

Wurzelwachstum in der Tragschicht: Erfahrungen mit überbaubaren Baumsubstraten in Dänemark

Root growth in load bearing layers: Structural soils in Denmark

von *Oliver Bühler, Morten Ingerslev, Christian Nørgård Nielsen und Iben M. Thomsen*

Zusammenfassung

Sogenannte Strukturerden sind seit 1990 eine besonders in Skandinavien und den USA verbreitete Methode, wurzelfreundliche Tragschichten für Oberflächenbeläge herzustellen. Unter Versuchsbedingungen wurde das Einwurzeln in die Tragschicht nachgewiesen, jedoch fehlten bislang Untersuchungen aus der Praxis. In Kopenhagen ergab nun die Aufgrabung einer zehn Jahre alten Lindenpflanzung, dass die Strukturerden gut durchwurzelt werden.

Summary

Since the early 1990's, Scandinavian municipalities rely on structural soils to establish paved surfaces and root friendly load bearing layers. Under experimental conditions, roots have been proved to grow in to the structural soils, however attempts to quantify root growth in practice are scares. In Copenhagen, recent excavations of a 10-year old planting of linden trees reveals good root growth into the substrate.

1 Einleitung

Die eingeschränkten Möglichkeiten, Straßenbäumen einen angemessenen Wurzelraum zur Verfügung zu stellen, ist in vielen bebauten Gebieten ein wiederkehrendes und bekanntes Problem. Um das erschließbare Bodenvolumen auch auf den Boden unter Belägen und Versiegelungen zu erweitern, wurde in Dänemark ein Substrattyp entwickelt, der Wurzelwachstum zulässt, gleichzeitig jedoch überbaubar ist und Beläge für Fuß- und Radwege oder auch Parkplätze tragen kann (KRISTOFFERSEN 1999). Im dänischen Sprachraum wurde das Substrat als „Gärtnermacadam“ (gartnermacadam) bekannt, im englischsprachigen Raum spricht man von Struktur- oder Skeletterden (nach der amerikanischen Bezeichnung *Structural Soils*).

Das Funktionsprinzip ist einfach: Eine Matrix aus Steinen überträgt die Lasten des Belags an den Unterboden. In die Hohlräume des Steinskeletts wird

Substrat verfüllt, in das Baumwurzeln einwachsen können. Bei homogener Steingröße kann mit einem Hohlraumvolumen bis zu $\frac{1}{3}$ des Gesamtvolumens gerechnet werden, eine realistische Größe ist jedoch gut $\frac{1}{4}$. Es wird angestrebt, maximal 80 % des Hohlraumvolumens mit Substrat zu verfüllen, um eine gute Durchlüftung zu gewährleisten und eine unfreiwillige Komprimierung beim Aufbau zu vermeiden (KRISTOFFERSEN 1999). Es ist gängige Praxis, die Strukturerden mit einer Schichtstärke von 60 cm einzubauen, wobei der Aufbau in drei Schichten à 20 cm erfolgt: 20 cm Steinmaterial wird ausgelegt, daraufhin wird Erde ausgelegt und entweder in die Hohlräume gefegt (trockener Einbau) oder eingespült (nasser Einbau, Abbildung 1 und 2). Daraufhin wird die Steinmatrix mit einem Plattenvibrator verdichtet und die nächste Schicht wird in gleicher Vorgehensweise ausgelegt. Hierbei ist zu beachten, dass die Strukturerde allein einer Erweiterung des Wurzelraumes unter Belägen dient und nicht das Substrat im eigentlichen Pflanzloch ersetzen soll.

**bitte in höherer Auflösung
schicken !!!**



Abbildung 1: Anlage der Strukturerte am Kongens Nytorv

Entwickelt wurde das Substrat in den 1990er Jahren zeitgleich in den USA und Dänemark (GRABOSKY & BASSUK 1996) und findet heute Anwendung bei vielen Baumpflanzungen in urbanen Gebieten in ganz Skandinavien. Ein oberirdisches Screening jüngerer

