

MAGISTRAT DER STADT WIEN
Magistratsabteilung 42 – Stadtgartenamt
1030 Wien, am Heumarkt 2b

Bodenaufbau über Tiefgaragen für einen ökologisch wirksamen Baumbestand in öffentlichen Parkanlagen der Stadt Wien - Wiener Modell

Gutachten im Auftrag der
Magistratsdirektion – Stadtbaudirektion, Dezernat 2
Magistratsabteilung 42 – Stadtgartenamt
Magistratsabteilung 22 – Umweltschutz



Prof. Dr.Dr. Mihály Möcsényi
Univ. dep. Budapest

Dr. Susanna Wiener
Institut für Ökologie und Naturschutz der Universität Wien



O. Univ. Prof. DI Dr. DDDr. h.c. Winfried Blum
Ao. Univ. Prof. DI. Dr. Nicola Rampazzo
Institut für Bodenforschung
Universität für Bodenkultur Wien

Arbeitsbereich Ingenieurbiologie
und Landschaftsbau



O.Univ.Prof.Dr. Florin Florineth
A-1190 Wien, Hasenauerstraße 42
tel. ++43 (1) 368 09 60 Sekretaria
fax. ++43 (1) 368 09 60 - 24
e-mail: iblb@mail.boku.ac.at
homepage: www.boku.ac.at/iblb/

UNIVERSITÄT FÜR BODENKULTUR WIEN

Koordination:
O. Univ. Prof. Dr. Florin Florineth
DI Günter Fitzka
Arbeitsbereich Ingenieurbiologie und Landschaftsplanung
Universität für Bodenkultur Wien

Inhalt

1. Einleitung und Problemstellung	4
2. Bedeutung des Baumes in der Stadt – humanökologische Aspekte	5
2.1. Stadtklima im allgemeinen	5
2.2. Klimatische Wechselwirkung Pflanze - Standort	6
2.2.1. Bestandesklima	6
2.2.2. Strahlungshaushalt	6
2.2.3. Anpassungen der Pflanzen an das Wasserangebot	7
2.2.4. Pflanzen als Staubfänger	9
2.2.5. Einfluß der Pflanze auf den Menschen	9
2.2.6. Stadtklima und Wohlbefinden	10
3. Baumphysiologische Ansprüche	11
3.1. Das Klima von Wien	11
3.1.1. Lufttemperatur	11
3.1.2. Niederschlag	12
3.1.3. Relative Feuchte	13
3.1.4. Wind	14
3.1.5. Die Verdunstung	14
3.2. Wasseraufnahme durch die Pflanze	15
3.3. Transpiration	16
3.3.1. Wasserverbrauch verschiedener Baumarten	16
3.4. Zusammenfassung	19
4. Bodenphysikalische und –chemische Anforderungen an das Substrat	21
4.1. Vorgabe und Ziel des bodenkundlichen Gutachtens	21
4.2. Bodenkundliche Aspekte	21
4.2.1. Allgemeines	21
4.2.2. Wasser-, Luft- und Nährstoffhaushalt	22
4.2.3. Bodenkundliche Parameter	22
4.3. Vorschlag aus der Sicht der Bodenkunde	23
4.3.1. Auswahl des Bodensubstrates	23

4.3.2.	Beschüttungsverfahren	25
4.3.3.	Überprüfung des Verdichtungszustandes	25
4.4.	Zusammenfassung	25
5.	Bautechnische Anforderungen	27
5.1.	Einleitung	27
5.2.	Baumstatik und Standsicherheit	27
5.2.1.	Winddruck	28
5.2.2.	Wurzelraum	29
5.2.3.	Resümee	29
5.3.	Schichtaufbau	30
5.3.1.	Dränschicht	30
5.3.2.	Filterschicht	31
5.3.3.	Vegetationsschicht	31
5.4.	Bautechnik und praktische Ausführung	34
5.4.1.	Material	34
5.4.2.	Ausführung	35
5.4.3.	Bauüberwachung	36
6.	Literatur	37

1. Einleitung und Problemstellung

Durch den stetigen Zuwachs an Autos und die ständig knapper werdenden Parkmöglichkeiten entsteht im Wiener Raum immer mehr der Bedarf an Tiefgaragen, oft unterhalb bestehender öffentlicher Parkanlagen, welche der Widmungskategorie Grünland-Erholungsgebiet angehören. Dabei darf die Erholungsfunktion solcher Parkanlagen, speziell die Transpirationsleistung der Bäume und somit die lokale mikroklimatische Luftkühlung nicht beeinträchtigt werden. Mit anderen Worten, es darf die darunter liegende Tiefgarage die Funktionen und Leistungen einer Parkanlage nicht verringern. Dies führt u.U. zu Interessenskonflikten zwischen Autobesitzern und Parkbesuchern sowie zwischen Tiefgaragenerrichtern und Naturschutzbehörden. Deshalb forderte zunächst die MA 42 Stadtgartenamt die Erfüllung bestimmter Auflagen, und zwar die Verwendung einer bestimmten Bodenart (lehmiger Sand) sowie einen vorgegebenen Aufbau (50 cm Oberboden, 100 cm Unterboden und 15 cm Drainageschotter, also insgesamt 165 cm). Die Ergebnisse aus diesen Versuchen erwiesen sich bei mehreren Tiefgaragen als unbefriedigend, wobei das Hauptproblem für die darüber wachsenden Bäume die Staunässe im Wurzelraum war. In weiterer Folge schrieb die MA42 (seit 1999) für derzeit oder demnächst im Bau befindlichen Tiefgaragen eine Mischung aus 50% Recycling Ziegelsplitt der Körnungen 8/12, 12/32, und 32/63 (1:1:1) und 50% Unterboden (lehmiger Sand) vor, eingebaut mit statisch verdichtenden Maschinen in Lagen von maximal 30 cm. Diese Auflagen, deren Wirksamkeit noch nicht erprobt wurde, stießen aber bald aus ökonomischen Gründen auf Widerstand von Seiten der Garagenerrichter. Aus diesem Grund gab die MA 42 ein Expertengutachten in Auftrag, eine ganzheitliche und wissenschaftlich fundierte Lösung der Aufgabenstellung einzuholen. Das Gutachten umfasst die Bereiche Humanökologie, Baumphysiologie, Bodenkunde und Bautechnik.

2. Bedeutung des Baumes in der Stadt – humanökologische Aspekte

Prof. Dr.Dr. Mihály MÖCSÉNYI, Former President of the Int. Federation of Landscape Architects Univ. dep. Budapest

2.1. Stadtklima im allgemeinen

Im Zentrum der Großstadt ist fast jeder Quadratmeter mit Gebäuden oder mit einer versiegelten Bepflasterung versehen. Dies hat zur Folge, dass 60-90 % des auf das Stadtgebiet fallenden Niederschlags durch das Abwassersystem außerhalb der Stadt gelangen. Die abgeführte Wassermenge wird nicht im Stadtgebiet transpiriert bzw. evaporiert und deshalb wird die durch die Sonneneinstrahlung auf das Stadtgebiet gebrachte Wärmemenge nicht um die bei der Verdunstung dieser Wassermenge gebundene latente Wärme vermindert. Das aus den verschiedensten Schmutzstoffen entstehende Luftplankton, welches aus Gasen, Wasserdampf, schwebenden festen und flüssigen Stoffen sowie aus Mikroben besteht, reflektiert bzw. absorbiert 5-40 % der Sonnenstrahlen und raubt den Stadtbewohnern die biologisch besonders wertvollen kurzwelligeren Licht- und Ultraviolettstrahlen. Die Glashauswirkung des Luftplanktons verhindert bzw. verringert zugleich die Wärmeausstrahlung und erhöht - besonders in den Abend- sowie in den frühen Nachtstunden - die Lufttemperatur der Stadt wesentlich. Die bebauten und befestigten Flächen absorbieren und speichern große Mengen von Wärme. Im Sommer wird die Stadt im Laufe der nächtlichen Ausstrahlung diese Wärme nur schwer los, weil zum Einen die Ausstrahlungsintensität der vertikalen Flächen sehr niedrig ist und zum Anderen das Luftplankton die ausgestrahlte Wärme absorbiert und zurückstrahlt.

In der Stadt bleibt der gefallene Schnee kürzere Zeit liegen als im Umland, die Zeitspanne zwischen dem letzten frostigen Frühlingstag und dem ersten frostigen Herbsttag ist bedeutend länger. Die Pflanzen beginnen ihre Vegetation im allgemeinen früher und blühen auch eher. Das Luft-Plankton übt parallel dazu eine temperatenausgleichende Wirkung aus. Die Stadt ist also trotz weniger Einstrahlung wärmer als ihre natürliche Umgebung. Der „Dunsthunger“ der Stadtluft ist im allgemeinen größer - die relative Luftfeuchtigkeit aber oft niedriger - als die ihrer Umgebung. Trotzdem bildet sich in der Stadt wegen der Luftverschmutzung viel öfter Nebel als in der Umgebung der Stadt, deshalb ist die Einstrahlung besonders in den Morgenstunden im Jahresdurchschnitt viel niedriger.

2.2. Klimatische Wechselwirkung Pflanze - Standort

2.2.1. Bestandesklima

Die Existenz und die Entwicklung der Pflanzen hängt in erster Linie vom Klima des Standortes ab, das heißt die wichtigste Komponente des Standortes ist neben den edaphischen Gegebenheiten (Boden) das Klima. Dies beinhaltet makro- und mikroklimatische Komponenten. Die Pflanze ist ein lebender Organismus, hat einen eigenen Wärme- und Wasserhaushalt und wirkt so auf das Mikroklima ihres Standortes ein. Da sich die Form und Größe einer Pflanze im Laufe ihrer Entwicklung verändert, erhöht sich auch ihre Wirkung auf den Boden, den Licht-, Wärme- und Wasserhaushalt sowie den Bewegungszustand der sie umgebenden Luftschicht. So entsteht eine Wechselwirkung zwischen der Pflanze und dem Klima ihres Standortes - von dem ihre Existenz abhängig ist - wodurch sich das Klima des Standortes, sogar das Mikroklima der Umgebung verändert. Mit dem Wachstum von einzelnen Pflanzen, von Pflanzengruppen, von Pflanzengesellschaften auf größeren Gebieten entstehen außer mikroklimatischen Wirkungen auch mesoklimatische Einflüsse. Die Wirkung eines Pflanzenbestandes auf das Mikro- und Mesoklima resultiert aus der Regulierung des Wärmehaushalts und der Verringerung der Luftbewegung im Pflanzenbestand und in der unmittelbaren Umgebung. Schon eine niedrige Pflanzendecke verändert den Licht-, Wärme- und Wasserhaushalt des Bodens dadurch, dass der Energieumsatz (Ein- und Ausstrahlung) in einer schmalen oberflächennahen Zone, der „wirksamen Oberfläche des Bestandes“ stattfindet. Die mikroklimatischen Veränderungen entstehen z.T. an der Oberfläche des Bestandes bzw. in der darüber liegenden Luftschicht, z.T. in Bodennähe und innerhalb der Luftschicht des Bestandes. Dadurch herrschen vor allem in hochwüchsigen Pflanzenbeständen und unter Baumkronen ausgeglichene Temperaturen (Bestandesklima).

