

Zeitschrift: Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der Eidg. Tech. Hochschule, Stiftung Rübel, in Zürich

Herausgeber: Geobotanisches Institut, Stiftung Rübel (Zürich)

Band: 74 (1981)

Artikel: Zum Wasserhaushalt verschiedener Strassenbaumarten unter dem Einfluss der winterlichen Streusalzanwendung = Water regime of several roadside tree species as influenced by the use of de-icing salt in winter

Autor: Spirig, Amadeus

Kapitel: 5: Diskussion

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-308642>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 02.02.2026

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

Bäumen am salzbelasteten Standort niedrigeren osmotischen Potentiale erinnert. Das negative Druckpotential am unbelasteten Standort von *Platanus* hingegen ist durch das tiefe Wasserpotential verursacht, da die osmotischen Potentiale sich nicht unterscheiden.

Bei *Platanus* wurde eine komplexe Situation vorgefunden. Die klimatische Belastung war am salzbelasteten Standort eher geringer. Dieser Unterschied erschien aber nicht gross genug, um die Differenzen im Wasserhaushalt zu erklären: bei praktisch gleichem osmotischem Potential ein sehr viel positiveres Wasserpotential (und Druckpotential) am salzbelasteten Standort. Dazu müsste die dort verringerte Transpiration beigetragen haben, so dass geringere Belastung in Kombination mit verringerten Verlusten für diese unerwarteten Ergebnisse verantwortlich zu machen wäre.

5. Diskussion

5.1. Sind die Ergebnisse repräsentativ?

Zunächst muss geklärt werden, ob die Ergebnisse im Hinblick auf Art wie Einzelexemplar typisch und charakteristisch sind. In Vergleichsmessungen an verschiedenen Bäumen der gleichen Art wurden nur geringe Variationen gefunden. Sie waren im Gegensatz zu den täglichen und saisonalen Schwankungen der Messgrössen nicht signifikant, wie dies auch andere Autoren bestätigen (z.B. WARING und CLEARY 1967).

Innerhalb einer Baumkrone herrschen unterschiedliche mikroklimatische Bedingungen, welche zum Teil auch durch den Baum selber modifiziert werden können. Dem entsprechen anatomische, morphologische und physiologische Differenzen der Einzelblätter als Anpassung an die unterschiedlichen Umweltbedingungen. So sind Wipfelblätter xeromorpher, einem grösseren relativen Wassermangel ausgesetzt (SCHNOCK und GALOUX 1974) und haben eine grössere Anzahl von Spaltöffnungen pro Flächeneinheit (YOCUM 1935, HUZULAK und ELIAS 1975). Die Stomata schliessen bei einem geringeren Turgor - also später - und bleiben auch weniger lang geschlossen als diejenigen der Blätter an der Kronenbasis (HALBWACHS 1971, BEADLE et al. 1978).

Das Wasserpotential an jeder Stelle einer Pflanze ergibt sich nach RICHTER et al. (1972) aus einem hydrostatischen (bedingt durch die Gravitation) und einem hydrodynamischen (bestimmt durch das Produkt aus Wasserflux und hydraulischem Widerstand) Teilwasserpotential sowie dem Bodenwasserpotential (vgl. auch RITCHIE und HINCKLEY 1975). Ist die Transpiration gleich Null, so bleibt als Differenz zwischen Zweigen verschiedener Insertionshöhen nur noch das hydrostatische Teilwasserpotential erhalten, welches ca. 0.01 MPa (= 0.1 bar) pro Meter beträgt.

In einem Teil der Arbeiten zu diesem Fragenkomplex wurden in Abhängigkeit von den Klimabedingungen grössere als die oben genannten Gradienten bestimmt (RICHTER et al. 1972, HALBWACHS 1971, WARING und CLEARY 1967). Andere Autoren fanden trotz stattfindender Transpiration Werte, welche nur knapp dem hydrostatischen Gradienten entsprachen, wenn nicht sogar ein umgekehrter Gradient gemessen wurde (TOBIESSEN 1971, SUCOFF 1972, HINCKLEY und RITCHIE 1970, SCHOLLANDER et al. 1965). Zur Erklärung wird für diese Fälle ein geringerer hydraulischer Widerstand und eine effizientere Transpirationsregelung postuliert (HALBWACHS 1971, HELLKVIST et al. 1974, HINCKLEY und RITCHIE 1970, RICHTER et al. 1972).