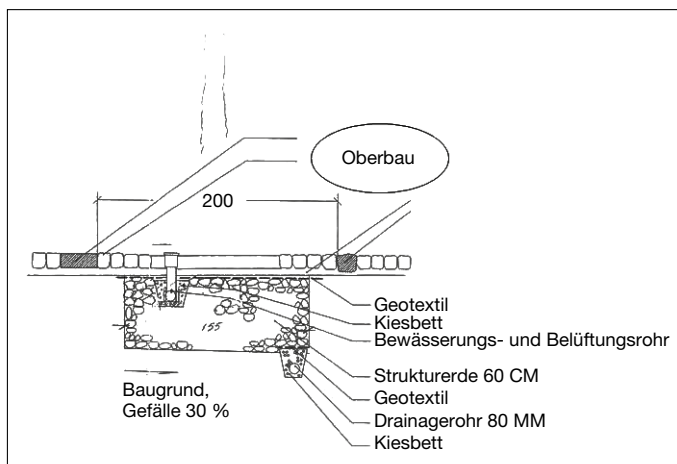
Kopenhagener Baumpflanzungen im Jahr 2005 ergab eine zufriedenstellende Vitalität der in Strukturerten gepflanzten Bäume (BÜHLER et al. 2007).

Ob und wie weit allerdings das Substrat von den Wurzeln angenommen wurde, ließ sich bislang nur vermuten, da systematische Aufgrabungen mit zu hohen Kosten und zu hohem Aufwand verbunden waren. Versuchspflanzungen ließen ein erfolgreiches Einwurzeln vermuten (GRABOSKY & BASSUK 2008; GRABOSKY et al. 2001), ein eindeutiger Nachweis aus der Praxis fehlte bislang. Als dann im Jahre 2011 auf Grund einer Erweiterung des Kopenhagener U-Bahnnetzes die in Skeletterde gepflanzten 80 Linden auf dem zentralen Kongens Nytorv entfernt werden mussten, bot sich eine einzigartige Gelegenheit, auch das Wurzelwachstum näher zu untersuchen.

2 Material und Methoden

Die Baumpflanzung am Kongens Nytorv bestand aus 80 *Tilia europaea* 'Pallida', die im Juni 2001 mit einem Stammumfang 30–35 cm gepflanzt wurden. Die Bäume wurden in zwei konzentrischen Ellipsen gepflanzt (siehe auch Abbildung 3). Der Platz selber war mit Chausseesteinen belegt (Abbildung 4). Vor dem Pflanzen wurde Strukturerte in zwei ca. 60 cm tiefen und gut 155 cm breiten konzentrischen Ellipsen ausgelegt, auf die dann der Oberflächenbelag verlegt wurde.

**Abbildung 2:
Querschnitt des Streifens
aus Strukturerte am Kongens
Nytorv**



bitte in höherer Auflösung
schicken !!!



Abbildung 3: Kongens Nytorv aus der Luft. Die Wurzelraumuntersuchungen wurden an den 10 eingekreisten Bäumen ausgeführt

Aus den 80 Bäumen wurden zehn repräsentative Bäume zu näheren Untersuchungen ausgewählt.

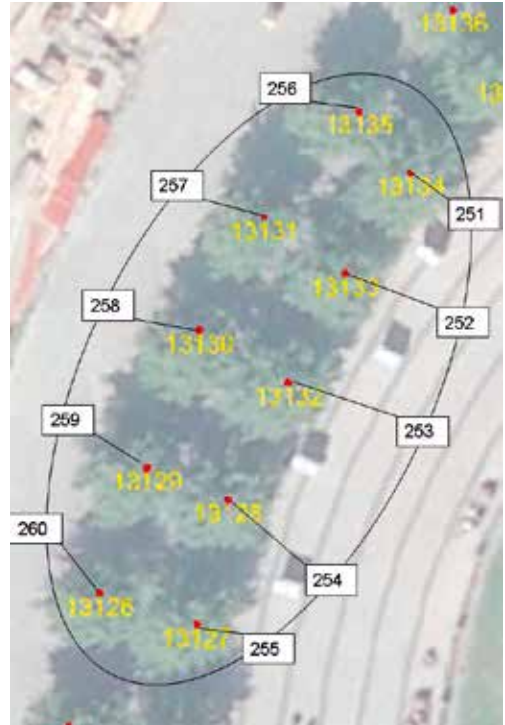
3 Messungen

Um den Ernährungszustand der Bäume zu untersuchen, wurden im August des Untersuchungsjahres



Abbildung 4: Die Baumpflanzung am Kongens Nytorv kurz vor der Fällung im Herbst 2011

bitte in höherer Auflösung
schicken !!!



Blattproben zur chemischen Analyse entnommen. Vor bzw. während der Fällarbeiten wurden die Höhe sowie der Stammumfang der Bäume gemessen. Es wurden Stammscheiben zur späteren Jahresringanalyse entnommen.

