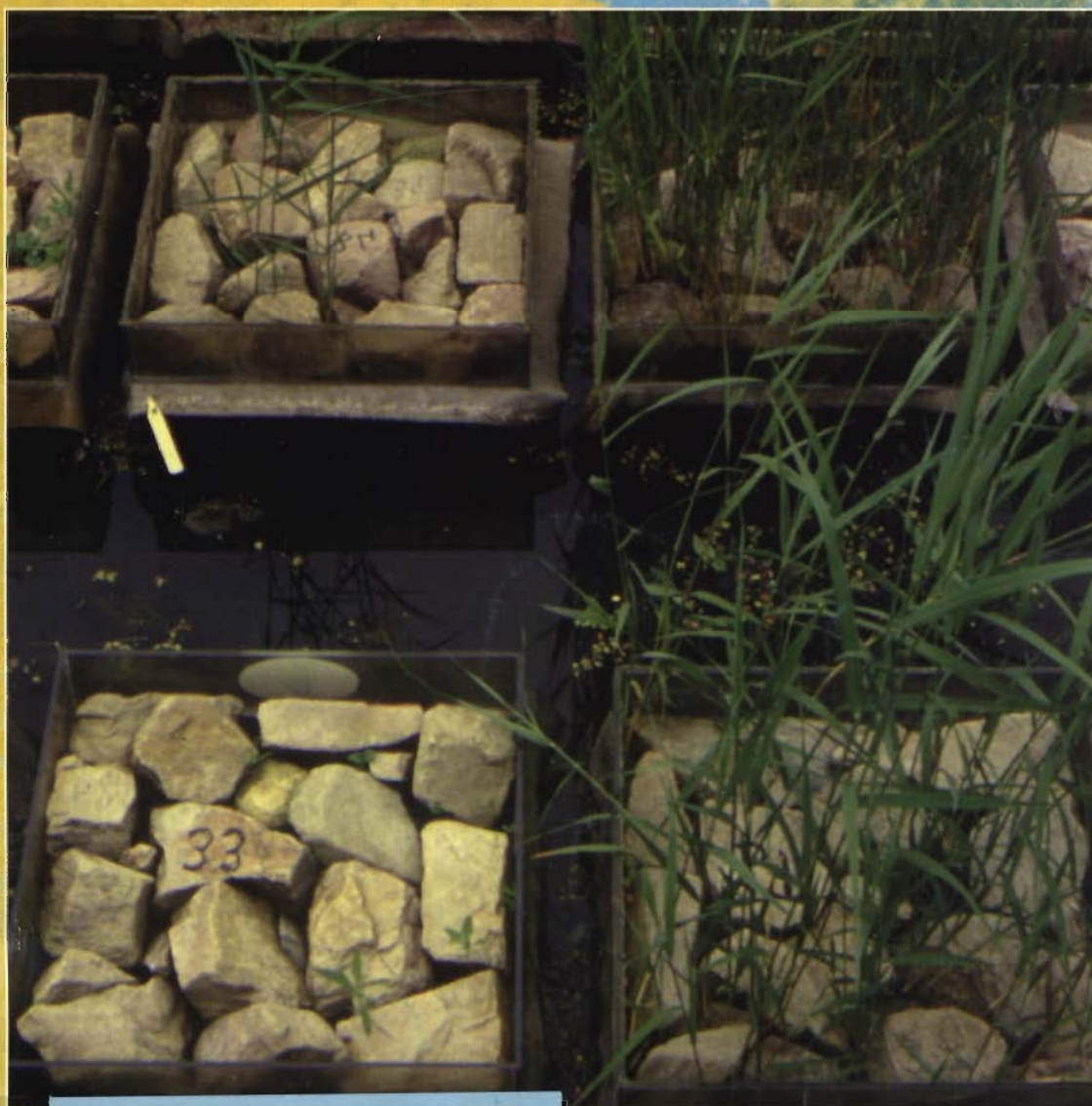




Doorgroeibaarheid van Geotextielen

Eindverslag van een tweejarige
proefopstelling met riet



392

2e ex

B I D O C

(bibliotheek en documentatie)



Dienst Weg- en Waterbouwkunde
Postbus 5044, 2600 GA DELFT
Tel. 015 - 2518 363/364



Bureau Waardenburg bv

DW brief

10 AUG. 1990

Erratum

Helaas zijn in het rapport een aantal fouten geslopen die correctie behoeven.

blz 3 (Samenvatting):
"weefsels gewicht $\leq 194 \text{ g/m}^2$ " moet zijn "weefsels gewicht $\leq 233 \text{ g/m}^2$ "

Op dezelfde bladzijde: "Van de 22 typen geteste weefsels voldoen.....9 aan het gewichtscriterium" moet zijn "Van de 22 typen geteste weefsels voldoen.....14 aan het gewichtscriterium"

Op dezelfde bladzijde, de laatste zin: ", dan voldoen er van de weefsels 9 (40%)....." vervangen door "dan voldoen er van de weefsels 8 (36%)....."

Dezelfde correcties moeten worden toegepast op de volgende bladzijden:

- 7 (Summary) onderaan
- 37 (§ 4.5) halverwege
- 38 (tabel 7)
- 39 laatste twee alinea's
- 42 laatste twee tekstblokken
- 43 laatste tekstblok

g.6-392
(2^e ex)

Doorgroeibaarheid van geotextielen;

eindverslag van een tweejarige proefopstelling met riet

- 7 JULI 1995

J.M. Reitsma
Bureau Waardenburg bv

maart 1995

Rapport nr.
W-DWW-95-309

Titel rapport
Doorgroeibaarheid van geotexti-
len.

Prijs rapport
f 30,--

Schrijver
J.M. Reitsma

Uitvoerend Instituut
Bureau Waardenburg BV,
Postbus 365
4100 AJ Culemborg

Opdrachtgever
Dienst Weg- en Waterbouwkunde,
Postbus 5044
2600 GA Delft

Titel Onderzoeksproject
OM2 Doorgroeibaarheid van geo-
textielen

Datum publikatie
maart 1995

Rapporttype
DWW-werkdocument

Begeleiding
E.A.M. Ivens

Aantal blz.
46 plus bijlagen

De Dienst Weg- en Waterbouwkunde van de Rijkswaterstaat (dww), *degenen die aan deze publikatie hebben meegewerkt*, hebben de in deze publikatie opgenomen gegevens zorgvuldig verzameld naar de laatste stand van wetenschap en techniek. Desondanks kunnen er onjuistheden in deze publikatie voorkomen.

Het Rijk sluit, *mede ten behoeve van degenen die aan deze publikatie hebben meegewerkt*, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die uit het gebruik van de hierin opgenomen gegevens mocht voortvloeien.

Samenvatting

Het gebruik van kunststof filterdoeken (geotextielen) in oeverconstructies is nodig in relatief zwaar aangevallen oevers. De begroeiing vormt in dergelijke situaties een aanvullende verdediging tegen erosie door golven.

Om een optimale ontwikkeling van de begroeiing mogelijk te maken is het nodig geotextielen toe te passen die relatief goed doorgroeibaar zijn.

Omdat er relatief weinig bekend is van de mate waarin geotextielen doorgroeibaar zijn en welke eigenschappen daarvoor verantwoordelijk zijn, is door middel van een buitenopstelling de doorgroeibaarheid van 35 verschillende typen geotextiel getest. De proefopstelling was zodanig gekozen dat de oever situatie zo veel mogelijk werd nagebootst. De looptijd van de proef bedroeg twee jaar. Er is gebruik gemaakt van één plantesoort, riet.

