Poster zu Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie (Freising-Weihenstephan 1990)
Band 20 1991

Ökosystemforschung im Bereich der Bornhöveder Seenkette: Licht- und Temperaturklima, Blattflächenverteilung im Kronenraum und Transpiration der Hasel in einer schleswig-holsteinischen Wallhecke

Ulrike Lilienfein, Martina Linnenbrink, Karen Weisheit, Rainer Lösch und Ludger Kappen

Synopsis

Quantum yield distribution throughout the growing season, seasonal changes of the amount and area of leaves, leaf scleromorphy and transpiration were investigated in a northern german *Corylus* hedgerow. The canopy is divided into three shell-formed compartments, that are asymetrically arranged in north-south direction. The outer shell, called sun-crown 1, is exposed to highest irradiance, leaves in this compartment reveal highest degree of scleromorphy and at peak season the leaf area is 22 % of that of an average *Corylus* shrub. The innermost shell with typical shade leaves, the shade-crown, comprises 53 % of the total leaf area. Whereas the second shell, sun-crown 2, has an intermediate character. During morning hours transpiration becomes enlarged with high leaf conductances due to increasing leaf-to-air vapour saturation deficits. It decreases already before noon although evaporation forces were increasing. This reduction of water loss as a stomatal regulation occurs in sun-crown 2 and shade-crown much earlier than in sun-crown 1. As a consequence, the transpiratory loss per leaf surface area in sun-crown 1 exceeds (up to 3 times) that of leaves in the other two compartments. However, overall water loss is similar in all three compartments. The reason for this discrepancy is that the compartments differ by total leaf area. This compensatory effect in the different parts of the canopy which regulates water loss and CO_2 exchange allows a well balanced demand to the water supplying system in stem and roots, even if habitat conditions vary strongly.

hedgerow, microclimate, transpiration, canopy structure, plant-internal correlations, Corylus

1. Einleitung

Wallhecken (Knicks) sind ein charakteristisches Element der schleswig-holsteinischen Agrarlandschaft (MARQUARDT 1950, EIGNER 1978). Als linienhafte Strukturelemente gliedern sie die landwirtschaftlichen Nutzflächen, wirken als naturnahe Refugialräume für viele Floren- und Faunenelemente (TISCHLER 1948, ROTTER & KNEITZ 1977) und üben eine die Extreme mildernde Wirkung auf das Mikro- und Mesoklima aus (z. B. FUSS 1966). Letzteres geschieht nicht nur in ihrer offensichtlichen Funktion als Windschutz, sondern auch durch die Beeinflussung des Temperatur- und Feuchteklimas des Gebietes (RÖSER 1988). Diese Effekte auf das Bestandes- und Regionalklima ergeben sich zum einen aus der Strömungsdynamik der Luft an dieser die weitgehend homogenen Oberflächen der angrenzenden Felder und Wiesen deutlich überragenden Vegetationsstruktur (GRACE 1977), zum anderen aus den Wechselwirkungen, die zwischen dem Heckenbestand selbst und den ihn umgebenden Luftschichten erfolgen. Während die Einwirkungen der Hecken auf das Bestandesklima der angrenzenden Kulturflächen schon frühzeitig Beachtung fanden und in verschiedener Hinsicht untersucht sind (z. B. STAPLE & LEMANE 1955, KAISER 1960), liegen über die Austauschprozesse im Boden-Pflanze-Atmosphäre-Kontinuum der Strauchbestände selbst recht wenige Informationen vor. An einem nordbayerischen *Rhamno-Cornetum* (REIF 1983) untersuchte KÜPPERS (1984 a, 1985) die Produktionsbiologie und die daraus resultierenden Konkurrenzverhältnisse. Die Wasserumsätze dieser Sträucher waren sehr stark durch die artspezifische Physiologie geprägt (KÜPPERS 1984 b). GRIES & al. (1987) betonen die expositionsabhängigen Unterschiede im Mikroklima der Heckenflanken. Durch die je un-