2.2.2. Strahlungshaushalt

Die Mikroklimaveränderungen innerhalb des Bestandes bzw. in der Bodenschicht können aber nur dann eine "Fernwirkung" verursachen, wenn sie den Wärmeeinfluß der für sie typischen, natürlichen Umgebung wesentlich zu verändern imstande sind. Diese Fähigkeit hängt davon ab, wieviel Lichtenergie eine Pflanzengruppe zur Photosynthese verbraucht, wieviel Licht sie an die oberen Luftschichten oder ihre Umgebung reflektiert (Albedo), wieviel Wärme sie durch Erhöhung ihrer „Körpertemperatur“ bei der Bestrahlung speichern kann bzw. wieviel Wärme sie beim Transpirationsvorgang bindet. Das Maß des Licht- bzw. Wärmeverbrauchs für die

Photosynthese bzw. Transpiration hängt vor allem vom verfügbaren Wasser ab. Nur bei gegebener ausreichender Niederschlagsmenge und günstiger Verteilung entsteht in der natürlichen Sukzession (zeitliche Aufeinanderfolge von Pflanzengesellschaften) eine Klimaxgesellschaft (Endstadium) mit größerer klimatischer Wirkung auf die Umgebung. Bei dichten Laubwäldern ist das aktive Niveau der Ein- und Ausstrahlung hoch über dem Bodenniveau, in der Laubkrone bzw. auf der Oberfläche der Laubkrone. Die mechanische Trocknungswirkung des Windes kommt innerhalb des Bestandes kaum zur Geltung, deshalb dehnt sich das innerhalb des Bestandes geschaffene Mikroklima des Waldes gegenüber den grasigen Flächen auf eine größere Luftschicht aus. Weiterhin ist die klimatische Fernwirkung der Wälder größer als die des Graslandes, weil der Wald das Wasser besser nutzt, mehr Lichtenergie zur Photosynthese bindet, dabei aber auch mehr transpiriert als eine Trocken- oder Magerwiese. Durch diese Fernwirkung wird das Klima der nahegelegenen Stadt günstig beeinflusst. Das Vorhandensein und die Verfügbarkeit von Wasser im Boden und in der Atmosphäre bestimmen, aus welchen Pflanzentypen (anatomisch, physiologisch, morphologisch) die Vegetation eines Standortes gebildet wird und welche Wirkung sie auf das Klima ihres Standortes und eventuell der Umgebung hat.

2.2.3. Anpassungen der Pflanzen an das Wasserangebot

Der Wasserfaktor hat eine große Wirkung auf die philogenetische und morphogenetische Entwicklung der Pflanzen, deshalb kann man sie anhand ihrer Anpassungsfähigkeit an den Wasserfaktor in verschiedene Typen aufteilen.

Unter den mitteleuropäischen Gegebenheiten kommen bei der städtischen Grünflächenanlegung einheimische oder akklimatisierte Mesophyten und Xerophyten in Frage, deshalb müssen wir uns mit den anatomischen, morphologischen und physiologischen Eigenschaften dieser Pflanzen, mit ihrem Verhältnis zum Wasserfaktor, ihrer Wirkung auf das Klima tiefergehender befassen. Die Xerophyten sind Pflanzen der trockenen Standorte, welche sich bei ihrer eigenen Entwicklung anhand ihrer geeigneten biologischen Eigenschaften und anatomischen Beschaffenheit gut an die ungünstige Wirkung der Feuchtigkeit der Atmosphäre und des Bodens anpassen. Die Mesophyten sind die Pflanzen der mäßig feuchten Standorte, welche sich bei ihrer eigenen Entwicklung der ungünstigen Wirkung der Trockenheit nur begrenzt anpassen. Die Sklerophyten können sogar das Wasser der hochgespannten Bodenkapillare aufnehmen, denn der osmotische Druck des Zellsaftes ihres Plasmas kann 40-60, sogar 100 Atmosphären erreichen. Der osmotische Druck der Sklerophyten erhöht oder senkt sich abhängig vom nutzbaren Wassergehalt des Bodens. Sie sind fähig, das Wasser ihres „Körpers“ in unglaublich kurzer Zeit

umzusetzen. Im Gegensatz zu den Sukkulenten speichern sie das Wasser nicht, sondern verbrauchen es, wenn es vorhanden ist. Ihr spezifischer Organismus hat sich so entwickelt, dass in der verhältnismäßig kurzen Zeit, in der das Wasser reichlich zur Verfügung steht, ihr Lebensprozeß besonders intensiv ist und sie so das vorhandene Wasser zu ihrem Wachstum und zu ihrer Entwicklung am vorteilhaftesten ausnutzen. Eine aus Sklerophyten bestehende Baumassoziation bildet im Allgemeinen keinen geschlossenen Bestand, sie ist niedrig und selten mehrstufig. Die Sklerophyten entwickeln sich bei warmen, aber feuchten klimatischen und edaphischen Bedingungen schneller als an ihren natürlichen Standorten. Ihre xeromorphen Eigenschaften werden schwächer, ihr Wassergehalt steigt, ihr osmotischer Druck verringert sich. Auf feuchten Böden dominieren flach wurzelnde Mesophyten, auf Böden mit Grundwasser in erreichbarer Tiefe tiefer wurzelnde Mesophyten.

Als Pflanzendecke transpirieren Mesophyten - absolut gesehen - mehr Wasser als die Xerophyten. Außer der Transpiration kennzeichnet sie eine wesentlich größere kutikuläre Verdunstung als die Xerophyten. Der osmotische Druck ihres Zellsaftes ist niedriger - 20-25 Atmosphären - deshalb ist ihre Fähigkeit, das Grundwasser zu nutzen, begrenzt. Ein Teil des auf die Blätter der Pflanzen fallenden Lichtes und der Wärme wird reflektiert, ein Teil absorbiert, ein weiterer - im Allgemeinen kleinerer - Teil durchdringt das Blatt. Wenn wir Pflanzen nach Reflektion oder Albedo untersuchen, können wir feststellen, dass die Reflexion der ultravioletten Strahlung im allgemeinen nur 10 % beträgt. Die Albedo der sichtbaren Strahlung bewegt sich zwischen 8 und 20 %, kann aber auch 60 % erreichen. Die Albedo der Infrarotstrahlung beträgt 40-45 %. Die Licht- und Wärmestrahlen durchdringen die Blätter je nach Wellenlänge in größerem oder kleinerem Maße. Die Pflanzen nutzen zur Photosynthese 0,6-0,7 % des sichtbaren Lichtes, je nachdem, wieviel und was für organische Stoffe sie am gegebenen Standort produzieren. Die Strahlung, die nicht reflektiert, durchgelassen oder zur Photosynthese verbraucht wird, absorbiert das Blatt und erhöht dessen Körpertemperatur. Die Pflanze bemüht sich, den zur Assimilation nicht notwendigen absorbierten Wärmeüberschuss abzugeben, denn eine zu hohe „Körpertemperatur“ hemmt, ja verhindert sogar die Lebensfunktionen. Das Wärmeoptimum der Photosynthese der Pflanzen ist selten höher als 25-30°C, oft eher niedriger. Das Maß der Wärmeausstrahlung ist im Vergleich mit der Intensität der Tageseinstrahlung sehr gering, deshalb kann die Pflanze die überflüssige Körperwärme nicht durch Ausstrahlung abgeben. Die Pflanze hat somit keine andere Möglichkeit, ihre vorhandene Körperwärme zu verringern als durch eine entsprechende Transpiration.

2.2.4. Pflanzen als Staubfänger

Die Belastung mit Staubpartikeln und Aerosolen ist im städtischen Gebiet bedeutend höher als in der offenen Landschaft. Pflanzen können einen Teil dieser Partikel aus der Luft filtern. Die Gründe hierfür sind nach SCHLÜTER (1996) folgende:

- Durch Verminderung der Luftgeschwindigkeit und –turbulenzen werden die Stäube vermehrt ausgefällt.
- Im Bereich der Blätter kühlt die Luft durch Verdunstung ab und fördert damit die Feinstaubablagerung.
- Blätter und Nadeln fangen Stäube auf: in Abhängigkeit von ihrer Größe, Oberflächenbeschaffenheit, Behaarung und Form in unterschiedlicher Intensität.

Die ausgefilterten Partikel werden durch Niederschlag abgewaschen und im Boden festgelegt. Bäume tragen hierdurch zur Verbesserung der Luftqualität in der Stadt bei.

2.2.5. Einfluss der Pflanze auf den Menschen

Die xeromorphen Pflanzen- und Blattmerkmale bzw. die ökologischen Faktoren, unter dessen Wirkung diese Merkmale entstehen, sind in Bezug auf das menschliche Leben klimatologisch, physiologisch nicht die vorteilhaftesten, deshalb ist die psychische Wirkung der grauen Blattfarbe - welche diese Faktoren kennzeichnet - auf den Menschen auch nicht vorteilhaft. Im Menschen ist die Wertung der ökologischen Gegebenheiten durch die Blattfarbe und die phänologische Erscheinung zum unbedingten Reflex geworden. Damit kann man das psychische Verlangen des Menschen erklären, an einem heißen Sommertag einen immergrünen Nadelbaum sehen zu wollen, welcher die kühlen Bergregionen mit sauberer Luft und einem erquickendem Klima symbolisiert. An nebligen kalten Tagen sehnt sich der Mensch nach der frischen Laubfarbe, den farbenprächtigen Blumen der wolkenlosen, sonnigen südlichen Regionen. Man könnte sagen, dass der Mensch seinen unbedingten Reflexen, seinem ursprünglichen Instinkt folgt - auch dann, wenn seine Tätigkeit wissenschaftlich nicht begründet ist - indem er in seinem Garten Nadelbäume pflanzt oder die im Blumenladen - wegen ihrer an den Frühling erinnernden frischen grünen Blattfarbe oder ihren schönen Blüten - gekauften Pflanzen in seiner Wohnung auch im Winter pflegt. Die moderne Medizin hat bewiesen, dass sog. Placebos, die äußerlich den Medikamenten gleichen, die den Heilungsprozeß bei Kranken bewirken, jedoch neutrale Stoffe sind, ähnliche Wirkungen hervorrufen, wie die echten Medikamente, das heißt, die psychischen Faktoren haben oft eine biologische Wirkung. Die psychische Qualität oder Wirkung der komplexen Empfindung im Zusammenhang mit den Farben der Pflanzen ist auch ein

biologischer, psychosomatischer Faktor. Die graue Farbe der Xerophyten ist psychologisch auch dann von Nachteil, wenn wir sie bewässern und sie mit ihrer Transpiration die Luft leicht abkühlen, weil mit Xerophyten grau getönte Grünflächen der Stadt die psychische Stimmung einer ariden Landschaft geben. Die Mesophyten der städtischen Grünflächen können ihre vorteilhafte Mikro- und Ortsklima verändernde Wirkung dann entfalten, wenn sie - auf einer entsprechend großen Fläche - einen ihrer Absorption adäquaten Teil also 55-70 % - der Strahlungsenergie der Sonne in Form von Transpiration und kutikulärer Verdunstung in latente Wärme umwandeln können.

2.2.6. Stadtklima und Wohlbefinden

Es hängt vom komplexen Zustand der städtischen Atmosphäre ab, ob der Mensch den Aufenthalt in der Stadt als angenehm oder unangenehm empfindet. Das angenehme Gefühl im Zusammenhang mit der Atmosphäre hängt von folgenden Werten ab:

- Lufttemperatur,
- Luftbewegung,
- relative Luftfeuchtigkeit,
- Staubgehalt der Luft,
- Maß der Sonnenstrahlung,
- Temperatur der umgebenden festen Körper (Gebäude).

Wir müssen die aufgezählten Faktoren immer gemeinsam beurteilen. Es sind verschiedene Kombinationen dieser Faktoren möglich, welche ein beinahe gleiches Gefühl hervorrufen können. Der eine oder andere Parameter verändert das Gefühl von angenehm oder unangenehm nicht wesentlich. Deshalb unterscheiden wir die sog. trockene Temperatur von der effektiven oder wirksamen Temperatur. Der Maßstab bei Festlegung der Äquivalenten der wirksamen Temperatur ist im allgemeinen subjektiv. Dies bedeutet, das eine gegebene Faktoreneinheit auf verschiedene Menschen in verschiedener Weise wirkt. Eine niedrigere oder zu hohe relative Luftfeuchtigkeit bewirkt bei gleicher Lufttemperatur, aber ohne Luftbewegung ein verschiedenes, aber immer unangenehmeres Gefühl als eine höhere Temperatur bei normaler Luftfeuchtigkeit und bei Luftbewegung.

Die Landschaftsarchitekten haben außer der Berücksichtigung der funktionellen Ansprüche an eine Grünanlage auch die Aufgabe, bei der Planung städtischer Grünanlagen durch Komposition mit Farben und Formen der verwendeten lebenden und unbelebten Materialien harmonische Ensembles mit ästhetischen Werten zu schaffen, die zur Lebensfreude der Besucher beitragen und zur Kreativität anregen.

