
	Hagebuche	151	127	100	90	117
	Buche	151	90	94	84	105
	Eiche	102	113	93	70	94
Rot	Esche	142	145	135	104	132
	Hagebuche	150	136	100	87	118
	Buche	169	121	105	101	124
	Eiche	108	112	90	81	98

1^o Beim Anfang der Wuchs- oder Kontrolleperiode (Mai) lassen die Eschenblätter bedeutend weniger Licht durch als die Blätter der Hagebuche und der Buche. Der Unterschied Esche-Hagebuche steigt bis maximal 45 % an (weisse Kunstbeleuchtung) und der Unterschied Esche-Buche maximal bis 28 % bei grüner Kunstbeleuchtung.

Es ist ausserdem beachtenswert, dass die Unterschiede Esche-Hagebuche, die bei blauer (23 %) und bei roter (5 %) Kunstbeleuchtung vorliegen, statistisch nicht gesichert sind. Dies ist auch der Fall mit dem Unterschied Esche-Buche bei weisser Kunstbeleuchtung (13 %). (Tab. XIII).

Die Eschenblätter lassen hingegen weniger Lichtstrahlung durch als die Eichenblätter bei weisser (19 %) und bei blauer (14 %) Kunstbeleuchtung; sie lassen aber mehr Licht durch bei grüner (14 %) und bei roter (24 %) Kunstbeleuchtung. (Unterschiede Esche-Eiche statistisch stark bis sehr stark gesichert).

2^o Im Juni ändern sich die Verhältnisse vollständig indem ab diesem Zeitpunkt die Blätter von Hagebuche, Buche und Eiche gleich viel und weniger Licht durchlassen als die Eschenblätter. Dieser Zustand bleibt erhalten bis am Ende der Kontrolleperiode; die deutlichsten relativen Unterschiede liegen im August vor.

TABELLE XIII

t-Werte zu den in Tabelle VIII aufgeführten Durchschnittswerten
Vergleich - Baumarten

	Beziehung	Mai	Juni	August	September
Beleuchtung weiss	Eiche-Hagebuche	3,365 ^{oo}	1,749	3,536 ^{oo}	2,633 ^o
	Eiche-Esche	3,575 ^{oo}	0,430	5,689 ^{ooo}	7,802 ^{ooo}
	Eiche-Buche	1,200	7,292 ^{ooo}	0,100	2,692 ^o
	Hagebuche-Esche	5,325 ^{ooo}	1,855	0,512	2,687 ^o
	Hagebuche-Buche	3,752 ^{oo}	4,449 ^{ooo}	3,752 ^{oo}	4,124 ^{ooo}
	Esche-Buche	1,849	6,140 ^{ooo}	6,316 ^{ooo}	9,357 ^{ooo}
Beleuchtung blau	Eiche-Hagebuche	2,749 ^o	7,214 ^{ooo}	2,145 ^o	7,174 ^{ooo}
	Eiche-Esche	4,770 ^{ooo}	6,777 ^{ooo}	1,632	—
	Eiche-Buche	7,893 ^{ooo}	9,164 ^{ooo}	9,803 ^{ooo}	13,602 ^{ooo}
	Hagebuche-Esche	1,481	1,526	0,496	1,652
	Hagebuche-Buche	3,571 ^{oo}	2,227 ^o	7,062 ^{ooo}	5,397 ^{ooo}
	Esche-Buche	2,112 ^o	4,836 ^{ooo}	7,617 ^{ooo}	3,939 ^{ooo}
Beleuchtung grün	Eiche-Hagebuche	6,176 ^{ooo}	1,830	1,442	4,414 ^{ooo}
	Eiche-Esche	2,926 ^{oo}	0,719	4,787 ^{ooo}	8,595 ^{ooo}
	Eiche-Buche	7,213 ^{ooo}	3,227 ^{oo}	0,264	2,761 ^{oo}
	Hagebuche-Esche	4,054 ^{ooo}	1,689	4,279 ^{ooo}	3,530 ^{oo}
	Hagebuche-Buche	0,020	7,034 ^{ooo}	1,403	1,322
	Esche-Buche	4,706 ^{ooo}	5,748 ^{ooo}	5,402 ^{ooo}	4,617 ^{ooo}
Beleuchtung rot	Eiche-Hagebuche	6,037 ^{ooo}	3,174 ^{oo}	1,167	1,126
	Eiche-Esche	5,474 ^{ooo}	4,999 ^{ooo}	9,336 ^{ooo}	4,060 ^{ooo}
	Eiche-Buche	10,374 ^{ooo}	1,217	2,201 ^o	2,875 ^{oo}
	Hagebuche-Esche	1,203	1,273	4,224 ^{ooo}	2,949 ^{oo}
	Hagebuche-Buche	3,026 ^{oo}	1,889	0,467	1,966
	Esche-Buche	4,939 ^{ooo}	3,426 ^{oo}	5,596 ^{ooo}	0,577