terschiedliche Wärme- und Evaporationsbelastung kommt es dort zu deutlichen Unterschieden in den Transpirationsraten der Blätter, die sich im Extrem aufsummieren können bis zu Differenzen der Tagessummen von knapp 50 %, legt man die blattflächenbezogenen Wasser-Umsatzwerte dem Vergleich zugrunde. Allerdings finden bereits GRIES & al. (1987) expositionsabhängig unterschiedliche Blattstrukturen, insbesondere unterschiedliche Hartlaubigkeit, durch die die Raten der Wasserabgabe wesentlich mitbestimmt sein können. Ferner kann die Blattmengenverteilung zwischen Süd- und Nordseite eines Knicks oft sehr unterschiedlich sein. Für die Hasel gibt WEBER (1975) hier ein durchschnittliches Verhältnis der Blattmassen von 1:1,5 an.
Unterschiedlich strukturierte Blätter im Gesamtraum des Heckenbestandes und die Blattflächenverteilung in den verschiedenen Expositionen der Sträucher müssen bei der Bilanzierung der Gesamt-Umsatzraten des Wasser- und Energieaustausches von Heckenbeständen angemessen berücksichtigt werden. Vorliegende Studie analysiert daher die mikroklimatischen, insbesondere strahlungsökologischen Gradienten im Querprofil durch Haselsträucher, die wesentlichen Komponenten dieser Wallhecke, weiter die Differenzierung der Hartlaubigkeit und des Blattflächenindex in den verschiedenen, hier genauer definierten Bereichen des Kronenraumes. Diese bestandesklimatischen und bestandesstrukturellen Daten werden schließlich in Beziehung gesetzt zur Transpiration der Blätter an den Außenseiten und im Inneren des Strauches.

2. Material und Methoden

Die untersuchte Wallhecke ist in Ost-West-Richtung angelegt und hatte sich innerhalb von 5 Jahren aus dem Stock regeneriert. An *Corylus avellana*-Sträuchern wurden 1989 an 12 Terminen zwischen April und November phänologische Beobachtungen angestellt und die Blattzahl und Blattfläche ausgezählt bzw. nach Flächenmessungen an repräsentativen Stichproben hochgerechnet. Auf allometrischem Wege wurden basierend auf diesen Meßdaten von durchschnittlich großen Haselsträuchern, die nach einer Individuenkartierung der gesamten Wallhecke festgelegt wurden, die Blattfläche- und Biomassedaten des Gesamtbestandes ermittelt (WEISHEIT 1990).
In ähnlicher Weise wurde die Hartlaubigkeit der Blätter als das Verhältnis von Trockengewicht zu Oberfläche (g/dm^2) aus repräsentativen Stichproben von verschiedenen Bereichen des Kronenraums bestimmt. Horizontal in Nord-Süd-Richtung und vertikal von der Strauchmitte bis 80 cm oberhalb des Bestandes wurden Mikroklima-Profile gelegt durch ausgewählte Sträucher, deren Zweige zum Nord- und Süd-Mantel der Hecke gehörten. Als Meß-Fühler zur Erfassung der photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR, μmol Photonen$\cdot m^{-2} \cdot sec^{-1}$) wurden 10 LI190B- (LiCor Inc., USA) und 20 G1118 GaAs-Sensoren (Hamamatsu, Japan) verwendet. Blatt- und Lufttemperaturen wurden jeweils unterhalb bzw. neben den Strahlungssensoren mit Cu/CuNi-Thermoelementen gemessen (LILIENFEIN 1990). Die Datenerfassung erfolgte durch einen Data-Logger (Delta-T, GB) in Form von 5-Minuten-Mittelwerten.
Der transpiratorische Wasserumsatz und das lokale Mikroklima repräsentativer Blätter von Süd- und Nordseite der Sträucher und aus der Bestandesmitte wurde in Tagesgängen mit 20- bis 30-Minuten-Intervallen mit einem Li-1600 steady state Porometer (LiCor Inc., USA) gemessen (LINNENBRINK 1990).

3. Ergebnisse

Blattneubildung und -wachstum nehmen bis zur Mitte der Vegetationsperiode zu. Der Blattaustrieb und die Blattentfaltung sind dabei gegeneinander phasenverschoben. Dadurch kommt es (Abb. 1) zu einem späteren Anstieg der Blattflächenwerte im Vergleich zu der Kurve, die die Zunahme der Blattzahl darstellt. Ende Juni ist die Zahl der Blätter am höchsten, die gesamte Blattfläche erreicht ihr Maximum erst einen Monat später. Zu diesem Zeitpunkt setzt im Strauchinneren bereits der Laubfall ein. Zunächst werden vor allem relativ kleine Blätter abgeworfen, in einem Zeitraum, in dem die Blätter an der Strauch-Peripherie ihre Spreiten noch vergrößern. So wird der Blattflächenverlust im Inneren des Busches durch das Flächenwachstum der Blätter an den Zweigenden noch voll kompensiert.

