

Miljøprojekt Nr. 773 2003
Teknologiudviklingsprogrammet for
jord- og grundvandsforurening.

Geotekstiler som rodspærre

Hanne L. Kristensen og Kristian Thorup-Kristensen
Danmarks JordbrugsForskning

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

FORORD	5
SAMMENFATTENDE ARTIKEL	7
KAN GEOTEKSTILER STANDSE RODVÆKST?	7
Baggrund og formål	7
Undersøgelsen	7
Hovedkonklusioner	8
Projekresultater	8
SUMMARY AND CONCLUSIONS	11
GEOTEXTILES AS ROOT BARRIERS	11
Introduction	11
Materials and methods	11
Conclusions	12
Results	12
1 INDLEDNING	15
1.1 BAGGRUND	15
1.2 FORMÅL	15
2 FREMGANGSMÅDE	17
2.1 UDVÆLGELSE AF GEOTEKSTILER OG PLANTEARTER	17
2.2 FORSØGSDESIGN	18
2.3 RESULTATOPSAMLING	19
2.4 DATABEHANDLING	19
3 RESULTATER	21
3.1 FORSØG A	21
3.2 FORSØG B	21
3.3 GENERELLE OBSERVATIONER	22
4 DISKUSSION	25
4.1 FULDSTÆNDIG STANDSNING AF RODUDBREDELSEN	25
4.2 GENNEMGRONING	25
4.3 EFFEKT OVER FLERE VÆKSTSÆSONER	26
4.4 DELVIS HÆMNING AF RODUDBREDELSEN	26
4.5 FORSKELLE MELLEM PLANTEARTER	26
4.6 UNDERSØGELSE AF TILSTOPNING AF GEOTEKSTILER	27
4.7 VURDERING AF TILSTOPNING AF GEOTEKSTILER	27
5 KONKLUSION	29
6 LITTERATURLISTE	31

Forord

Danmarks Jordbrugsforskning har udarbejdet denne rapport for Miljøstyrelsen med henblik på anvendelse af geotekstiler til at muliggøre grønsagsdyrkning i udskiftet ren jord, mens rodvæksten forhindres i underliggende forurenede jord.

Rapporten bygger på eksperimentielt arbejde som blev udført i 2002 ved Danmarks JordbrugsForskning, Afdeling for Havebrugsproduktion i Årslev. Arbejdet bestod i to forsøg udført i væksthuse, hvor geotekstilers evne til at tilbageholde rødder fra forskellige grønsager blev testet.

Sammenfattende artikel

Kan geotekstiler standse rodvækst?

Ved dyrkning af grønsager i forurenede jord kan man risikere, at afgrøderne via rødderne optager forureningsstoffer i uacceptabel grad. I situationer med dybereliggende forurening kan dette teoretisk set imødegås ved at hindre, at rødderne trænger ned i den forurenede jord. I dette projekt er det undersøgt om geotekstiler kan forhindre en sådan rodnedtrængning. To væksthushorsøg viste at geotekstiler - selv de tætteste på markedet - ikke kan standse rodvæksten af grønsager fuldstændigt. Nogle geotekstiler kunne dog begrænse rodudbredelsen markant hos de fleste arter.

Baggrund og formål

Ny metode til have dyrkning på forurenede jord?

Ved have dyrkning på forurenede grunde, kan der være en risiko for at planterne vil optage sundhedsskadelige stoffer fra jorden. Dette kan gøre det betænkeligt at spise afgrøderne. En udskiftning eller rensning af jorden i roddybden kan være et meget omfattende projekt, idet mange planter har rødder ned i 1 til 2 meters dybde. En mulighed kan være at udskifte det øverste jordlag og samtidig lægge et såkaldt geotekstil over den forurenede jord. Derefter lægges anden ren jord ovenpå, som man kan dyrke i. Dette kræver at geotekstilet effektivt forhindrer at grønsagernes rødder finder vej ned i den forurenede jord.

Geotekstiler bruges almindeligvis til at adskille og stabilisere jordlag og til at sikre afdræning ved større jordarbejder, men spørgsmålet er om de kan standse grønsagers rodvækst effektivt. Planterødder kan være meget gode til at trænge igennem fx hårde jordlag. Det var derfor formålet med et forsøgsarbejde at undersøge, om der findes geotekstiler der effektivt kan standse rodvæksten hos grønsager.

Undersøgelsen

Rødder observeres i gennemsigtige plantekasser

Der blev udført 2 væksthushorsøg (forsøg A og B) ved Forskningscenter Årslev. Vi udvalgte nogle forholdsvis finporede geotekstiler til afprøvning (Tabel 1), da planterødder kan være meget tynde (ned til 60-130 µm i diameter). Formålet med forsøg A var at afprøve en vifte af geotekstil kvaliteter. Formålet med forsøg B var at afprøve de geotekstiler der havde vist de bedste resultater i forsøg A i forhold til forskellige plantearter. Grønsagerne blev priklet ud i gennemsigtige plastik kasser på ½ meters højde. Kasserne var todelte, så der kunne lægges et stykke geotekstil ind i kassen et stykke over bunden. Rødder der groede gennem geotekstilerne blev optalt løbende gennem plantekassernes sider.

Hovedkonklusioner

Geotekstiler kan ikke standse rodvæksten

Ingen af geotekstilerne kunne hindre udbredelsen af rødder i et jordlag fuldstændigt. De testede geotekstiler repræsenterer de bedst egnede til formålet som nu er tilgængelige på markedet.

Der kan muligvis være tilfælde hvor en begrænsning - men ikke fuldstændig standsning - af rodsystemers udbredelse i et jordlag kan være tilstrækkelig. I sådanne tilfælde vil meget tætte geotekstiler som det testede Typar SF 111 kunne anvendes. Der kan dog muligvis ske tilstopning af geotekstilet med nedvaskede muld-/siltpartikler. Hvis man ønsker at anvende geotekstiler til en begrænsning af rodvæksten, anbefales det først at lave en afprøvning af de mest relevante geotekstiler på friland over mindst to vækstsæsoner.

Tabel 1. De udvalgte geotekstil typer som alle er af typen termiskbundet filt.

	Enhed	Terram 700	Typar SF27	Terram 2000	Terram 4000	Typar SF56	Typar SF111
Leverandør		Ranfelt	Burcharth	Ranfelt	Ranfelt	Burcharth	Burcharth
Arealvægt	g/m ²	90	90	215	335	190	375
Produktykkelse	mm	0,6	0,38	1,1	1,4	0,54	0,85
Porestørrelse	µm	180	180	110	85	80	55

