

<b>Zeitschrift:</b>	Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der Eidg. Tech. Hochschule, Stiftung Rübel, in Zürich
<b>Herausgeber:</b>	Geobotanisches Institut, Stiftung Rübel (Zürich)
<b>Band:</b>	74 (1981)
<b>Artikel:</b>	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
<b>Autor:</b>	Spirig, Amadeus
<b>Kapitel:</b>	3: Material und Methoden
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-308642">https://doi.org/10.5169/seals-308642</a>

### 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>**

### 3. Material und Methoden

#### 3.1. Auswahl der Untersuchungsobjekte

Je ein Exemplar der in Tabelle 2 angegebenen Arten wurde an einem salzbelasteten und an einem unbelasteten Standort untersucht. Die ausgewählten Arten zählen zu den 5 häufigsten in West-Berlin (vgl. 2.7). Die Symbole in Tabelle 2 werden in den graphischen Darstellungen benutzt.

Tab. 2. Untersuchte Baumarten (s = salzbelastet)

Art	Symbole
<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	Ae / Ae <sub>s</sub>
<i>Platanus acerifolia</i> (Ait.) Willd.	Pl / Pl <sub>s</sub>
<i>Quercus robur</i> L.	Qu / Qu <sub>s</sub>
<i>Tilia x euchlora</i> C. Koch	Ti / Ti <sub>s</sub>

Bei der Auswahl der Untersuchungsobjekte wurden folgende Kriterien berücksichtigt:

1. Gute Zugänglichkeit der südlichen Kronenbasis (Probenahme)
2. Volle Strahlungsexposition während der Messperiode
3. Deutliche Ausprägung des eventuellen Schadbildes
4. Möglichkeit zum Aufstellen und Benutzen der Messgeräte ohne Verkehrsbehinderung
5. Vergleichbarkeit der Böden

Es erwies sich als vorteilhaft, die Untersuchungen auf zwei Arten zu konzentrieren. Als salzempfindliche Art wurde *Aesculus* und zum Vergleich die als relativ tolerant eingestufte *Quercus* gewählt. *Tilia* und *Platanus* wurden in geringerem Ausmass untersucht, konnten aber für einzelne Größen und für den Vergleich der Baumarten herangezogen werden.

#### 3.2. Standorte

Die unbelasteten Standorte von *Aesculus* und *Quercus* befinden sich im Garten des Institutes für Oekologie der Technischen Universität Berlin in Berlin-

Steglitz, der von *Tilia* in einer kleinen Grünfläche neben der Westtangente der Berliner Stadtautobahn in Berlin-Friedenau und der von *Platanus* an der Fahrbahn abgewandten Seite eines ca. 15 m breiten Grünstreifens an der Heerstrasse in Berlin-Charlottenburg.

Die belasteten Standorte sind im Winter einer intensiven Behandlung mit Streusalz ausgesetzt. *Aesculus* steht im Mittelstreifen der Lietzenburgerstrasse in Berlin-Wilmersdorf gegenüber einer Krankenhauseinfahrt, *Quercus* im Mittelstreifen der Berliner Strasse in Berlin-Zehlendorf an einem Busbahnhof der Berliner Verkehrsbetriebe, *Tilia* an der Südendstrasse in Berlin-Steglitz gegenüber einer Feuerwehrausfahrt und *Platanus* an der Gneisenaustrasse in Berlin-Tempelhof.

Die Böden sind als sandige Braunerde wechselnden Ursprungs einzustufen (BLUME et al. 1974). Sie sind anthropogen beeinflusst und an den salzbelasteten Standorten mit Ausnahme desjenigen von *Tilia* mit Ziegelschutt durchsetzt. Basierend auf einer scheinbaren Dichte von  $1.6 \text{ g/cm}^3$  und unter Verwendung einer für Sandböden typischen pF-Kurve lässt sich abschätzen, dass ein Bodenwassergehalt von 1.25 Gewichtsprozenten einem Bodenwasserpotential von -1.5 MPa entspricht (1 MPa = 10 bar) und somit als trocken zu gelten hat (HORN, persönliche Mitteilung). Ein Bodenwasserpotential von 0 MPa wäre ab einem Wassergehalt von mehr als 5 Gewichtsprozenten zu erwarten.