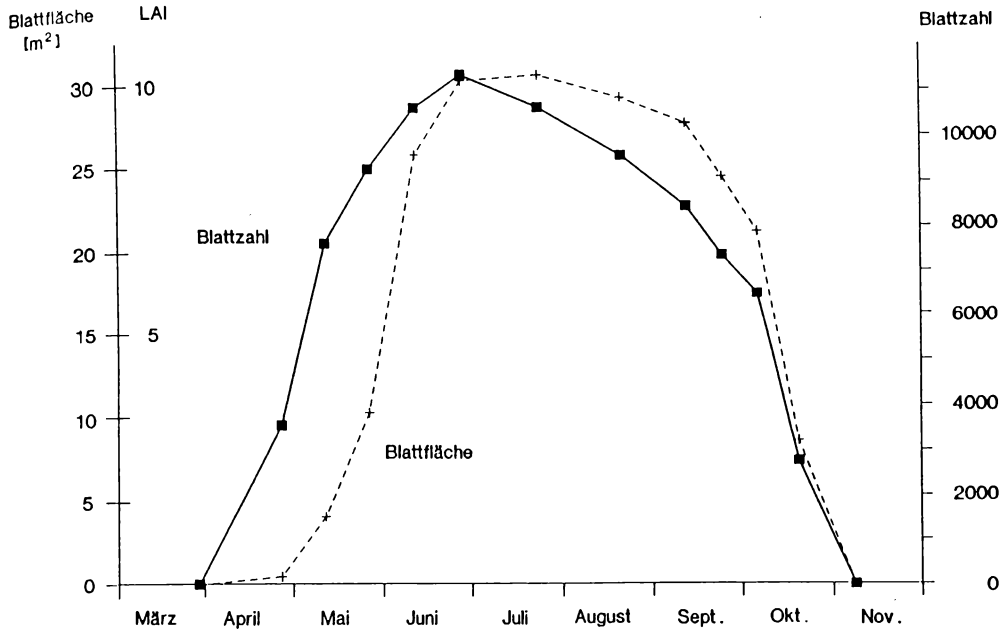

Abb. 1: Blattentwicklung eines durchschnittlichen *Corylus avellana*-Strauches (Kronenfläche 3,0 m^2)

Zur Zeit der maximalen Belaubung beträgt der Blattflächenindex 10,2 m^2/m^2. Dieser hohe Wert ist nur möglich, weil im linear angelegten Knick auch die seitlich am Heckenmantel einfallende Strahlung für die Blattbildung und dann für die Stoffproduktion genutzt werden kann.
Das Lichtklima im Haselstrauch wurde in horizontaler und vertikaler Profilrichtung in einer dichten Meßpunkt-Abfolge bestimmt. In Abb. 2 ist die Häufigkeit dargestellt, mit der die Lichtklassen an den einzelnen Meßpunkten auftreten. An dem als Beispiel ausgewählten sommerlichen Strahlungstag kommt stets eine deutlich asymmetrische Lichtverteilung zustande: Die Südseite und die nach oben weisenden Kronenbereiche erhalten die höchsten Quantenstromdichten, der Bereich zwischen Nordseite und Zentrum die niedrigsten. Faßt man Zonen ähnlicher Lichtverteilung zusammen, läßt sich das Laubwerk eines Haselstrauches in drei schalenförmige Kompartimente einteilen: Sonnenkrone 1 (SK 1), Sonnenkrone 2 (SK 2) und Schattenkrone (SchK).

Entsprechend dieser Lichtverteilung im Kronenraum ergibt sich auch eine Differenzierung der Hartlaubigkeit (Abb. 3). Unabhängig von der Quantifizierung des lokalen Lichtklimas ist folglich auch über die Erfassung des jeweiligen Hartlaubigkeitsindex eine Zuordnung der einzelnen Kronenbereiche zu den drei Kompartimenten möglich.
Nach diesen Kriterien verteilt sich in einem durchschnittlichen Haselstrauch, dessen Kronenfläche in der Projektion 3 m^2 umfaßt, die photosynthetisch aktive Blattfläche folgendermaßen: 22 % der Gesamt-Blattfläche finden sich in der Sonnenkrone 1, 25 % gehören zur Sonnenkrone 2 und 53 % zur Schattenkrone.