$$n_1 = n_2 = 20$$

$$t = 2,086 \text{ für } P = 0,05$$

$$t = 2,845 \text{ für } P = 0,01$$

$$t = 3,850 \text{ für } P = 0,001$$

Merkwürdig ist auch, dass zwischen den als Schattenarten angesprochenen Buche und Hagebuche nur bei grüner Beleuchtung (ganze Periode) und bei roter Beleuchtung (ab Juni) eine gute Übereinstimmung zwischen den Beleuchtungsstärken des durchfallenden Lichtes vorliegt. In allen andern Fällen, und vor allem bei der bedeutungsvollen blauen Beleuchtung, bestehen grosse Unterschiede: Bei der Hagebuche ist eine grössere Durchlässigkeit der Blätter für die Lichtstrahlung feststellbar. (die Hagebuche verhält sich gegenüber der Buche als eine relative Schattenbaumart).

In ähnlichem Sinne findet sich auch für die als Lichtart bezeichnete Eiche und Esche eine völlige Übereinstimmung nur vor bei der blauen Kunstbeleuchtung. In allen andren Fällen ist die Durchlässigkeit des Eschenblattes für die Lichtstrahlung grösser

und benimmt sich die Eiche, auch im Vergleich zur Esche, als eine ausgesprochene relative Lichtbaumart.

Wenn zuletzt versucht wird die obigen Feststellungen und die in der Tab. XI aufgeführten relativen Wertzahlen für die Beleuchtungsstärke des durchfallenden Lichtes zu benützen zur Beurteilung des relativen Lichttemperaments der Baumart, sind nachstehende Schlüsse zu ziehen :

Anfang Periode

Gegenüber Buche und Hagebuche ist die Esche als eine relative Lichtbaumart zu betrachten.

Die Unterschiede Esche-Hagebuche werden abgeschwächt durch die rote Kunstbeleuchtung.

Die Unterschiede Esche-Buche sind am geringsten bei blauer und bei weisser Kunstbeleuchtung.

Im Vergleich zur Eiche reagiert die Esche als relative Lichtbaumart insoweit es sich handelt um Pflanzen im weissen oder im blauen Kunstlichtaufgewachsen und als eine relative Schattenbaumart bei Pflanzen im grünen oder im roten Kunstlicht aufgewachsen.

Ende Periode

In fast allen Fällen lassen die Eschenblätter mehr Lichtstrahlung durch, d.h. gegenüber Hagebuche, Buche und Eiche tut sich die Esche am Ende der Versuchsperiode als eine relative Schattenbaumart vor.

Ausnahmen bilden : Eiche/Esche und Esche/Hagebuche bei blauer Beleuchtung und Esche/Buche bei roter Beleuchtung.

Wenn, nur den statistisch gesicherten Unterschieden Rechnung getragen, versucht wird die Baumarten zu klassifizieren nach zunehmendem Schattencharakter, ergibt sich folgendes Resultat :

Beleuchtung	Weiss	Blau	Grün	Rot
Anfang Periode	? [Esche Buche Eiche Hagebuche	Esche Buche Eiche Hagebuche	Eiche Esche Buche Hagebuche	? [Eiche Esche Hagebuche Buche
Ende Periode	Buche Eiche Hagebuche Esche	Buche Hagebuche Eiche Esche	Eiche Buche Hagebuche Esche	? [Eiche Hagebuche Buche Esche

4.2.3. Die relative Bedeutung der Beleuchtungsart

Die Einwirkung der Kunstbeleuchtung wurde schon im Abschn. 4.2.1. behandelt.