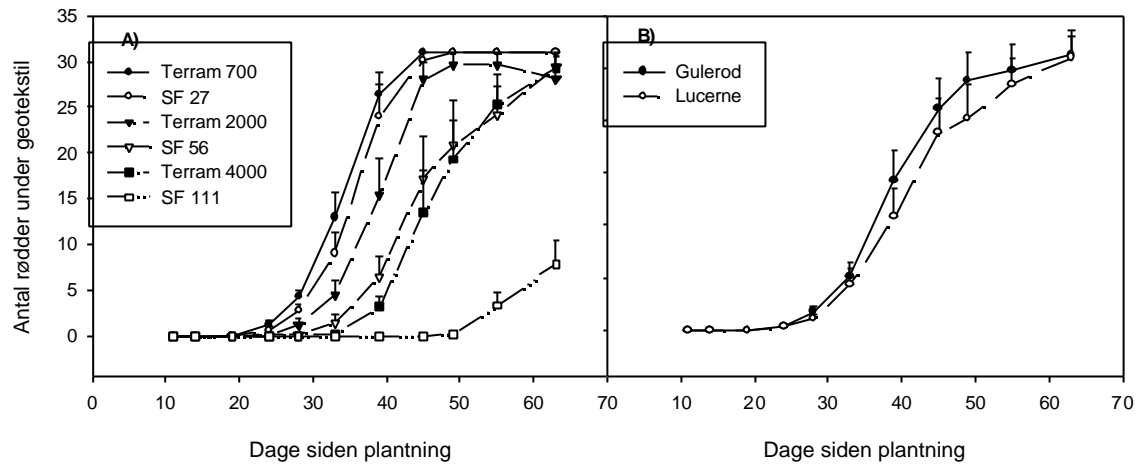
Projekresultater

Standning af rodvæksten

Alle geotekstiler blev gennemgroet i forsøg A (Figur 1A). Generelt ses at tekstiler med mindst porestørrelse forsinkede rodudviklingen mest. Der var fx ca. 16 dages forsinkelse i rodudviklingen under tekstilerne med porestørrelsen 80 og 85 µm (henholdsvis SF 56 og T4000) i forhold til tekstilerne med porestørrelsen 180 µm (SF27 og T700). Det tætteste tekstil med porestørrelsen 55 µm (SF111) forsinkede rodudviklingen med ca. 30 dage i forhold til de groveste kvaliteter. Desuden var sammenhængen mellem tidspunkt og antal rødder under SF111 mindre stejl end for de øvrige geotekstiler. Dette antyder, at rodudviklingen ikke blot var forsinket men også langsommere i forhold til de øvrige tekstiler.

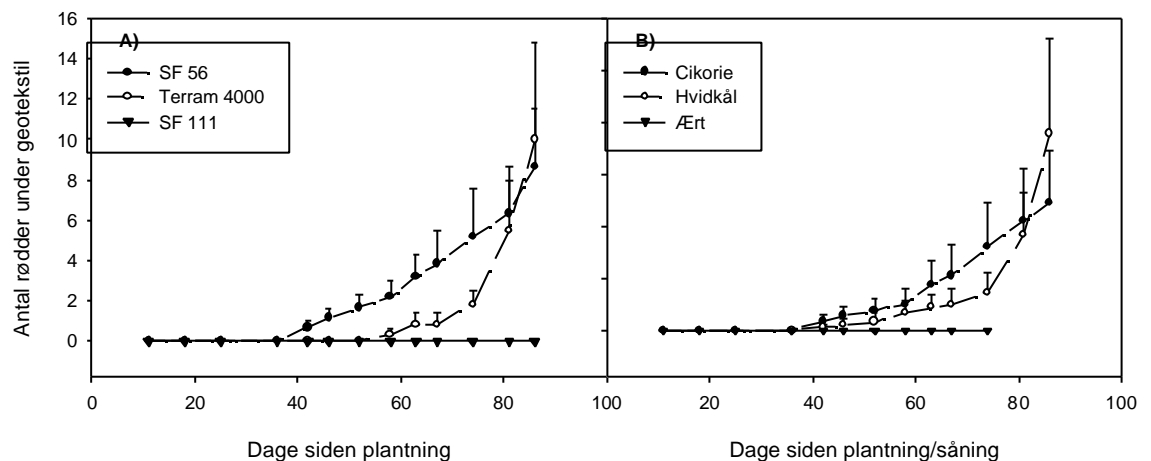
Forsøg B viste lidt anderledes resultater end forsøg A, idet SF111 ikke blev gennemgroet i forsøg B (Figur 2A). Dette skyldes formentlig forskelle i vækstbetingelser snarere end artsforskelle mellem de to forsøg. Plante- og rodudviklingen i forsøg B var markant langsommere end i forsøg A. Årsagen var formentlig mindre lys i forsøgsperioden, idet forsøg B blev udført om efteråret. Resultaterne viser at ingen af geotekstilerne kan sikre en fuldstændig standsning af rodvæksten hos alle arter.

Der var ingen forskel i evnen til gennemgroning af geotekstilerne mellem arterne gulerod og lucerne eller arterne hvidkål og cikorie (Figur 1B og 2B). Kun ært var anderledes, idet den som forventet havde en svag rodvækst, som blev standset af alle geotekstilerne.



Figur 1. Gennemvoksning af geotekstiler med gulerod og lucerne (forsøg A)

Antal rødder observeret under forskellige kvaliteter af geotekstilerne Terram og Typar SF i væksthuseforsøg med gulerod og lucerne. A) viser resultaterne udregnet for geotekstilerne (data for gulerod og lucerne er slået sammen), mens B) viser resultaterne for de to plantearter. Tallet 31 angiver rodantal >30 i datasættet. Stolperne angiver middelfejl for A) 6 eller for B) 18 gentagelser.



Figur 2. Gennemvoksning af geotekstiler med hvidkål, cikorie og ært (forsøg B).

Antal rødder observeret under forskellige kvaliteter af geotekstilerne Terram og Typar SF i væksthuseforsøg med hvidkål, cikorie og ært. A) viser resultaterne udregnet for geotekstilerne, hvor resultaterne for ært er udeladt. Data for hvidkål og cikorie er slået sammen. B) viser resultaterne for de tre plantearter. Stolperne angiver middelfejl for A) 6 eller B) 9 gentagelser.

gennemvoksning

Porestørrelsen i de testede geotekstiler ligger fra 55-180 μm (Tabel 1) dvs. i det område hvor man må forvente at finde de allertyndeste rødder (60-130 μm diameter). Årsagen til at flere af de afprøvede arter alligevel var i stand til at gro gennem alle geotekstilerne var måske, at målet for pore størrelsen dækker over stor spredning (Anonym, 1987). Den store spredning i pore størrelsen betyder at der være enkelte porer med langt større diameter end gennemsnittet. Disse porer vil blive "fundet" og gennemvokset af planterødder efterhånden som antallet af rodspidser i jordvolumet over

geotekstilet stiger. Selv gennemgroning af få rødder vil være uønsket, idet de gennemvoksende rødder viste god evne til forgrening under geotekstilet. Derved vil rodsystemet være i stand til at brede sig i den underliggende jord. Dette vil selvsagt øge muligheden for optagelse af forureningsstoffer i planten.

Effekt over flere vækstsæsoner

De udførte forsøg repræsenterer kun en enkelt vækstsæson. Hvis geotekstiler skal bruges som rodspærre over forurenede jord må der være en rodstandsende effekt over flere vækstsæsoner. Men dette forsøg viser, at mange grønsagsarter vil gro igennem geotekstilerne allerede tidligt i den første sæson. Observationerne ved afslutning af forsøgene viste desuden at flere af de afprøvede grønsager kunne forstørre porerne i de geotekstiler de groede igennem. Dette vil gøre det lettere for nye rødder at vokse igennem i den efterfølgende sæson.

Delvis hæmning af rodudbredelsen

Der kan være tilfælde hvor en begrænsning - men ikke fuldstændig standsning - af udbredelsen af rødder i et jordlag vil være tilstrækkelig for at opfylde et givet formål. I sådanne tilfælde vil den tætteste geotekstiltype (Tylpar SF111) uden tvivl have en markant effekt i mindst én vækstsæson og sandsynligvis flere.