In dit rapport wordt verslag gedaan van deze proef en worden de resultaten geanalyseerd. Deze rapportage kan beschouwd worden als een vervolg en tevens afronding van een eerder uitgevoerde pilot studie (Reitsma, 1992).

Apart voor vliezen en weefsels zijn met behulp van stapsgewijze regressie correlaties opgespoord tussen de relevante produkteigenschappen (gewicht, sterkte en rek in de ketting- en inslagrichting (trek-ketting, trek-inslag, rek-ketting, rek-inslag), poriegrootte (O_{90}) en waterdoorlatendheid) en de doorgroeieresultaten (drooggewicht bovengronds, drooggewicht ondergronds, aantal doorboringen in 1993, aantal stengels in 1994, aantal doorboringen in 1994, spuitdiameter en spuitlengte).

Bij weefsels wordt de doorgroeibaarheid vooral bepaald door het gewicht, bij vliezen door de O_{90} . Hoe groter het gewicht respectievelijk hoe kleiner de O_{90} , des te slechter de doorgroeibaarheid. Als maat voor de vitaliteit van het riet wordt de gemiddelde spuitlengte en spuitdiameter gezien. Deze eigenschap-

pen worden bij weefsels vooral bepaald door respectievelijk de trek-ketting en de trek-inslag, bij vliezen in beide gevallen voornamelijk door de trek-inslag. Bij een hogere waarde voor de trek-ketting c.q. trek-inslag neemt de afsnoering toe en daarmee de vitaliteit van het gewas af.

Op grond van de doorgroeieresultaten van deze studie worden een aantal criteria geformuleerd waaraan geotextielen moeten voldoen willen ze een redelijk tot goed begroeide oever mogelijk maken. Het gaat om de volgende criteria:

weefsels	gewicht $\leq 194 \text{ g/m}^2$ $\ln(F_{2,5}) \leq 2,76$
vliezen	poriegrootte (O_{90}) $\geq 94 \text{ }\mu\text{m}$

Van de 22 typen geteste weefsels voldoen er 13 aan het criterium ten aanzien van de penetratiekracht en 9 aan het gewichtscriterium. Van de 13 typen vliezen voldoen er 8 aan de minimumeis ten aanzien van de O_{90} . Wanneer de eisen met betrekking tot doorgroei gecombineerd worden met globale eisen voor een vitale begroeiing op langere termijn, dan voldoen er van de weefsels 9 (41%) en van de vliezen 4-7 (31-54%).

Summary 7

Voorwoord 9

1	Inleiding 11
2	Materialen, methodiek en uitvoering 13
2.1	Materiaalkeuze 13
2.2	Proefopstelling 13
2.3	Uitgevoerde metingen 17
3	Resultaten 21
3.1	Groei en mortaliteit gedurende de proefperiode 21
3.2	Spruitdikte en -lengte 22
3.3	Biomassabepalingen 25
3.4	Statistische toetsing (ANOVA) 25
3.5	Geotextieleigenschappen en doorgroeiresultaten 27
3.5.1	Weefsels 28
3.5.2	Vliezen 30
4	Discussie 33
4.1	Relaties tussen doorgroei van riet en geotextieleigenschappen 33
4.2	Vergelijking met resultaten pilot study 34
4.3	Vergelijking met resultaten labproeven (penetratieweerstand) 35
4.4	De factor tijd 35
4.4.1	Eerste versus tweede groeiseizoen 35
4.4.2	Verwachte ontwikkelingen over een langere periode 36
4.5	Vertaling naar de praktijksituatie van oevers 36
5	Conclusies en aanbevelingen 41
5.1	Conclusies 41
5.2	Aanbevelingen 43
6	Referenties 45

Figuren 1-7

Bijlagen 1-3

Geotextiles (woven and non-wovens) are used on a large scale in bank protection works as a filter to prevent soil particles from being washed out. Present vegetation acts as a supporting erosion control. To promote the development of bank vegetation the geotextile needs to be penetrable for riparian plants like reed and bullrush.

However, not much is known about the penetration characteristics of geotextiles. It is difficult to determine in the field whether species have penetrated the geotextile, as geotextiles are usually covered by loose stones or concrete blocks. Therefore a research project has been carried out to get an indication of the penetration of an emergent macrophyte (*Phragmites australis*, common reed) through 35 different types of geotextile.

This report presents the results of this outdoors experiment which lasted two years. It can be concluded from this study, that the penetration through wovens is mainly determined by the geotextile weight (m^{-2}) and the penetration through non-wovens by the pore size of the geotextiles.

Vitality of a reed belt can be characterized by shoot length and shoot diameter. For both wovens and non-wovens these parameters are mainly determined by the tensile strength of the geotextiles.

Based on the results of this study the following criteria are formulated to select geotextiles to be used in ecologically sound bank protection works:

wovens	weight $\leq 194 \text{ g/m}^2$ $\ln(F_{2,5}) \leq 2,76$
non-wovens	pore size (O_{90}) $\geq 94 \mu\text{m}$

Combining these criteria with criteria for a vital reed vegetation on the long-term results in 9 wovens (41%) and 4-7 non-wovens (31-54%) meeting these conditions.

In 1991 is op verzoek van de onderzoekcommissie C 59 'Constructieve Aspecten Milieuvriendelijke Oevers' van de CUR (Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving) door Bureau Waardenburg in samenwerking met Rijkswaterstaat / Dienst Weg- en Waterbouwkunde een pilot studie uitgevoerd naar de doorgroeibaarheid van geotextielen door riet (Reitsma, 1992). Het betrof een éénjarige proefopstelling met 10 verschillende geotextielen.

Als vervolg op de pilot studie van 1991 is in 1993 op vergelijkbare wijze een proef ingezet waarbij ditmaal gekozen werd voor een tweejarige opstelling met in totaal 35 verschillende typen geotextielen. In dit rapport worden de resultaten van deze proef gepresenteerd.

Aanleiding tot het uitvoeren van doorgroeibaarheidsproeven was het feit dat er weinig bekend was over doorgroei van geotextielen door planten. De studie is uitgevoerd met één plantesoort te weten riet.

Coördinator van de kant van de opdrachtgever was E. Ivens. Technische ondersteuning en advisering met betrekking tot geotextielen is gegeven door R. Boeters (DWW). Assistentie met betrekking tot de statistische verwerking van de gegevens is verleend door mevr. M.E. van den Bol (TNO/TPD). Behalve Ivens, Boeters en Van den Bol hebben de volgende personen commentaar geleverd bij het conceptrapport: G.J. Verkade (CUR), A. van den Burg (DWW) en A.W. van Schaik (DWW). De genoemde personen worden bedankt voor hun bijdrage aan het welslagen van de proeven en het totstandkomen van dit rapport.

Een bijzonder woord van dank gaat uit naar de geotextiel-producenten die het materiaal hebben geleverd: UCO Nederland, Hoechst Holland bv, De Keerkring, CTN Civiele Techniek Nederland, Rook Krimpen, Gouderak bv, Nicolon bv, Van Marle Handelsbureau.