3. Baumphysiologische Ansprüche

Dr. Susanna WIENER, Institut für Ökologie und Naturschutz der Universität Wien

3.1. Das Klima von Wien

3.1.1. Lufttemperatur

Die von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik seit 1775 erhobenen Lufttemperaturen (AUER, BÖHM UND MOHNL, 1989) zeigen, dass wir uns seit 1945 in einer Wärmeperiode befinden, die vor allem auf übernormale Temperaturen von September bis April begründet ist. Die Unterschiede zwischen der Mess-Station auf der Hohen Warte und im Stadtzentrum betragen von 1950 bis 1986 bei den Sommermaxima nur einige Zehntel Grad, die Jahresminima aber waren um 2,5 (60-er Jahre) bis 2 Grad (70-er Jahre) erhöht. In den 80er-Jahren lagen die Tagesmittel im Juli und August zwischen 18,1 Grad und 23,2 Grad, die Temperaturmaxima zwischen 27,7 und 36 Grad.

Wie AUER (1989) feststellte, zeigt sich bei der Betrachtung der Sommertage und heißen Tage kaum eine Auswirkung der urbanen Wärmeinsel, so konnte sogar eine leichte Erhöhung der heißen Tage im unverbauten Freiland gemessen werden (Schottenstift 7,8 heiße Tage, Tullnerbach 9,1). Sommerliche Wirkungsgrößen wie Wärmesummen oder heiße Nächte ($T_{24 \text{ Uhr}} \geq 20$ Grad) zeigen die Auswirkung der Urbanisierung dagegen recht deutlich (höchste Wärmesummen 1951-1980 Schottenstift, Laaerberg und Stadlau, Anzahl der heißen Nächte in Wien-Schottenstift 30, Hohe Warte 12,2, Tullnerbach 2).

Ein Vergleich der Temperaturwerte (1951 – 1980) von 10 Klimastationen in Wien ergab für die Sommermonate folgendes Bild:

	Monate	SSt	LB	RP	HW	St	RH	GE	MB	WB	KB
Tmax ≥ 25°	Juni	9,8	13,4	9,3	10,0	11,2	9,8	10,4	9,9	6,2	5,8
	Juli	15,1	17,3	14,	15,6	17,2	14,7	15,1	15,0	11,3	10,9
	August	13,7	16,1	12,87	13,6	15,2	13,37	13,3	13,2	10,23	8,7
Tmax ≥ 30°	Juni	1,0	2,5	0,8	0,9	1,5	1,0	1,0	1,4	1,4	0,1
	Juli	3,7	5,4	3,2	3,7	4,2	3,6	3,9	3,4	1,4	1,4
	August	2,7	4,1	2,7	2,7	2,8	2,7	2,8	3,1	0,2	1,0

Tabelle 1: Anzahl der Sommertage ($T_{\text{max}} \geq 25^\circ$) und der heißen Tage ($T_{\text{max}} \geq 30^\circ$) in den Monaten Juni – August in Wien (Mittelwerte 1951-1980). SSt = Schottenstift LB = Laaerberg; RP = Rathauspark; HW = Hohe Warte; St = Stadlau; RH = Rosenhügel; GE = Grobenzersdorf; MB = Mariabrunn; WB = Wilheminenberg; KB = Kahlenberg

In den 90er-Jahren waren nicht mehr alle Mess-Stationen in Betrieb, deshalb stehen für einen Vergleich nur die Werte für Wien-Mariabrunn, Hohe Warte und Großenzersdorf zur Verfügung.

	Monate	Mariabrunn	Hohe Warte	Großenzersdorf
T _{max} ≥ 25° 1998	Juni	16	18	18
	Juli	15	16	18
	August	20	21	21
1999	Juni	7	9	12
	Juli	23	24	25
	August	10	11	13
T _{max} ≥ 30° 1998	Juni	3	3	5
	Juli	6	8	9
	August	9	9	10
1999	Juni	0	0	0
	Juli	5	5	5
	August	2	3	3

Tabelle 2: Anzahl der Sommertage (T_{max} ≥ 25°) und der heißen Tage (T_{max} ≥ 30°) in den Monaten Juni – August in Wien, 1998 und 1999 (Daten Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik)

Es scheint ein Trend zu längeren Wärmeperioden in den 90er-Jahren zu bestehen, allerdings ist ein direkter Vergleich mit Tabelle 1 nur bedingt möglich, da diese Werte Mittelwerte aus einer dreißigjährigen Untersuchungsperiode sind.

3.1.2. Niederschlag

Die Niederschlagssummen lagen von 1980-85 an der Hohen Warte zwischen 472 und 648 mm (umfasst alle Niederschläge, also auch Schnee und Hagel). Die jahreszeitliche Verteilung sieht folgendermaßen aus:

Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter	Vegetationszeit	Vegetationsruhe	Jahressumme
1980	182	165	188	66	421	180	601
1981	85	169	200	141	376	219	595
1982	102	152	95	158	319	188	507
1983	144	143	97	108	358	134	492
1984	156	158	154	99	382	185	567
1985	134	235	146	143	365	293	658

Tabelle 3: Niederschlagssummen in mm nach Jahreszeiten (nach AUER et al.), Hohe Warte.

	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter	Summe
Mariabrunn 1998	173	241	257	145	816
Mariabrunn 1999	184	290	169	166	809
Hohe Warte 1998	139	236	249	162	786
Hohe Warte 1999	169	212	129	145	655
Großenzersdf. 1998	87	160	199	66	512
Großenzersdf. 1999	150	225	139	102	616

Tabelle 4: Niederschlagssummen in mm, jahreszeitliche Verteilung 1998 und 1999 (Daten ZAMG)

Die orographische Situation in Wien bewirkt einen Stau effekt an den luvseitigen Hängen des Wienerwaldes, das heißt, in den zentralen Lagen des Wienerwaldes liegen die Jahresniederschlagssummen bei 800 mm und nehmen nach Osten zu ab, von ca. 650 mm in den westlichen Randzonen bis zu 600mm im Übergangsbereich zu den ebenen Gebieten im Osten und Süden Wiens, wo Werte unter 550mm gemessen werden. Dieser Effekt wird auch in Tabelle 4 dokumentiert: Hier traten 1998 und 1999 die höchsten Niederschlagssummen in Mariabrunn im Westen Wiens auf, die niedrigsten in Großenzersdorf im Nordosten. Die höchsten Niederschlagssummen treten in der Regel während der Sommermonate auf, die Niederschlagssumme in der Zeit der Vegetationsruhe schwankt zwischen 134 und 294 mm.

3.1.3. Relative Feuchte

Die relative Feuchte gibt das Verhältnis des in der Luft tatsächlich vorhandenen Dampfdrucks zu dem bei der gegebenen Lufttemperatur maximalen Dampfdruck an.

Jahre	Mai	Juni	Juli	August	September
1980	61	66	68	68	76
1981	66	63	65	63	78
1982	64	64	68	70	73
1983	65	67	56	62	67
1984	71	64	68	66	76
1985	69	69	64	69	70
1986	67	66	62	68	68
1987	69	71	67	71	71

Tabelle 5: Monatsmittel der relativen Feuchte in % in Wien Hohe Warte (nach AUER et al.)

3.1.4. Wind

Die meisten Windmess-Stationen in Wien liegen in großer Höhe (8 - 252 Meter über Grund), wobei die Windgeschwindigkeit mit der Höhe nach einem logarithmischen Gesetz zunimmt. In der Stadt bewirkt die Bebauung eine stärkere Reibung und damit eine Verringerung der Windgeschwindigkeit gegenüber dem Freiland. Daher können keine verlässlichen Angaben über die tatsächlichen Windgeschwindigkeiten in Bodennähe gemacht werden.

3.1.5. Die Verdunstung

Der Übergang von Wasser zu Eis oder Wasserdampf wird als Verdunstung bezeichnet. Bei ungesättigter Luft verdunstet Wasser von jeder feuchten Oberfläche unmittelbar als Evaporation, mittelbar durch die Transpiration der Pflanzen.

In subtropischen Trockengebieten beträgt die potentielle Verdunstung pro Tag 10-15 mm (also 10-15 l Wasser pro m² Oberfläche), in gemäßigten Zonen an Schönwettertagen im Sommer bis 4 mm pro Tag (im Durchschnitt über die Vegetationsperiode 2mm/d).

Bei geschlossener Pflanzendecke ist die Evaporation des Bodens kleiner als die Transpiration. Da eine Trennung der beiden Phänomene messtechnisch sehr schwierig ist, spricht man bei der Wasserdampfabgabe von pflanzenbedeckten Böden von Evapotranspiration. Dabei wird die **Interzeption** (Wasser, das nach Regen an Pflanzenteilen hängenbleibt und direkt verdunstet) mit einbezogen (ca. 1 mm/d).

Um 1 g Wasser bei normalen Außentemperaturen zu verdunsten, werden 2500 J benötigt. Daher kühlen feuchte Oberflächen durch Wasserverdunstung ab (die Ursache für die Transpirationskühlung). Bei der Kondensation zu Tau wird diese Energie wieder freigesetzt.

Haben die Pflanzen unbegrenzt Wasser zur Verfügung, so ist die Evapotranspiration nur von der Zufuhr von Wärmeenergie abhängig. Diesen maximal möglichen Wert nennt man die potentielle Evapotranspiration (nach van EIMERN, J. und H.HAECKEL, 1984).

Potentielle und aktuelle Evapotranspiration hängen von der Beschaffenheit eines Pflanzenbestands ab: Einzelpflanzen transpirieren mehr als vergleichbare in geschlossenen Beständen, raue Oberflächen, die dem Wind Angriffsfläche bieten, mehr als glatte.

Für bewässerte Flächen ist die potentielle Verdunstung gleich der aktuellen. Zur Berechnung kann die Formel von HAUDE (1952, in van EIMERN 1984) herangezogen werden.

$$(1) \quad V_{\text{pot}} = f \cdot (E-e)_{14} \text{ mm/Tag}$$

$(E-e)_{14}$ ist das Sättigungsdefizit der Luft in mbar, errechnet aus der Luftfeuchte und der Lufttemperatur um 14 Uhr.

f ist ein Faktor, der sich jahreszeitlich ändert und für eine Grasfläche repräsentativ ist (die Abweichung zu einem geschlossenen Pflanzenbestand gibt der Autor mit 10% an).

Wie hoch die Bodenfeuchte sein muss, damit die Verdunstung nicht eingeschränkt wird, hängt von der Wurzelmasse und der Bodenart ab. So lange die Bodenfeuchte in der Wurzelzone 60-70% der nutzbaren Kapazität überschreitet, ist die Transpiration in der Regel uneingeschränkt.

3.2. Wasseraufnahme durch die Pflanze

Pflanzen können dem Boden nur solange Wasser entnehmen, wie ihre Feinwurzeln eine höhere (= negativere) Saugspannung als die des Bodens erreichen. Je größer die Fläche des absorbierenden Wurzelsystems ist, um so leichter kann dem Boden Wasser entzogen werden.

Das wird in der Formel von GARDNER (1968) veranschaulicht:

$$(2) \quad W_a = A \cdot \frac{\Psi_{\text{Boden}} - \Psi_{\text{Wurzel}}}{\Sigma r}$$

W_a = Wassermenge A = Austauschfläche Σr = Summe der Transportwiderstände Ψ = Wasserpotential

Die pflanzenverfügbare Wassermenge wird aus der Differenz des Wasserpotentials zwischen Boden und Wurzel berechnet (siehe Formel 2).

Eine andere Berechnung nach TRANQUILLINI (1992) lautet:

$$(3) \quad F = \frac{\Delta \Psi}{\Sigma r}$$

F = Wasserdurchsatz, Flux; $\Delta \Psi$ = Wasserpotentialdifferenz; Σr = Summe der Transportwiderstände

Ist das Saugspannungspotential des Bodens höher (= negativer) als jenes der Wurzeln, ist die Kraft, mit der das Wasser im Boden festgehalten wird, größer als die Saugspannung der Wurzeln, so beginnt die Pflanze zu welken. Als permanenten Welkepunkt (PWP) bezeichnen die Pflanzenphysiologen jenen Wert des Saugspannungspotentials im Boden, ab dem Pflanzenwurzeln dem Boden kein Wasser mehr entziehen können. Er liegt je nach Pflanzentyp zwischen -1 und -4 MPa (Megapascal = 1000 kN/m²), bei Ackerpflanzen wird der PWP mit -1,5 MPa angenommen (LARCHER, 1984).