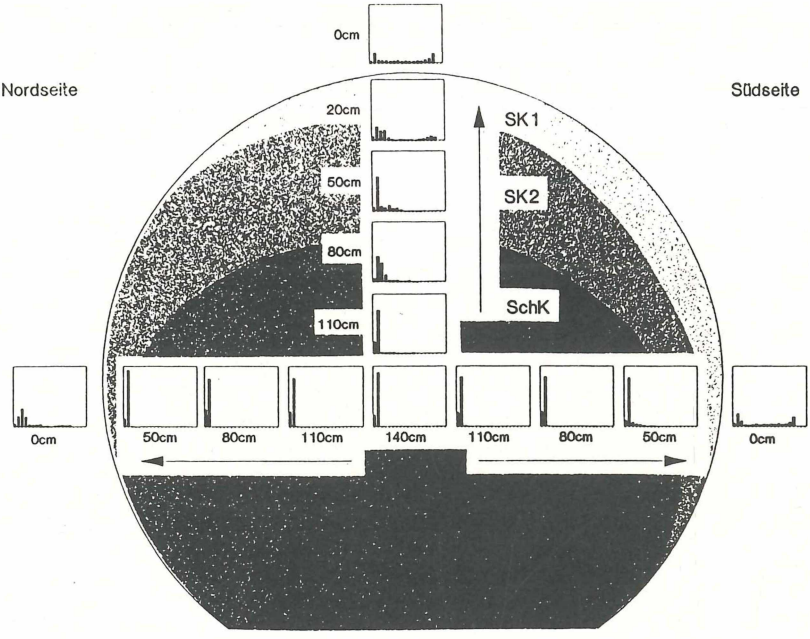

Abb. 2: Häufigkeit der Lichtklassen zu 100 μmol Photonen·m^{-2}·s^{-1} (5-Minuten-Mittelwerte) von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang an einem Strahlungstag im Juli
x-Achse: Lichtklassen zu 100 μmol Photonen·m^{-2}·s^{-1}
y-Achse: Absolute Häufigkeit des Auftretens der jeweiligen Lichtklasse von 0 bis 200 Mittelwerte pro Tag

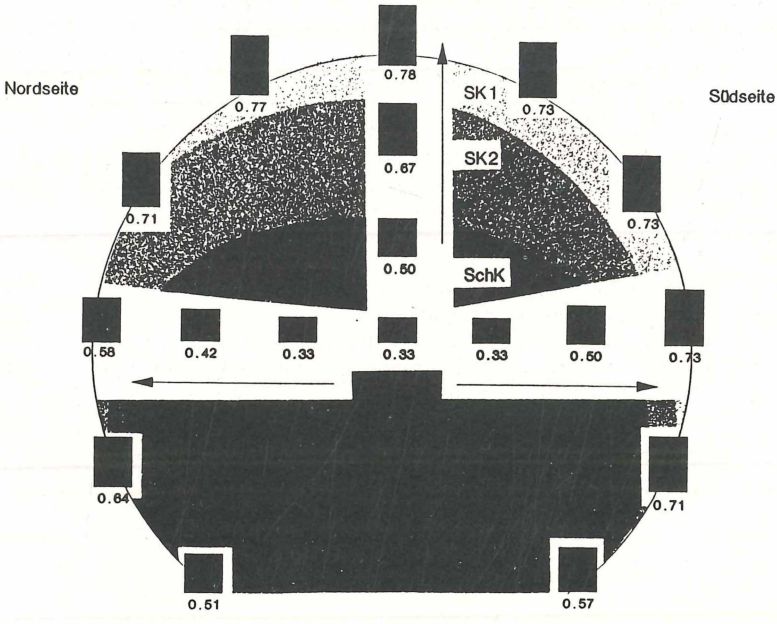

Abb. 3: Hartlaubigkeit der Blätter von *Corylus avellana* (g/dm^2)