Het project-team van Bureau Waardenburg bestond uit:

- J.M. Reitsma, projectleider; rapportage en uitvoering proeven;
- H.W. Waardenburg, supervisie inrichten proefopstelling;
- W.J.G.M. van Gemert, F. Booy, J. van der Horst, P. de Joode, E. de Boer, W. Wolters en R. Munts assistentie bij inrichten en uitvoeren proeven;
- J. van der Winden en S. Dirksen, assistentie statistische verwerking.

Bureau Waardenburg BV - J.M. Reitsma
Culemborg, maart 1995

1 Inleiding

Geotextielen worden veelvuldig toegepast als filter in een oeververdediging, al of niet in combinatie met betonblokkenmatten of andere harde materialen. In sommige gevallen is toepassing van filters bestaande uit natuurlijke materialen mogelijk. Dergelijke materialen, bijvoorbeeld jute of cocos, vergaan na een aantal jaren waarna de inmiddels ontstane vegetatie de verdedigende functie overneemt. Langs relatief zwaar aangevallen oevers echter, is toepassing van een permanent filterdoek noodzakelijk. In dergelijke situaties worden over het algemeen weefsels of vliezen gebruikt.

Voor een uitvoerige beschrijving van geotextielen en hun toepassingen wordt verwezen naar o.a. Giroud (1984), Heerten (1981), Ingold & Miller (1988), Nederlandse Vereniging Kust- en Oeververdediging (1982), Veldhuizen van Zanten (1994), CROW (1988). CUR/NGO (1995).

Het is duidelijk dat geotextielen in zekere mate belemmerend werken op de aanwezige begroeiing. Het doorboren van het kunststofdoek met behulp van wortels, spruiten of rhizomen lukt zeer waarschijnlijk een aantal plantesoorten niet.

Uit onderzoek van Bureau Waardenburg, in opdracht van CUR C59 en in samenwerking met Rijkswaterstaat DWW, naar de begroeiing op betonblokkenmatten (Reitsma, 1989), bleek dat slechts voor een beperkt aantal soorten met zekerheid kon worden vastgesteld dat ze het geotextiel doorboorden. Dit bleek het geval met Riet, een aantal op de matten aangetroffen wilgesoorten en de Zwarte els.

Het vermoeden bestond dat ook een aantal tweejarige dicotylen, zoals Harig wilgeroosje, Wolfspoot en Koninginnekruid, er soms in slagen het geotextiel te doorboren (van bovenaf). Het probleem is echter dat in het veld zeer moeilijk vast te stellen is of dat inderdaad het geval is, omdat daartoe eigenlijk de constructie opgelicht moet worden.

Het beleid van Rijkswaterstaat is er op gericht de toepassing van natuurvriendelijke oeverconstructies te stimuleren. Dit heeft o.a. geresulteerd in het handboek Natuurvriendelijke Oevers (CUR, 1994).

In de lijn van het streven naar natuurvriendelijke oevers ligt de wens om ook in het geval van toepassing van geotextielen met een permanent karakter, die geotextielen te kiezen die doorgroeibaar zijn voor planten.

In 1991 is door Bureau Waardenburg een pilot studie uitgevoerd waarbij in een buitenopstelling een tiental geotextielen in duplo werden getest op hun doorgroeibaarheid door riet (Reitsma, 1992). De doelstelling van dat onderzoek was enerzijds het uittesten van de proefopstelling, anderzijds het geven van een indicatie over de mate van doorgroeibaarheid van de verschillende typen geotextielen. Meer dan een indicatie was niet mogelijk aangezien uitvoering van de proeven in duplo geen statistische berekeningen toestonden.

Naar aanleiding van de pilot studie is in 1993 besloten tot uitvoering van een vervolgonderzoek waarbij gekozen is voor

- een looptijd van twee jaar (twee groeiseizoenen);
- alleen geotextielen (weefsels en vliezen) bestaande uit kunststofmaterialen;
- een proefopzet met drie duplo's per geotextiel.

Analoog aan de buitenproef zijn door de DWW laboratorium tests uitgevoerd waarbij met behulp van een zelf ontwikkelde testmethode de penetratieweerstand van geotextielen is bepaald (Ivens & Van den Bol, 1994). Daarbij zijn dezelfde geotextielen getest welke ook voor de buitenproef zijn gebruikt. Bij de analyse van de resultaten wordt een vergelijking gemaakt met de bevindingen die volgden uit genoemd onderzoek (§ 4.3).

2 Materialen, methodiek en uitvoering

2.1 Materiaalkeuze

Er zijn 35 verschillende typen geotextiel getest, afkomstig van acht verschillende producenten. Bijlage 1 geeft een overzicht van de verschillende produkten en hun belangrijkste eigenschappen. De technische gegevens zijn door de producenten aangeleverd.

De 35 gekozen geotextielen vormen een redelijk volledig sortiment van filters die toegepast worden in redelijk zwaar tot zwaar aangevallen oevers. Het onderzoek richt zich op oevers waar hoofdzakelijk zware materialen de verdediging vormen, en de vegetatie deze verdediging ondersteunt. Structuurmatten en grids, alsmede geotextielen bestaande uit natuurlijke materialen zijn niet getest. De laatsten worden veelal toegepast in oevers waar de vegetatie na verloop van tijd de beschermende functie van het (inmiddels vergane) doek overneemt.

Het onderzoek beperkt zich dus tot woven (weefsels) en non-woven (vliezen) produkten die regelmatig in het genoemde oevertype worden toegepast. Deze woven en non-woven produkten hebben een poriegrootte die meestal tussen 50 en 1000 μm ligt, met enkele uitschieters van 1500-5000 μm (Ivens, 1992). Volgens recente produktoverzichten in het tijdschrift "Geosynthetics World" zijn er in Europa ongeveer 90 verschillende non-woven en 150 woven produkten op de markt. Deze worden door ca. 20 verschillende producenten geleverd. Het was niet doenlijk al deze geotextielen stuk voor stuk te testen. Gekozen is voor het testen van series van produkten afkomstig van enkele producenten, representatief voor het totale aanbod.

Ten aanzien van de uiteindelijke selectie van te testen geotextielen is vooral gelet op de poriegrootte. Uit eerder onderzoek (Reitsma, 1992) kwamen sterke aanwijzingen naar voren dat deze eigenschap wel eens het meest gecorreleerd zou kunnen zijn met de mate van doorgroeibaarheid. Om die reden is getracht de geotextielen zodanig te kiezen dat zo veel mogelijk variatie ten aanzien van de poriegrootte aanwezig is. Bij het definitieve sortiment van 35 geotextielen varieert de poriegrootte van 65 tot 1200 μm .

De 35 produkten zijn onder te verdelen in 13 vliezen en 22 weefsels. Terwijl weefsels bestaan uit geweven garens, dat wil zeggen de garens zijn gerangschikt in twee haaks op elkaar staande richtingen, bestaan vliezen uit vezels die in allerlei willekeurige richtingen lopen.

2.2 Proefopstelling

Plaats van uitvoering

Er is gekozen voor uitvoering van de proeven in de buitenlucht. Het buiten uitvoeren van de proef heeft als grote voordeel dat de behaalde resultaten een reëler beeld geven van een oeversituatie dan bij kas- of laboratoriumomstandigheden.

Realisatie van de proef vond plaats op het bedrijfsterrein van Bureau Waardenburg in Leerdam. Dit terrein ligt temidden van een weidegebied deel uitmakend van de Vijfheerenlanden. Een gedeelte van dit terrein is laag gelegen en

moerassig.