3.3. Transpiration

Als Transpiration bezeichnet man die Wasserabgabe durch Pflanzenteile.

Das Transpirationsvermögen ist vom Bau der Pflanze abhängig. Die relative (oder das spezifische Transpirationsvermögen) Transpiration ergibt sich aus dem Verhältnis Transpiration zu Evaporation (Tr/Ev). Die maximale Transpiration ist der am natürlichen Standort der Pflanze gemessene durchschnittliche Höchstwert der Transpiration.

Die Diffusion des Wasserdampfes durch die Spaltöffnungen nennt man stomatäre Transpiration, daneben wird auch durch die Epidermiszellen Wasser abgegeben = cuticuläre Transpiration. Bei Bäumen muss man auch die Rindentranspiration von Stämmen, Ästen und Zweigen berücksichtigen (ist aber bei Betrachtung der Gesamtwasserabgabe von geringer Bedeutung).

Bei vollkommen geöffneten Stomata (Spaltöffnungen) ist der Diffusionswiderstand gering und die Transpiration kann bis zu 65% der potentiellen Evaporation betragen, bei geschlossenen Spalten ist nur die cuticuläre Transpiration wirksam, die bei sommergrünen Laubbäumen 10-20% der Gesamttranspiration beträgt (nach LARCHER 1984).

3.3.1. Wasserverbrauch verschiedener Baumarten

Die maximale Gesamttranspiration von sommergrünen Laubbäumen beträgt nach LARCHER (1984) bei geöffneten Spalten **500-800 mg H₂O.dm₂⁻².h⁻¹**, (bezogen auf die Blattfläche, die doppelt gerechnet wird, weil sich auf Blattober- und Unterseite Spaltöffnungen befinden). Beispiel: Die Blattfläche einer 27-jährigen Buche (12 m hoch) beträgt z.B. 50m², das ergibt eine maximale Transpiration von **5-8 Liter** Wasser pro Stunde.

Angaben über die Transpiration verschiedener Baumarten aus der Literatur:

Bergahorn: durchschnittliche jährliche Transpirationsmenge **130 Liter** (2,5 m hoch)¹

Birke: durchschnittliche jährliche Transpirationsmenge **5307 Liter** (14 m hoch, 21 Jahre alt)²
durchschnittliche tägliche Transpirationsrate **70 Liter**³, **38 Liter** (junger Baum, 3-4 m)⁶
Tagesmaxima **140 Liter** (12 m, 28 Jahre)⁴

Buche: durchschnittliche jährliche Transpirationsmenge **3801 Liter** (14 m, 21 Jahre)², für 1 ha Buchenwald ca. **3,6 Mio.** l⁵, durchschnittliche tägliche Transpirationsrate **50 Liter**³, **16 Liter** (junger Baum, 3-4 m)⁶, für 1 ha Buchenwald beträgt sie **30.000-40.000 l** (an einem warmen Sommertag)³, Tagesmaxima **32 Liter** (12 m, 27 Jahre)⁴

Eiche: Tagesmaxima **73 Liter** (12 m, 25 Jahre)⁴

Erle: durchschnittliche jährliche Transpirationsmenge **350 Liter** (2,5 m)¹

Esche: durchschnittliche jährliche Transpirationsmenge **340 Liter** (3 m)¹, Tagesmaxima **47 Liter** (15 m, 27 Jahre)⁴

Spitzahorn: durchschnittliche jährliche Transpirationsmenge **160 Liter** (2,5 m)¹

Weide: durchschnittliche jährliche Transpirationsmenge **800 Liter** (3,5 m)¹

¹ nach BRAUN (in LARCHER 1984), alle Werte wurden an Pflanzen im Schwarzwald gemessen (die Niederschlagssumme ist ungefähr doppelt so hoch wie im Wiener Raum).

² nach KÜNSTLE und MITTSCHERLICH (in LARCHER 1984), Werte stammen aus dem Schwarzwald.

³ nach KALUSCHE, 1996, aus Ökologie in Zahlen, keine näheren Angaben

⁴ nach LADEFOGED, 1963, die Messergebnisse stammen aus Dänemark.

⁵ nach FLINDT, 1986, aus Biologie in Zahlen, keine näheren Angaben

⁶ nach PISEK und CARTELLIERI (1939), Innsbruck

Um Angaben über die Wasserabgabe pro Quadratmeter Grundfläche zu machen, kann man die oben zitierten Werte durch den LAI (Leaf Area Index, m² Blattfläche/ m² Grundfläche, liegt nach LIETH und WHITTAKER, 1975, bei Laubbaumarten unserer Breiten meist zwischen 3-12, wobei am häufigsten Werte zwischen 5 und 6 gemessen werden) dividieren und erhält dann die durchschnittliche jährliche Transpirationsmenge pro m² Grundfläche

Bergahorn (2,5 m): 21,6-25 l

Birke (14 m): 884-1061 l

Buche (14 m): 633-760 l

Erle (2,5 m): 58-70 l

Esche (15 m): 56-68 l

Spitzahorn (2,5 m): 26-32 l

Weide (3,5 m): 133-160 l.

PISEK und CARTELLIERI (1939) haben den Wasserverbrauch junger Baumbestände untersucht:

Baumart	Transpiration in g H ₂ O.g ⁻¹ FG.d ⁻¹	Laubmasse in kg.ha ⁻¹	Bestandstranspiration in mm/a
Birke	8,05	4800	349
Eiche	7,6		360
Lärche	3,2-4,4	6700	286-396
Buche	2,5-2,8	6700	227-254
Fichte	1,42	11000	250
Kiefer	2	9700	309

Tabelle 6: Mittlere Summe der Transpiration in g H₂O.g⁻¹FG.d⁻¹

Die Autoren haben die Transpirationmessungen in Innsbruck an einem klaren Sommertag durchgeführt und die Ergebnisse auf das Frischgewicht der Laubmasse bezogen, wobei sie die Blattgesamtmasse über die Kronenprojektion auf die Grundfläche berechneten. Die Bäume waren drei bis vier Meter hoch.

POLSTER (1950) und TRANQUILLINI (1992, in LYR et al.) untersuchten die mittlere Transpiration von 7-8 jährigen Bäumen (Jahresniederschlag in Innsbruck ca.800 mm):

Baumart	Transpiration	Laubmasse in kg.ha ⁻¹	Bestandestranspiration	
	in g H ₂ O.g ⁻¹ FG.d ⁻¹		pro Tag mm.d-1	in mm/a
Birke	9,5	4940	4,7	430-480
Buche	4,83	7900	3,8	320-370
Lärche	3,24	13950	4,7	460-580
Kiefer	1,88	12550	2,35	240-300
Fichte	1,39	31000	4,3	390-450
Douglasie	1,33	40000	5,3	480-580

Tabelle 7: Mittlere Summe der Transpiration in g H₂O.g⁻¹FG.d⁻¹

KÜNSTLE und MITTSCHERLICH (1977, in LYR et al, 1992) haben Sonnen- und Schattenkronen verschiedener Baumarten eines 21-jährigen Mischbestandes im Schwarzwald untersucht. Die Bäume waren 14 Meter hoch.

Baumart		Transpiration	Bestandestransp. in mm/a
		in kg H ₂ O.pro Baum	
DOUGLASIE	Sonnenkrone	1959	490
	Schattenkrone	409	
KIEFER	Sonnenkrone	2342	480
	Schattenkrone	695	
BUCHE	Sonnenkrone	2034	601
	Schattenkrone	1445	
BIRKE	Sonnenkrone	4420	425
	Schattenkrone	887	

Tabelle 8: Jährliche Transpiration eines 21-jährigen Mischbestandes m Schwarzwald

Ein Vergleich der Tabellen 6-8 zeigt, dass ältere Bäume stärker transpirieren als jüngere, Laubbäume mehr als Nadelbäume und Blätter der Sonnenkronen stärker als Blätter in Schattenkronen. Die hohen Transpirationsraten der Bäume im Schwarzwald (Tabelle 8) und in Dänemark (Angaben nach LADEFAGED) sind einerseits auf erhebliche jährliche Niederschlagssummen (1200 mm im Schwarzwald) und andererseits auf die geringe Bestandesdichte zurückzuführen, da Einzelbäume immer stärker transpirieren als im dichten Bestand. Die verschiedenen Bezugsgrößen der Transpiration (auf Blattfläche, Frisch- oder Trockengewicht der Blätter) erschweren einen direkten Vergleich der Daten.

3.4. Zusammenfassung

Die vorliegenden Transpirationswerte sind natürlich Durchschnittswerte, da ein Großteil aus Einzelmessungen hochgerechnet wurde. Außerdem stammen die meisten Daten von Bäumen aus Forstbetrieben, die keinen großstädtischen Klimabedingungen ausgesetzt sind.

Trotzdem sind die Zahlen gute Anhaltswerte für die Amplitude der Wasserabgabe von Laubbäumen, die in unseren Breiten heimisch sind.

Wesentlich für die Transpirationsleistung von Pflanzen sind die klimatischen Bedingungen am Standort.

Die Hauptmerkmale des städtischen Klimas sind (nach MEYER, 1982):

1. Vorhandensein einer Dunstglocke, die die Gesamteinstrahlung bis zu 30% mindert und die Ausstrahlung herabsetzt.
2. Im Jahresdurchschnitt um 0,5-2° C höhere Lufttemperaturen
3. Weniger Eis- und Frosttage, aber mehr Sommertage, Verkürzung der Schneedeckendauer
4. Längere Vegetationsperiode
5. Oft höhere Tag- und Nachttemperaturen
6. Verringerung der relativen Luftfeuchte

Das bedeutet, dass Bäume im großstädtischen Bereich neben der hohen Schadstoffbelastung (Staub, Abgase, Streusalz) auch klimatisch ungünstigen Verhältnissen ausgesetzt sind.

Geringere relative Luftfeuchte und höhere Temperaturen erhöhen die potentielle Evapotranspiration, das heißt, die Pflanzen sind einem höheren Transpirationsstress ausgesetzt.

Ein Maß zur Berechnung von Grundwasserneubildung ist die **klimatische Wasserbilanz**. Sie beschreibt die Differenz zwischen Niederschlagshöhe und potentieller Evapotranspiration. Nach LIANG (1982) beträgt die **potentielle Evapotranspiration** für Wien – Hohe Warte **674 mm**, die **aktuelle Evapotranspiration** **473 mm** und die **Niederschlagssumme** wird mit **630 mm** angegeben, das heißt, die Wasserbilanz ist negativ und der Fehlbetrag (im Fall von Wien 44 mm)

muss von der nutzbaren Feldkapazität abgezogen werden. Wären Pflanzen in Wien optimal mit Wasser versorgt, könnten sie aufgrund der klimatischen Verhältnisse mehr Wasser abgeben als durch Niederschläge eingebracht wird. Wenn dieser optimale Versorgungszustand nicht gegeben ist, sind die Pflanzen gezwungen, ihre Transpiration einzuschränken, was eine Verminderung von Wachstum und Reservestoffbildung zur Folge hat.

Im Bericht „Grundwassersanierung Korneuburger Bucht“ (1997) geben die Autoren für landwirtschaftlich genutzte Böden nördlich von Wien in den Jahren 1993-94 eine negative Wasserbilanz an, für 1994 beträgt die errechnete Differenz **303 mm**. Trotz dieses erheblichen Wasserbilanzdefizits gehen die Autoren aber davon aus, dass in den Wintermonaten ein Wasserüberschuss auftritt und der Boden sich wieder aufsättigt.

Überträgt man diese Ergebnisse auf die Situation eines Wiener Parks, so kann man davon ausgehen, dass die Transpiration junger Laubbäume ungefähr **300 mm** pro Vegetationsperiode (Anfang Mai-Ende September) betragen wird, ältere Bäumen werden **400-450 mm** verbrauchen (Einzelbäume sind zwar einem höheren Windstress ausgesetzt, sie besitzen aber eine geringere Blattfläche als Bäume im geschlossenen Bestand, daher wird ihre Transpiration im Schnitt nur 10% höher sein). Eine exakte Wasserbilanz hängt vom Mikroklima des Standorts ab, da in Wien lokal sehr unterschiedliche Klimaverhältnisse herrschen (siehe Tab.1).