### 3.3. Probennahme

Hauptmessperioden waren die Vegetationsperioden von 1975 und 1976. Einzelne Messungen wurden auch noch 1977 durchgeführt.

Messreihen wurden nur an Klartagen mit vorangegangener, mindestens zweitägiger niederschlagsfreier Periode durchgeführt.

Es wurden nur voll entfaltete Blätter ohne Blüten mit – falls vorhanden – deutlich ausgeprägten Schädigungssymptomen verwendet. Sie wurden mit einer Baumschere an einem 3 m langen Stiel von der südwestlichen Kronenbasis geplückt und untersucht. Dabei wurde auf volle Strahlungsexposition geachtet. Bei *Aesculus* konnte für die Transpirationsmessung nur die kleinste Fieder des Blattes Verwendung finden.

Die Transpiration an der südlichen Kronenbasis wird bei Versorgungsschwierigkeiten schnell reduziert (PISEK und TRANQUILLINI 1951), so dass die Messwerte an dieser Stelle als Indikator für den Zustand des Baumes angesehen werden

können (vgl. 5.1).

Auswirkungen von Wasserstress zeigen sich in den Nachmittagsstunden sehr deutlich (vgl. 4.2). Weil die Messungen nur halbtags durchgeführt werden konnten, wurde über den Zeitraum von 1300 h bis 1730 h gemessen. Sie wurden im halbstündigen Abstand durchgeführt (Ausnahme: Die Helligkeit wurde jede Viertelstunde gemessen).

Ein Teil der Untersuchungsergebnisse wurde direkt am Messplatz in vorbereitete Normblätter eingetragen; weitere Daten wurden durch Laboruntersuchungen erarbeitet. Die Resultate wurden in Tabellen zusammengefasst und meist graphisch dargestellt. Aufgrund des Umfangs der Tabellen wurde auf eine Wiedergabe verzichtet und nur je ein Musterexemplar in diese Arbeit eingeschlossen (vgl. Tab. 3, 4, 5).

### 3.4. Messgrößen und Methodik

Die Helligkeit in kLux wurde mit einem Selenzellen-Luxmeter der Firma Lange über die ganze Breite des Spektrums gemessen. Die so erhaltenen Werte sind nur relativ miteinander vergleichbar und ermöglichen keine quantitative Aussage über die einfallende Strahlung (KREEB 1974).

Der Windweg in  $m s^{-1}$  wurde mit einem Schalenanemometer als Mittelwert für jede halbe Stunde bestimmt.

Die Temperatur in  $^{\circ}C$  wurde am trockenen Thermometer eines Psychrometers nach ASSMANN, später auf dem Schreibstreifen eines Thermohygrographen abgelesen.

Das atmosphärische Wasserpotential in MPa (1 MPa = 10 bar) als Mass für das Wasserdampfdrucksättigungsdefizit der Luft wurde aus der mit einem Psychrometer nach ASSMANN oder dem Haarhygrometer eines Thermohygrographen bestimmten relativen Luftfeuchtigkeit berechnet.

Die Evaporation in  $\mu g cm^{-2} s^{-1}$  wurde mit einem Evaporimeter nach PICHE (STEUBING 1965) gemessen. Als Verdunstungsfläche wurde grünes Filterpapier mit einem Durchmesser von 5 cm benutzt.

Der Bodenwassergehalt in % (w/w) wurde durch Trocknen der Bodenproben (24 h bei  $105^{\circ}C$ ), welche mit einem Schlagbohrstock aus 50 cm Tiefe genommen worden waren, bestimmt.