KLEPPER (1968) fand eine zeitliche Verschiebung ansonsten vergleichbarer Wasserpotentiale im Tagesgang von ost- zu westexponierten Blättern. HINCKLEY und RITCHIE (1970) geben an, dass das Wasserpotential der nördlichen Kronenpartie kaum mit dem entsprechenden Mikroklima, sondern vielmehr mit den Wasserpotentialen der Blätter der südlichen Kronenpartie korreliert war.

Welche Auswirkungen könnten diese nun doch beträchtlichen Schwankungen innerhalb des Kronenbereiches eines Baumes auf die Ergebnisse dieser Arbeit haben? Alle Proben wurden von der südlichen Kronenbasis genommen. An der nördlichen Kronenbasis muss mit einer vergleichbaren oder besseren Wasserbilanz gerechnet werden, da die klimatische Belastung des Wasserhaushaltes aufgrund der geringeren Einstrahlung vermindert ist. Zwar wurden interne Umverteilungsprozesse nachgewiesen (HINCKLEY und RITCHIE 1970), doch an der Nordseite keine negativen Wasserpotentiale als an der Südseite gemessen.

In der Wipfelregion ist die stärkste Belastung des Wasserhaushaltes zu erwarten, doch werden diese Blätter unter Stressbedingungen bevorzugt mit Wasser versorgt (vgl. oben). Nach LARCHER (1976) erfolgt die Einschränkung der Transpiration unter Wasserstress zuerst an der nördlichen, dann an der südlichen

Kronenbasis, zuletzt in der Wipfelregion. Die Proben von der südlichen Kronenbasis müssten also in ihren Werten zwischen denen der Wipfelregion und denen der nördlichen Kronenbasis liegen und damit einen mittleren, typischen Wert für den Baum ergeben.

Die belasteten Standorte liegen in breiten Mittelstreifen mit gutem Luftaustausch (Ausnahme: *Tilia*). Diese Standortbedingungen entsprechen nicht den von MEYER (1978) als typisch für innerstädtische Standorte beschriebenen. Normalerweise sind Strassenbäume nur geringen Windgeschwindigkeiten ausgesetzt und ihr Wurzelraum ist durch einen luft- und wasserundurchlässigen Strassenbelag abgedeckt. Eine wesentlich stärkere Belastung des Wasserhaushaltes an solchen Standorten muss deshalb als wahrscheinlich gelten.

Die breiten Hauptstrassen mit öffentlichem Verkehr sind als Streustufe I eingestuft. Sie werden als erste und am häufigsten bestreut, so dass die Salzbelastung besonders gross ist. Neben dem Mittelstreifen stehen keine parkierten Autos, welche einen Teil der aufgewirbelten Salzlösung abfangen, so dass auch auf diesem Weg zusätzlich eine grosse Menge Salz in den Wurzelbereich der untersuchten Bäume getragen wird.

Die hier untersuchten Strassenbäume des Mittelstreifens sind also typisch für sehr starke Salzbelastung. Die Probennahme an der südlichen Kronenbasis ergibt mittlere Messwerte für den gesamten Kronenbereich und ermöglicht somit Aussagen über den Wasserhaushalt des Baumes.

5.2. Vergleich der Baumarten

Alle Arten, die Chlorid anreicherten (vgl. ZOLG 1979), wiesen eine Reduktion der Transpiration auf. Bei *Aesculus* war sie nur schwer zu erkennen, bei *Platanus* und *Tilia* waren die Ergebnisse jedoch eindeutig. Diese Reduktion der Wasserverluste wirkte sich positiv auf die Wasserbilanz aus. Das Wassersättigungsdefizit, das Wasserpotential und das Druckpotential nahmen günstigere oder gleiche Werte wie am unbelasteten Standort an.

Diese Aussage gilt für *Aesculus* nur bedingt, aber die Verschlechterung ist - unter Berücksichtigung der enormen Mehrbelastung des Wasserhaushaltes durch klimatische Faktoren - als sehr gering anzusehen.

Die Differenzen im osmotischen Potential, welche bei *Aesculus* und *Tilia* gefunden wurden, müssten wegen der bereits erwähnten Argumente (vgl. 4.1, S. 31) als methodische Artefakte angesehen werden, welche nicht die tatsächlichen

Zustände im Cytoplasma widerspiegeln. Die Existenz einer "salt-avoidance" (Entfernen der Ionen aus dem Cytoplasma durch adsorbierende Proteine) oder einer "salt-tolerance" (Tolerieren der Ionen in gebundener, inaktiver Form) ist wahrscheinlich (vgl. RUGE 1974).