Undersøgelse af tilstopning

Hvis geotekstiler anvendes som rodspærre er der mulighed for at tekstilerne tilstoppes med jord, der bevæger sig nedad i jorden med nedsivende regnvand. Dette kan med tiden give problemer med afdræning af jorden. I dette forsøg observeredes ingen jordtilslemning af geotekstilerne, men Waagepetersen (1988) har afprøvet tilstopning af forskellige geotekstiler. Baseret på dette arbejde vurderer vi at tilstopning med jord sædvanligvis ikke vil være et problem for de mellemkraftige geotekstiler (porestørrelse ned til 80 μm). Det er derimod tvivlsomt om dette også gælder ved brug af det tætteste geotekstil (porestørrelse 55 μm), samt ved nedlægning af geotekstiler på mere ustabile jorde.

Summary and conclusions

Geotextiles as root barriers

Introduction

Gardening in areas with polluted soils poses a risk for uptake of toxic compounds from the soil. This makes it unhealthy to eat the products from the gardens. A replacement or cleaning of the soil in the potential root zone will, however, often constitute a major work as many plants extend roots to 1-2 m depth. Another possibility could be to remove the uppermost soil layer and place a so called geotextile over the polluted soil. Then other clean soil should be put on top of the geotextile, whereafter vegetables can be grown. This approach demands that the geotextile is able to stop vegetable roots from growing down into the polluted soil.

Geotextiles are normally used to separate and stabilise soil layers, and ensure draining in relation to construction works. The question is whether geotextiles can effectively stop the root growth of vegetables. Plant roots can be very efficient in penetrating for example compacted soil layers. The purpose of this work was therefore to investigate the ability of geotextiles to stop root growth of vegetables.

Materials and methods

Two greenhouse experiments (A and B) were performed at the Research Centre Aarslev. Geotextiles with relatively small pores were selected for testing (Table 1), as plant roots can be very fine (diameter down to 60-130 μm). The purpose of experiment A was to test a range of different geotextiles, and those showing the best results in experiment A was further tested with different plant species in experiment B. The vegetables were planted in transparent plastic boxes of $\frac{1}{2}$ m height. A box consisted of two parts which made it possible to place a piece of geotextile in some distance over the bottom of the box. Root growth was observed by regular counting of roots growing behind the transparent walls of the box.

Table 1. Technical data as given by the producers of the selected geotextiles. All textiles are of the type *Thermic fixed felt (nonwoven)*.

	Enhed	Terram 700	Typar SF27	Terram 2000	Terram 4000	Typar SF56	Typar SF111
Supplier		Ranfelt	Burcharth	Ranfelt	Ranfelt	Burcharth	Burcharth
Weight by area	g/m^2	90	90	215	335	190	375
Thickness	mm	0.6	0.38	1.1	1.4	0.54	0.85
Poresize	μm	180	180	110	85	80	55

Conclusions

None of the geotextiles were able completely to stop roots from growing into an underlying soil layer. The geotextiles tested here represent the most fit for the purpose that for the time being are commercially available.

There may be cases where it is adequate to limit, but not completely stop roots from growing into a soil layer. In these cases geotextiles with very small pores such as Tytar SF 111 can be used. It is, however, possible that such textiles can be clogged with mull/silt particles that are transported with leaching soil solution. In case geotextiles are used to limit root growth, it is recommended first to test the most relevant textiles in a field experiment running over at least two growth seasons.

Results

Restriction of root growth

All geotextiles were penetrated by roots in exp. A (Fig. 1A). In general, textiles with the smallest pores delayed root growth most, the delay being approximately 16 days for the textiles with pore sizes of 80 and 85 μm (SF 56 and T4000, respectively) compared to the textiles with a pore size of 180 μm (SF27 and T700). The textile with poresize 55 μm (SF111) delayed root growth with approximately 30 days compared to the textiles with the largest pores. Exp. B showed results which were a bit different, as no roots were able to penetrate SF111 (Fig. 2A). This was probably due to a much slower plant development in exp. B, caused by less light during the experimental period. Overall the results show that none of the geotextiles can ensure a complete restriction of root growth of all species.

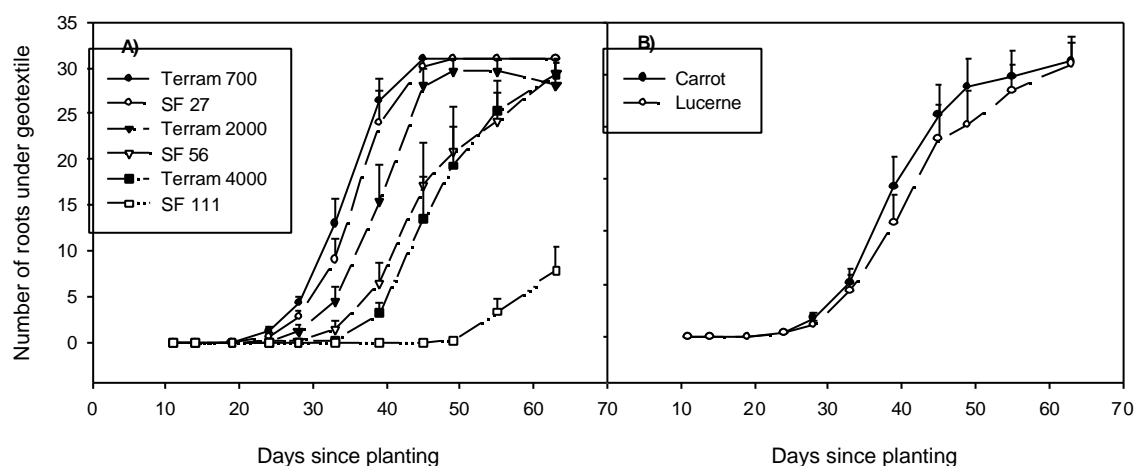


Fig. 1. Roots of carrot and lucerne growing through geotextiles (Experiment A) Number of roots observed under different types of the geotextiles Terram og Tytar SF in a greenhouse experiment with carrot and lucerne. A) shows the results calculated for each of the geotextiles (data have been pooled for carrot and lucerne), and B) shows the results for each of the two species. The number 31 indicates the number of roots >30. Bars indicate standard errors for A) 6 or for B) 18 replicates.

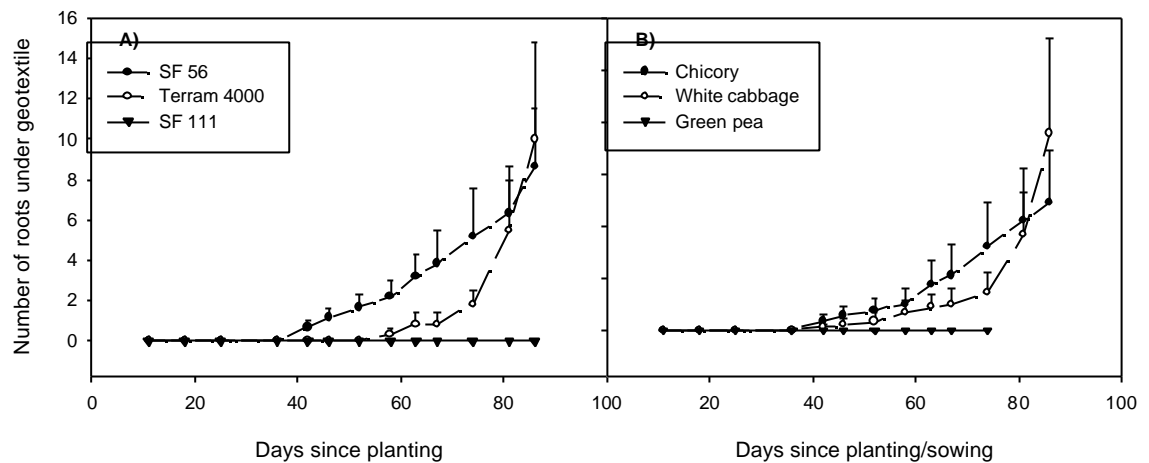


Fig. 2. Roots of white cabbage, chicory, and green pea growing through geotextiles (Experiment B) The number of roots observed under different types of the geotextiles Terram and Tyvar SF in a greenhouse experiment with white cabbage, chicory, and green pea. A) shows the results calculated for each of the geotextiles excluding green pea, and B) shows the results for each of the three species. Bars indicate standard errors for A) 6 or for B) 9 replicates.