Da das im bodenkundlichen Abschnitt (siehe 4.3.1) vorgeschlagene Substrat Löss eine sehr hohe Feldkapazität besitzt und eine günstige Porengrößenverteilung aufweist, sollte es möglich sein, ohne zusätzliches Gießwasser im Sommer auszukommen. Voraussetzung dafür ist neben der Speicherkapazität des Bodens die Anzahl von niederschlagsfreien Tagen während der Vegetationszeit. Da in Wien oft der Sommer die niederschlagsreichste Jahreszeit ist (siehe Tabelle 3 und Tabelle 4), sollten zumindest Bäume aufgrund der großen Durchwurzelungsdichte und der Speicherkapazität in Ästen und im Stamm mit dem vorhandenen Wasser das Auslangen finden. Krautige Pflanzen werden längere Trockenperioden ohne Gießen nicht überstehen.

4. Bodenphysikalische und –chemische Anforderungen an das Substrat

O. Univ. Prof. DI Dr. DDDr. Winfried BLUM
Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Nicola RAMPAZZO
Institut für Bodenforschung
Universität für Bodenkultur Wien

4.1. Vorgabe und Ziel des bodenkundlichen Gutachtens

Der Wiederaufbau des Bodenzustandes ist eine wesentliche Voraussetzung für die Schaffung eines erholungswirksamen Baumbestandes in öffentlichen Parkanlagen der Stadt Wien, errichtet über Tiefgaragen. Ziel des vorliegenden bodenkundlichen Teiles des Expertengutachtens ist es, Richtlinien für die zu verwendenden Materialien sowie deren Aufbringung vorzuschlagen.

4.2. Bodenkundliche Aspekte

4.2.1. Allgemeines

Grundsätzlich bedeutet eine Umlagerung bzw. Umschichtung von Bodenmaterial unterschiedlicher Körnung eine Veränderung des Wasser- und Lufthaushaltes. Dies hat unmittelbar mit der Veränderung der Porengrößenverteilung und deren Kontinuität bzw. der Bodenstruktur zu tun und ist bei Einsatz von schweren Planiegeräten besonders gravierend, da dabei auftretende Verdichtungen nur durch Tiefenlockerung (z.B. grubbern) nachträglich behoben werden können.

Entscheidend für einen ausgewogenen Wasser- und Lufthaushalt ist die Schaffung und Erhaltung einer optimalen Bodenstruktur, d.h. einer entsprechenden Lagerungsdichte, einer entsprechenden Gesamtporosität, aber vor allem eines optimalen Verhältnisses zwischen Fein-, Mittel- und Grobporen, s. RAMPAZZO et al., 1998.

Für die Entstehung einer bestimmten Bodenstruktur ist zunächst die Korngröße und Kornform der Bodenteilchen verantwortlich. Das heißt, durch Auswahl bestimmter Körnungen bzw. Kornmischungen kann man die Entstehung einer bestimmten Bodenstruktur beeinflussen. Durch die kontinuierliche physikalisch-chemisch-biologische Weiterentwicklung des Bodens wird die Bodenstruktur von zusätzlichen weiteren Parametern beeinflusst, vor allem durch die Entstehung von Risssystemen aufgrund von Schrumpfungs- und Quellungsprozessen sowie durch Einfluss von Bodentieren (speziell Regenwürmern) und Pflanzenwurzeln.

4.2.2. Wasser-, Luft- und Nährstoffhaushalt

Für die Gewährleistung des Wachstums einer bestimmten Baumart müssen Nährstoffe, Wasser und Luft durch den Boden in einem ausgewogenen Verhältnis bereitgestellt werden. Auch dies ist letztendlich eine Frage der physikalisch-chemisch-biologischen Zusammensetzung des Bodens. Die Grundidee bei der Errichtung von Parkanlagen über Tiefgaragen besteht darin ein Bodensubstrat zu schaffen, bei dem weder Nährstoffdüngung noch künstliche Bewässerung erforderlich sind, um das Baumwachstum zu gewährleisten. Das bedeutet, dass der Baumbestand mit der durchschnittlichen Niederschlagsmenge für Wien auskommen muss. Es darf also Regenwasser weder verloren gehen noch Staunässe verursachen, was bisher offensichtlich eher das Problem war. Die Erfüllung dieser Bedingungen seitens des Bodens ist nur durch einen optimalen, stabilen Bodenstrukturzustand möglich.

4.2.3. Bodenkundliche Parameter

Folgende Parameter sind bei der Auswahl des Bodenmaterials und dessen Aufbringung zu berücksichtigen:

Physikalische Bodenparameter

- Körnung (Korngröße und Kornform)

Chemische Bodenparameter

- pH-Wert
- C_{org} - (Humusgehalt)
- Karbonatgehalt

Mineralogische Bodenparameter

- Tonmineralogische Zusammensetzung

Biologische Bodenparameter

- Regenwurmbesatz

Folgende bodenkundlichen Parameter sollten beim Bodenaufbringen beachtet werden:

Physikalische Bodenparameter

- Effektive Lagerungsdichte von Ober- und Unterboden
- Gesamtporenvolumen von Ober- und Unterboden
- Pflanzenverfügbares Wasser (nutzbare Feldkapazität nFK) im gesamten Wurzelraum
- Aggregatstabilität im gesamten Wurzelraum

4.3. Vorschlag aus der Sicht der Bodenkunde

4.3.1. Auswahl des Bodensubstrates

Wie in Kapitel 3.1.2 dargestellt, beträgt die Niederschlagssumme während der Vegetationsruhe 134 bis 294 mm; dazu kommt noch der Niederschlag zu Beginn und zum Ende der Vegetationsperiode, den die Pflanzen noch nicht bzw. nicht mehr aufnehmen können. Wie schon erwähnt, darf dieser Teil des Niederschlags weder durch Versickerung verloren gehen, noch Stauzonen bilden, die Durchlüftungsprobleme für die Baumwurzeln verursachen würden. Grundsätzlich kann gesagt werden, dass optimale Zielvorgaben für die Porenraumverteilung und damit für die Wasserverteilung schwer zu definieren sind, da Pflanzen in einem breiten Saugspannungsbereich (zwischen 0,006 und 1,5 MPa bzw. pF-Werten zwischen 1,8 und 4,2) Wasser aus dem Boden entnehmen. Dieses sogenannte pflanzenverfügbare Wasser wird nur in Mittel- bzw. engen Grobporen des Bodens (Porendurchmesser 0,2µm bis 50µm) gespeichert. Wie dann tatsächlich eine bestimmte Wassermenge bei einer gegebenen Porenstruktur verteilt bzw. gebunden wird hängt u.a. von der Infiltrationsrate, vom Wassergehalt des Bodens vor dem Regenereignis und von der Intensität der Niederschläge ab.

Es gilt also ein Bodensubstrat bereitzustellen, das einen hohen Mittelporenanteil aufweist und fähig ist, ca. 300 mm Niederschlag in 150 cm Tiefe pflanzenverfügbar zu speichern. Das bedeutet ca. 20 mm nutzbare Feldkapazität/dm Bodentiefe. Eine solche nFK (= nutzbare Feldkapazität = maximale Speicherfähigkeit des Bodens für pflanzenverfügbares Wasser) ist sehr hoch und kann durch wenige Bodenarten bei optimaler Lagerung erreicht werden.

Aus den genannten Gründen sind daher bei der Auswahl des Substrates folgende Kriterien zu berücksichtigen:

Physikalische Bodenparameter:

Körnung. Die höchste nFK wird bei Böden aus **Löss** erreicht, weil dieser einen sehr hohen Schluffanteil aufweist. Daher würde sich **Lössmaterial, z.B. aus dem Weinviertel**, mit der Bodenart „sandig bis lehmiger Schluff“ (sU – IU) mit Korndurchmesser vorwiegend zwischen 20µm und 100µm besonders gut eignen. Auch die Kornform ist dabei zu berücksichtigen. Abgerundete Kornformen, wie zum Beispiel bei Sanden, fördern eher die Dichtlagerung, da sie sich mit der Zeit zu setzen beginnen, speziell dann, wenn wenig organische Substanz vorhanden ist. Lössschluff dagegen weicht aufgrund seiner äolischen Entstehung (äolisches Sediment) von

der sphärischen Form ab und ergibt bei sonst gleichen Lagerungsbedingungen eine größere Gesamtporosität mit hoher Stabilität.

Chemische Bodenparameter:

pH-Wert. Dieser sollte um den Neutralpunkt (7,0) sein, damit genügend Ca^{++} -Ionen für die Strukturstabilität vorhanden sind. Lössschluff aus der genannten Gegend hat in der Regel einen pH-Wert von 7,0-7,5.

C_{org}- (Humusgehalt). Der Humusgehalt ist für die biologischen Prozesse und für die Erhaltung der Strukturstabilität sehr wichtig. Ein Humusgehalt im Oberboden (0-50 cm) von mindestens 3-5% sollte angestrebt werden. Dies kann zum Beispiel durch Beimengung von Kompost zum Löss erzielt werden.

Karbonatgehalt. CaCO_3 ist eine sehr wichtige aggregierende und strukturstabilisierende Komponente im Boden. Lössmaterial aus dem Weinviertel enthält CaCO_3 .

Mineralogische Bodenparameter:

Tonmineralogische Zusammensetzung. Diese ist insofern relevant, als manche Tonminerale, vorwiegend Dreischicht-Tonminerale der Smectitgruppe, sehr viel Wasser adsorbieren und in lang anhaltenden Naßphasen dabei in einen gequollenen, oft undurchlässigen Zustand übergehen. Lössmaterial ist dagegen reich an Illit (Glimmerabkömmling), ein Tonmineral das nur bedingt quillt und daher die Wasserleitfähigkeit des Bodens nicht beeinträchtigt.

Biologische Bodenparameter:

Regenwurmbesatz. Regenwürmer sind für die Schaffung und Erhaltung einer optimalen Bodenstruktur die wichtigsten Tiere in Böden. Sie üben enorme Drücke aus, sowohl axial als auch radial, bilden durch die Passage von Erdmaterial durch ihren Verdauungstrakt extrem wasserstabile Kotaggregate und hinterlassen dauerhafte Gänge, die zu den wichtigsten luftführenden Grobporen zählen. Sofern mit dem humosen Oberboden (0-50 cm) nicht genügend Regenwürmer aufgebracht werden können, wäre eine zusätzliche Beimischung bei der Baumbepflanzung der Parkanlage empfehlenswert.

4.3.2. Beschüttungsverfahren

Mit welcher Technik und mit welchen Geräten das Bodensubstrat aufgebracht wird, ist keine unmittelbare bodenkundliche Frage. Die bisherigen Ergebnisse zeigen jedoch, dass trotz Aufbringung von Substraten der Bodenart „lehmiger Sand“, Staunässe und Sauerstoffmangel für die Pflanzenwurzeln festgestellt wurden. Dies deutet auf eine zu starke mechanische Verdichtung möglicherweise durch Planie- oder sonstige Arbeiten hin. Solche Verdichtungen sind dann so gut wie irreversibel, wenn sie nicht nachträglich behoben werden.

4.3.3. Überprüfung des Verdichtungszustandes

Es nützt also die Auswahl des besten Substrates nichts, wenn man bei der Aufbringung nicht auf eine optimale Lockerung achtet. Für künstlich geschüttete Substrate in Parkanlagen sind daher nach der Baumbepflanzung folgende bodenphysikalischen Kennwerte unbedingt zu prüfen:

Effektive Lagerungsdichte (δB_{eff}). Eine effektive Lagerungsdichte von $1,2 - 1,4 \text{ g.cm}^{-3}$ darf nicht überschritten werden; nur damit kann eine Luftkapazität von ca. 15 Vol.% bzw. eine Gesamtporosität von ca. 45-50 Vol.% garantiert werden.

Pflanzenverfügbares Wasser (nutzbare Feldkapazität nFK). Um die gewünschte nFK von ca. 20 mm/dm Bodentiefe zu entwickeln, ist ein Mittelporenanteil von ca. 20 Vol.%/ dm Bodentiefe anzustreben. Durch Bodenverdichtung vermindert sich der Anteil an Grob- und Mittelporen zugunsten von Feinporen, was die Bodendurchlüftung stark beeinträchtigt und verhindert, dass das vorhandene Bodenwasser pflanzenverfügbar wird.