Wurden die Wasserverluste auf den Blattwassergehalt bezogen, so zeigte sich, dass der Austausch des Wassers an den unbelasteten Standorten bei allen Arten etwa gleich schnell, d.h. in ca. 70-80 Minuten erfolgte, obwohl die klimatischen Bedingungen sich unterschieden. Die Belastung der Bäume durch Streusalz wirkte sich je nach Art unterschiedlich aus. *Tilia* und *Platanus* erneuerten nur noch die Hälfte ihres Wasservorrates in dieser Zeit. *Aesculus* veränderte den Umsatz nicht (doch muss hier wieder an die durch den Iwanoff-Sprung erschwerten Umstände bei der Bestimmung der Transpiration erinnert werden), *Quercus* beschleunigte ihn. Dies entsprach den verschärften Bedingungen am salzbelasteten Standort, doch die Gesamtwasserbilanz von *Quercus* zeigte kaum Unterschiede zwischen den Standorten, so dass es schien, als ob *Quercus* auch mit der grösseren Belastung fertig würde.

Die Transpiration schwankte an den unbelasteten Standorten zwischen 0.88 und $1.25 \mu\text{g cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ (~ 3 und $4.5 \text{ mg cm}^{-2}\text{h}^{-1}$), die cuticuläre Transpiration erreichte Werte um $0.2 \mu\text{g cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Tab. 9). LARCHER (1976) berechnete nach Daten von PISEK Werte von $4-8 \text{ mg cm}^{-2}\text{h}^{-1}$ für Laubbäume mit geöffneten Stomata und eine cuticuläre Transpiration um $1 \text{ mg cm}^{-2}\text{h}^{-1}$ ($\sim 0.25 \mu\text{g cm}^{-2}\text{s}^{-1}$). Wird berücksichtigt, dass die Messungen während der Stressphase im Sommer bei zumindest teilweise geschlossenen Stomata erfolgten, so muss die Uebereinstimmung der Angaben von LARCHER (1976) mit denen in Tabelle 9 als gut bezeichnet werden. Die hohe cuticuläre Transpiration von *Tilia* am belasteten Standort kann vorerst nicht erklärt werden. Der andere hohe Wert in der Tabelle 9, *Aesculus* am belasteten Standort, ist auf die schon erwähnten Schwierigkeiten bei den Messungen zurückzuführen; von 16 Messungen konnten hierzu nur 2 verwendet werden.

Auch für die Diffusionswiderstände von Laubbäumen werden von anderen Autoren ähnliche Werte wie in Tabelle 9 angegeben, so von KÖRNER (1979) $2-5 \text{ s cm}^{-1}$ für geöffnete Stomata; FEDERER (1976) und CLINE und CAMPBELL (1976) machen Angaben, aus welchen sich ein Diffusionswiderstand von $20-25 \text{ s cm}^{-1}$ bei geschlossenen Stomata berechnen lässt.

Die an den salzbelasteten Standorten von *Tilia* und *Platanus* gefundenen Diffu-

sionswiderstände sind ungewöhnlich hoch ($> 30 \text{ s cm}^{-1}$). Dazu ist zu bemerken, dass der berechnete Diffusionswiderstand nicht nur eine stomatäre, sondern auch eine interzelluläre (Mesophyll-) Komponente enthält, welche im allgemeinen als vernachlässigbar klein betrachtet wird. KAPLAN und GALE (1972), SLATYER (1970) und DE JONG (1978) wiesen aber eine Zunahme des interzellulären Widerstandes durch Salz nach. Doch auch der stomatäre Diffusionswiderstand nimmt bei Salinität zu (KIRKHAM et al. 1972b, 1974, SHALHEVET und BERNSTEIN 1968, ACEVES-NAVARRO et al. 1975).

Ein reduzierter Turgor muss als Ursache ausgeschlossen werden (vgl. auch GALE et al. 1967, BOYER 1965, ACEVES-NAVARRO et al. 1975). Indirekte Hinweise auf einen möglichen Wirkungsmechanismus lieferten MIZRAHI et al. (1971), welche eine Zunahme der Abscisinsäurekonzentration als Reaktion auf Natriumchlorid nachwiesen. Dieses pflanzliche Hormon kann einen Stomataschluss bewirken (COOPER et al. 1972, KRIEDEMANN et al. 1972).