There was no difference in the ability for penetration of geotextiles between carrot and lucerne or white cabbage and chicory (Figur 1B og 2B). Green pea differed as expected from the other species by showing a weak root growth that was stopped effectively by all geotextiles.

Penetration of geotextiles

The penetrating roots showed a good ability for branching under the geotextiles. This means that penetration with just a few roots is unwanted as the root system this way will be able to distribute in the underlying soil. The experiments represents only one growth season. In case geotextiles are to be used as barriers for root growth over polluted soil, there has to be an effect over several growth seasons. This work shows, however, that vegetables will be able to penetrate geotextiles already early in the first growth season. Furthermore observations at the end of the experiments showed that several of the tested species were able to enlarge the penetrated pores. This effect will make it easier for other roots to penetrate the following season.

There can be cases where a limitation, but not a complete restriction of root growth into a soil layer will be adequate to satisfy a certain purpose. In such cases the geotextile with the smallest pores (Tyvar SF111) will have a clear effect for at least one or possibly several growth seasons.

1 Indledning

1.1 Baggrund

Ved dyrkning af grønsager i forurenede jord kan der være risiko for, at afgrøderne via rødderne optager forureningskomponenter i uacceptabel grad. Dette kan forhindres effektivt ved udskiftning af jord. I situationer med forureninger som er udbredt fra terræn og til større dybde, kan det imidlertid være meget store jordmængder der skal fjernes, da mange af de relevante planter har rodsystemer ned i 1 til 2 meters dybde, og nogle endda væsentlig dybere. En anden mulighed kunne være at udskifte det øvre jordlag med udlægning af et rodvækst-standsende materiale der forhindrer planterne i at sætte rødder ned i det underliggende forurenede jordlag. Dette stiller krav til det udlagte materiale om at kunne standse rodvæksten effektivt. Herudover må påregnes at vandopløselige forureningsstoffer kan transporteres i jordvæsken op over det udlagte materiale og derved komme i kontakt med rødderne, selvom rodsystem og forurenede jord holdes helt adskilt. Denne transport vil dog sandsynligvis være af begrænset omfang i vel afdrænet jord.

Geotekstiler er plastprodukter udviklede til at adskille og stabilisere forskellige jordlag ved større jordarbejder. De har kemiske, mekaniske og hydrauliske egenskaber som gør dem velegnede til dette formål uden nævneværdig påvirkning af miljøet iverdigt. De kan have lang levetid i jorden mens de formodes ikke at hindre nedrivning af regnvand (Miljøstyrelsen, 2001). Desuden findes flere geotekstiler i forskellige kvaliteter. Geotekstiler har derfor mange af de egenskaber der kræves af et materiale som skal adskille ren og forurenede jord, samt eventuelt forhindre rodvækst i underliggende forurenede jord over en længere årrække. Der foreligger dog kun meget sparsomme undersøgelser foretaget på træer, som omhandler hvor effektivt geotekstiler kan standse rodvækst i jord (Stål, 1995). Planters evne til at vokse igennem kompakte jordlag varierer meget mellem arter (Materechera et al., 1993), og disse forskelle forventes også at gælde for evnen til at gennemtrænge geotekstiler.

1.2 Formål

Dette arbejde har som formål at undersøge om geotekstiler effektivt kan standse udbredelsen af rødder af forskellige grønsagsarter. Der testes arter som forventes at variere i deres evne til at gennemtrænge rodstandsende materiale. Desuden diskuteres og vurderes risikoen for tilstopning med jord af de relevante geotekstiler.

2 Fremgangsmåde

2.1 Udvalgelse af geotekstiler og plantearter

Geotekstilerne i undersøgelsen blev udvalgt på grundlag af kemiske, hydrauliske og mekaniske egenskaber angivet af fabrikanterne samt resultater fra en accelereret ældningstest udført på et udvalg af geotekstiler (Miljøstyrelsen, 2001). Der blev udelukkende udvalgt geotekstiler med termiskbundet filtstruktur, da den termiske binding af plastfibre ansås som afgørende for geotekstilet evne til at modstå planterødders evne til at gennembryde materialet. Desuden valgtes kun geotekstiler af et fabrikat som havde vist væsentlig tilbageværende brudstyrke efter den accelererede ældningstest som simulerede 50 års eksponering i jord (Miljøstyrelsen, 2001). I arbejdet med accelereret ældning blev der testet forskellige forholdsvis grovporede geotekstiler (porestørrelse >110 µm). Planterødder kan teoretisk set være ned til 60 µm i diameter (Robinson, in press), mens rødder er blevet målt ned til ca. 130 µm i diameter hos en almindelig ukrudtsart som Gåsemad (*Arabidopsis thaliana*) (Ma et al., 2001). På denne baggrund ønskede vi at teste typer af de udvalgte geotekstiler med forholdsvis lille porestørrelse, da disse ansås for at være bedst i stand til at hindre gennemgroning. Derfor ses sammenfald af geotekstilfabrikat men ikke af typer i før omtalte rapport og nærværende arbejde. Tekniske data angivet af fabrikanterne for de udvalgte geotekstiler ses i Tabel 1.

De udvalgte plantearter var overvejende grønsager, da de er relevante for problemstillingen med havedyrkning på forurenede grunde. En undtagelse var lucerne som er kendt for sin gode evne til at vokse igennem jordlag som andre arter ikke kan trænge igennem. De øvrige arter valgtes ud fra viden om deres rodsystemers forskellige egenskaber mht. væksthastighed, roddiameter og evne til gennemtrængning af kompakte jordlag. Desuden tilstræbtes at flere forskellige plantefamilier blev repræsenteret. De udvalgte arter ses i Tabel 2.

Tabel 1. Tekniske data angivet af fabrikanterne for de udvalgte geotekstil typer som alle er af typen termiskbundet filt.

	Enhed	Terram 700	Typar SF27	Terram 2000	Terram 4000	Typar SF56	Typar SF111
Leverandør		Ranfelt	Burcharth	Ranfelt	Ranfelt	Burcharth	Burcharth
Materiale*		PP 70% PE 30%	PP	PP 70% PE 30%	PP 70% PE 30%	PP	PP
Arealvægt	g/m ²	90	90	215	335	190	375
Produktykkelse	mm	0,6	0,38	1,1	1,4	0,54	0,85
Gennemløbsmængde v. 5 ell. 10 cm vandsøjle	l/m ² /s	130	165	65	45	57	11
Porestørrelse**	µm	180	180	110	85	80	55

*PP: polypropylen; PE: polyethylen. **Apparent/characteristic opening size O90, EN ISO 12956: En standard test med vådsigtning har vist at 90% af alle porer i geotekstilet er mindre end den angivne porestørrelse (Anonym, 1987).