Auch das Transpirationsverhalten der Blätter ist in den einzelnen Kronenkompartimenten unterschiedlich. Am Beispiel eines Strahlungstages im Sommer werden einerseits mikroklimatisch-expositionsbedingte, andererseits durch stomatäre Regelung hervorgerufene Transpirationseinschränkungen erkennbar (Abb. 4). Am Morgen ist die Transpiration infolge starker photoaktiver Öffnung der Stomata nicht wesentlich durch den Blattwiderstand begrenzt: Die Werte der Wasserabgabe nehmen einen parallelen Verlauf zu denen des Sättigungsdefizits zwischen Blatt und Luft. Im späteren Tagesverlauf erhöht sich dann in allen Expositionen der Blattwiderstand. Obwohl die Evaporationsbelastung weiter ansteigt, bleibt die Transpiration in SK 2 und SchK auf mehr oder weniger gleichen Werten, nimmt sogar etwas ab. Die Unterschiede im Transpirationsniveau der Blätter in diesen beiden Kronenkompartimenten sind - bei ungefähr gleichen Blattwiderständen - auf die im Strauchinneren und im halbschattigen Mantelbereich jeweils unterschiedlichen Evaporationsbedingungen zurückzuführen. In der SK 1 bleiben die Blattwiderstände zunächst noch niedrig und erreichen den Wertebereich, der in den anderen beiden Kronenkompartimenten vorherrscht, erst gegen Mittag. So kommt es in der SK 1 bei niedrigen Blattwiderständen und hohen Evaporationsbelastungen zu ganz erheblichen Transpirationsraten pro Blattflächeneinheit. Im Extrem können sie das Dreifache der Wasserumsätze von Blättern der SK 2 und der SchK erreichen.

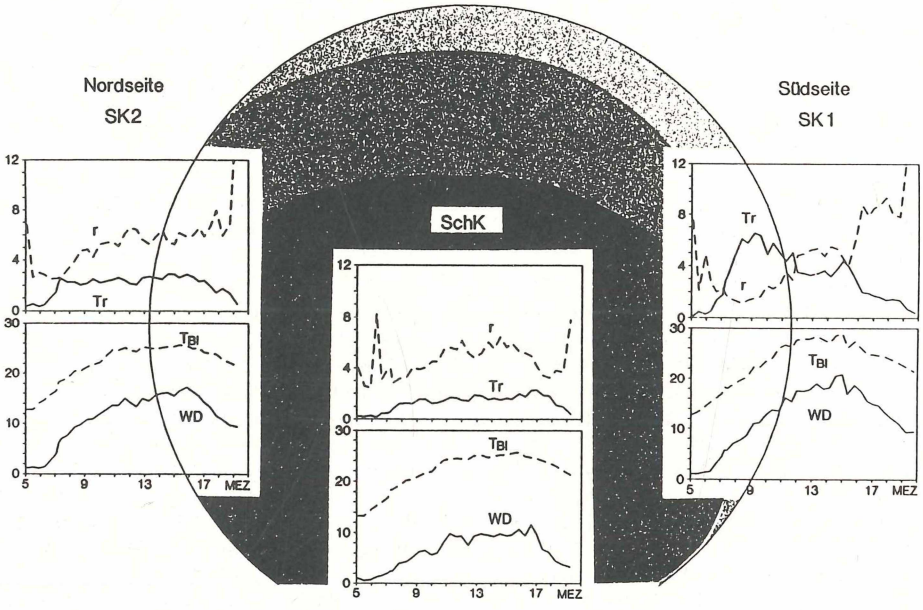

Abb. 4: Tagesverläufe wichtiger pflanzlicher Wasserhaushalts- und Mikroklimaparameter: Transpiration (Tr, $\mu g \cdot cm^{-2} \cdot s^{-1}$), Blattwiderstand (r, $s \cdot cm^{-1}$), Wassersättigungsdefizit zwischen Luft und Blatt (WD, $g \cdot m^{-3}$), Blattemperatur (T_{Bl}, ^{o}C)

Trotz der stärkeren Wasserabgabe und der damit erhöhten Verdunstungskühlung treten in der SK1 an sommerlichen Strahlungstagen zwischen 9 und 16 Uhr Übertemperaturen der Blätter von bis zu 3 K auf. Das Laubwerk in SK 2 und im Strauchinneren erfährt eine wesentlich geringere Wärmeaufladung: Die Blattemperaturen liegen hier generell etwas unter denen der Blätter in der SK 1 und weichen nicht auffällig von der Lufttemperatur ab.