Am salzunbelasteten Standort von *Platanus*, wo im Sommer ein extremer Wasserstress gemessen wurde, betrug der Diffusionswiderstand nur 2/3 desjenigen von *Platanus* am salzbelasteten Standort, wo für den Wasserhaushalt günstigere Bedingungen herrschten. Dies ist ein deutlicher Hinweis auf eine Zunahme eines nicht stomatären Diffusionswiderstandes bei *Platanus*. Für *Tilia* erscheint dies aufgrund ähnlicher Argumentation wahrscheinlich, bei *Aesculus* muss einmal mehr auf die Schwierigkeiten bei der Transpirationsmessung verwiesen werden. Zumindest kann aber auch für diese Art eine Zunahme des interzellulären Widerstandes nicht ausgeschlossen werden (vgl. 2.6).

Aufgrund der hohen Diffusionswiderstände für Wasserdampf muss ausgeschlossen werden, dass Strassenstaubkörner und in Auspuffgasen enthaltene Substanzen die Spaltöffnungen lähmten und sie offen hielten, wie dies OERTLI et al. (1979) nachgewiesen haben.

Die Wassersättigungsdefizite waren bei allen Arten ähnlich; typisch für die unbelasteten Standorte waren Werte zwischen 15 und 18 %. An den salzbelasteten Standorten fanden sich niedrigere Werte (Ausnahme: *Aesculus*). Bei *Tilia* und *Platanus* bieten sich die unter Salzeinfluss reduzierten Wasserverluste als Erklärung an, bei *Quercus* dürften morphologische Anpassungen die Ursache sein (vgl. unten). Es wurde bereits erwähnt, dass die Wasserverluste von *Aesculus* wegen des "Iwanoff-Sprungs" überschätzt wurden. Trotzdem muss die angenommene - durch Salzionen verursachte - Reduktion der Transpiration

geringer sein als die bei *Platanus* und *Tilia* gefundene, da am salzbelasteten Standort ein grösseres Wassersättigungsdefizit und damit eine schlechtere Wasserbilanz festgestellt wurde; diese muss durch erhöhte Wasserverluste bedingt sein.

ROBERTS und KNOERR (1977) untersuchten die Zusammenhänge der Grössen des Wasserhaushaltes bei verschiedenen Baumarten mittels Druck-Volumen-Kurven und geben an, dass erst bei einem Wassersättigungsdefizit von ca. 20 % ein dem osmotischen Potential äquivalentes Wasserpotential erreicht wird, d.h. kein Turgor mehr auftritt. Unveröffentlichte Untersuchungen ergaben 1977, dass für die untersuchten Arten ähnliche Kurven erstellt werden können. Die Wassersättigungsdefizite erreichten also nur bei *Aesculus* am belasteten Standort kritische Werte.

Der Vergleich der Ergebnisse von CLINE und CAMPBELL (1976) mit den osmotischen Potentialen zeigt, dass die von ihnen untersuchte *Alnus* wie *Aesculus* im Bereich hoher osmotischer Potentiale operiert (-1.0 bis -1.5 MPa). *Platanus* mit osmotischen Potentialen um -1.6 MPa wäre auch diesem Bereich zuzuordnen. LANDOLT (1977) weist die nach KLEIN (1926) in schattigen, feuchten Schluchten des Balkan beheimatete *Aesculus* mässig trockenen bis feuchten, *Platanus* feuchten bis sehr feuchten Standorten zu. Beide Arten weisen relativ grosse Stomata (PISEK et al. 1970) und zerstreutporiges Holz (CARPENTER und SMITH 1975) auf. Da am natürlichen Habitat dieser Arten offensichtlich kaum grössere Belastungen des Wasserhaushaltes auftreten dürften, genügen relativ hohe Wasserpotentiale und damit ebensolche osmotische Potentiale, um die Wasserversorgung der beiden Arten zu garantieren.