Tabel 2. De udvalgte plantearter samt deres egenskaber mht. rodvækst.

	Artsnavn	Sortsnavn	Plantefamilie	Rodsystemets egenskaber
Hvidkål	<i>Brassica oleracea</i>	Impala	Korsblomst	Hurtig og dyb rodvækst
Cikoriesalat	<i>Cichorium intybus</i>	Rødcikorie	Kurveblomst	Dyb rodvækst og god evne til gennemvoksning af kompakte jordlag
Gulerod	<i>Daucus carota</i>	Bolero	Skærmpolante	Moderat rodvæksthastighed med tynde rødder
Ærter	<i>Pisum sativum</i>	Ambassador	Bælgplante	Moderat rodvæksthastighed som let standses af kompakte jordlag
Lucerne	<i>Medicago sativa</i>	-	Bælgplante	Dyb rodvækst med meget god evne til gennemvoksning af kompakte jordlag

2.2 Forsøgsdesign

Forsøgene blev udført ved dyrkning af grønsager i gennemsigtige rodkasser i væksthushuset. Dette muliggjorde løbende rodregistrering under de indlagte geotekstiler gennem rodkassernes sider. Desuden forøgede væksthushusbetingelserne grønsagernes væksthastighed og forlængede vækstsæsonen, hvorved der kunne udføres to på hinanden efterfølgende forsøg. Dette gav fordele såsom erfaringsoverførsel mellem forsøgene samt gentagelse af forsøgsdele, som giver et bedre grundlag for at uddrage konklusioner.

Forsøgene blev udført i perioderne 28. juni-3. sept. (Forsøg A) og 16. sept.-11. dec. 2002 (Forsøg B). Formålet med forsøg A var at teste en vifte af geotekstil kvaliteter (6 stk) spændende fra forholdsvis stor til minimal pore størrelse (den mindste der kunne skaffes). I dette forsøg brugtes to plantearter. Formålet med forsøg B var at teste de geotekstiler der havde vist de bedste resultater i forsøg A (3 stk.) i forhold til plantearter med forventede store forskelle i evnen til gennemgroning (3 stk.). Der anvendtes kvadratiske todelte plantekasser af klar plast med åben bund og mulighed for fri afdræning. Kasserne var 24 cm brede mens den samlede højde var 49,5 cm, heraf topstykket 33 cm og bundstykket 16,5 cm. Kasserne blev placeret på et bord i væksthushuset og fyldt med ialt 40-43 kg frisk markjord fra Forskningscenter Årslev (sandblandet ler, JB 6) med vandindhold på 13-15 % vand/jord (tørvægt). Herved opnåedes en massefylde i kasserne på 1,3-1,4 kg jord (tørvægt)/dm³ som er realistisk i forhold til massefylden målt i marken på 1,5 kg jord (tørvægt)/dm³.

Et stykke geotekstil (30x30 cm) blev lagt over bundstykket efter det var pakket med jord, hvorefter topstykket blev placeret ovenpå og pakket med jord. Der anvendtes et forsøgsdesign med 3 replikater for hver geotekstil for hver plantearter i et randomiseret komplet blokdesign. I forsøg A blev priklet frøplanter af gulerod (6 stk/kasse) og lucerne (4 stk/kasse). I forsøg B blev priklet frøplanter af hvidkål (2 stk/kasse), cikoriesalat (4 stk/kasse) samt sået ærter (4 stk/kasse). Spiring af ærterne var for dårlig ved første såning, som derfor blev gentaget 18 dage senere. Rodkassernes sider blev dækket med kraftig sort plastikfolie for at forhindre påvirkning af rodvæksten pga. lys. Der etableredes drypvanding (2 gange pr. dag) som løbende blev justeret til et niveau som gav tilstrækkelig vand til planterne uden at skabe stor vandgennemstrømning i jorden. Forsøg A blev afviklet i sommerperioden uden behov for ekstra lys og varme i væksthushuset, mens der i forsøg B blev holdt en minimumstemperatur på 15 °C samt givet ekstra lys fra d. 14. okt.

2.3 Resultatopsamling

Rodvæksten under geotekstilet blev registreret løbende ved at observere om der sås rødder gennem plastvæggen i bundstykket. Desuden blev alle rødder optalt, der krydsede en horisontal linie 8 cm under geotekstilet. Der blev talt på to sider af hver rodkasse hver 4.-8. dag afhængig af væksthastigheden. Der blev kun optalt til rodantallet oversteg 30 (1 rod pr. 1,7 cm horisontal linie). Ved afslutning af forsøg B blev det fulde antal rødder desuden kvantificeret over geotekstilet ved at tælle krydsende rødder på en horisontal linie 3 cm over geotekstilet. Efter fjernelse af topstykke og geotekstil undersøgte grundigt for gennemvoksede rødder i de rodkasser hvor der ikke var blevet registreret rødder under geotekstilet ved den løbende optælling. For hver planteart observeredes rodmorfologi for gennemvoksede rødder, dannelse af huller i geotekstilet ved gennemvoksning af tykkere rødder samt om gennemvoksede rødder forgrenede sig under geotekstilet. Der blev desuden observeret for ophobning af ler på overfladen af geotekstilerne.

2.4 Databehandling

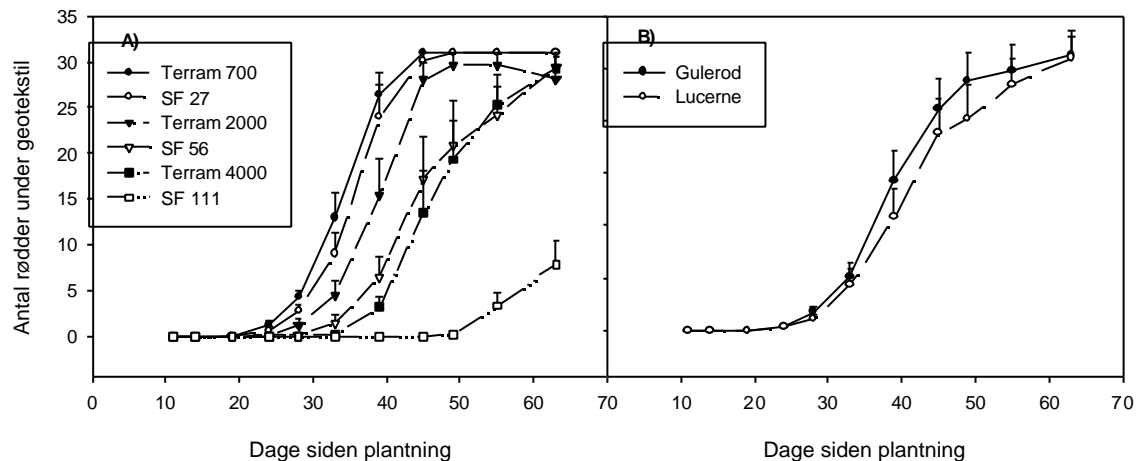
Antallet af rødder optalt under geotekstilet blev udregnet som et gennemsnit for hver planteart (inkluderende alle tekstiltyper) og hver tekstiltype (inkluderende alle plantearter dog ikke ærter i forsøg B) for hver registreringsdato. Resultater angivet som >30 rødder indgik som tallet 31 i datamaterialet. Den procentvise reduktion af rodvæksten p.g.a. geotekstil ved afslutning af forsøg B blev udregnet som antal rødder under geotekstilet i procent af antallet over geotekstilet. Forskelle mellem gennemsnit for arter eller tekstiltyper blev testet statistisk for hver registreringsdato ved to-faktor varians analyse (F-test) inklusiv test for interaktion mellem art og geotekstil. Testen efterfulgtes af parvise sammenligninger vha Tukey's test (Proc GLM, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Tests hvor $p < 0,05$ blev betragtet som statistisk signifikante.