Gebruikte materialen

De doorgroeibaarheid van geotextielen is bepaald door middel van potproeven. De gebruikte bakken hebben een afmeting van 50 x 50 x 40 cm. Het betreft glazen aquariumbakken met een glasdikte van 6 mm. Ze bestaan uit twee onderdelen, een onderste deel van 50 x 50 x 30 cm en een bovenste deel van 50 x 50 x 10 cm. Deze twee delen zijn na het plaatsen van de stekken op elkaar gelijmd met het betreffende geotextiel daartussen. Dit was nodig om verplaatsing van het geotextiel door rietspruiten te voorkomen.

Om de situatie in matig aangevallen oevers zo goed mogelijk te benaderen is breuksteen van het type Grauwacke (sortering 80/120 mm) in een enkele laag op het geotextiel aangebracht.

Ter voorkoming van zuurstofloze omstandigheden en om een constant vochtgehalte in de bakken te realiseren, zijn onder in de bakken twee cirkelvormige openingen gemaakt met een diameter van 3 cm.

Voor alle 35 typen geotextiel zijn drie bakken geconstrueerd. Daarnaast zijn nog drie bakken gemaakt ter referentie (bakken zonder geotextiel). Dit brengt het totale aantal bakken op 108.

Het substraat is in een laag van ca. 30 cm aangebracht en bestaat uit een zandig kleimengsel zonder schadelijke verontreinigingen en met normale N- en P-gehalten. De gebruikte grond is afkomstig uit de omgeving van Schoonrewoerd.

Analyse van de gebruikte grond door het Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek leverde de volgende gehalten voor N en P op:

- N-totaal /100 gram droge grond: 0,294 gram
- P-totaal /100 gram droge grond: 0,327 gram

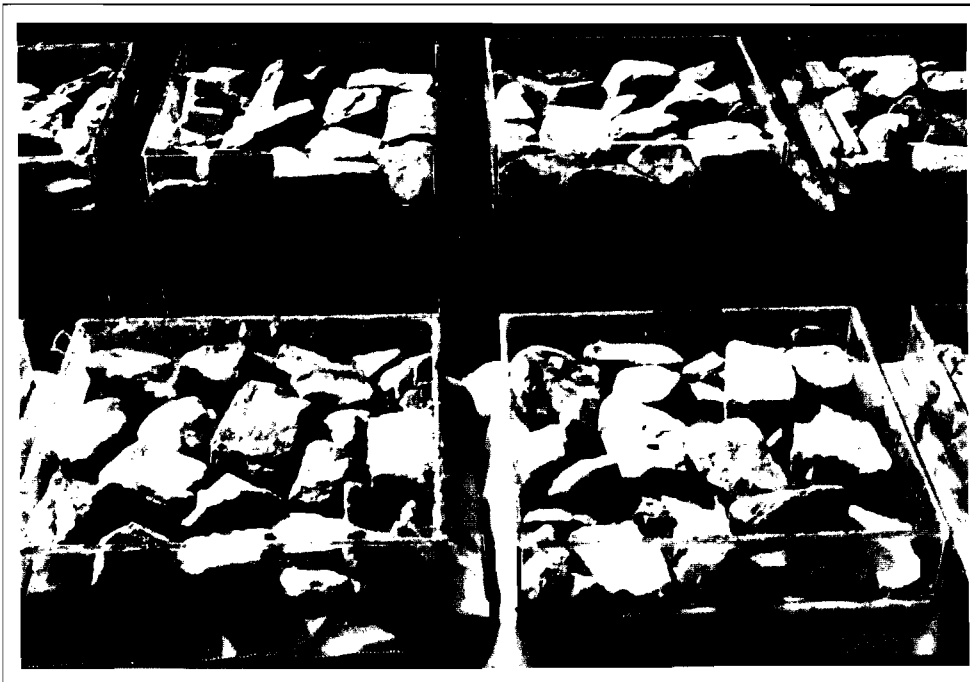
Als plantmateriaal zijn wortelstokken van riet gebruikt met minimaal twee luchtkamers en ca. drie tot vijf knoppen. De wortelstokken, afkomstig uit het gebied van de IJsseldelta, zijn geleverd door een erkende leverancier en waren van goede kwaliteit. Per pot zijn 5 stekken geplaatst.

Inrichting en looptijd proefopstelling

Inrichting van de proefopstelling vond plaats vanaf de laatste week van maart 1993. Daartoe werd een gat gegraven van ca. 5 m breed, 25 m lang en 1 m diep.

Op het aangebrachte vijverfolie zijn vervolgens houten vlonders geplaatst. Daarna zijn de met aarde gevulde bakken op de vlonders gezet. Er is voor gezorgd dat alle bakken op dezelfde diepte kwamen te staan waardoor alle stekken bij het ingestelde waterpeil in de vijver gegarandeerd dezelfde vochtcondities zouden krijgen.

Op 27, 28 en 29 april 1993 zijn de stekken geplaatst en is dus de feitelijke proef ingezet. Op 29 april is met behulp van een pomp de vijver gevuld met water uit de nabij gelegen wetering. Het waterniveau is gebracht tot op ca. 5 cm onder de stekken. Tevens is een afvoerpijp aangelegd met een afstelbare regelbuis, zodat een teveel aan water ten gevolge van bijvoorbeeld een zware



*Foto 1. Overzicht van een aantal bakken vlak na het inzetten van de proef (april 1993).
Foto 2. Rietwortelstokken.*

onweersbui, automatisch weer af kon vloeien in de wetering. Controle van het waterpeil vond dagelijks plaats. Zo nodig werd water bijgepompt.

De proefopstelling heeft de winter van 1993 op 1994 overgestaan. Om eventuele schade aan de bakken door bevrozing te voorkomen, zijn de bakken vanaf november 1993 onder water gezet. In maart 1994 is het waterpeil weer tot het normale niveau teruggebracht.

Aan het einde van het tweede groeiseizoen, rond half oktober 1994, is de proef beëindigd.

Proefopstelling en statistische verwerking

De proefopzet is zodanig gekozen dat statistische verwerking van de resultaten met behulp van variantie analyse mogelijk is.

Daarnaast is het ontwerp en de uitvoering zodanig dat de condities voor alle bakken zo veel mogelijk dezelfde zijn, waardoor verschillen in doorgroei niet verklaard kunnen worden uit verschillen in omgevingscondities. Om dergelijke effecten nog verder te minimaliseren is, voordat de bakken werden opgesteld, een loting van de geotextielen over de bakken uitgevoerd.

De loting is gebeurd volgens een "block design". Daarbij is de vijver in drie blokken verdeeld waarna vervolgens per blok van elk type geotextiel een replica is ingeloot. Daardoor bevat elk van de drie blokken uiteindelijk één replica, inclusief de referentie.

2.3 Uitgevoerde metingen

Gedurende de looptijd van de proef

De proef heeft plaatsgevonden van eind april 1993 tot half oktober 1994. De totale looptijd bedraagt dus bijna 18 maanden. Gedurende deze periode zijn de volgende metingen verricht:

- Tellen van het aantal door het geotextiel gegroeide scheuten (doorboringen) en markeren van de nieuw opgekomen scheuten met tijdaanduiding (eens per 2 weken gedurende het groeiseizoen); de positie van elke nieuw opgekomen scheut in de bak is op millimeterpapier aangegeven. Op deze manier kon tevens worden nagegaan of er afsterving van spruiten plaatsvond en welke dat precies waren.
- Fotografisch vastleggen van de ontwikkelingen (ongeveer eens per twee maanden).