Werden die Ergebnisse von CLINE und CAMPBELL (1976) für *Physiocarpus* mit den osmotischen Potentialen von *Tilia* und *Quercus* (um -2.1 MPa) verglichen, so zeigt sich auch hier gute Uebereinstimmung. *Quercus* wird von LANDOLT (1977) als Pflanze mässig trockener bis feuchter Standorte angegeben (Einstufung wie *Aesculus*!), wobei er vermerkt, dass sie auch längere Trockenperioden überstehen kann. *Tilia* wird trockenen Böden zugeordnet. Dieser ökologischen Einschätzung entspricht, dass die beiden Arten relativ kleine Stomata besitzen (PISEK et al. 1970). *Quercus* verfügt über ringporiges Holz, welches einen schnelleren Wassertransport ermöglichen soll (HUBER 1935), wenn auch die langen Wassersäulen in den Leitgefässen unter starker Spannung (Trockenzeiten!) reißen können. PISEK et al. (1970) geben für *Aesculus* und *Platanus* 300-350

Stomata/mm² und für *Quercus* und *Tilia* um 450 Stomata/mm² an. Es ist leicht einzusehen, dass die vielen kleinen Stomata ein effektiveres System zur Verhütung übermässiger Wasserverluste und damit der Erhaltung einer ausgewogenen Wasserbilanz darstellen als die wenigen grossen von *Aesculus* und *Platanus*.

WALTER (1930) führte die Hydratur als Mass für den Quellungsgrad des Protoplasmas ein. Sie ist ein wichtiger physiologischer Indikator und entspricht dem osmotischen Potential (KREEB 1974). In Anlehnung an dieses Konzept vermuteten CLINE und CAMPBELL (1976), dass *Alnus* aufgrund des relativ hohen osmotischen Potentials einen aktiveren Metabolismus als *Physiocarpus* mit seinem tieferen osmotischen Potential aufweise.

Würde diese Argumentation übernommen, so wären *Aesculus* und *Platanus* bei ausreichender Wasserversorgung gegenüber *Quercus* und *Tilia* konkurrenzfähiger (vgl. auch WIEBE et al. 1970). Im Falle von Wasserstress wäre es *Aesculus* und *Platanus* nicht möglich, ihr Wasserpotential abzusenken, so dass sie in eine kritische Phase geraten würden. Unter denselben Bedingungen könnten *Tilia* und *Quercus* immer noch Wasser aufnehmen, ihre Stomata wären mindestens teilweise offen und die Kohlendioxidversorgung und damit die Photosynthese weiterhin gesichert.

Die täglichen Variationen der Transpirationsgrössen und des Wasserpotentials sowie ihre Veränderungen im Verlauf der Vegetationsperiode entsprechen bei allen untersuchten Arten dem in der Literatur beschriebenen Muster: Nach Sonnenaufgang nimmt die klimatische Belastung des pflanzlichen Wasserhaushaltes wegen der erhöhten Einstrahlung und des zunehmenden Wasserdampfdrucksättigungsdefizites rasch zu. Die Bäume erhöhen ihren Diffusionswiderstand mit zeitlicher Verzögerung, bis nach Mittag maximale Werte erreicht werden. Gegen Abend nimmt die klimatische Belastung und mit ihr der Diffusionswiderstand ab (HINCKLEY und BRUCKERHOFF 1975). Das Wasserpotential ist mit dem Wasserflux korreliert (RICHTER et al. 1972, PEREIRA und KOZLOWSKI 1978), es erreicht in den Mittagsstunden ein Minimum (KLEPPER 1968, HINCKLEY und BRUCKERHOFF 1975, HELLKVIST et al. 1974, RITCHIE und HINCKLEY 1975, CLINE und CAMPBELL 1976).

Mit zunehmendem edaphischem und klimatischem Wasserstress während der Vegetationsperiode verändert sich das Muster des Tagesganges. Das Bodenwasserpotential nimmt in wachsendem Ausmass Einfluss auf das pflanzliche Wasserpotential (HINCKLEY und RITCHIE 1975, SUCOFF 1972). Der Morgenwert des Wasser-

potentials nimmt immer mehr ab, die tägliche Amplitude verschwindet, ein Plateau-Wert wird erreicht und die Erholung während der Nacht wird geringer (WARING und CLEARY 1967, SUCCOFF 1972, PEREIRA und KOZLOWSKI 1978, RITCHIE und HINCKLEY 1975, HELLKVIST und PARSEBY 1976, 1977).