3 Resultater

3.1 Forsøg A

Figur 3A viser resultaterne fra forsøg A, hvor det ses at alle geotekstiler blev gennemgroet i løbet af forsøgsperioden på 63 dage. Generelt ses en sammenhæng mellem pore størrelsen og rodudviklingen under geotekstilet, således at tekstiler med mindst pore størrelse forsinkede rodudviklingen mest. Der var fx ca. 16 dages forsinkelse i rodudviklingen under de tætteste tekstiler med pore størrelsen 80 og 85 μm (henholdsvis SF 56 og T4000) i forhold til de mindre tætte tekstiler med pore størrelsen 180 μm (SF27 og T700). Disse forskelle er signifikante i perioden fra dag 28 til 49. Det tætteste tekstil med pore størrelsen 55 μm (SF111) forsinkede rodudviklingen signifikant med ca. 30 dage i forhold til de groveste kvaliteter, og den lavere hældning af linien for det tætteste tekstil antyder at rodudviklingen ikke blot var forsinket men også var langsommere i forhold til de øvrige tekstiler. Både gulerod og lucerne groede igennem SF111.

Figur 3B viser resultaterne fra forsøg A for gulerod og lucerne. Der ses ingen signifikante forskelle mellem de to arter. Generelt var der ingen interaktion mellem geotekstil og art i forsøg A.



Figur 3. Gennemvoksning af geotekstiler med gulerod og lucerne (forsøg A) Antal rødder observeret under forskellige kvaliteter af geotekstilerne Terram og Typar SF i væksthushorsøg med gulerod og lucerne. A) viser resultaterne udregnet for geotekstilerne (data for gulerod og lucerne er slået sammen) mens B) viser resultaterne for de to plantearter. Tallet 31 angiver rodantal >30 i datasættet. Stolperne angiver middelfejl for A) 6 eller for B) 18 replikater.

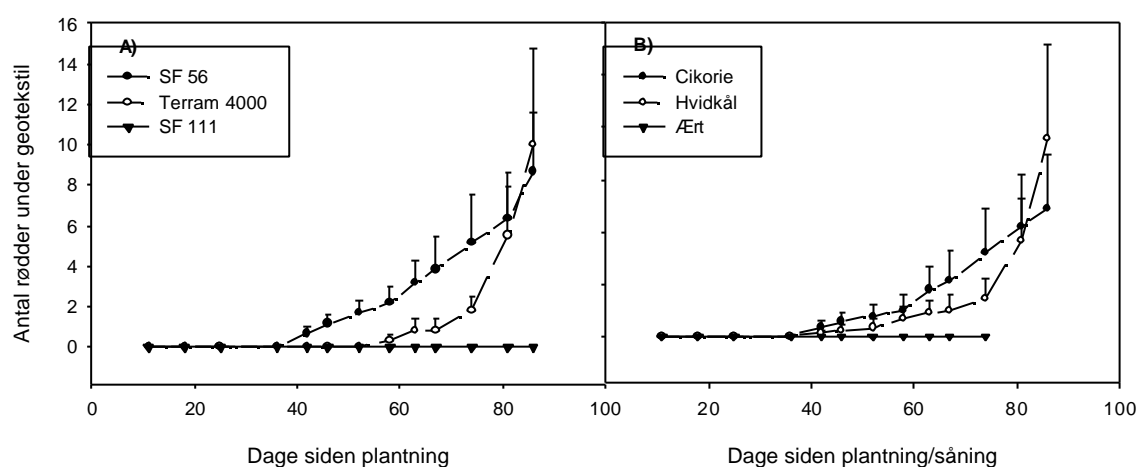
3.2 Forsøg B

Figur 4 viser at rodudviklingen generelt var meget langsommere i forsøg B end i forsøg A. Figur 4A viser resultaterne for geotekstilerne for hvidkål og cikorie. Ært er ikke medtaget i beregningerne da den som forventet havde en

svag rodvækst og ikke groede igennem nogen af geotekstilerne. Det ses at SF111 (55 μm) hindrede al rodudvikling under geotekstilet, mens T4000 (85 μm) havde en signifikant lavere rodvækst end SF56 (80 μm) ved optællingerne på dag 46 og 52.

Figur 4B viser resultaterne fordelt på de tre arter i forsøget, hvor ært ikke groede igennem nogen af tekstiltyperne i modsætning til cikorie og hvidkål. Der var ingen signifikante forskelle mellem de to sidstnævnte. Generelt var der heller ingen interaktion mellem geotekstil og art i forsøg B.

I Figur 5 ses antallet af rødder over og under geotekstilet samt antal rødder under tekstilet i procent af antallet over ved afslutning af forsøg B for hver kombination af art og geotekstil. T4000 havde signifikant flere rødder over geotekstilet end SF56, men der var ingen forskel på rodudviklingen under de to tekstiler. Der var ingen rødder under SF111 eller ært.



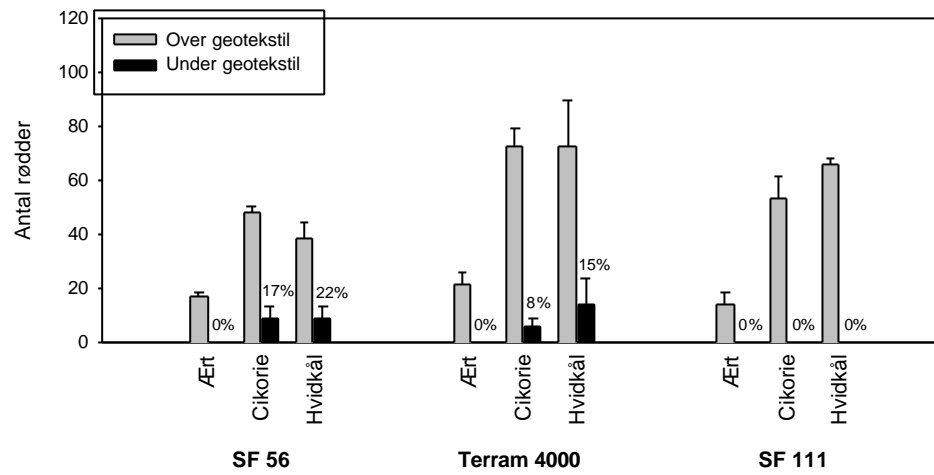
Figur 4. Gennemvoksning af geotekstiler med hvidkål, cikorie og ært (forsøg B). Antal rødder observeret under forskellige kvaliteter af geotekstilerne Terram og Typar SF i væksthuforsøg med hvidkål, cikorie og ært. A) viser resultaterne udregnet for geotekstilerne hvor resultaterne for ært er udeladt. B) viser resultaterne for de tre plantearter. Stolperne angiver middelfejl for A) 6 eller B) 9 replikater.