Tijdens het verloop van de proef is voortdurend gecontroleerd of de condities in orde waren en of er geen verstoringen optraden. In de nazomer van 1993 was vrij veel bladluis aanwezig in de rietplanten (evenals in Riet uit de omgeving). De bladluis is met de hand verwijderd, door ze met een doekje van het blad af te vegen. Er zijn geen bestrijdingsmiddelen gebruikt. Tevens zijn andere planten dan Riet consequent uit de bakken verwijderd (handmatig), om eventuele verstoring van de proefresultaten te voorkomen.

Aan het eind van de proefperiode

Half oktober 1994 is de proefopstelling afgebroken en zijn voor alle bakken de

volgende metingen c.q. waarnemingen verricht:

- totaal aantal scheuten
- aantal bloeihalmen
- dikte (mm) en lengte (cm) van de scheuten
- biomassa (gram drooggewicht) van de ondergrondse delen (rhizomen en wortels) en de bovengrondse delen. Het drooggewicht is bepaald door droging van de monsters in een droogstoof bij 80° C gedurende minimaal 48 uur.



Foto 3. Overzicht van de proefopstelling vlak na het inzetten van de proef (april 1993).

Foto 4. Overzicht van de proefopstelling halverwege het tweede groeiseizoen (juli 1994).

3 Resultaten

Een totaaloverzicht van de groeieresultaten is vermeld in bijlage 2. In bijlage 3 zijn de resultaten gemiddeld dan wel gesommeerd per geotextiel weergegeven. Als groeieresultaten zijn achtereenvolgens opgenomen (per type geotextiel en/of per bak):

- drooggewicht van de bovengrondse delen in grammen;
- drooggewicht van de ondergrondse delen in grammen;
- het aantal doorboringen (aantal spruiten dat door het geotextiel heen gegroeid is) in 1993;
- het aantal bloeihalmen in 1994;
- het aantal stengels in 1994 (het aantal getelde stengels is vrijwel altijd hoger dan het aantal doorboringen als gevolg van het uitlopen van spruiten boven het geotextiel);
- het aantal doorboringen (aantal spruiten dat door het geotextiel heen gegroeid is) in 1994;
- de gemiddelde lengte van de spruiten in centimeters;
- de gemiddelde diameter van de spruiten in millimeters.

3.1 Groei en mortaliteit gedurende de proefperiode

Het eerste en het tweede groeiseizoen laten een duidelijk verschillend beeld zien ten aanzien van de spreiding van het aantal doorboringen in de tijd (figuur 1). In deze figuur is per week dat er geteld is, het totaal aantal nieuw doorgelopen spruiten voor alle bakken gesommeerd.

In het eerste groeiseizoen komt de groei langzaam op gang. Pas in week 20 (half mei) is er voor het eerst sprake van doorboring van geotextielen. Na een piek rond begin juni treedt er gedurende de maand juni een daling in. Eind juli doet zich een tweede piek voor, waarna het aantal doorboringen tot oktober redelijk constant blijft.

In 1994 is het verloop van de groei geheel anders. De grootste piek doet zich gelijk in het begin van het groeiseizoen voor (half april), waarna in grote lijnen een daling tot aan het einde van het seizoen volgt. Tussentijds doen zich nog pieken voor rond eind mei en eind augustus.

Over de gehele linie is het aantal doorboringen per waarnemingsweek in 1994 hoger dan in 1993. Voor de geotextielen afzonderlijk geldt hetzelfde (figuur 2). Gemiddeld per geotextiel is het aantal doorboringen in 1994 3,9 maal zo groot als in 1993, de geotextielen zonder doorgroei niet meegerekend. De hoogste coëfficiënt (doorgroei 1994/doorgroei 1993) bedraagt 11 (TS 500), de laagste 0,5 (Geolon 40).

Het aantal spruiten geteld aan het eind van de proef (1994) is veel groter dan het aantal doorboringen in dat jaar. Dit komt doordat nietspruiten, wanneer ze eenmaal het geotextiel doorgroeid hebben, vaak verdikkingen vormen vlak boven het geotextiel. Vanuit deze verdikkingen vormen zich veelal meerdere spruiten (zogenaamde 'clusters'). Op de meeste geotextielen is sprake van dergelijke clustervorming. Gemiddeld per geotextiel (de geotextielen zonder doorgroei buiten beschouwing gelaten) is het aantal stengels 2,3 maal zo hoog als het aantal doorboringen in 1994. De hoogste coëfficiënt bedraagt 4,5 (HF 360), de laagste 1 (Geolon 40 en M 600).

Het afsterven van spruiten is in beide jaren laag geweest. In totaal zijn er in 1993 en 1994 respectievelijk 11 en 1 spruiten afgestorven in de loop van het groeiseizoen (afsterving gedurende de winterperiode buiten beschouwing gelaten).

In tabel 1 wordt een samenvatting gegeven van de groeieresultaten over de jaren 1993 en 1994. In 1994 waren er 48 bakken met rietgroei tegen 59 in 1993. Aangezien er aan het einde van het groeiseizoen 1993 zes bakken waren waarbij alle rietspruiten inmiddels waren afgestorven, kan worden gesteld dat 5 bakken na de winter geen doorgroei meer hebben laten zien. In alle gevallen betreft het bakken die in 1993 slechts enkele spruiten telden.

Tabel 1. Samenvatting van de groeieresultaten per geotextiel en per bak

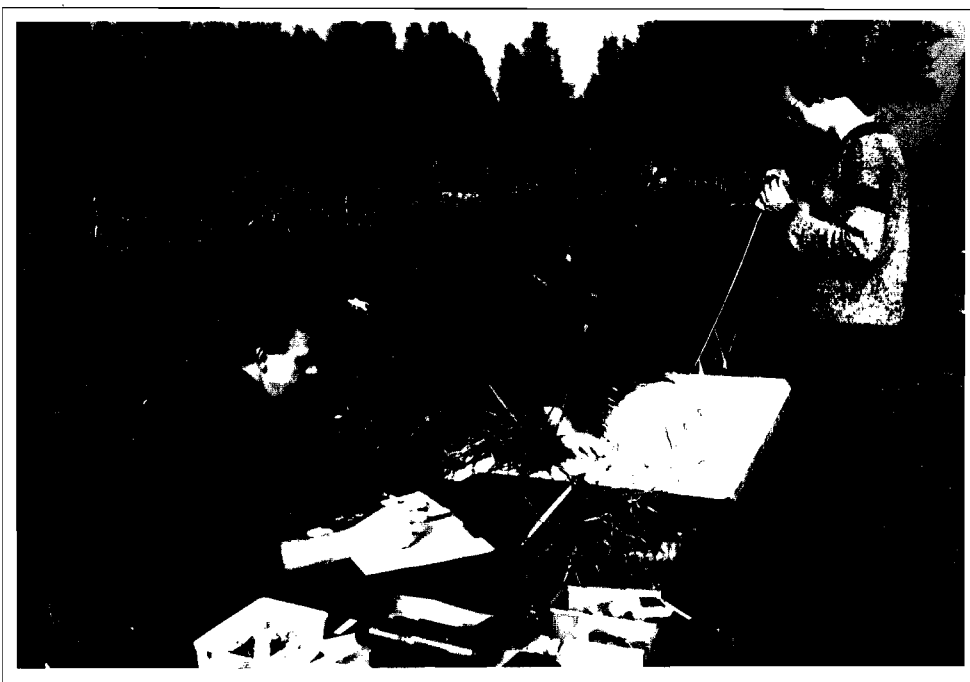
	1993	1994
Aantal bakken met doorgroei van spruiten:	59 (56%)	48 (46%)
Aantal bakken met doorgroei maar waarvan spruit(en) later afgestorven:	6 (5,7%)	-
Aantal geotextielen met doorgroei van spruiten:	27 (77%)	24 (69%)
Aantal geotextielen met doorgroei maar spruiten later afgestorven:	1 (2,8%)	-
Aantal geotextielen met doorgroei in slechts 1 bak:	6 (17%)	12 (34%)
Aantal geotextielen met doorgroei in 2 bakken:	10 (29%)	3 (9%)
Aantal geotextielen met doorgroei in alle 3 bakken:	11 (32%)	9 (26%)