Bei Berücksichtigung der insgesamt für einen durchschnittlichen Haselstrauch errechneten Blattflächen und deren prozentualer Verteilung auf die drei Kronenkompartimente und schließlich der expositionsabhängigen Transpirationsraten der Einzelblätter läßt sich die Gesamtwasserabgabe eines solchen Strauches quantifizieren. Für den in Abb. 4 als Beispiel verwendeten Hochsommertag (17.6.1989) errechnet sich ein Wasserumsatz von 29,5 l, gleich 9,8 l/m^2 Grundfläche oder 1,0 l/m^2 Blattfläche. In Tab. 1 sind für diesen und drei weitere repräsentative Tage aus der Zeit

nach Einsetzen der Laubentwicklung, zu deren Höhepunkt und kurz vor dem intensiven herbstlichen Blattfall, diese Tagessummen der Strauchtranspiration aufgegliedert nach den Anteilen, die die einzelnen Kronenkompartimente beitragen. Die beiden in Struktur und Mikroklima so gegensätzlichen Bereiche der SK 1 und der SchK erreichen trotz sehr unterschiedlicher blattflächenbezogener Transpirationsleistung weitgehend gleichhohe Wasserumsätze. Dies ist besonders deutlich zur Zeit der vollen Laubentwicklung, wenn die Unterschiede in den Gesamtblattflächen zwischen den drei Kompartimenten am deutlichsten sind. Trotz wesentlich höherer transpiratorischer Wasserumsätze pro Flächeneinheit verliert die SK 1 mit 22 % der transpirierenden Blattfläche nicht mehr Wasser als die vergleichsweise wenig transpirierenden Blätter der SchK, die aber mehr als die Hälfte der gesamten Blattoberfläche ausmachen. Diese Zahlen lassen erkennen, daß trotz bedeutender mikroklimatischer Unterschiede im Knickprofil die Beanspruchung der Wasserversorgung im gesamten Sproßraum nicht sehr unterschiedlich ist.

Tab. 1: Verteilung der Transpirationssummen pro Fläche (Tr/Fl) bzw. pro Tag (Tr/d) und der Blattflächen (BFl) auf die verschiedenen Kronenkompartimente

	SK 1			SK 2			SchK		
Datum	Tr/Fl [l m^{-2}d^{-1}]	BFl [m^2]	Tr/d [l d^{-1}]	Tr/Fl [l m^{-2}d^{-1}]	BFl [m^2]	Tr/d [l d^{-1}]	Tr/Fl [l m^{-2}d^{-1}]	BFl [m^2]	Tr/d [l d^{-1}]
11.05.	0,84	0,99	0,83	0,56	1,12	0,63	0,42	2,38	1,00
31.05.	0,97	2,23	2,17	0,39	2,54	0,99	0,29	5,38	1,56
17.06.	1,67	6,47	10,81	1,08	7,36	7,94	0,69	15,59	10,76
07.09.	1,66	6,07	10,08	1,48	6,90	10,21	0,53	14,62	7,75

4. Diskussion

Expositionsbedingtes Mikroklima, Blattflächen- und -strukturentwicklung und stomatäre Regelung stehen im Gesamtsystem der Krone eines Haselbusches im Heckenbestand in dynamischer Wechselwirkung miteinander. Die morphologische Differenzierung des Laubwerks in Schatten- und Sonnenblätter in ontogenetischer Anpassung an das lokale Lichtklima führt zu einer Schalenstruktur der Kronenkompartimente. Die Messungen und Berechnungen der Wassermengen, die von den verschiedenen Blattpopulationen eines typischen Haselstrauches in der Hecke transpiriert werden, zeigen, daß über die bekannten Unterschiede in den Assimilationsleistungen von Sonnen- und Schattenblättern hinaus diese Strukturierung auch große Bedeutung für den Wasserhaushalt der Pflanze hat. Der Aufbau der Gesamtkrone aus Kompartimenten mit Blättern unterschiedlicher Gesamtfläche und unterschiedlicher Hartlaubigkeit bewirkt für die Gesamtheit der in diesem Fall fünfjährigen Stockausschläge einer Pflanze eine ausgeglichene Wasserbilanz, obwohl die einzelnen Sproßsysteme je nach ihrer Position im Heckenprofil ganz unterschiedlichen mikroklimatischen Bedingungen ausgesetzt sein können.
Wie schon GRIES & al. (1987) betonten, ist die jeweilige stomatäre Leitfähigkeit im Tageslauf in hohem Maße von der lokalen mikroklimatischen Situation abhängig. Darüber hinaus zeigt sich, daß je nach Blattstruktur und -position im Kronenraum die stomatäre Regelung der Transpiration mit unterschiedlichen Empfindlichkeiten ablaufen kann. Dies mag kausal mit Unterschieden in der Schließzellenanatomie in verschiedenen Kronenbereichen (z. B. McCONATHY 1983) oder mit altersbedingten Unterschieden in der Schließzellenphysiologie (z. B. TURNER & HEICHEL 1977) als Folge von differenzierten Phytohormonwirkungen (ATKINSON & al. 1989) oder von veränderten Osmotika-Konzentrationen (OZUNA & al. 1985) begründbar sein. Vermutbar ist auch eine Korrelation der stomatären Regelung mit der Wasserversorgungskapazität der jeweiligen Sproßachsen. KÜPPERS (1984 b) stellte bei anderen Heckenarten einen Zusammenhang zwischen der artspezifischen Höhe der stomatären und der hydraulischen Leitfähigkeit fest. Er vermutete als Ort der Steuerung der Wasserumsatzraten die Wasseraufnahmeorte in der Wurzel, von denen aus die Information über den Wasserversorgungszustand zu den Blättern gelangt, offenbar unabhängig vom aktuell vorherrschenden Gesamtwasserpotential (TURNER & al. 1985). Neuere Untersu-