Nachdem die Bäume entfernt waren, wurden an jedem der zehn Untersuchungsbäume nach und nach jeweils sechs Bodenprofile abgegraben. Die Profile wurden auf zwei Seiten vom Baum jeweils in den Ent-



Abbildung 5: Kartierung des Wurzelsystems

fernungen 1 m, 1,9 m und 2,9 m angelegt und folgten hierbei den angelegten Streifen Strukturerde. So ergaben sich pro Baum insgesamt sechs Profilwände. An den Profilen wurde ein Gitternetz ausgelegt, mit dessen Hilfe die Messungen vorgenommen wurden (Abbildung 5). Wurzeln mit einem Durchmesser >1 mm wurden mittels einer elektronischen Schieblehre gemessen, Feinwurzeln mit geringerem Durchmesser wurden gezählt.

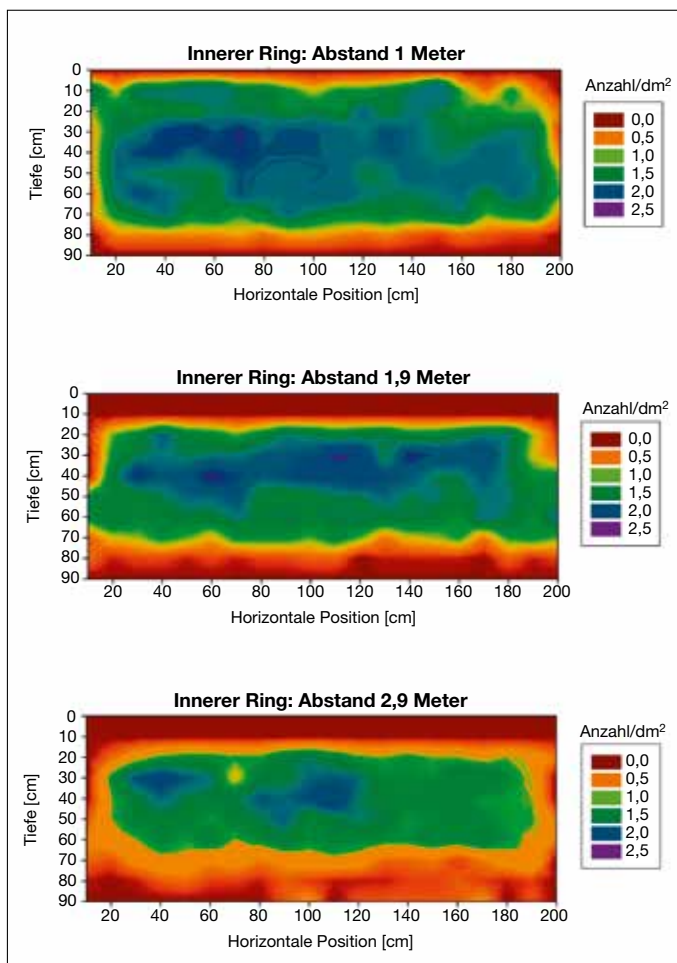
Darüber hinaus wurden bei den Profilgrabungen mit Abstand zum Baum von 1 m sowie 2,9 m Bodenproben in den Tiefen 20–50 cm sowie 50–90 cm zur chemi-

schen Analyse entnommen (siehe auch INGERSLEV et al. (2014) zu Analyseverfahren).

4 Resultate

Die Untersuchungen zum Wurzelwachstum zeigten ausgeprägtes Vorkommen von Feinwurzeln über das gesamte Profil in allen drei Entfernungen vom Baum (Abbildung 6). Größere Wurzeln mit einem Durchmesser >1 mm wurden ebenfalls in allen drei Entfernungen vom Baum gemessen (Abbildung 7). Hierbei zeigte sich, dass die größeren Wurzeln vorzugsweise

Abbildung 6:
Ausbreitung von Feinwurzeln
(<1 mm) in den drei unter-
suchten Abständen. Da nur
der innere Ring korrekt nach
Vorgabe aufgebaut war, werden
Messungen des äußeren Rings
nicht gezeigt



an den Profilsseiten wuchsen. Es wurde ebenfalls beobachtet, dass die groben Wurzeln den Bewässerungs- und Drainageröhren folgten. Die statistische Auswertung des Datenmaterials konnte diese Präferenzen jedoch nicht nachweisen, es ergaben sich keine vertikalen oder horizontalen Unterschiede der Wurzelmasse. Ebenfalls beobachtet wurden zahlreiche durch die Steinmatrix deformierte Wurzeln (Abbildung 8).