Die Transpiration in  $\mu g cm^{-2} s^{-1}$  wurde nach der Schnellwägemethode von STOCKER (1929) gemessen. Das abgeschnittene Blatt wurde nach einer halben

Tab. 3. Ergebnis-Normblatt A: Größen des pflanzlichen Wasserhaushaltes  
(ausser Transpiration) und klimatische Parameter

Datum ..... Zeit .....  
Standort ..... Objekt .....

<u>Wasserpotential</u>	..... MPa
<u>Osmotisches Potential</u>	..... MPa
Kryoskopskala	
<u>Druckpotential</u>	..... MPa
<u>Wassersättigungsdefizit</u>	..... %
frisch ..... mg	
gesättigt ..... mg	
trocken ..... mg	
Fläche ..... cm <sup>2</sup>	
<u>Sukkulenzgrad</u>	..... g/dm <sup>2</sup>
<u>Oberflächenentwicklung</u>	..... dm <sup>2</sup> /g
<u>Helligkeit</u>	..... kLux
<u>Windweg</u>	..... cm/sec
$x_0 = \dots \text{ m}$ $x_t = \dots \text{ m}$ $t = \dots \text{ min}$	
<u>Temperatur</u>	..... °C
<u>Feuchtegradient</u>	..... µg/m <sup>3</sup>
<u>PICHE-Evaporation</u>	..... µg/cm <sup>2</sup> sec
$x_0 = \dots \text{ m}$ $x_t = \dots \text{ m}$ $t = \dots \text{ min}$	
<u>Atmosphärisches Wasserpotential</u>	..... MPa
Relative Feuchtigkeit ..... %	

Bemerkungen

Tab. 4. Ergebnis-Normblatt B: Transpiration (Die Messwerte wurden graphisch auf mm-Papier in der unteren Hälfte der Tabelle dargestellt)

Datum ..... Zeit .....  
 Standort ..... Objekt .....

sec	/	/	/	/	/	/	/	/
mg	/	/	/	/	/	/	/	/

Blattoberfläche	.....	cm <sup>2</sup>	Luftfeuchte - Blattfeuchte				
Wassergehalt	.....	mg					
frisch	mg	trocken	mg	Luft	°C	%	g/cm <sup>3</sup>
Feuchtegradient	.....	g/cm <sup>3</sup>	Blatt	.....	.....	100	.....

Transpiration	.....	µg/cm <sup>2</sup>
Transpiration/Fläche	.....	µg/cm <sup>2</sup> sec
cuticuläre Transpiration/Fläche	.....	µg/cm <sup>2</sup> sec
Transpiration/Wassergehalt = Austauschzeit	.....	min
Diffusionswiderstand gegen Wasserdampf	.....	s/cm

Tab. 5. Ergebnis-Normblatt C: Nachmittägliche Mittelwerte mit Standardabweichung und Streuung (95 % Vertrauensgrenzen)

Datum ..... Standort .....

Grösse	Dimension					Mittel	sdev	conf 95%
Helligkeit	kLux							
Windweg	cm/sec							
Temperatur	°C							
Feuchtegrad.	µg/m³							
PICHE-Evap.	µg/cm² sec							
Transpiration	µg/cm² sec							
cutic. Tsp	µg/cm² sec							
Austauschzeit	min							
relative Tsp	%							
Diff. Widerst.	sec/cm							
osmot. Pot.	MPa							
Wasserpot.	MPa							
Druckpot.	MPa							
WSD	%							
Sukkulenz	g/dm²							
O. Flächenentw.	dm²/g							

Bemerkungen

Minute zum erstenmal, eine Minute später zum zweitenmal gewogen. Zwischen den Wägungen wurden die Blätter am Waagestandort in möglichst ähnlicher räumlicher Lage einer möglichst ähnlichen Einstrahlung wie am Baum ausgesetzt.