chungen von ZHANG & al. (1987) und HENSON & al. (1989) machen wahrscheinlich, daß diese Signalübertragung durch in der Wurzel bei Turgorabsenkung produzierte Abscisinsäure erfolgt. Weiter muß aber auch mit einer direkten Rückkopplung zwischen der hydraulischen Leitfähigkeit der Sproßachsen und der transpirativen Wasserabgabe gerechnet werden. TYREE & SPERRY (1988) weisen darauf hin, daß das Wasserleitsystem von Holzpflanzen oft im Grenzbereich des Zusammenbruchs infolge einer Kettenreaktion von Xylemembolien arbeitet. Im Normalfall hält die dosierte Einschränkung der Transpiration durch die Stomata den Wasserstrom durch die Pflanze aufrecht, solange die Durchsatzraten der Kapazität der hydraulischen Architektur der Sproßachsen entsprechen. Die Ausbildung unterschiedlich großer transpirierender Blattflächen unter expositionsbedingt unterschiedlicher Evaporationsbelastung kann ein weiteres Mittel darstellen, den Wasserumsatz von Kronenkompartimenten der Versorgungskapazität des Leitsystems anzupassen. Gerade an Heckensträuchern mit starken expositionsbedingten Unterschieden der einzelnen Astsysteme wird so die funktionelle und strukturelle Koordination deutlich, die es der Gesamtpflanze erlaubt, unter möglichst günstiger Ausnutzung der standörtlichen Ressourcen in einem balancierten Stoff- und Energieaustausch mit ihrer Umgebung zu existieren.

Danksagung

Diese Untersuchung wurde durchgeführt im Rahmen des Ökosystemforschungsprojekts "Bornhöveder Seenkette", das vom Bundesministerium für Forschung und Technologie, Bonn, finanziell gefördert wird.

Literatur

ATKINSON, C. J., DAVIES, W. J. & T. A. MANSFIELD, 1989: Changes in stomatal conductance in intact ageing wheat leaves in response to abscisic acid. J. exp. Bot. 40: 1021-1028.

EIGNER, J., 1978: Die Knicklandschaft in Schleswig-Holstein und ihre heutigen Probleme. Ber. dt. Sekt. d. Internat. Rates f. Vogelschutz 18, Greven: 74-81.

FUSS, F., 1966: Über die Beeinflussung des Mikroklimas und des Pflanzenwachstums durch Wallhecken. Natur u. Landschaft 41: 222-225.

GRACE, J., 1977: Plant response to wind. Acad. Press, London, New York: 204 S.

GRIES, C., LÖSCH, R. & L. KAPPEN, 1987: Untersuchungen zum pflanzlichen Wasserhaushalt von *Corylus avellana* in einer holsteinischen Wallhecke. Verh. Ges. Ökol. 16: 227-230.

HENSON, I. E., JENSEN, C. R. & N. C. TURNER, 1989: Leaf gas exchange and water relations of lupins and wheat. III. Abscisic acid and drought-induced stomatal closure. Aust. J. Plant Physiol. 16: 429-442.

KAISER, H., 1960: Untersuchungen über die Auswirkungen von Windschutzstreifen auf das Bodenklima. Z. Acker-Pfl.bau 1: 47-72.

KÜPPERS, M., 1984 a: Carbon relations and competition between woody species in a Central European hedgerow. I. Photosynthetic characteristics. Oecologia 64: 332-343.