Aggregatstabilität. Um die Bodenstruktur und damit einhergehende Prozesse des Wasser- und Lufthaushaltes stabil zu behalten, ist eine Stabilität der Bodenaggregate gegenüber Regenschlag von mind. 40 % notwendig. Dies kann nur mittels Einbringung von stabilisierenden Stoffen (vor allem organische Substanz, nicht quellfähige Tonminerale, Karbonatgehalt) erreicht werden.

4.4. Zusammenfassung

Bei der Errichtung von Tiefgaragen unterhalb öffentlicher Parkanlagen ist eine Erhaltung oder Wiederherstellung deren Funktionen (mikroklimatisch, ökologisch, soziologisch, wirtschaftlich etc.) notwendig. Eine wesentliche Rolle spielt dabei die Zusammensetzung und Aufbringung des Bodensubstrates, weil das Baumwachstum lediglich durch Regenwasser und im Boden

vorhandene Nährstoffe erreicht werden soll. Deshalb sind die Ansprüche an eine optimal funktionierende Bodenstruktur sehr hoch.

Die Materialbeschüttung sollte deshalb so konzipiert werden, dass überschüssiges Sickerwasser durch eine Drainage (Schotterkörper) abfließen kann.

Es wird empfohlen, als Unterboden (50-150 cm) Lössmaterial mit der Bodenart lehmiger Schluff zu verwenden. Dieses Material könnte für den Oberboden (0-50cm) mit hoch qualitativem Kompost und Grobsand (Körnungsdurchmesser 0,630-2 mm) im Verhältnis 50:30:20 (Löss : Kompost : Grobsand) vermischt werden.

Nach der Bepflanzung müssen unbedingt Dichte, Porosität und nFK des Bodens gemessen werden, wie in Tabelle 9 angegeben. Bei Überverdichtung muss nach der Bepflanzung unbedingt eine lokale Tiefenlockerung (z.B. durch Grubbern) vorgenommen werden.

Parameter

pH-Wert	7.0 – 7.5
Org. Substanz	3 – 5 Gew.%
Karbonatgehalt	Karbonathältig
Effektive Lagerungsdichte	1.2 – 1.4 g/cm ³
Luftkapazität	ca. 15 Vol.%
Gesamtporenvolumen	45 – 50 Vol.%
Nutzbare Feldkapazität	20 mm/dm Bodentiefe
Aggregatstabilität nach Murer et al. 1993	mind. 40 Gew.%

Tabelle 9: Erforderliche und zu prüfende physikalisch-chemische Bodenkennwerte des Substrates für Tiefgaragen nach der Aufbringung, nach KUNTZE et al., 1994, MURER et al., 1993, RAMPAZZO et al., 1998, SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1989.

5. Bautechnische Anforderungen

O. Univ.Prof. Dr. Florin FLORINETH
DI Günter FITZKA
Arbeitsbereich Ingenieurbiologie und Landschaftsbau
Universität für Bodenkultur Wien

5.1. Einleitung

Das Teilgutachten „Bautechnische Anforderungen“ behandelt, aufbauend auf den Aussagen der voranstehenden Teile die praktische Durchführung und technische Details der Aufbringung des Bodens. Darüber hinaus werden Aussagen zur Standsicherheit von Bäumen getroffen.

5.2. Baumstatik und Standsicherheit

Eine der Vorgaben seitens des Auftraggebers ist, dass auf den Tiefgaragen auch mittel- und großkronige Bäume verwendet werden können, damit das Stadtklima positiv beeinflusst wird. Deshalb ist es notwendig, die Standsicherheit großer Bäume in einem begrenzt durchwurzelbaren Bodenkörper zu bestimmen.

Obwohl Bäume, wie alles Natürliche, sich durch ihre unterschiedliche Wuchsform nur schwer exakt mathematisch berechnen lassen, sind dank ausführlicher Untersuchungen ausreichend genaue Aussagen zur Baumstatik möglich.

Das Grundprinzip hierbei ist, dass die oberirdisch angreifenden Windkräfte von den unterirdisch wirksamen Verankerungskräften des „Wurzelfundaments“ übertroffen werden müssen.

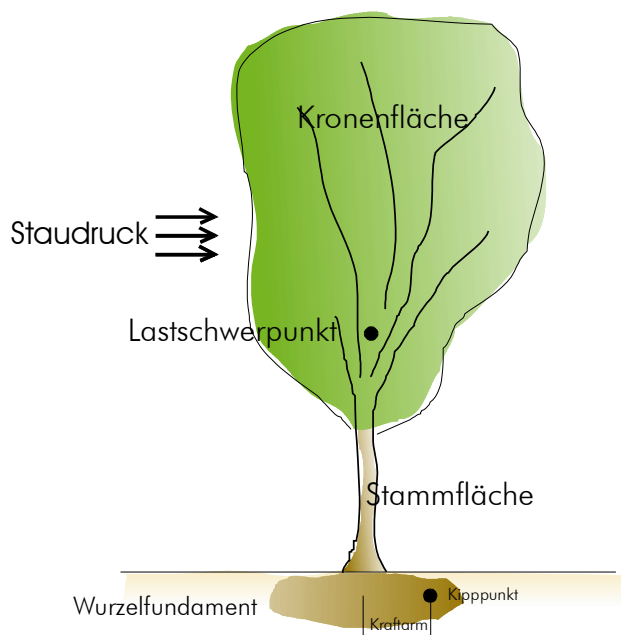


Abbildung 1: Auf den Baum einwirkende Kräfte und Lasten. Die angreifende Windkraft muss eine Entsprechung im Wurzelfundament finden. (Nach: G. SINN: Baumstatik, www.baumstatik.de, vereinfacht)

5.2.1. Winddruck

Mehrere Faktoren bestimmen die gesamte an den Baum angreifende **Windlast**:

Der **Staudruck (q)** ist eine Funktion aus der Luftdichte und Windgeschwindigkeit. Die Windgeschwindigkeit nimmt mit zunehmender Höhe zu, zwischen hohen Gebäuden kann er durch die Düsenwirkung bis auf das 2,6fache erhöht werden. Auch die Böigkeit und Eigenschwingungen vergrößern die angreifenden Kräfte. Vermindert wird er durch den mit zunehmender Windgeschwindigkeit abnehmenden **Luftwiderstandsbeiwert c_w** um bis zu 2/3. Die Angriffsfläche A ist abhängig von Größe und Form der Krone sowie der Dicke des Stammes. Die an die spezifischen Besonderheiten der Bäume angepasste Windlastformel lautet:

$$W = c_w \cdot q_{\text{eff}} \cdot A$$

Mit Hilfe dieser Formel wurden die Windlasten und mit Berücksichtigung des Angriffspunkts der Last die Windlastmomente ausgewählter Bäume berechnet, die grafische Darstellung des Verhältnisses der Baumhöhe zum Windlastmoment ist aus Abbildung 2 ersichtlich:

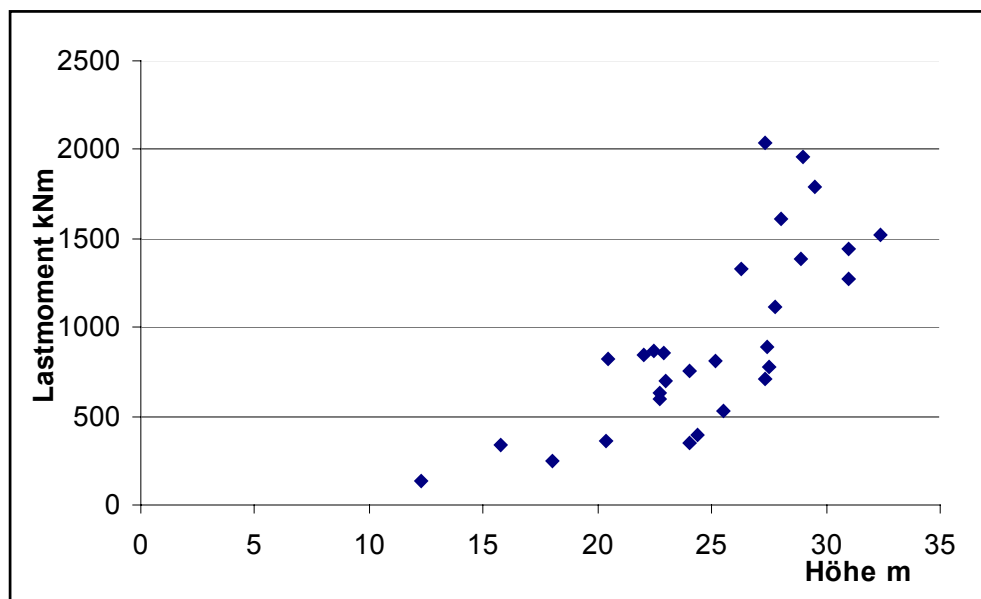


Abbildung 2: Windlastmomente in Abhängigkeit von der Baumhöhe. Daten aus: Mitteilung 017 der Arbeitsstelle für Baumstatik (AfB): Maximale Windangriffsflächen und Windlasten von Bäumen.

Erst ab einer Baumhöhe von über 25 m steigen die Lastmomente stark an. Darunter sind die angreifenden Kräfte noch relativ gering. Besonders hohe Windlastmomente erreichen Buchen, Pappeln, Platanen und ähnliche starkstämmige Baumarten.

5.2.2. Wurzelraum

Um die Standsicherheit zu gewährleisten, muss das Standmoment, das durch den statisch wirksamen Wurzelraum, das oberirdische Baumgewicht und den Abstand (=Kraftarm) von der Stammmitte zum wahrscheinlichen Kippunkt des Wurzeltellers definiert wird, das Windlastmoment übertreffen. Nach den Grundsätzen der Baustatik soll der Sicherheitsfaktor hierbei mindestens 1,5 betragen.

Der statisch wirksame Wurzelraum ist abhängig von der Durchwurzelungstiefe und der Form des durchwurzelten Raumes, optimal ist eine zylindrische Form.

KÖSTLER u.a. (1968) untersuchten die Wurzeln einiger hundert Bäume und werteten unzählige Literaturstellen aus: die Wurzeln fast aller Bäume erreichen keine größeren Tiefen als 1,2 bis 1,8 m, unabhängig von ihrem Wurzelsystem. Auch als Pfahlwurzler bekannte Bäume (z. B. Nussbaum, Ahorn) entwickeln ihre Pfahlwurzel nur im Jugendstadium, im Alter bilden sie Senker bis in eine Tiefe von ca. 1,5 m aus. Eine Ausnahme bilden die als Pioniere bekannten Gehölze wie Robinie, Birke und Erle, sie können durchaus tiefergehende Wurzeln ausbilden.

In sandigen, gut durchlüfteten Böden erreichen die Wurzeln größere Tiefen als in lehmig-tonigen Böden. Für das verwendete Substrat kann somit davon ausgegangen werden, dass die Wurzeln bis zu einer Tiefe von 1,5 m den zur Verfügung gestellten Raum vollständig ausnutzen.

5.2.3. Resümee

Bei einem angenommenen Windlastmoment von 1000 kNm (das entspricht Baumhöhen bis ca. 25 m), einer verfügbaren Wurzelraumtiefe von 1,5 m, einem Kippunktabstand von 2 m und einer durchschnittlichen Dichte von 1,3 g/cm³ ist ein Fundamentvolumen von 39 m³ für die Gewährleistung der Standsicherheit notwendig. Bei einem zylindrischen Wurzelteller entspricht dies einem Radius von **2,86 m**, diesen Raum sollten die Bäumen sowieso beanspruchen können.

Eine Erhöhung der verfügbaren Substratdicke auf 2 m würde eine Reduzierung des notwendigen Radius auf 2,47 m erlauben.

Wird dagegen durch ein Hindernis der Wurzelraum seitlich beschränkt, so erhöht sich dadurch das notwendige Wurzelraumvolumen: bei einer beidseitigen Beschränkung auf einen 2 m breiten Streifen muss dieser Streifen mindestens 33 m lang sein (bei einer Tiefe von 1,5 m).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass eine Bepflanzung mit großkronigen Bäumen bis zu 25 m Höhe bei einem ausreichenden Platzangebot für die Wurzeln auch bei einer Substratdicke von 1,50 m möglich ist. Bei Einengungen des Wurzelbereiches ist die Standsicherheit jedoch jeweils unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten zu bestimmen, aller Voraussicht nach können großkronige Bäume hierbei selten verwendet werden.