Die Blattfläche in  $\text{cm}^2$  wurde nach Photokopien oder Zeichnungen der Blätter mit einem Planimeter bestimmt. Als Bezugsgröße für die Transpiration wurde die Oberfläche genommen, d.h. die doppelte projizierte Fläche (SLAVÍK 1974). Der während der Vegetationsperiode ständig zunehmende nekrotische Flächenanteil wurde ebenfalls bestimmt und von der Oberfläche subtrahiert (vgl. Abb. 1).

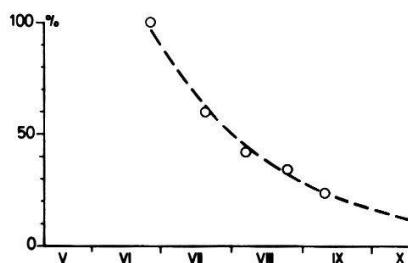


Abb. 1. Rückgang des Anteils der funktionsfähigen Blattfläche an der Oberfläche am salzbelasteten Standort von *Aesculus* im Verlauf der Vegetationszeit

Die cuticuläre Transpiration in  $\mu\text{g cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  wurde aus der Gewichtsabnahme der bei der Transpirationsmessung nach STOCKER (1929) verwendeten Blätter zwischen 20 und 30 Minuten nach der Probenahme berechnet.

Die relative Transpiration in % gibt den prozentualen Anteil der Transpiration an der PICHE-Evaporation wieder.

Der Diffusionswiderstand für Wasserdampf in  $\text{s cm}^{-1}$  wurde nach der folgenden Formel berechnet (SLAVÍK 1974):

$$R = \frac{C_b - C_1}{Tsp}$$

R = Diffusionswiderstand für Wasserdampf in  $\text{s cm}^{-1}$

$C_b - C_1$  = Differenz der Wasserdampfkonzentration zwischen der verdunstenden Oberfläche im Blatt und der Luft bei den respektiven Temperaturen in  $\mu\text{g cm}^{-3}$

Tsp = Transpiration in  $\mu\text{g cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

Dabei wurden zwei Annahmen gemacht:

- Die Wasserdampfkonzentration an der verdunstenden Oberfläche des Blattes entspreche derjenigen bei einer relativen Feuchtigkeit von 100 %
- Die Blattemparatur sei gleich der Lufttemperatur

Zur zweiten Annahme ist zu bemerken, dass die Blattemparatur normalerweise über der Lufttemperatur liegt (LARCHER 1976). Eine Differenz von 1°C zwischen Blatt und Luft kann bereits signifikante Fehler bei der Berechnung des Diffusionswiderstandes verursachen, wenn der Fehler bei geschlossenen Stomata (= hohem Widerstand) auch kleiner wird (SLATYER 1971, MORROW und SLATYER 1971). Die Austauschzeit in min des Blattwassers wurde durch Division der Differenz zwischen Frischgewicht und Trockengewicht mit der entsprechenden Transpiration ermittelt.

Der Sukkulenzgrad in  $\text{g dm}^{-2}$  wurde als Quotient von Sättigungswassergehalt und Oberfläche bestimmt.

Die Oberflächenentwicklung in  $\text{dm}^2 \text{g}^{-1}$  wurde als Quotient von Oberfläche und Frischgewicht berechnet.

Das Wassersättigungsdefizit in % wurde zunächst nach der "Floating-Disc"-Methode (WEATHERLY 1950), später nach CATSKY (1960, 1965) bestimmt. Um die Streuung zu vermindern, wurde die Anzahl der mit einem Korkbohrer ausgestanzten Blattscheibchen in Anlehnung an SPOMER (1972) auf 8 Stück und ihr Durchmesser auf 1.7 cm festgelegt. Ein Methodenvergleich ergab, dass die "Floating-Disc"-Methode um 25 % höhere Werte lieferte. Die Werte wurden entsprechend korrigiert. Im Spätsommer enthielten die Blattproben von *Aesculus* am salzbelasteten Standort einen überproportionalen Anteil an Mittelrippen, so dass diese Werte ebenfalls entsprechend korrigiert werden mussten.