3.3 Generelle observationer

Generelt såes overensstemmelse mellem observationer af rødder under geotekstilet gennem rodkassernes vægge og ved undersøgelse af jorden ved afslutning af forsøgene. Der blev således kun fundet rødder i jorden under geotekstilet ved afslutning, i kasser hvor der også forud var blevet observeret rødder gennem rodkassens vægge.

Lucerne og cikorie voksede i nogle tilfælde igennem geotekstilerne med tykkere rødder, som var i stand til at forstørre den pore de voksede igennem. Gulerod var den eneste art som umiddelbart synligt havde ændret rod morfologi ved gennemvoksningsstedet. Der sås en fortykning af roden umiddelbart over og under geotekstilet mens roden i selve gennemvoksningsstedet var hårfin. Der sås forgreninger af rødder under alle de gennemvoksede geotekstiler hos gulerod, lucerne, cikorie og hvidkål.

Der var ingen ophobning af ler på geotekstilernes overflade ved forsøgsafslutning.



Figur 5. Reduktion af rodvækst (forsøg B).
 Antal rødder over og under geotekstilerne – sidstnævnte desuden angivet i procent af antal rødder over geotekstilerne i væksthuseforsøg med hvidkål, cikorie og ært. Stolperne angiver middelfejl for 3 replikater.

4 Diskussion

4.1 Fuldstændig standsning af rodudbredelsen

Forsøg A og B viste divergerende resultater idet alle geotekstiler inklusiv det tætteste Typar SF111 blev gennemgroet i forsøg A, mens SF111 som det eneste geotekstil ikke blev gennemgroet i forsøg B (Figur 3A og 4A). Selvom det var forskellige plantearter som blev testet i forsøg A og B skyldtes forskellen givetvis forskelle i vækstbetingelser snarere end artsforskelle mellem de to forsøg. Plante- og rodudviklingen i forsøg B var markant langsommere end i forsøg A pga. mindre lys i efteråret, selvom der blev suppleret med lys fra væksthusslamper. Forskelle i temperatur mellem de to forsøg vurderes at have været af mindre betydning. Forskellene i vækstbetingelser blev ikke opvejet af en længere forsøgsperiode i forsøg B. Således var det gennemsnitlige rodantal under geotekstilerne ved forsøgsafslutning efter 86 dage på 6,2 (ærter undtaget) i forsøg B. Et tilsvarende rodantal blev observeret allerede efter 33-39 dage i forsøg A. En så stor reduktion af væksthastigheden var ikke forudset ved forsøgsplanlægningen.

Resultaterne for geotekstilerne i forsøg A og B kan således ikke siges at være i modstrid med hinanden, og de viser at ingen af geotekstilerne kan sikre en fuldstændig standsning af rodvæksten hos alle arter.

Resultaterne for Typar SF56 bekræftes af resultater rapporteret af Stål (1995), som testede den rodhæmmende effekt af forskellige geotekstiler, bl.a. SF 56 som det tætteste, med det formål at begrænse rodindtrængning i vejbelægninger, kloakrør o.lign. I forsøgene sås den største hæmning af poppelrødders vækst i jord ved anvendelse af SF56. Hæmningen var dog ikke fuldstændig og både tynde og tykke rødder groede gennem geotekstilet.

4.2 Gennemgroning

Porestørrelsen i de testede geotekstiler ligger fra 55-180 μm (Tabel 1) dvs. i det område hvor man må forvente at finde de allertyndeste rødder (60-130 μm diameter jvnf. afsnit 2.1). Årsagen til at flere af de testede arter alligevel var i stand til at gro igennem selv det tætteste geotekstil var måske at målet for pore størrelsen dækker over stor spredning i pore størrelserne for det enkelte tekstil. Den angivne pore størrelse i Tabel 1 er udtryk for den maksimale pore størrelse for 90% af porerne i tekstilet, og denne værdi er fremkommet ved udførelse af en standard test, hvor partikler eller jord med kendt størrelse vådsigtes gennem tekstilerne (Anonym, 1987; Dupont de Nemours, 2002). Tekstilerne er fremstillet ved filtning som giver en mere tilfældig placering af de enkelte fibre sammenlignet med vævede tekstiler, og dermed også en større spredning i pore størrelsesfordelingen (Anonym, 1987). Den forholdsvis store spredning bekræftes af Waagepetersen (1988), som undersøgte pore størrelsesfordelingen hos forskellige drænfiltre, dvs. filtre der nedlægges omkring drænrør i marken for at hindre tilstopning af rørene. Her undersøgte bl.a. Typar SF27 (porestr. 180 μm i Tabel 1) ved retentionsanalyse dvs. ved afdræning af vand under tryk gennem tekstilet. Retentionsanalysen viste at SF 27 havde 15% af porevolumen i størrelsesklassen 0,4-0,75 μm mens 3% var

større end 0,75 µm i diameter. Da testen blev udført var SF27 ikke af nøjagtig samme kvalitet som i dag (Jørgen Darre, Burcharth, personlig meddelelse), men resultaterne er trods det et udtryk for spredningen på porestørrelsen.

Den store spredning i porestørrelsen betyder at når for eksempel det kraftigste geotekstil SF111 er angivet med en porestørrelse på 55 µm i Tabel 1, vil der være enkelte porer med langt større diameter i tekstilet. Disse porer vil blive "fundet" og gennemvokset af planterødder efterhånden som antallet af rodspidser i jordvolumet over geotekstilet stiger. Selv en sådan gennemgroning af få rødder vil være uønsket, idet de gennemvoksede rødder viste god evne til forgrening under geotekstilet. Derved vil rodsystemet være i stand til at brede sig i et større eller mindre omfang under geotekstilet, og denne del af plantens rodsystem vil derfor komme i kontakt med forureningsstoffer i den underliggende jord. Dette vil selvsagt øge muligheden for optagelse af større mængder af disse stoffer i planten.

4.3 Effekt over flere vækstsæsoner

Nærværende forsøg repræsenterer kun en enkelt vækstsæson. Ved nedlægning af geotekstiler som rodspærre over forurenede jord er det ønskeligt at der opnåes en rodstandsende effekt over flere vækstsæsoner. Resultaterne fra Miljøstyrelsen (2001) viser at tekstilerne Terram og Typar SF, som er blevet testet i dette forsøg, har en lang levetid i jorden med væsentlig tilbageværende brudstyrke efter simulering af 50 års eksponering. Resultaterne fra nærværende forsøg viser dog at mange grønsagsarter vil gro igennem geotekstilerne allerede tidligt i den første sæson. Observationerne ved afslutning af forsøgene viste desuden at flere af de testede grønsager evnede ved tykkelsesvækst af de gennemvoksede rødder at forskubbe, strække eller bryde plastfibrene i geotekstilerne. Herved blev der efterladt forstørrede porer. Disse vil gøre det lettere for nye rødder at vokse igennem i den efterfølgende sæson.

4.4 Delvis hæmning af rodudbredelsen

Der kan være tilfælde hvor en begrænsning - men ikke fuldstændig standsning - af udbredelsen af rødder i et jordlag vil være tilstrækkelig for at opfylde et givet formål. I sådanne tilfælde vil den kraftigste geotekstiltype (Typar SF111) uden tvivl have en markant effekt i mindst én vækstsæson og sandsynligvis flere. Den barriere som et geotekstil vil udgøre for planterødderne vil få rodvæksten til at brede sig i andre retninger. Dette fænomen observeredes af Stål (1995) som testede den rodhæmmende effekt af geotekstiler på poppeltræer der groede i krukke eller på friland, hvor rodhæmningen var mest udtalt i frilandsforsøget.