Da die Entnahme von intakten Bodenproben bei diesem Substrattyp nicht möglich ist, basiert die Beurteilung der Bodenphysik auf Beobachtungen. Hierbei wurden bei korrektem Aufbau der Strukturerde keine

Anzeichen von übermäßiger Verdichtung des Bodens in den Hohlräumen der Steine festgestellt. Auch deuteten weder Geruch noch Farbe auf anaerobe Zustände hin. Es wurden jedoch auch keine unverfüllten Hohlräume zwischen den Steinen gefunden, es ist deshalb davon auszugehen, dass mehr als die angestrebten 80 % des Hohlraumvolumens verfüllt wurden.

Bei der Offenlegung der Profile im äußeren Ring wurde in einer Tiefe von 20–40 cm eine Schicht hoch verdichteten Materials vorgefunden. Dieses Material bestand aus einer Mischung aus Sand, Kies, Zement und anderen Baumaterialien und hatte mit den vor-

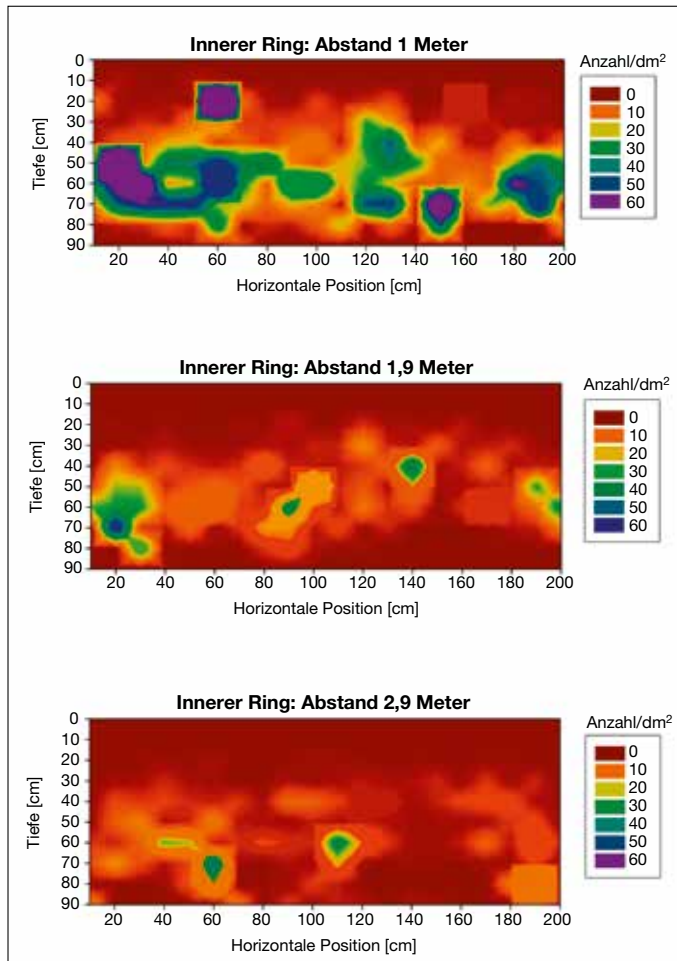


Abbildung 7:
Ausbreitung von Wurzeln
> 1 mm in den drei unter-
suchten Abständen. Da nur
der innere Ring korrekt nach
Vorgabe aufgebaut war, werden
Messungen des äußeren Rings
nicht gezeigt



Abbildung 8: Beispiele für durch die Steinmatrix deformierte Wurzeln

geschriebenen Ausgangsmaterialien für die Struktur-erde nichts gemein. Es handelt sich somit um einen eindeutigen Fehler im Aufbau des Substrats. In diesem verdichteten Streifen fanden sich keinerlei Wurzeln, darüber hinaus ergaben die Messungen der Jahres-ringe sowie des Stammumfangs, dass die Bäume im äußeren Ring weniger Zuwachs hatten (Abbildung 9).

Der durchschnittliche pH-Wert (CaCl_2) des Bodens war 7,26 und damit deutlich außerhalb der in den Vorgaben geforderten Grenzwerte von 5,3–6,5 (Tabelle 1).