De bakken zonder geotextiel (referenties) geven de beste groeieresultaten te zien. Dit geldt voor alle groeiparameters, zowel voor de bakken afzonderlijk als voor de totalen (respectievelijk bijlage 2 en 3). Bovendien zijn de verschillen met de bakken met geotextiel meestal aanzienlijk.

3.2 Spruitdikte en -lengte

Van alle spruiten is aan het einde van het groeiseizoen 1994 de diameter (vlak boven het geotextiel) en de lengte gemeten. De gemiddelde waarden per bak en per geotextiel zijn in respectievelijk bijlage 2 en 3 gegeven.

Er blijken grote verschillen te bestaan tussen de verschillende geotextielen. Om na te gaan of een lagere gemiddelde spruitdiameter meestal ook een lagere gemiddelde spruitlengte betekent, zijn in figuur 3 spruitlengte en -diameter grafisch uitgezet. De geotextielen zijn gerangschikt naar afnemende spruitlengte. Om een duidelijker beeld te verkrijgen zijn de diameters (in mm) vermenigvuldigd met 25. Wat meteen opvalt is het feit dat bij een afnemende gemiddelde spruitlengte de gemiddelde spruitdiameter ongeveer constant blijft. Verder is het duidelijk dat de referentiebakken zowel qua spruitdiameter als -lengte verreweg het hoogst scoren.



*Foto 5. Uitvoeren van metingen gedurende de looptijd van de proef.
Foto 6. Metingen aan het riet na afloop van de proef (oktober 1994).*

De gemiddelde waarden liggen per groep (vliezen ten opzichte van weefsels) zeer dicht bij elkaar. De gemiddelde waarde voor spruitlengte bedraagt voor de vliezen en de weefsels respectievelijk 46,3 en 45,5 cm. Voor de spruitdiameter is de gemiddelde waarde in beide gevallen 2,0 mm.

3.3 Biomassabepalingen

Als maat voor de biomassa is aan het eind van het groeiseizoen 1994 het drooggewicht van de bovengrondse (stengels en bladeren) en ondergrondse plantdelen (wortelstokken en wortels) bepaald. Per bak en per geotextiel zijn de gevonden waarden in de bijlagen 2 en 3 vermeld. In figuur 4 wordt de verhouding tussen boven- en ondergrondse biomassa per geotextiel weergegeven in de vorm van een staafdiagram.

Over de drooggewichtsverhouding tussen ondergrondse en bovengrondse delen van Riet zijn vrij veel gegevens bekend. Szczepanska (1976) vond tijdens laboratoriumproeven een toename van deze verhouding van 0,56 (6 weken na het planten van de jonge scheut) tot 3,0 (na 24 weken), met een waarde van 1,85 ten tijde van de maximale bovengrondse biomassa, d.i. na circa 18 weken. Er bestaat ook een verband tussen de genoemde verhouding en de mate van bodemvruchtbaarheid. Bij toenemende bodemvruchtbaarheid neemt de ondergrondse biomassa relatief meer toe dan de bovengrondse (Szczepanska, 1971). De uiterste waarden die uit de literatuur bekend zijn variëren tussen 0,56 en 24,0 (Butijn, 1982). Als gemiddelde mag een verhouding van 2-3 gelden (Rodewald-Rudescu, 1974). De verhoudingen gevonden voor alle boven- en ondergrondse biomassa bij vliezen en weefsels bedragen respectievelijk 2,6 en 2,9 waarmee ze voldoen aan het gemiddelde gegeven door Rodewald-Rudescu (1974). De maximale spreiding bij vliezen is 1,3 tot 5,6 en bij weefsels 0,9 tot 4,6. De grootste afwijkingen doen zich voor bij bakken met een relatief lage rietproductie.

De referenties geven samen een verhouding van 2,1 te zien. Dit betekent dat bij toepassing van een geotextiel de bovengrondse biomassa relatief gezien enigszins achterblijft in vergelijking met een situatie zonder geotextiel. De vastgestelde biomassa van de referentie is veel hoger dan de biomassa gevonden bij de bakken met geotextiel. Vergeleken met de geotextielen met relatief goede doorgroei, is de biomassa bij de referenties altijd nog zo'n twee tot drie maal hoger.

3.4 Statistische toetsing (ANOVA)

Om na te gaan of de verschillen in doorgroei geen toevallige verschillen zijn, maar toegeschreven kunnen worden aan verschillende eigenschappen van de geteste geotextielen, is een variantie-analyse uitgevoerd (ANOVA). Daarbij is gebruik gemaakt van het statistische pakket SPSS.

De proefopzet was van te voren zodanig gekozen dat statistische bewerking van de gegevens door middel van een ANOVA mogelijk zou zijn (§ 2.2). Bij uitvoering van een variantie-analyse wordt uitgegaan van normaal verdeel-

de variabelen. De variabelen "aantal doorboringen 1993" en "aantal doorboringen 1994" zijn niet normaal verdeeld. Om een constante variantie te verkrijgen zijn de waarden van deze aantalsvariabelen getransformeerd volgens de formule $\sqrt{(\text{aantal doorboringen} + 0,375)}$ (Kendall & Stuart, 1976).

De variantie-analyse is voor de volgende doorgroeivariabelen uitgevoerd: drooggewicht bovengronds, drooggewicht ondergronds, aantal doorboringen in 1993, aantal doorboringen in 1994, gemiddelde lengte van de spruiten, gemiddelde diameter van de spruiten.

De resultaten van de variantie-analyse zijn samengevat in tabel 2.

Tabel 2. Resultaten ANOVA. Per groeivariabele wordt weergegeven of er sprake is van een blokeffect of een geotextieffect. Df = aantal vrijheidsgraden; p = overschrijdingskans.

doorgroeivariabele	geotextieffect		blokeffect	
	Df	p	Df	p
drooggewicht bovengronds	34	<0,0001	2	0,724
drooggewicht ondergronds	34	<0,0001	2	0,822
aantal doorboringen 1993	34	<0,0001	2	0,638
aantal doorboringen 1994	34	<0,0001	2	0,599
gemiddelde spruitlengte	34	<0,0001	2	0,591
gemiddelde spruitdiameter	34	<0,0001	2	0,783

Geotextieffect

Uit de resultaten van de ANOVA blijkt dat de verschillen tussen de behandelingen (de verschillende geotextielen, exclusief de referentiebakken) duidelijk significant zijn voor alle relevante doorgroeivariabelen ($p < 0,05$). Daarmee is aangetoond dat de verschillen in doorgroei zoals die zijn aangetroffen, geen toeval zijn maar verklaard kunnen worden uit de verschillen tussen de geteste geotextielen. Dit betekent dat er sprake is van een duidelijk geotextieffect.