Diese Beurteilungsergebnisse sind zu ergänzen durch eine letzte Detailanalyse inden für jede Baumart und an jeden Messzeitpunkt, die Beleuchtungsstärke des durchfallenden weissen Lichtes, gemessen an im weissen Kunstlicht aufgewachsenen Pflanzen, als Ausgangsmassstab zum Vergleich des Einflusses der andern Kunstbeleuchtungsarten gewählt wird (Tab. XIV).

TABELLE XIV

Relative Wertzahlen
(Referenz : Beleuchtung Wuchsraum weiss)

Baumart	Beleuchtung	Mai	Juni	August	September
Esche	Weiss	100	100	100	100
	Blau	112	78	83	74
	Grün	118	93	96	106
	Rot	142	114	110	108
Hagebuche	Weiss	100	100	100	100
	Blau	95	68	72	78
	Grün	105	110	85	103
	Rot	104	118	85	99
Buche	Weiss	100	100	100	100
	Blau	109	94	87	94
	Grün	135	97	104	126
	Rot	150	131	115	152
Eiche	Weiss	100	100	100	100
	Blau	107	83	98	95
	Grün	85	91	84	94
	Rot	90	90	109	109

Aus einer derartigen Analyse zeigt sich

- a) dass die Kunstbeleuchtungen verschieden auf die Baumarten und deswegen auf die Lichteigenschaften der Baumblätter einwirken;
- b) dass sich diese Einwirkung qualitativ und quantitativ ändern kann im Laufe der Wuchszeit.

Zustand im Mai

Die blaue, grüne und rote Kunstbeleuchtung bewirken, gegenüber der weissen Kunstbeleuchtung, eine Erhöhung der Licht-

durchlässigkeit der Blätter bei der Esche (+ 12 %, + 18 %, + 42 %) und bei der Buche (+ 9 %, + 35 %, + 50 %).

Bei diesen Baumarten lässt sich also festzustellen, dass sie, unter dem Einfluss dieser einseitig angereicherten Kunstbeleuchtungen, in zunehmendem Ausmass als Schattenarten reagieren. Die stärkste Auswirkung in diesem Sinne hat die rote Kunstbeleuchtung und der schwächste Einfluss geht von der blauen Kunstbeleuchtung aus.

Andererseits vollziehen sich bei der Hagebuche und bei der Eiche keine oder nur ganz geringe relative Änderungen, die durch die blauen, grünen oder roten Kunstbeleuchtungen hervorgerufen werden.

Es wird dadurch erneut bewiesen, wie wenig die üblichen Unterschiede zwischen Licht- und Schattenbaumarten mit einer verallgemeinerten Realität übereinstimmen und zu einer integralen Beurteilung der Baumarten berechtigen.

Juni — August

Die blaue Kunstbeleuchtung bewirkt bei Esche (— 22 %) und bei Hagebuche (— 32 %) eine starke Verminderung der Durchlässigkeit der Blätter (sie reagieren unter dem Einfluss der blauen Lichtstrahlung während der optimalen Sommerperiode als relative Lichtbaumarten).

Dagegen ist die Einwirkung der blauen Kunstbeleuchtung auf die Blätter der Eiche und der Buche relativ gering.

Die grüne Kunstbeleuchtung dagegen bewirkt nur geringe Änderungen.

Die rote Kunstbeleuchtung zuletzt bewirkt eine allgemeine relative Erhöhung der Lichtdurchlässigkeit der Blätter (Zunahme ihres relativen Schattencharakters) bei Esche und Buche. Sie verursacht eine bedeutende relative Zunahme (+ 18 %) bei der Hagebuche im Juni, gefolgt durch eine relative Verminderung (— 15 %) im August. Die rote Beleuchtung übt einen geringen Einfluss auf die photostabile Eiche aus (— 10 %, + 9 %).

September

Am Ende der Kontrolleperiode sind die relativen Unterschiede zwischen den Beleuchtungsweisen bei jeder Baumart, mit Ausnahme vielleicht der Buche, verhältnismässig gering.

Für die blaue Beleuchtung ist nur bei Esche und Hagebuche ein wesentlicher Unterschied (— 26 %, bzw. — 22 %) gegenüber

der weissen Beleuchtung feststellbar: Unter dem Einfluss der blauen Beleuchtung entwickeln Esche und Hagebuche sich zu relativen Lichtarten.