Das osmotische Potential in MPa (1 MPa = 10 bar) wurde mit einem Kryoskop über die Berechnung der Konzentration osmotisch wirksamer Stoffe in einem aus Blattproben hergestellten Presssaft ermittelt. Das Abtöten der Gewebe vor dem Pressen erfolgte durch Einlegen (20 Minuten) der Probegefässe in kochendes Wasser (WALTER 1928, 1930); später durch Zugabe von 0.5 ml Chloroform sofort nach der Probenahme (WALTER 1931, KOZINKA 1960). Die nach der Chloroform-Methode bestimmten osmotischen Potentiale mussten wegen der Löslichkeit von Chloroform in wässrigen Lösungen um 0.13 MPa (= 1.3 bar) angehoben werden. Ein Parallelversuch zum Vergleich der beiden Methoden ergab, dass keine signifikanten Unterschiede im Ergebnis auftraten.

Das Wasserpotential in MPa (1 MPa = 10 bar) wurde nach SCHOLANDER et al. (1965) mit einer nach WARING und CLEARY (1967) modifizierten tragbaren Druckkammer gemessen. Der Druck wurde mit einer Rate von 0.05 MPa/s erhöht (RITCHIE und HINCKLEY 1975). Aufgrund der Schnelligkeit dieser in den letzten Jahren zur ökologischen Standardmethode gewordenen Technik war es möglich, das Wasserpotential und das osmotische Potential aller untersuchten Bäume an zusätzlichen Terminen zu bestimmen.

Das Druckpotential in MPa (1 MPa = 10 bar) ergab sich aus der Differenz von osmotischem Potential und Wasserpotential. Es wurde ein vernachlässigbar kleines matrikales Potential angenommen (vgl. SHEPHERD 1975).

Zur weiteren Auswertung wurden die Daten zu nachmittäglichen Tendenzen und Jahreskurven zusammengefasst.

Für die Jahreskurven wurden die Mittelwerte der jeweiligen Tagesmessungen (in der Regel 8), eventuell auch die Mittelwerte zusätzlicher Bestimmungen verwendet.

Eine Ausgleichskurve wurde durch die Schwerpunkte von je drei aufeinander folgenden Messwerten konstruiert (MC CRACKAN 1965). Dies konnte bei *Tilia* und *Platanus* nur für die Werte von Wasserpotential, Druckpotential und osmotischem Potential durchgeführt werden.

Die nachmittäglichen Tendenzen wurden ähnlich ausgewertet. Zuerst wurden die Messtage einzelnen jahreszeitlichen Phasen zugeordnet (Tab. 6) und zusammengefasst, danach die jeweiligen Mittelwerte aller Messungen zwischen 1330–1500 h, 1430–1600 h und 1530–1700 h berechnet. Die so erhaltenen 3 Werte ermöglichten Aussagen über Veränderungen der Messgröße während des Nachmittags. Für einzelne Größen wurde nur der Mittelwert aller nachmittäglichen Messungen in graphischer/tabellarischer Form dargestellt.

Die Vertrauensgrenzen der Mittelwerte wurden nach PARKER (1973) berechnet. Sie geben das Intervall an, innerhalb welchem der wahre Mittelwert der Messungen mit 95 % Wahrscheinlichkeit liegt.

$$\text{conf (95 \%)} = t \cdot \frac{s_{\text{dev}}}{\sqrt{n}}$$

conf (95 %) = Vertrauensgrenzen

t = Student's t für (n-1) Freiheitsgrade

n = Anzahl der Werte

sdev = Standardabweichung vom Mittelwert

Tab. 6. Zuordnung der Messtage zu Phasen (die Zahlen bedeuten den jeweiligen Tag des Jahres)