Für klein- bis mittelkronige Bäume bestehen bei guten Standortbedingungen keine Bedenken bezüglich der Standsicherheit, an exponierten Extremstandorten (z. B. bei Düsenwirkung des Windes zwischen höheren Häusern) muss ebenfalls eine Überprüfung vorgenommen werden.

5.3. Schichtaufbau

Im allgemeinen wird für eine intensive Begrünung auf Dachflächen und über Tiefgaragen ein drei- oder vierschichtiger Aufbau gefordert: Dränschicht, Filterschicht und eine ein- oder zweischichtige Vegetationsschicht (FLL 1995, KRUPKA 1992). Dies deckt sich auch mit dem geplanten Aufbau. Die einzelnen Schichten, deren Funktionen und die sich daraus ergebenden Anforderungen sind im Folgenden beschrieben.

5.3.1. Dränschicht

Die Dränschicht nimmt überschüssiges Sickerwasser auf und sorgt für die rasche Ableitung. Voraussetzung hierfür ist ein hoher Anteil an Grobporen. Erreicht wird dies durch Verwendung relativ gleichkörnigen Materials ohne Feinanteile. Am gängigsten ist Kies oder Splitt der Körnung 4/8 bis 8/16.

Eine Wasserspeicherung im Dränschichtmaterial würde die gesamte Speicherfähigkeit des Aufbaus erhöhen. Dies ist jedoch bei der Verwendung von gut wasserspeicherndem Ober- und Unterbodensubstrat hier nicht notwendig.

Die Dicke der Dränschicht sollte nach FLL (1995, S. 25) mindestens 25 cm betragen, dies geht über die entwässerungstechnischen Anforderungen hinaus. Begründet wird dies mit einer erwünschten Vergrößerung des durchwurzelbaren Volumens und einer hohen Luftführung. Im vorliegenden Fall übernimmt das darüber liegende Substrat diese Funktionen, es reicht eine Dränschichtdicke von 15 cm aus.

Anforderungen an die Dränschicht (nach FLL 1995, S. 27ff)

- Anteil an Bestandteilen <0,063 mm höchstens 2 Gew%
- Kornverteilung zwischen 4/8 mm bis 8/16 mm
- Frostbeständigkeit
- Struktur- und Lagerungsstabilität: gebrochene Körnungen sind vorzuziehen
- Wasserinfiltrationsrate $K_f > 0,3 \text{ cm/s}$ (=180mm/min)
- pH-Wert 6,0-8,5
- Karbonatgehalt <6g/Liter (zur Vermeidung von Versinterung)
- Gehalt an löslichen Salzen < 2,5 g/Liter

Am leichtesten werden diese Anforderungen mit Splitt erreicht. Weitere mögliche Materialien wären Blähton oder Ziegelsplitt. Blähton weist eine zu geringe Druckfestigkeit auf, Ziegelsplitt ist prinzipiell geeignet, bedarf jedoch einer genauen Güteüberwachung: Recyclingmaterial aus Abbruchhäusern weist im allgemeinen einen zu hohen Karbonat- und Salzgehalt auf. Ziegelbruch, der bei der Herstellung von Ziegeln anfällt, ist vorzuziehen.

Ziegelsplitt hat von den drei genannten Materialien die höchste Wasserspeicherfähigkeit (LIESECKE 1989).

5.3.2. Filterschicht

Die Filterschicht verhindert das Eindringen von Feinteilen in die Dränschicht, ermöglicht jedoch eine Durchwurzelung und das Hindurchsickern überschüssigen Wassers aus der Vegetationsschicht in die Dränschicht. Es werden Geotextilien in Form von Vliesstoffen eingesetzt.

Anforderungen an die Filterschicht (nach FLL 1995)

- Flächengewicht mindestens 200 g/m²
- Durchdrückwiderstand > 1000 N
- Wirksame Öffnungsweite < 0,2 mm
- Die Wasserdurchlässigkeit muss mindestens 10fach größer sein als die Wasserdurchlässigkeit des Unterbodens
- Durchwurzelbarkeit für Feinwurzeln

5.3.3. Vegetationsschicht

Die Anforderungen aus bodenkundlicher und pflanzlicher Sicht werden hier nicht behandelt, siehe hierzu den Punkt 4.3.1.

Die Vegetationsschicht soll bei einer Verwendung von Großbäumen mindestens 150 cm stark sein (siehe obige Ausführungen zur Baumstatik und FLL 1995, wobei die FLL von einem durchschnittlichen Jahresniederschlag von 820 mm ausgeht). Bei dieser Stärke wird die Vegetationsschicht - analog zu natürlich gewachsenem Boden – in Unter- und Oberboden aufgeteilt. Eine Verwendung von Mischsubstraten mit leichten Materialien, wie bei Dachbegrünungen meist üblich, ist aus statischen Gründen nicht notwendig und aus

Kostengründen auch nicht erwünscht. Außerdem haben die in Frage kommenden Materialien (Lava, Blähton, Ziegelbruch) bei weitem keine so hohe Wasserspeicherfähigkeit wie ein schluffiger Boden. Der Großteil ihres Porenvolumens besteht aus Grobporen, die zwar für eine rasche Wasserabfuhr sorgen, jedoch kein Wasser längere Zeit speichern. Oben genannte Baustoffe bringen also nur Vorteile hinsichtlich der Wasserspeicherung, wenn sie Splitt oder Kies substituieren, nicht jedoch bei der Verwendung als Oberbodensubstrat (siehe auch 5.3.1).

Der **Unterboden**, der noch vom Tiefgaragenerrichter eingebaut wird, erfüllt zwei Hauptfunktionen:

als Grundlage für die Vegetation mit allen sich daraus ergebenden Konsequenzen (Nährstoffangebot, Lufthaushalt, Wasserspeicherung, ...) und

als Untergrund (Planum) für Verkehrswege, Plätze und Aufbauten.

Der Unterbau für Bauten muss je nach Art und Nutzung des Bauwerks unterschiedliche Anforderungen an die Belastbarkeit erfüllen. Es kann aufgrund der Körnungskurve und Zusammensetzung davon ausgegangen werden, dass der vorgeschlagene Lössboden ausreichend tragfähig ist, wenn er dementsprechend verdichtet wird.

Bei einer flächigen Schüttung und Verdichtung nach tiefbautechnischen Kriterien (Elastizitätsmodul) wird die Bodenstruktur nachhaltig zerstört. Ein anschließendes Lockern des Untergrunds unter den Vegetationsflächen kann das ursprüngliche Aggregatgefüge nur sehr begrenzt wiederherstellen. Auch lehrt die Erfahrung, dass eine Tiefenlockerung nur sehr selten fachgerecht durchgeführt wird.

Deshalb wird festgelegt, dass keine flächigen Verdichtung des Untergrundmaterials durchgeführt werden darf. Statt dessen wird erst bei der Ausführung von Bauwerken nur auf den dafür notwendigen Flächen eine nachträgliche Verdichtung bis zum Erreichen der notwendigen Belastbarkeit durchgeführt. Damit wird eine größtmögliche Schonung der Vegetationsbasis erreicht. Die nach dem Einbau zu überprüfenden Werte sind im bodenkundlichen Abschnitt aufgelistet. Der **Oberboden** soll einen geringen Anteil an Feinteilen (Ton) haben, damit es nicht zu einer Ausbildung von Stauhormonten kommt. Eine wünschenswerte Kornverteilung ist in folgender Sieblinie (schwarz) dargestellt, die ungefähre Kornverteilung des im bodenkundlichen Abschnitt empfohlenen Lösses mit einem Maximum im Bereich von 0,01 bis 0,06 mm ist in Rot dargestellt.

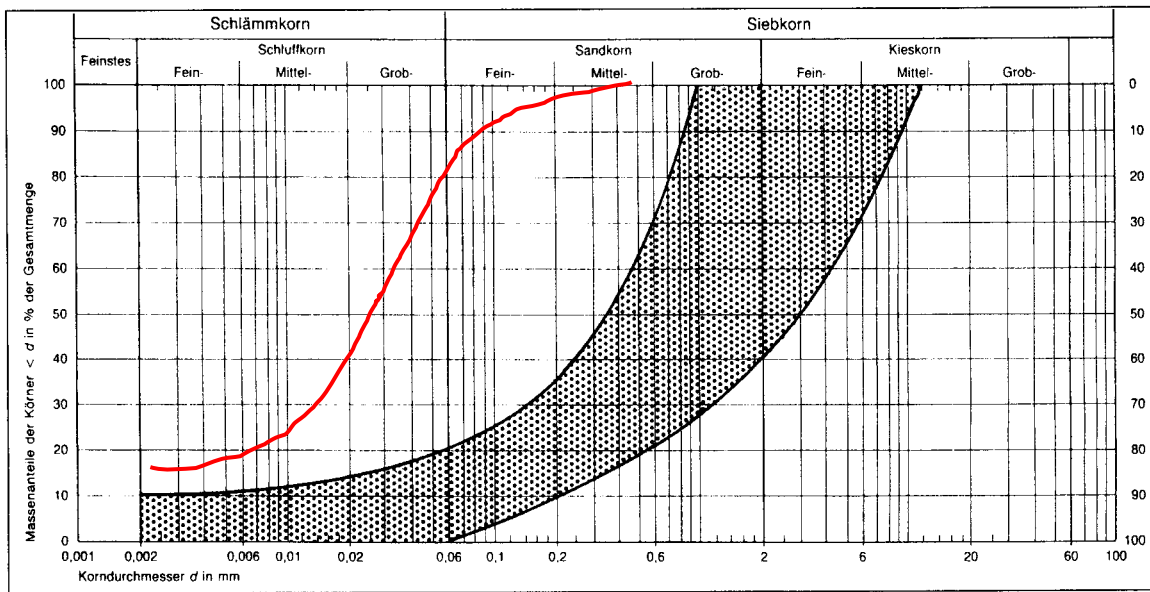


Abbildung 3: Optimaler Kornverteilungsbereich für den Oberboden einer intensiven Dachbegrünung (Aus FLL 1995). Rote Linie: Kornverteilung von Löss, nach Scheffer/Schachtschabel 1992.

Aus bautechnischer Sicht hat Löss somit einen zu großen Anteil an feinen Korngrößen, eine Mischung mit grobem Sand in den oberen Schichten würde diesen Nachteil beheben. Positiv ist jedoch der große Anteil an relativ gleichgroßen Körnungen im Schluffbereich: die Verdichtbarkeit eng gestufter Materialien ist wesentlich geringer als die weit gestufter.

Die Bearbeitbarkeit eines Schluffbodens ist als gut einzustufen, er ist nur wenig witterungsempfindlich (LEHR 1985, S.159).

5.4. Bautechnik und praktische Ausführung

5.4.1. Material

Aus den voranstehenden Ausführungen der Themen Humanökologie, Baumphysiologie und Bodenkunde und den Kapiteln 5.2 und 5.3 dieses Teils ergibt sich folgender Substrataufbau:

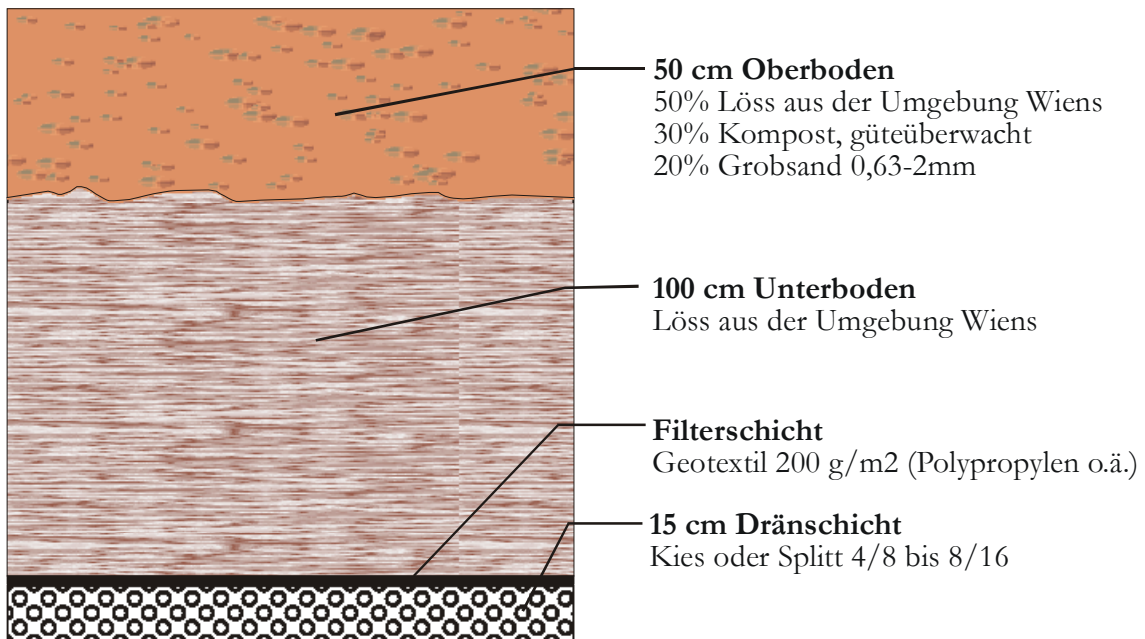


Abbildung 4: Aufbau des vorgeschlagenen Substrates.