4.5 forskelle mellem plantearter

Med undtagelse af ærter var alle øvrige plantearter lige gode til at vokse igennem geotekstilerne i hvert af de to forsøg (Figur 3B og 4B). Desuden var rodudviklingen over geotekstilerne ikke signifikant forskellig mellem hvidkål og cikorie i forsøg B (Figur 5). Ærter havde i modsætning til de øvrige arter en svagere rodudvikling over geotekstilet og den var ikke i stand til gennemgroning af geotekstilerne (Figur 4B). Dette resultat var forventet, idet ærter var med i forsøget som repræsentant for plantearter med svag rodudvikling (se Tabel 2). Det skal i den sammenhæng bemærkes at ært blevet sået senere end cikorie og hvidkål pga. dårlig fremspiring ved første

såning. Dermed havde ært også mindre tilgængelig lys i dens vækstperiode pga. efterårets komme, hvilket sandsynligvis har været medvirkende til en svagere rodudvikling.

4.6 Undersøgelse af tilstopning af geotekstiler

Hvis geotekstiler anvendes som rodspærre er der mulighed for at tekstilerne tilstoppes med jord som bevæger sig nedad i jordprofilen med nedsivende regnvand. Dette kan med tiden give problemer med afdræning af jorden. I dette forsøg observeredes ingen jordtilslemning af geotekstilerne. Tilførsel af vand i forsøget foregik ved drypvanding hvorved der ikke opstod større vandgennemstrømning gennem rodkassen. Derfor var forsøget ikke optimalt til at teste tilstopning af tekstilerne.

Dette var derimod tilfældet for et arbejde rapporteret af Waagepetersen (1988). Her testedes bl.a. grov- og mellemporede geotekstiler fx Typar SF 20 og 27 (porestr. 227 og 180 μm) for gennemtrængelighed for silt, finsand og lerblandet sandmuld. Formålet var at vurdere tekstilernes egnethed som drænfiltre. Desuden testedes mere finporede geotekstiler bl.a. typen Fibertex G100 (polypropylen, termisk bundet filtstruktur, porestr. 110 μm). Under de udførte tests blev store mængder vand med opslemmede partikler ført gennem tekstilerne i en længere forsøgsperiode. Der målttes partikler over og under tekstilerne samt ændringer i vandgennemstrømningen i løbet af forsøgsperioden. Generelt var Typar SF filtrene gennemtrængelige for siltpartikler (23 og 9 μm) mens finsand blev tilbageholdt (20-200 μm). Desuden skete kun et lille fald i vandgennemstrømningen. Disse egenskaber er fordelagtige i forhold til tilstopning, idet det er siltpartikler som normalt forårsager blokering af drænfiltres porer og dermed nedsætter vandgennemstrømningen. I overensstemmelse hermed blev SF 20 ikke nævneværdigt tilstoppet ved forsøg med lerblandet sandmuld.

Resultaterne fra forsøg med finporede filtre, bl.a. Fibertex G100, er måske mere relevante for geotekstiltyperne i nærværende arbejde. De finporede filtre tillod hverken passage af finsand eller siltpartikler, og vandgennemstrømningen blev betydeligt formindsket i løbet af forsøget. Ligeledes skete en delvis blokering i et forsøg med omlejret lerblandet sandmuld. Det konkluderedes at man på ler, silt eller humusholdig jord med risiko for partikelvandring, må regne med risiko for blokering af finporede filtre (Waagepetersen, 1988).

4.7 Vurdering af tilstopning af geotekstiler

Ovennævnte tests af geotekstiler som drænfiltre må anses for ekstreme i forhold til den anvendelse som er emnet for denne rapport. Meget store mængder vand fra det omkringliggende jordvolumen ledes gennem drænfiltre ved passage ind i drænrør i forhold til almindelig afdræning af regnvand gennem markprofilen til grundvandet. Ved brug af geotekstiler som rodspærre er det den sidstnævnte situation som er aktuel. Baseret på konklusionerne i Waagepetersen (1988) vurderer vi at tilstopning med jord sædvanligvis ikke vil udgøre et problem for de mellem-tætte geotekstiler testet i dette forsøg (porestr. ned til 80 μm) under anvendelsen som rodspærre på friland. Det er derimod tvivlsomt hvorvidt dette også gælder ved brug af det tætteste geotekstil (porestr. 55 μm), samt ved nedlægning af geotekstiler på mere ustabile jorde.

5 Konklusion

Ingen af de testede geotekstiler kan konkluderes at kunne hindre udbredelsen af rødder i et jordlag effektivt. Dette er målet hvis geotekstiler skal anvendes til at sikre at grønsager dyrket i overliggende ren jord ikke kommer i kontakt med underliggende forurenede jord. Da de testede geotekstiler repræsenterer de bedst egnede til formålet som nu er tilgængelige på markedet, kan det således konkluderes, at geotekstiler ikke kan anvendes til standsning af rodvækst mellem lag af ren og forurenede jord.

Der kan være tilfælde hvor en begrænsning - men ikke fuldstændig standsning - af rodsystemers udbredelse i et jordlag i en kortere årrække kan være tilstrækkelig til opfyldelsen af et givet formål. I sådanne tilfælde vil meget tætte geotekstiler som det testede Typar SF 111 kunne anvendes. Hvis man ønsker at anvende geotekstiler til en begrænsning af rodvæksten, anbefales det først at foretage en test af de mest relevante geotekstiler på friland over mindst to vækstsæsoner.

En tidligere undersøgelse viser at kun de tætteste geotekstiler har tendens til tilstopning med jord ved brug som drænfiltre. På dette grundlag vurderes at tilstopning ikke vil udgøre et problem ved anvendelse af de mellem-tætte geotekstiler (porestr. ned til 80 µm) som rodspærre på de fleste jordtyper.

6 Litteraturliste

Anonym (1987). Designing for subsurface drainage. Bog udgivet af Terram Limited. s. 46-48.

Dupont de Nemours (2002). Testrapport fra producenten Dupont de Nemours International S.A.

Miljøstyrelsen (2001). Markeringsnet og geotekstiler - egnethed til markering mellem ren og forurennet jord. Miljøprojekt Nr. 584, 2001. Udarbejdet af Teknologisk Institut v. K. Karbæk. 48 s.

Ma, Z., Bielenberg, D.G., Brown, K.M., Lynch, J.P. (2001). Regulation of root hair density by phosphorus availability in *Arabidopsis thaliana*. *Plant, Cell and Environment* 24: 459-467.

Materechera, S.A., Alston, A.M., Kirby, J.M., Dexter, A.R. (1993) Field evaluation of laboratory techniques for predictiong the ability of roots to penetrate strong soil and of the influence of roots on water sorptivity. *Plant and Soil* 149: 149-158.

Fitter, A., Hodge, A., Robinson, D. (2003) Constraints on the form and function of root systems. Bogkapitel i: *Root Ecology*, de Kroon, H., Visser, E., (eds.) Heidelberg: Springer, under trykning.

Stål, Ö. (1995). Rotspärrar håller rötterna i schack. *Gröna fakta* nr. 2: 1-8.

Waagepetersen, J. (1988). Laboratorieforsøg med drænfiltre. Hedeselskabets forskningsvirksomhed. Beretning nr. 36, 63 s.