Tabelle 1: Mittel- sowie Maximal- und Minimalwerte der chemischen Bodenanalysen

	Mittel	Min.	Max.
C (g/kg)	20,9	15,1	26,7
N (g/kg)	0,919	0,480	1,231
C/N-Verhältnis	23,6	18,0	35,7
Phosphor			
P (H_2SO_4) (mg/kg)	340	156	676
Austauschbare Kationen			
K (mg/kg)	59,7	36,6	97,3
Ca (mg/kg)	4309	3913	4691
Mg (mg/kg)	45,0	24,7	88,5
Fe (mg/kg)	0,545	<0,25	0,980
Mn (mg/kg)	5,22	2,37	10,81
Na (mg/kg)	35,6	6,2	103,1
Auftausalz			
Na(H_2O) (mg/kg)	63,2	21,3	120,3
Cl(H_2O) (mg/kg)	9,66	<2	44,3
pH			
pH(CaCl_2)	7,26	6,77	7,49
pH(H_2O)	8,00	7,31	8,34
KAK und BS			
KAK cmol(+)/kg	22,2	20,0	24,3
BS (%)	99,9	99,8	100,0
Organische Substanz			
Glühverlust (%)	2,24	1,18	3,04

5 Diskussion

Die hier präsentierten Ergebnisse belegen, dass die Kopenhagener Struktur-erde prinzipiell als Medium für Wurzelwachstum geeignet ist. Im Gegensatz zu herkömmlich aufgebauten Tragschichten ist es mit den Struktur-erden möglich, das Wurzelwachstum auch in Bodenvolumina unter Oberflächenbelägen zu lenken. Das Beispiel des Konstruktionsfehlers im

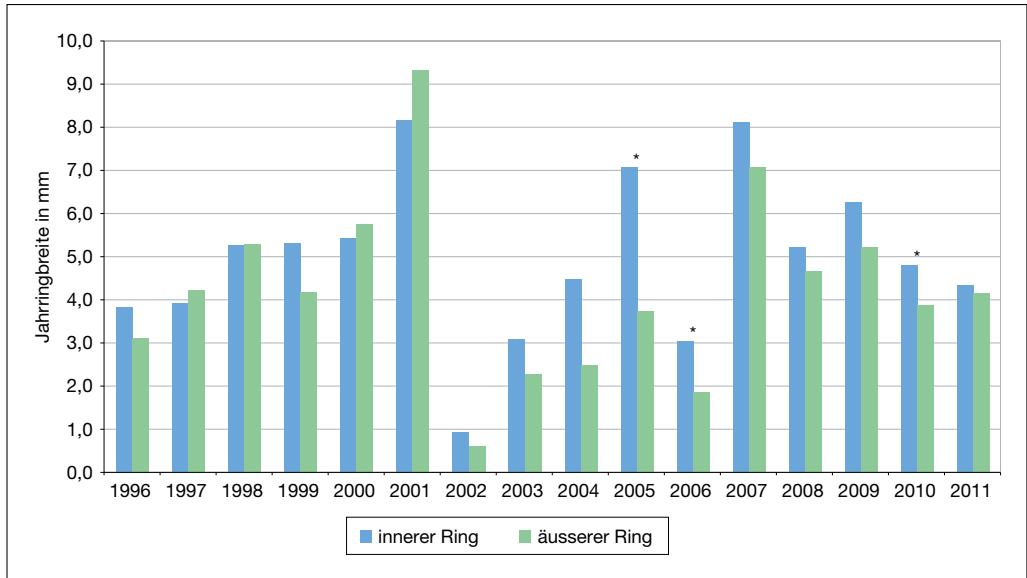


Abbildung 9: Ergebnis der Jahrringmessungen, aufgeteilt nach innerem und äusserem Ring. Die Bäume im inneren Ring hatten nach der Pflanzung im Jahr 2001 generell höheren Zuwachs

äußeren Ring zeigt jedoch auch in aller Deutlichkeit, dass ein korrekter und den Vorgaben entsprechender Aufbau für die beabsichtigte Funktion zwingend erforderlich ist.

Nachteilig zu bewerten ist natürlich das Faktum, dass bei den Strukturerden mehr als $\frac{2}{3}$ des Bodenvolumens aus Steinen besteht und somit nur wenig zum Wurzelwachstum beiträgt. Ein weiterer Nachteil dieses Materials ist die notwendige Verdichtung des Unterbodens, der die Last der Steinstruktur aufnehmen soll. Hierdurch wird die Ausbreitung der Wurzeln auch in tiefere Schichten des anstehenden Bodens effektiv verhindert und ein „Blumentopfeffekt“ geschaffen. Auch werfen die beobachteten Deformierungen die Frage auf, ob mit weiterem Dickenwachstum der Wurzeln entweder die Gesundheit des Wurzelsystems oder aber die Stabilität der Befestigung gefährdet ist.