Tilia und *Aesculus* erreichten im Gegensatz zu *Quercus* auch während der sommerlichen Stressphase kein eindeutiges Plateau. Dies gilt auch für *Platanus* am salzbelasteten Standort, am salzunbelasteten Standort blieb das Wasserpotential im Sommer konstant und tief, was auf grossen Wasserstress schliessen lässt. Weitere Hinweise auf das unterschiedliche Verhalten der Arten lieferte der Sukkulenzgrad. Im Sommer wies *Quercus* Maximalwerte bei konstantem osmotischem Potential am salzbelasteten Standort auf. Da ein hoher Sukkulenzgrad die Wasservorräte schonen soll (LARCHER 1976), könnte dies als Anzeichen einer morphologischen Anpassung an die sommerliche Wasserstressphase gesehen werden, welche im Herbst wieder rückgängig gemacht wird. Bei *Aesculus* stieg der Sukkulenzgrad kontinuierlich, und das osmotische Potential sank, was den Schluss einer salzinduzierten Sukkulenz, durch welche die Ionenkonzentrationen verdünnt werden soll (KREEB 1974), nahelegt. Die Blätter von *Tilia* am salzbelasteten Standort waren xeromorpher, *Tilia* reagierte auf die Salzbelastung entgegengesetzt wie *Aesculus* (vgl. 2.4).

Aufgrund der Ergebnisse dieser Arbeit lassen sich zwei Wasserhaushaltstypen unterscheiden: *Aesculus* und *Platanus* verfügen über einen relativ schlechten Regelkreis zur Regulation ihrer Wasserverluste und ein hohes Wasserpotential, so dass sie Wasserstress-Situationen schlecht bewältigen können. Ihr relativ hohes osmotisches Potential würde ihnen unter günstigen Versorgungsbedingungen gemäss CLINE und CAMPBELL (1976) eine hohe Stoffwechselaktivität ermöglichen; *Quercus* und *Tilia* weisen dagegen ein angeblich tiefes, metabolisch nachteiliges osmotisches Potential auf, welches ihnen jedoch ebenso negative Wasserpotentiale ermöglicht. Dank dieser guten Wasseraufnahmefähigkeit und ihrem effizienten Spaltöffnungs-Regelsystem können sie die Photosynthese während Stressphasen länger aufrecht erhalten.

Ein Zusammenhang zwischen Salztoleranz und Wasserhaushaltstyp konnte in dieser Arbeit nicht hergestellt werden. In jeder der beiden Gruppen befand sich je eine tolerante und eine nicht-tolerante Art.

Bei krautigen Pflanzen wurde oft eine osmotische Anpassung an die Ionenkonzentration im Substrat gefunden (MEIRI und POLJAKOFF-MAYBER 1967, GALE et al.

1967, BERNSTEIN 1961, SLATYER 1970). Dabei handelt es sich um Laborexperimente mit kontrollierbaren Umweltbedingungen und osmotischen Potentialen von -0.3 bis -1.5 MPa im Substrat. Es stellt sich nun die Frage, welche osmotischen Potentiale in der Bodenlösung an den salzbelasteten Standorten vorhanden sein könnten. Da der Salzgehalt der Bodenproben nicht bestimmt wurde, muss eine grobe Abschätzung vorgenommen werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass das eingetragene Natriumchlorid im Frühjahr zu 99 % ausgewaschen worden ist (vgl. 2.1). Nach den Angaben von KREUTZER (1974) wären noch ca. 8 g/m^2 Salz im Boden vorhanden. Diese Menge wäre in etwa 50 l Wasser zu lösen (Wassergehalt von 3 % (w/w) des Bodens am belasteten *Aesculus*-Standort), was einem osmotischen Potential der Grössenordnung -10 KPa (-0.1 bar) entspricht. Osmotische Anpassung dürfte deswegen kaum notwendig sein.

Kann diese geringe Salzmenge (8 g/m^2) denn zu den beobachteten Chloridkonzentrationen in den Blättern führen? Nach LEH (1973) muss davon ausgegangen werden, dass die im Baum vorhandenen Salzionenmengen nicht in einer Vegetationsperiode aufgenommen wurden. Im Herbst soll der grösste Teil der Ionen ins Holz zurückverlagert und dann im nächsten Frühjahr wieder in die Blätter transferiert werden. Die unter Annahme eines Blattflächenindexes von 5 ($= \text{m}^2$ Blattfläche über m^2 Bodenfläche) (WALTER 1973) aus den Angaben von ZOLG (1979) berechnete Natriumchloridmenge von weniger als 8 g wäre im Verlaufe mehrerer Jahre sukzessive angehäuft worden, so dass obige Frage bejaht werden muss.