Phase Baum \ Vorstress Frühjahr	Vorstress Frühjahr	Stress Sommer	Nachstress Herbst
Qu	165 171	210 229	244 273
Qu <sub>s</sub>	170 189 193	223 224	240 259
Ae	160 163	209 224	241 265 267
Ae <sub>s</sub>	162 178 201	203 219	236 238 253
Pl	176	211 223	257
Pl <sub>s</sub>		202 236	
Ti		237	
Ti <sub>s</sub>		209 239	

Qu = *Quercus*

Ae = *Aesculus*

Pl = *Platanus*

Ti = *Tilia*

s = vom belasteten Standort

Die Signifikanz einer Differenz zwischen zwei Mittelwerten wurde nach PARKER (1973) durch einen t-Test ermittelt. Dabei wurden ungleiche Varianzen angenommen.

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{\sqrt{\frac{(sdev_1)^2}{n_1} + \frac{(sdev_2)^2}{n_2}}}$$

t = Student's t für  $(n_1 + n_2 - 2)$  Freiheitsgrade

$n_1, n_2$  = Anzahl der Werte in Gruppe 1, 2

$\bar{x}_1, \bar{x}_2$  = Mittelwert der Gruppe 1, 2

sdev<sub>1</sub>, sdev<sub>2</sub> = Standardabweichung der Gruppe 1, 2

Aus Tabellen kann für das jeweilige  $t$  abgelesen werden, wie gross die Wahrscheinlichkeit  $p$  ist, dass die beobachtete Differenz nicht signifikant ist.

Als Mass für die Streuung der Messwerte um den Mittelwert wurden die jeweiligen Vertrauengrenzen (95 %) benutzt.

## 4. Resultate

### 4.1. Jahrestypen

Die Belastung des pflanzlichen Wasserhaushaltes durch die mangelnde Wasserversorgung, wie sie durch die Bodenwassergehalte (Abb. 2) dargestellt wurde, war an den salzbelasteten Standorten deutlich höher als an den unbelasteten. Das als Grenze für die Verfügbarkeit des Bodenwassers definierte Wasserpotential von -1,5 MPa (= -15 bar), welches einem Bodenwassergehalt von 1,25 Gewichtsprozenten entspricht (HORN, persönliche Mitteilung), wurde nur in wenigen Fällen unterschritten, zweimal am unbelasteten Standort von *Platanus* und je einmal am belasteten Standort von *Aesculus* und *Tilia*.

Tag mit guter Wasserversorgung, d.h. einem Bodenwassergehalt von mehr als 5 Gewichtsprozenten (vgl. 3.2) waren fast ausschliesslich auf die unbelasteten Standorte begrenzt. An den beiden *Aesculus*-Standorten wurden im Sommer vergleichbare Wassergehalte gemessen.

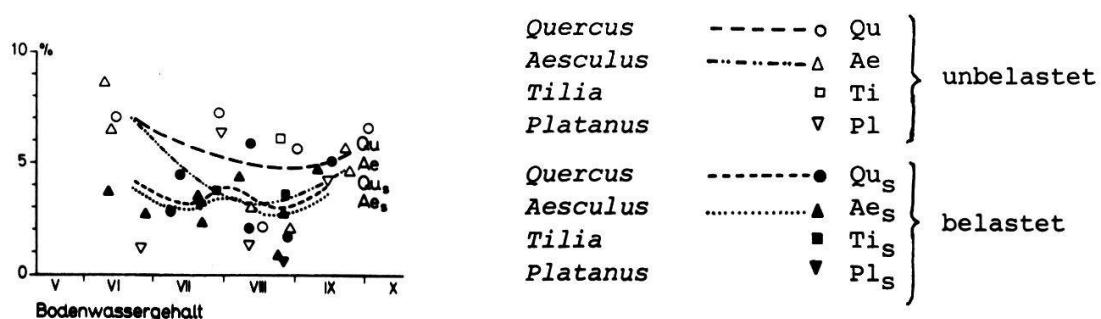


Abb. 2. Jahrestypen des Bodenwassergehalts mit Ausgleichskurve in Gewichtsprozenten