KÜPPERS, M., 1984 b: Carbon relations and competition between woody species in a Central European hedgerow. II. Stomatal responses, water use, and conductivity to liquid water in the root/leaf pathway. Oecologia 64: 344-354.

KÜPPERS, M., 1985: Carbon relations and competition between woody species in a Central European hedgerow. IV. Growth form and partitioning. Oecologia 66: 343-352.

LILIENFEIN, U., 1990: Untersuchung photosyntheserelevanter Mikroklimaparameter in einer Wallhecke - Beiträge zur Ökosystemforschung Bornhöveder Seen. Diplomarbeit am Botanischen Institut der Universität Kiel.

LINNENBRINK, M., 1990: Untersuchungen zum Wasserhaushalt von Gehölzpflanzen einer Wallhecke - Beiträge zur Ökosystemforschung Bornhöveder Seen. Diplomarbeit am Botanischen Institut der Universität Kiel.

MARQUARDT, G., 1950: Die schleswig-holsteinische Knicklandschaft. Schr. Geogr. Inst. Kiel 13: 1-90.

McCONATHY, R. K., 1983: Tulip-poplar leaf diffusion resistance calculated from stomatal dimensions and varying environmental parameters. Forest Sci. 29: 139-148.

OZUNA, R., YERA, R., ORTEGA, K. & G. TALLMAN, 1985: Analysis of guard cell viability and action in senescing leaves of *Nicotiana glauca* (Graham), tree tobacco. Plant Physiol. 79: 7-10.

REIF, A., 1983: Nordbayerische Heckengesellschaften. Hoppea 41: 3-204.

RÖSER, B., 1989: Saum- und Kleinbiotope. Ecomed, Landsberg/L.: 258 S.

ROTTER, M. & G. KNEITZ, 1977: Die Fauna der Hecken und Feldgehölze und ihre Beziehung zur umgebenden Agrarlandschaft. Waldhygiene 12: 1-82.

STAPLE, W. & J. O. LEMANE, 1955: The influence of field shelterbelts on wind velocity, evaporation, soil moisture of crop fields. Can. J. Agric. Sci. 35: 440-453.

TISCHLER, W., 1948: Biozönotische Untersuchungen an Wallhecken. Zool. Jb. (Systematik) 77: 284-400.

TURNER, N. C. & G. H. HEICHEL, 1977: Stomatal development and seasonal changes in diffusive resistance of primary and regrowth foliage of red oak (*Quercus rubra* L.) and red maple (*Acer rubrum* L.). New Phytol. 78: 71-81.

TURNER, N. C., SCHULZE, E.D. & T. GOLLAN, 1985: The responses of stomata and leaf gas exchange to vapour pressure deficits and soil water content. II. In the mesophytic herbaceous species *Helianthus annuus*. Oecologia 65: 348-355.

TYREE, M. T. & J. S. SPERRY, 1988: Do woody plants operate near the point of catastrophic xylem dysfunction caused by dynamic water stress? Answers from a model. Plant Physiol. 88: 574-580.

WEBER, H. E., 1975: Das expositionsbedingte Verhalten von Gehölzen und Hinweise für eine standortgerechte Artenwahl. Natur u. Landschaft 50: 187-193.

WEISHEIT, K., 1990: Biomasse-Dynamik in einer Wallhecke - Beitrag zur Ökosystemforschung "Bornhöveder Seenkette". Diplomarbeit am Botanischen Institut der Universität Kiel.

ZHANG, J., SCHURR, U. & W. J. DAVIES, 1987: Control of stomatal behaviour by abscisic acid which apparently originates in the roots. J. exp. Bot. 38: 1174-1181.

Adresse

Prof. Dr. Ludger Kappen
Dipl.-Biol. Ulrike Lilienfein
Dipl.-Biol. Martina Linnenbrink
Priv. Doz. Dr. Rainer Lösch (jetzt: Prof., Botan. Inst. Düsseldorf)
Dipl.-Biol. Karen Weisheit
Lehrstuhl f. Ökophysiologie, Botanisches Institut
Olshausenstr. 40

W - 2300 Kiel

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie

Jahr/Year: 1991

Band/Volume: 20_1_1991

Autor(en)/Author(s): diverse

Artikel/Article: Ökosystemforschung im Bereich der Bornhöveder Seenkette: Licht- und Temperaturklima, Blattflächenverteilung im Kronenraum und Transpiration der Hasel in einer schleswig-holsteinischen Wallhecke 189-196