Bei der Buche ist eine relativ grössere Lichtdurchlässigkeit zu betrachten an Blättern unter grüner (+ 26 %) und vor allem unter roter (+ 52 %) Kunstbeleuchtung aufgewachsen.

Die Buche reagiert am Ende der Kontrolleperiode in zunehmenden Ausmass als relative Schattenbaumart.

Für die photostabile Eiche zuletzt sind die relativen Unterschiede der Beleuchtungsart nach sehr gering.

Auch aus dieser Art der Analyse, geht hervor, vor allen bei Berücksichtigung des Zeitverlaufs dass die untersuchten Baumarten auf Qualität oder Herkunft der Lichtstrahlungen reagieren. Diese Reaktionen sind verschieden dem Sinne aber auch der Intensität nach, wie durch die maximalen Abweichungen angegeben wird.

Baumart	+ Abw.	Objekt	- Abw.	Objekt	Breite Abw.
Esche	+ 42 %	Rot/Mai	- 26 %	Blau/Sept.	68 %
Buche	+ 52 %	Rot/Sept.	- 13 %	Blau/Aug.	65 %
Hagebuche	+ 18 %	Rot/Jn.	- 32 %	Blau/Jn.	50 %
Eiche	+ 9 %	Rot/Aug.	- 17 %	Blau/Jn.	26 %

Die Eiche zeichnet sich auch hier als eine photostabile Baumart aus.

Schliesslich kann auch noch betont werden dass, im Vergleich zur weissen Kunstbeleuchtung

- a) die grüne Beleuchtung keine wesentliche Änderungen hervorruft.
- b) die blaue Beleuchtung zu einer Abnahme der Lichtdurchlässigkeit der Blätter führt und so bewirkt, dass alle untersuchten Baumarten in zunehmendem Ausmass als relative Lichtbaumarten reagieren (Diese Reaktion tritt vor allem bei Hagebuche und Esche deutlich zum Vorschein).
- c) die rote Beleuchtung oder Lichtstrahlung meistens zu einer Zunahme der Lichtdurchlässigkeit der Blätter führt und so bewirkt, dass die Baumarten in zunehmendem Ausmass als relative Schattenbaumarten zu reagieren anfangen (Reaktion besonders deutlich bei Esche und Hagebuche).

5. Zusammenfassende Schlussfolgerungen

Ausgehend, dass die von einer künstlichen Quelle produzierte Lichtstrahlung sehr ungleich durch die Blätter von verschiedenen Baumarten absorbiert bzw. durchgelassen wird und dass die Beleuchtungsstärke dieses durchfallenden Transgressionlichtes deswegen sehr gut zur Charakterisierung des Lichttemperaments des Baumblattes (Licht- oder Schattenblatt) bzw. der Baumart (Licht- oder Schattenbaumart) verwendet werden kann, wurde versucht eventuelle Unterschiede zwischen Baumarten unter verschiedenen Lichtbedingungen aufgewachsen, festzustellen an Hand von Messungen an verschiedenen Zeitpunkten während der Wachstumsperiode.

Zwecks einer genügenden Übersichtlichkeit, wurden 64 Versuchsreihen gebildet :

- vier Baumarten : Esche, Hagebuche, Buche und Eiche.
- vier Beleuchtungsarten im Wuchsraum, dem subjektiven Farbeindruck nach bezeichnet als „weiss“, „blau“, „grün“ und „rot“.
- vier Messzeitpunkten : Messung jeweils durchgeführt am 15. der Monate Mai, Juni, August und September.

Zur Beurteilung der Lichtdurchlässigkeit der Baumblätter wurde ausgegangen von der Reaktion gegenüber der gesamten weissen Lichtstrahlung durch die künstliche Lichtquelle abgegeben, obwohl in einem Spezialabschnitt (Abschn. 3) die Reaktionen gegenüber den Lichtstrahlungen aus eingegengten Teilgebieten des Spektrums studiert wurden.