Löss kommt in der Wiener Umgebung, vor allem im nördlichen Weinviertel zum Teil flächendeckend in einer Mächtigkeit von bis über 10 Metern vor. Er steht direkt unter dem Oberboden an und fällt somit bei Bautätigkeiten als Aushubmaterial in großen Mengen an. Nach Auskunft eines Bauunternehmens (BM WATZINGER, Ziersdorf) ist mit einem Materialpreis von max. 10 öS/to zu rechnen. Ins Gewicht fallen somit lediglich die Transportkosten: Bei einer Entfernung von ca. 50 km würde sich die Tonne auf rund **90 öS** belaufen⁷ (1 LKW 2,5 Std à 650 öS, 20 to/LKW). Auch die anderen Komponenten sind einfach zu beschaffende Baustoffe, Kompost kann von der MA 48 bezogen werden.

5.4.2. Ausführung

1. Die Dränschicht ist überall mit der geforderten Mindestschichtdicke (15 cm) einzubauen. An entwässerungstechnischen Problemstellen sind zusätzlich Dränagerohre zu verlegen.
2. Die Filterschicht ist oberflächenparallel zur Dränschicht einzubauen, die Bahnen sind mit mindestens 10 cm Überlappung zu verlegen und an den Rändern bis unter die Oberfläche der Vegetationsschicht hochzuführen. Da Vliesstoffe nicht dauerhaft witterungsbeständig sind, sollen sie innerhalb einer Woche überschüttet werden.
3. Alle Materialien sind in trockenem bis maximal leicht feuchten Zustand anzuliefern und zu verarbeiten. Das bedeutet z.B. für Löss, dass er erst unmittelbar vor dem Transport abgebaut werden sollte oder bei der Zwischenlagerung vor Regen geschützt werden muß. Bei stärkerem Regen sind die Arbeiten zu unterbrechen.
4. Untergrund und Oberboden sind so einzubauen, dass jede nicht Verdichtung vermieden wird, es sind Baugeräte mit einem geringen Bodendruck (Niederdruckreifen) zu verwenden (die oft verwendeten Kleinlader „Bobcat“ sind wegen ihrer knetenden Wirkung **nicht** geeignet). Optimal wäre eine Anschüttung des Materials am Baustellenrand und anschließende Verteilung mit einem Drehkranzbagger, weil dieser am wenigsten bewegt werden muss. Realisierbar ist dies allerdings nur bei geringen Transportweiten. Für größere Entfernungen empfiehlt sich ein Radlader mit vier gleichgroßen Niederdruckreifen.
5. Die für den Bau von Wegen, Plätzen ... notwendige Untergrundverdichtung muss auf die statischen Anforderungen des Tiefgaragenbauwerks Rücksicht nehmen: meist wird nur eine statische oder leichte dynamische Verdichtung zulässig sein.
6. Bei der Ausführung von Bauarbeiten dürfen für Zufahrten, Wendezonen, Materiallagerung und sonstige bodenverdichtende Arbeiten die Vegetationsflächen nicht in Anspruch genommen werden: Dafür soll die geplante Parkgestaltung berücksichtigt werden: die zukünftigen Wege und befestigten Plätze werden ausgesteckt und zum Materialtransport verwendet.
7. Nach dem Einbau des Unterbodens seitens des Tiefbauunternehmens erfolgt eine Überprüfung der bodenkundlichen Kennwerte (siehe Teilgutachten Bodenkunde) durch eine unabhängige Prüfanstalt. Bei Überschreitung der Werte muss der Boden fachgerecht (z. B. Tiefengrubber) gelockert werden.
8. Die Schüttung des Oberbodens erfolgt als Überkopfschüttung: es wird auf dem bereits geschütteten Oberboden gefahren. Damit wird eine nachträgliche Verdichtung des

- Unterbodens vermieden. Die Fläche sollte gleichmäßig befahren werden, Fahrgassen sind zu vermeiden.
9. Nach dem Einbau des Oberbodens ist eine Tiefenlockerung bis mindestens 20 cm unter die Oberfläche des Unterbodens durchzuführen (Vermischung und Verzahnung, Aufbrechen etwaiger Verdichtungen).
 10. Die drei Bestandteile des Oberbodens (Löss, Kompost, Sand) sind gleichmäßig bis in 50 cm Tiefe zu vermischen. Das bedeutet entweder den Einsatz geeigneter Geräte (z. B. mit einem Spatenflug in zwei Arbeitsgängen á 25 cm) nach getrennter Schüttung oder Mischen der drei Komponenten vor dem Einbau.
 11. Der verwendete Kompost muss frei von schädlichen Bestandteilen sein und der ÖNorm S 2200 entsprechen. Dies ist durch ein Gütezeugnis einer unabhängigen Prüfanstalt zu bestätigen.
 12. Die natürliche Setzung ist beim Einbau zu berücksichtigen, die Setzung der Vegetationsschicht darf nach dem Abschluss der Fertigstellungspflege nicht mehr als 5 cm im Mittel betragen, für Rasen gelten die einschlägigen Normen und Bestimmungen.
 13. Bei der Durchführung der landschaftsgärtnerischen Arbeiten ist die Belastung auf ein Mindestmaß zu beschränken, etwaige Verdichtungen sind unverzüglich zu beheben. Nach Beendigung ist wiederum ein Nachweis über die bodenkundlichen Kennwerte zu führen.

5.4.3. Bauüberwachung

Damit die Ausführung fachgerecht erfolgt, ist es unbedingt notwendig, die örtliche Bauaufsicht des Tiefgaragenbaus entsprechend zu informieren und für die anschließenden Arbeiten des Garten- und Landschaftsbaus ebenfalls eine örtliche Bauaufsicht einzurichten.

6. Literatur

- AUER, I. (1989): Auswirkungen der urbanen Wärmeinsel auf ausgewählte bioklimatische Größen. Wetter und Leben, Jahrgang 41, Heft 1-4, 249-59, Wien.
- AUER, I., BÖHM, R. und H. MOHNL (1989): Klima von Wien, Beiträge zur Stadtforschung, Stadtentwicklung und Stadtgestaltung. Band 20, Magistrat der Stadt Wien.
- FLINDT, R. (1986): Biologie in Zahlen. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York.
- Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. (FLL): Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen. Troisdorf 1995.
- GARDNER, W.R. (1968): Availability and measurement of soil water. In: T.T.KOZLOWSKI (ed.), Water deficits in plant growth, Vol.1, 107-135. Academic Press, New York
- Grundwassersanierung Korneuburger Bucht (1997): Wasserwirtschaftskataster, ergänzende Untersuchungen für die Bewirtschaftungsjahre 1994/95 und 1995/96. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft.
- HOFFMANN, Ot: Handbuch für begrünte und genutzte Dächer. 1992.
- KALUSCHE, D. (1996): Ökologie in Zahlen. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York.
- KÖSTLER, N.; BRÜCKNER, E.; BIBELRIETHER, H. (1968): Die Wurzeln der Waldbäume. Hamburg.
- KRUPKA, Bernd: Freianlagen auf Tiefgaragen und ähnlichen Bauwerken. Teil 2: Bau- und vegetationstechnische Problemstellungen. In: Stadt und Grün 6/1998.
- KRUPKA, Bernd (1992): Dachbegrünung. Stuttgart.
- KUNTZE, H.; ROESCHMANN, G.; SCHWERDTFEGER, G. (1994): Bodenkunde.- Verlag Eugen Ulmer Stuttgart.
- LARCHER, W. (1984): Ökologie der Pflanzen. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- LEHR, Richard (1981): Taschenbuch für den Garten- und Landschaftsbau. Berlin.
- LIANG, G. (1982): Net radiation, potential and actual evapotranspiration in Austria. Archives for Meteorology, Geophysics, and Bioclimatology, 379-390., Springer Verlag, Berlin.
- LIETH, H. und R.H. WHITTAKER, (1975): Primary Productivity of the Biosphere. Ecological Studies, 14, Springer Verlag, Berlin.
- LIESECKE, Hans-Joachim: Das Retentionsvermögen von Dachbegrünungen. In: Stadt und Grün 1/1998.
- LIESECKE, Hans-Joachim u.a. (1989): Grundlagen der Dachbegrünung. Hannover.
- LYR, H., FIEDLER, H.J. und W. TRANQUILLINI (1992): Physiologie und Ökologie der Gehölze. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York.
- MEYER, F. (1982): Bäume in der Stadt. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- MURER, E.J., A. BAUMGARTEN, G. EDER, M.H. GERZABEK, E. KANDELER, N. RAMPAZZO, (1993): An improved sieving machine for estimation of soil aggregate stability (SAS).- *Geoderma*, 56, 539-547.
- MANN, Gunter; Henneberg, Martin: Fortschrittliches Substratkonzept im Bereich Dachbegrünung. In: Stadt und Grün 6/1998.
- PISEK, A. und E. CARTELLIERI (1939): Zur Kenntnis des Wasserhaushaltes der Pflanzen. IV. Bäume und Sträucher. Jahrbuch der wissenschaftlichen Botanik
- RAMPAZZO, N., W.E.H. BLUM, B. WIMMER (1998): Assessment of soil structure parameters and functions in agricultural soils.- Die Bodenkultur – Austrian Journal of Agricultural Research, 49. Band, Heft 2, 69-84.
- SCHEFFER; SCHACHTSCHABEL: Lehrbuch der Bodenkunde. Stuttgart 1992.
- SCHLÜTER, Uwe (1996): Pflanze als Baustoff. Berlin.
- SINN, Günter: Sachstand der Baumstatik. In: Das Gartenamt 37 (1988).

SINN, Günter: Wurzelsystem der Straßenbäume. Eine Literaturobwertung. In: Das Gartenamt 31 (1982).

VAN EIMERN, J. und H. HÄCKEL (1984): Wetter und Klimakunde. Ein Lehrbuch der Agrarmeteorologie. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

WEIGEL, Bernd; WESSOLLY, Lothar: Standsichere und vitale Bäume auf einer Tiefgarage. In: Stadt und Grün 2/1996.

WESSOLLY, Lothar: Standsicherheit von Bäumen. Stadt und Grün 4/1996.

Adressen der GutachterInnen:

Prof. Dr. Dr. Mihály Möcsényi
Univ. dep. Budapest
Somlói út 1/b
H-1118 Budapest

Dr. Susanna Wiener
Institut für Ökologie und Naturschutz der Universität Wien
Althanstrasse 14
A-1090 Wien

O. Univ. Prof. DI Dr. DDDr. h.c. Winfried Blum
Ao. Univ. Prof. DI. Dr. Nicola Rampazzo
Institut für Bodenforschung
Universität für Bodenkultur
Gregor Mendelstraße 33
1190 Wien

Koordination:
O. Univ. Prof. Dr. Florin Florineth
DI Günter Fitzka
Arbeitsbereich Ingenieurbiologie und Landschaftsplanung
Universität für Bodenkultur
Hasenauerstrasse 42
1190 Wien