Diese Ueberlegungen machen es unwahrscheinlich, dass die Salzionen zur osmotischen Anpassung aufgenommen wurden. Es wäre auch nur schwer einzusehen, warum *Tilia* (Wasserpotential = -1.8 MPa) sich osmotisch anpassen muss, *Platanus* (Wasserpotential = -1.2 MPa) hingegen nicht. Bei *Aesculus* könnte eine geringe osmotische Anpassung nötig sein, ihr Wasserpotential von -1.0 MPa liegt höher als das von *Platanus*. Die gefundene Absenkung um -1.6 MPa ist aber doch wohl etwas zu gross. Es erscheint wahrscheinlich, dass die als Folge des Streusalzeinsatzes beschriebenen schweren Folgen für *Aesculus* und *Tilia* nicht auf die wegen der Notwendigkeit einer osmotischen Anpassung aufgenommenen Ionen, sondern vielmehr auf solche zurückzuführen sind, die nicht ausgeschlossen werden konnten. Da die Inaktivierung dieser Ionen nicht immer in ausreichendem Ausmass möglich ist, oder weil die hierfür notwendigen Stoffwechselumstellungen zu gross sind, kommt es zu den beschriebenen pathologischen Effekten (ZOLG

1979, LEH 1975, vgl. auch 2.3, 2.5).

RUGE (1974) wies in geschädigten *Aesculus*-Blättern in der Blattmitte eine höhere Chloridkonzentration trotz höherem osmotischem Potential als am Blatt-
rand nach. Er kommt zum Schluss, dass die Ionen an Proteine gebunden und damit
inaktiviert sein könnten (vgl. BULL und BREESE 1970).

Es scheint, dass die hier untersuchten Baumarten anders als krautige Pflanzen
auf Salzbelastung reagieren. Die in 2.6 beschriebenen Auswirkungen konnten nur
zum Teil bestätigt werden; es muss allerdings berücksichtigt werden, dass unter-
schiedliche Salzkonzentrationen im Substrat vorlagen. *Aesculus*, *Tilia* und *Pla-
tanus*, welche im Gegensatz zu *Quercus* Chloridionen, evtl. auch Natriumionen,
aufnehmen, wiesen wie krautige Pflanzen einen erhöhten Diffusionswiderstand und
damit eine reduzierte Transpiration auf. Bei *Aesculus* und *Tilia* wurde zwar
wie bei krautigen Pflanzen ein Absinken des osmotischen Potentials gemessen,
doch handelt es sich höchstwahrscheinlich um ein Artefakt. Es folgt, dass die
beiden Arten Salzionen nicht oder nur zum kleinsten Teil zur osmotischen
Anpassung aufnehmen; ihre Wasseraufnahmefähigkeit wurde nicht verbessert, was
durch die ähnlichen Wasserpotentiale belegt wird.

Das winterliche Salzen beeinflusst den Wasserhaushalt von *Quercus* nicht, den
von *Tilia* und *Platanus* eher positiv. Die bei *Aesculus* festgestellte geringe
Verschlechterung muss wohl durch eine erhöhte klimatische und edaphische
Belastung erklärt werden; wahrscheinlich wäre ohne Salzeinwirkung die Wasser-
bilanz sogar wesentlich ungünstiger ausgefallen. Beobachtete negative Auswir-
kungen von Streusalz auf die vier untersuchten Strassenbaumarten müssten ent-
sprechend den in dieser Arbeit dargestellten Bedingungen und Ergebnissen nicht
als Effekte osmotischer, sondern vielmehr als solche toxischer Art von Salz-
ionen eingestuft werden.

Zusammenfassung

Vier Strassenbaumarten (*Aesculus hippocastanum*, *Quercus robur*, *Tilia x euchlo-
ra* und *Platanus acerifolia*) wurden in Bezug auf die Auswirkungen der winter-
lichen Streusalzgaben auf ihren Wasserhaushalt untersucht. Dazu wurden die
Transpiration, das Wassersättigungsdefizit, das osmotische Potential und das
Wasserpotential gemessen; andere Grössen des Wasserhaushaltes wurden daraus
abgeleitet. Die untersuchten salzbelasteten Bäume sind repräsentativ für ihre
Art am Standort Mittelstreifen mit starker Streusalzbelastung.
Die Böden der salzbelasteten Standorte waren im Sommer als trockener einzu-
stufen als diejenigen am unbelasteten; die Bodentypen waren an allen Stand-