Blokeffect

Uit tabel 2 blijkt dat er geen sprake is van een blokeffect, met andere woorden de verschillen tussen de drie blokken (= herhalingen, set duplo's; zie § 2.2) zijn niet significant, voor geen van de relevante doorgroeivariabelen ($p > 0,05$). De positie van een bak binnen de proefopstelling is dus niet van invloed op de doorgroeieresultaten.

Residuenplots

Om te controleren of uitvoering van variantie-analyse voor de betreffende doorgroeivariabele legitiem is, zijn zogenaamde residuenplots gemaakt (figuur 5). Daarin wordt het verschil tussen de werkelijke en de geschatte (= gemiddelde) waarde van de betreffende doorgroeivariabele geplotted tegen de geschatte waarde. Wanneer een dergelijke plot een stippenwolk oplevert zonder herkenbaar patroon, is toepassing van variantie-analyse gerechtvaardigd.

Uit figuur 5 blijkt dat bij lage waarden van de doorgroei-parameter, de residuen

een afhankelijkheid vertonen van de verwachte waarde. Dit is een gevolg van het feit dat bij slechte doorgroei in veel gevallen slechts één of twee bakken doorgroeien in plaats van alle drie. Bij de hogere waarden is het beeld veel homogener.

Bij de ANOVA zijn de referenties vanzelfsprekend niet mee getoetst; in de residuenplots zijn de referenties wel meegenomen. De waarden van de referenties springen er in alle plots duidelijk uit: de geplote residuen van de referenties bevinden zich steeds geheel rechts in de plots (figuur 5).

3.5 Geotextieleigenschappen en doorgroeieresultaten

Relevante eigenschappen

In bijlage 1 zijn de belangrijkste technische eigenschappen van de geteste geotextielen weergegeven. Het betreft:

- type geotextiel (vlies of weefsel);
- gewicht in gram per m²;
- treksterkte in de kettingrichting in kilo Newton (kN) per m;
- treksterkte in de inslagrichting in kilo Newton (kN) per m;
- rek in de kettingrichting in %;
- rek in de inslagrichting in %;
- poriegrootte (O_{90}) in μm ;
- waterdoorlatendheid (permitiviteit) in liter per m² per seconde.

Correlatietoets: Stapsgewijze Regressie

Door uitvoering van een ANOVA (§ 3.4) is gebleken dat er een geotextieleffect optreedt: de verschillen in doorgroei moeten verklaard worden door de verschillende eigenschappen van de geotextielen.

Om correlaties aan te tonen tussen karakteristieke eigenschappen van de geotextielen en de gemeten doorgroeieresultaten is in de gegeven proefopzet Stapsgewijze Regressie een adequate methode (Sokal & Rohlf, 1981). De essentie van deze methode is dat alle geotextieleigenschappen (niet-variabele waarden) samen worden getoetst tegen de afzonderlijke groeieresultaten (variabele waarden). Stapsgewijze Regressie kan op drie manieren worden uitgevoerd: volgens de "backward elimination procedure", volgens de "forward elimination procedure" of door een combinatie van beide te gebruiken. In dit onderzoek is de laatstgenoemde procedure gevolgd. Variabelen met relatief lage (partiële) correlaties worden uit de dataset verwijderd. Uiteindelijk blijven één of meer variabelen met de hoogste correlatie in het model gehandhaafd. Deze variabelen vallen binnen de gestelde betrouwbaarheids grens ($p = 5\%$). Met de overgebleven variabele(n) is het mogelijk door middel van een model waarin deze variabelen zijn opgenomen, de doorgroei te voorspellen. Evenals bij de variantie-analyse zijn de variabelen "aantal doorboringen 1993" en "aantal doorboringen 1994" getransformeerd volgens de formule $\sqrt{\text{aantal doorboringen} + 0,375}$ (Kendall & Stuart, 1976).

Op grond van de resultaten van Ivens & Van den Bol (1994) is het zinvol de geotextielen in twee groepen in te delen, te weten vliezen en weefsels. De cor-

relatietoetsen zijn daarom steeds apart voor de vliezen en de weefsels uitgevoerd.

In de figuren 6 en 7 zijn de doorgroeieresultaten geplot tegen de best verkla- rende geotextieleigenschappen voor respectievelijk de weefsels en de vliezen.

3.5.1 Weefsels

Na toetsing van de zeven x-variabelen (gewicht, trek-ketting, trek-inslag, rek- ketting, rek-inslag, poniegrootte en waterdoorlatendheid) tegen de relevante y-variabelen (drooggewicht bovengronds, drooggewicht ondergronds, aantal doorboringen 1993, aantal doorboringen 1994, aantal stengels 1994, gemid- delde lengte spruiten, gemiddelde diameter spruiten) ontstaat voor de weefsels het volgende overzicht (tabel 3).

Tabel 3. Resultaten Stapsgewijze Regressie voor weefsels. Per groeivariabele is weergegeven welke geotextieleigenschap in het model is opge- nomen, wat daarbij de standaardafwijking (s^2), het aantal vrijheids- graden (Df) en het % verklarende variantie (= het deel van de va- riantie welke door de betreffende eigenschap wordt verklaard) is.

groeivariabele (y-waarde)	eig. in model (x-waarde)	s^2	Df	% verkl. var.
drooggewicht bovengronds	gewicht	28523	19	20,0
drooggewicht ondergronds	gewicht	232252	19	19,4
aantal doorboringen 1993	gewicht	1,43	19	37,1
aantal stengels 1994	gewicht	33,79	19	22,6
aantal doorboringen 1994	gewicht	9,16	19	25,2
spruitlengte (1994)	trek-ketting	481,9	20	18,5
spruitdiameter (1994)	trek-inslag	0,70	20	22,6

Voor wat betreft het drooggewicht en het aantal doorboringen c.q. aantal stengels blijkt het gewicht van het weefsel steeds de meest verklarende eigen- schap. Voor de spruitlengte en spruitdiameter zijn dat respectievelijk de trek- ketting en de trek-inslag. Alle overige eigenschappen worden niet in het model opgenomen. Voor al deze eigenschappen geldt $p > 5\%$.

Uit tabel 3 blijkt dat in alle gevallen de verklarende variantie laag is en schom- melt rond de 25%. Dit betekent dat er veel "ruis" aanwezig is, waardoor de zeggingskracht van de gevonden voorspellingsmodellen relatief gering wordt. Behalve bij "spruitlengte" en "spruitdiameter" vormt Geolon 15 een uitbijter. De waarden in tabel 3 zijn tot stand gekomen na weglating van de betreffen- de uitbijter. Zonder weglating van Geolon 15 zou in die gevallen de verklaren- de variantie circa 5% lager uitvallen.

De gevonden modellen per variabele worden achtereenvolgens gegeven. Alle modellen gelden voor een grondoppervlak van 0,75 m² (dit is het oppervlak van drie bakken).