Mittlerweile gibt es eine Reihe von Weiterentwicklungen der Strukturerden, die das vorrangige Ziel haben, die Ausmaße des strukturbildenden Materials zu begrenzen – zum Beispiel modulare Zellsysteme aus Kunststoff, die es ermöglichen, mehr als 90 % des Bodenvolumens mit Erde zu verfüllen.

Für den konkreten Fall Kongens Nytorv, aber auch für künftige Projekte wäre zu erwägen, ob die Strukturerden anders dimensioniert werden könnten. Statt wie oft Streifen des Materials zu verlegen, wäre es für eine harmonische Entwicklung des Wurzelsystems vorteilhaft, wenn möglich Quadrate, Kreise o. ä. anzulegen. Darüber hinaus könnte der zugängliche Wurzelraum durch eine stärkere Materialschicht erweitert werden. Statt wie bisher die Strukturerden 60 cm tief auszuheben, wären Tiefen von 80–100 cm vermutlich problemlos möglich.

Strukturerden stellen aus baumbiologischer Sicht sicherlich einen Kompromiss dar. Nach einem Boom zwischen 1990 und 2005 wird die Zahl der in Strukturerden gepflanzten Bäume voraussichtlich zurückgehen. So setzt die Stadt Kopenhagen auf Plastikzellen verschiedener Anbieter, wenn Wurzelraum überbaut werden muss. Nichtsdestotrotz bieten Strukturerden eine nun nachweislich funktionierende Möglichkeit, Baumpflanzung mit Oberflächenbelägen zu kombinieren. Insbesondere wenn regionales Material verarbeitet werden kann und das Budget keine Kunststoffmodule zulässt, werden die Strukturerden deshalb auch weiterhin Verwendung finden.

Literatur

- BÜHLER, O.; KRISTOFFERSEN, P.; LARSEN, S. U., 2007: Growth of street trees in Copenhagen with emphasis on the effect of different establishment concepts. *Arboriculture and Urban Forestry* 33, 330–337.
- GRABOSKY, J.; BASSUK, N., 1996: Testing of structural urban tree soil materials for use under pavement to increase street tree rooting volumes. *Journal of Arboriculture* 22, 255–263.
- GRABOSKY, J.; BASSUK, N.; IRWIN, L.; VAN ES, H., 2001: Shoot and root growth of three tree species in sidewalks. *Journal of Environmental Horticulture* 19, 206–211.
- GRABOSKY, J.; BASSUK, N., 2008: Sixth-and Tenth-Year Growth Measurements for Three Tree Species in a Load-Bearing Stone-Soil Blend Under Pavement and a Tree Lawn in Brooklyn, New York, US. *Arboriculture & Urban Forestry* 34, 265–266.
- INGERSLEV, M.; BÜHLER, O.; THOMSEN, I.; SKOV, S.; NIELSEN, C. N.; KRAG, M. M.; KRISTOFFERSEN, P., 2014: Evaluering af træplantningen på Kongens Nytorv – Et samarbejdsprojekt med Københavns Kommune. IGN Rapport Januar 2014, Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Frederiksberg. 63 S.
- KRISTOFFERSEN P., 1999: Growing trees in road foundation materials. *Arboricultural Journal* 23, 57–76.

Die Autoren

Oliver Bühler
PhD, Assistant professor
Department of Geosciences
and Natural Resource
Management
University of Copenhagen
Rolighedsvej 23
DK-1958 Frederiksberg
olb@ign.ku.dk
Tel. +45 (0)3533 1777



C. Christian Nørgård Nielsen
dr.agro (dr.habil), cand.silv,
bachelor of commerce
Marketing
SkovByKon
Nørremarksvej 5, Egholt
DK-6064 Jordrup
Tel. +45 (0)3616 6263
Mobil +45 (0)6179 6263
cnn@skovbykon.dk
www.skovbykon.dk



Morten Ingerslev
PhD, Senior researcher
Department of Geosciences
and Natural Resource
Management
University of Copenhagen
Rolighedsvej 23
DK-1958 Frederiksberg
moi@ign.ku.dk
Tel. +45 (0)3533 1676



Iben M. Thomsen
PhD, Senior advisor
University of Copenhagen
Rolighedsvej 23
DK-1958 Frederiksberg
moi@ign.ku.dk
Tel. +45 (0)3533 1676