Aus einer ersten fundamentalen Varianzanalyse aller Messresultate geht folgendes hervor :

- Eine statistisch gesicherte Wechselbeziehung besteht zwischen „Baumart“ und „Beleuchtungsart“, sowie zwischen „Baumart“ und „Messzeitpunkt“.
- Bei Gruppierung der Messresultate nacheinanderfolgend nur nach Baumart, nur nach Beleuchtungsart und nur nach Messzeitpunkt sich zwischen den Durchschnittswertzahlen statistisch gesicherte Unterschiede feststellbar, die, ganz allgemein, folgender Art sind :

1^o Nach abnehmenden allgemeinen Werten für die Durchschnittsbeleuchtungsstärke der durchgelassenen Lichtstrahlung sind die Baumarten anzuordnen in der Reihenfolge Esche — Hagebuche — Buche — Eiche.

Die Unterschiede „Eiche — Hagebuche“, „Eiche — Esche“, „Buche — Esche“ und „Buche — Hagebuche“ sind stark gesichert.

Die Unterschiede „Eiche — Buche“ und „Hagebuche — Esche“ sind statistisch nicht gesichert.

- 2^o Nach abnehmenden allgemeinen Durchschnittswerten für die Beleuchtungsstärke der durchgelassenen Lichtstrahlung, sind die Beleuchtungsarten im Wuchsraum anzuordnen in der Reihenfolge : Rot — Grün — Weiss — Blau.

Mit Ausnahme von dem Unterschied zwischen der weissen und der grünen Kunstbeleuchtung, sind alle andren Unterschiede statistisch sehr stark gesichert.

- 3^o Die Beleuchtungsstärke der durchgelassenen Lichtstrahlung nimmt ab von Mai bis September. Die Unterschiede zwischen allen allgemeinen Monatsdurchschnittswerten sind sehr stark gesichert.

Die Beurteilung der Transgression der Lichtstrahlung von eingengten Spektrumgebieten ausgehend, erlaubt Unterschiede zwischen den untersuchten Baumarten festzustellen.

Zwischen Esche und Hagebuche, sowie zwischen Buche und Eiche liegen keine Unterschiede in der Beleuchtungsstärke des durchfallenden Lichtes vor, insoweit es sich handelt um eine weisse, rote ($\lambda_{\max} = 705 \text{ nm}$), gelbe ($\lambda_{\max} = 580 \text{ nm}$) oder grüne ($\lambda_{\max} = 545 \text{ nm}$) Lichtstrahlung. Esche und Hagebuche, welche die grösste Lichtdurchlässigkeit aufweisen, reagieren als relative Schattenbaumarten; Eiche und Buche dagegen, welche die geringste Lichtdurchlässigkeit aufweisen, reagieren als relative Lichtbaumarten gegenüber den weissen, roten, gelben und grünen Lichtstrahlungen.

Zwischen Esche-Buche, Esche-Eiche, Hagebuche-Eiche und Hagebuche-Buche bestehen wesentliche Unterschiede.

Gegenüber der Lichtstrahlung aus dem blauen Gebiet des Spektrums herkünftig aber, reagieren die Baumarten wesentlich verschieden :

- a) Der Beleuchtungsstärke der durchgelassenen Lichtstrahlung nach, bestehen wesentliche Unterschiede zwischen den Baumarten.
- b) Bei Anordnung der Baumarten nach abnehmenden Werten für die Beleuchtungsstärke des durchfallenden blauen Lichtes, entsteht die Reihenfolge „Buche — Hagebuche — Esche — Eiche“ die weitgehend übereinstimmt mit der Klassifikation dieser Baumarten nach zunehmendem Lichtbedarf, wie diese durch die Waldbaupraxis üblicherweise gemacht wird.

Bei einer erweiterten Detailanalyse der Messresultate, wobei nur mit der Transgression durch die Baumblätter der gesamten weissen Lichtstrahlung von der künstlichen Lichtquelle ausgehend

gerechnet wird, lassen sich die Beziehungen zwischen den Baumarten auch genauer bestimmen.

Wichtig ist an erster Stelle, dass für jede Baumart und, innerhalb der Baumart, für jede Kunstbeleuchtung im Wuchsraum, eine Abnahme der Beleuchtungsstärke des durchfallenden Lichtes mit fortschreitender Wuchszeit zu beobachten ist.

Infolge jedoch des ungleichen quantitativen Verlaufs dieses Phänomens, ändern sich die relativen Positionen zwischen den Baumarten ständig. Im Vergleich zur Esche, sind Hagebuche und Buche beim Anfang der Vegetationsperiode als relative Schattenbaumarten zu betrachten aber am Ende dieser Periode tun sie sich als relative Lichtbaumarten vor. Auch sind die Unterschiede zwischen Esche und Eiche im Mai gering, aber am Ende der Wuchszeit ist die Eiche, der Esche gegenüber, als eine relative Lichtbaumart zu betrachten, die sich nicht mehr sehr deutlich von der Buche, wie von der Hagebuche unterscheidet.

Betrifft die Einwirkung der Art der Kunstbeleuchtung im Wuchsraum lassen sich folgende Tatsachen deutlich feststellen :

1. Unter jeder der vier benützten Beleuchtungen nimmt die Beleuchtungsstärke der durchfallenden Lichtstrahlung ab vom Anfang bis zum Ende der Wuchsperiode.
2. Die Verminderung ist am stärksten bei den Pflanzen in blauer Kunstbeleuchtung aufgewachsen.
3. Die Verminderungen im Laufe der Wuchszeit sind auch am stärksten bei der üblicherweise als Schattenbaumart angesprochenen Buche und Hagebuche, geringer bei der Eiche und minimal bei der Esche.
4. Im allgemeinen treten die geringsten Änderungen in der Lichtdurchlässigkeit der Blätter auf bei der Esche. Dies gilt sowohl für die wechselnden Lichtbedingungen, wie für die durch den Zeitverlauf bedingte Evolution.

Grundsätzlich tritt aus der vorliegenden Arbeit die Bedeutung der blauen Lichtstrahlung zum Vorschein, und zwar unter einem zweifachen Aspekt. Die Lichteigenschaften der Blätter werden in der Tat am stärksten geändert durch die blaue Lichtstrahlung im Wuchsraum. Andererseits liegen die deutlichsten Unterschiede zwischen den Baumarten vor wenn das Verhalten ihrer Blätter der blauen Lichtstrahlung gegenüber als Massstab angenommen wird.

Von einiger Bedeutung könnte auch die Feststellung sein, dass das Lichttemperament der Baumart nicht als eine absolute, sondern als eine relative Eigenschaft zu bezeichnen ist : die gegenseitige Position der Baumarten ändert sich ständig.

Die grössten Änderungen tun sich vor bei Buche and Hagebuche, die deswegen als „photolabile Baumarten“ bezeichnet werden. Die geringsten Änderungen sind zu beobachten bei der Eiche und vor allem bei der Esche, die deswegen als „photostabile Baumarten“ benannt werden.

Jedenfalls stimmen diese Feststellungen und Auffassungen im grossen ganzen überein mit der Ausprache von Grulois, der anlässlich seiner Strahlungsstudien in einem Laubmischwald und der Lichteigenschaften der Baumblätter schreibt „En général, le hêtre paraît jouir de dispositifs et de mécanismes d'adaptations phénotypiques plus nuancés et plus amples que ceux du chêne. Il en découle des différences mieux contrastées chez le hêtre entre les types de feuilles que chez le chêne“.

Das Lichttemperament der Baumart, während längerer Zeit irrtumsweise als Lichtbedürfnis der Baumart bezeichnet, ist nicht länger an Hand des qualitativen und/oder quantitativen Wuchsergebnisses empirisch zu beurteilen. Es ist gewissermassen nur ein Symbol für die sehr komplexen und vielfach spezifischen Reaktionen der Baumart auf verschiedene Faktoren der Microumwelt, die direkt oder indirekt mit der Lichtstrahlung oder mit der Globalstrahlung in einem gewissen Zusammenhang stehen.

Das Reaktionsvermögen der Baumart wäre also auf ihre generisch bedingte und durch den Standort beeinflusste Anpassungsfähigkeit zurückzuführen, wobei sich die „Schattenbaumart“ hauptsächlich durch eine vermehrte phänotypische Anpassungsfähigkeit von der „Lichtbaumart“ unterscheiden würde.

Die Erforschung des Lichttemperaments und der Lichtreaktion der Baumart ist deswegen hauptsächlich in diese Richtung zu orientieren. Es muss dadurch eine Beziehung gefunden werden zwischen wechselnden Umweltsbedingungen einerseits und den morphologischen, physiologischen und biochemischen Blattmerkmalen und Blatteigenschaften andererseits.

LITERATUR

1. GALOUX A. — Rythmes énergétiques et phénophases en chênaie calcaire. *Bulletin de la Société Royale de Botanique de Belgique*, Tome 99, 1966 p. 189.
2. GRULOIS J. — Extinction des rayonnement global, tropismes et paramètres foliaires. *Bulletin de la Société Royale de Botanique de Belgique*, Tome 100, 1967.
3. KNUCHEL H. — Spectrophotometrische Untersuchungen im Walde. *Mitteilungen der Schweizerischen Centralanstalt für das Forstliche Versuchswesen*. Zürich Band XI Heft 1, 1914.

4. SEYBOLD A. — Über die optischen Eigenschaften der Laubblätter I, II, III. *Planta-Archiv für wissenschaftliche Botanik Band*, 16-18-20, Jrg. 1932-1933.
5. VAN MIEGROET M. & GOOSSENS R. — Ein Apparat eigener Konstruktion zur Bestimmung der Qualität des durchfallenden und des reflektierten Lichtes an Blättern. *Kongress bd. I.U.F.R.O.*, Wien 1961.
6. VAN MIEGROET M. & GOOSSENS R. — De meting van de kwalitatieve transgressie en reflectie van licht aan bladeren van boomsoorten. *Mededeling Landbouwhogeschool Gent*, 1962 Nr. 1.
7. VAN MIEGROET M., GOOSSENS R., THAS J. & VAN GAAL H. — De verandering van de karakteristieken van TL-Lampen ingevolge langdurig gebruik. *Mededeling Landbouwhogeschool Gent*, 1964 Nr. 2.
8. VAN MIEGROET M. — Die Lichttransgression und die Lichtreflexion bei Blättern einiger Laubbaumarten. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, Juli 1965 Nr. 7.

SAMENVATTING

De lichttransgressie doorheen bladeren van loofboomsoorten opgegroeid onder kunstlicht

Het lichtkarakter van het boomblad en het lichttemperament van de boomsoort (licht- of schaduwboomsoort) kan gekarakteriseerd worden door de bepaling van het transgressielicht. De verschillen tussen vier boomsoorten (es, haagbeuk, beuk en eik) werden nagegaan bij planten, opgegroeid in verschillend kunstmatig lichtmilieu (witte, blauwe, groene en rode kunstbelichting). De metingen werden op vier verschillende tijdstippen (mei, juni, augustus, september) uitgevoerd.

De lichttransgressie werd gemeten voor verschillende deelgebieden van het zichtbare spectrum.

Enkel de doorlaatbaarheid van de bladeren voor licht, afkomstig uit het blauwe gebied van het spectrum, laat toe een klassifikatie naar lichtbehoefte van de boomsoorten op te stellen, die overeenstemt met degene die vrij algemeen door de bosbouwpraktijk wordt aanvaard (beuk-haagbeuk-es-eik).

Een gedetailleerde analyse van de meetresultaten, waarbij alleen gebruik gemaakt wordt van de belichtingssterkte van het doervallend wit licht, toont niet enkel aan hoezeer de boomsoorten onderling verschillen, maar ook hoe veranderlijk het lichttemperament van elke boomsoort kan zijn.

Daarenboven kan aangetoond worden, dat de blauwe belichting de onderlinge verschillen aanzienlijk doet toenemen.

Alles samen genomen, moet hieruit het besluit worden getrokken, dat het lichttemperament van de boomsoort een zeer veranderlijk en alleszins een zeer relatief kenmerk is.

Anderzijds is het niet zonder belang vast te stellen, dat de variabiliteit onder de invloed van wisselende lichtomstandigheden en van de tijd het grootst is bij beuk en haagbeuk. Deze boomsoorten worden derhalve als fotolabiel aanzien, dit in vergelijking met eik en met es, die minder grote variaties vertonen en die derhalve als fotostabiele boomsoorten worden aangezien.

Ook werd opnieuw bevestigd, dat de relatieve positie van de boomsoorten in de loop van de vegetatieperiode verandert: Elke boomsoort gedraagt zich op het einde van deze periode in toenemende mate als lichtboomsoort; relatief gezien, is de es daarentegen bij het begin van deze periode te beschouwen als een lichtboomsoort ten opzichte van eik, beuk en haagbeuk en op het einde van de periode als een relatieve schaduwboomsoort.