Bij de modellen wordt uitgegaan van een lineair verband. In enkele gevallen (hooguit bij één of twee van de geteste geotextielen) is een negatieve uitkomst van de modellen mogelijk. Een dergelijke uitkomst moet worden geïnterpreteerd als "geen (door)groei".

Drooggewicht bovengronds

Het verwachte drooggewicht bovengronds = $339 - 0,86 \times \text{gewicht}$

Hoe groter het gewicht van het weefsel, des te lager het verwachte bovengrondse drooggewicht. Geolon 15 vormt een uitbijter (figuur 6a). Ondanks het lage gewicht van het geotextiel is er sprake van een matige tot slechte doorgroei. Bij weglating van Geolon 15 ontstaat bovenvermeld model.

Drooggewicht ondergronds

Het verwachte drooggewicht ondergronds = $956 - 2,43 \times \text{gewicht}$

Ook hier geldt hoe groter het gewicht van het weefsel, des te lager het verwachte drooggewicht. Geolon 15 is weer een uitbijter (figuur 6b). Bij weglating van de uitbijter Geolon 15 ontstaat het weergegeven model.

Aantal doorboringen 1993

Het verwachte aantal doorboringen 1993 (getransformeerd) =
 $4,54 - 0,01 \times \text{gewicht}$

Ook hier is het doorgroeiresultaat (namelijk aantal doorboringen 1993) kleiner wanneer het gewicht groter is. Zie figuur 6c. Bij weglating van de uitbijter Geolon 15 ontstaat het weergegeven model.

Aantal stengels 1994

Het verwachte aantal stengels 1994 (getransformeerd) =
 $14,51 - 0,03 \times \text{gewicht}$

Wederom is het doorgroeiresultaat kleiner wanneer het gewicht van het weefsel groter is. Zie figuur 6d. Bij weglating van de uitbijter Geolon 15 ontstaat het weergegeven model.

Aantal doorboringen 1994

Het verwachte aantal doorboringen 1994 (getransformeerd) =
 $8,41 - 0,02 \times \text{gewicht}$

Het doorgroeiresultaat is kleiner naarmate het gewicht van het weefsel groter

is. Zie figuur 6e. Bij weglating van de uitbijter Geolon 15 ontstaat het weergegeven model.

Spruitlengte

De verwachte (gemiddelde) spruitlengte = $53,40 - 0,42 \times \text{trek-ketting}$

De gemiddelde spruitlengte neemt af met een toenemende trek-ketting. Zie figuur 6f.

Spruitdiameter

De verwachte (gemiddelde) spruitdiameter = $2,21 - 0,02 \times \text{trek-inslag}$

De gemiddelde spruitdiameter neemt af met een toenemende trek-inslag. Zie figuur 6g.

3.5.2 Vliezen

Na toetsing van de zeven x-variabelen (gewicht, trek-ketting, trek-inslag, rek-ketting, rek-inslag, poriegrootte en waterdoorlatendheid) tegen de relevante y-variabelen (drooggewicht bovengronds, drooggewicht ondergronds, aantal doorboringen 1993, aantal doorboringen 1994, aantal stengels 1994, gemiddelde lengte spruiten, gemiddelde diameter spruiten) ontstaat met betrekking tot de vliezen het volgende overzicht (tabel 4).

Tabel 4. Resultaten Stapsgewijze Regressie voor vliezen. Per groeivariabele is weergegeven welke geotextieleigenschap in het model is opgenomen, wat daarbij de standaardafwijking (s^2), het aantal vrijheidsgraden (Df) en het % verklarende variantie (= het deel van de variantie welke door de betreffende eigenschap wordt verklaard) is.

groeivariabele (y-waarde)	eig. in model (x-waarde)	s^2	Df	% verkl. var.
drooggewicht bovengronds	trek-ketting	2408	7	96,7
drooggewicht ondergronds	O_{90}	90693	8	80,0
aantal doorboringen 1993	O_{90}	0,92	8	80,4
aantal stengels 1994	O_{90}	11,7	8	85,0
aantal doorboringen 1994	O_{90}	3,73	8	89,4
spruitlengte (1994)	trek-inslag	127	7	81,1
spruitdiameter (1994)	rek-inslag	0,22	7	81,3
	trek-inslag			

Voor wat betreft het drooggewicht en het aantal doorboringen c.q. aantal stengels blijkt de poniegrootte (O_{90}) van het vlies steeds de meest verklarende eigenschap. Voor de spuitlengte en spuitdiameter is dat in beide gevallen een combinatie van de trek-inslag en de rek-inslag. De overige eigenschappen worden niet in het model opgenomen. Voor al deze eigenschappen geldt $p > 5\%$.

Uit tabel 4 blijkt dat in alle gevallen de verklarende variantie hoog is en schommelt tussen de 80 en 97%. Dit betekent dat er weinig "ruis" aanwezig is, waardoor de zeggingskracht van de gevonden voorspellingsmodellen relatief groot wordt.

De gevonden modellen per variabele worden achtereenvolgens gegeven. Alle modellen gelden voor een grondoppervlak van 0,75 m² (dit is het oppervlak van drie bakken).

Bij de modellen wordt uitgegaan van een lineair verband. In enkele gevallen is een negatieve uitkomst mogelijk. Een dergelijke uitkomst moet worden geïnterpreteerd als "geen (door)groei".

Drooggewicht bovengronds

Het verwachte drooggewicht bovengronds = $-291,46 - 11 \times \text{trek-ketting} + 6 \times O_{90}$

Het verwachte bovengrondse drooggewicht neemt toe bij een lagere trek-ketting en een hogere O_{90} . Overigens is in het gegeven model de O_{90} sterker verklarend dan de trek-ketting. Bij weglating van de O_{90} verslechtert het model veel sterker dan bij weglating van de trek-ketting (F-to-remove van trek-ketting en O_{90} bedraagt respectievelijk 9,72 en 78,95).

Met name de O_{90} vertoont een fraaie lineaire correlatie met het bovengronds drooggewicht (figuur 7a). Voor de trek-ketting is dit verband iets minder scherp (figuur 7b).

Drooggewicht ondergronds

Het verwachte drooggewicht ondergronds = $-1367,99 + 17,65 \times O_{90}$

Ditmaal komt de trek-ketting niet in het model terecht en blijft alleen de O_{90} over. Ook hier geldt dat het doorgroeiresultaat (ondergrondse drooggewicht) beter wordt naarmate de O_{90} groter is.

Tussen de O_{90} en het ondergronds drooggewicht is een duidelijk lineair verband aanwezig (figuur 7c).

Aantal doorboringen 1993

Het verwachte aantal doorboringen 1993 (getransformeerd) = $-3,4 + 0,06 \times O_{90}$

Ook hier wordt het doorgroeiresultaat (namelijk aantal doorboringen 1993) beter naarmate de O_{90} groter is. Zie verder figuur 7d voor de correlatieplot.

Aantal stengels 1994

Het verwachte aantal stengels 1994 (getransformeerd) = $-16,93 + 0,24 \times O_{90}$

Wederom wordt het doorgroeiresultaat (aantal stengels 1994) beter wanneer de O_{90} toeneemt. Zie verder figuur 7e voor de correlatieplot.

Aantal doorboringen 1994

Het verwachte aantal doorboringen 1994 (getransformeerd) = $-11,67 + 0,16 \times O_{90}$

Er is weer sprake van eenzelfde verband: het doorgroeiresultaat (aantal doorboringen 1994) wordt beter wanneer de O_{90} toeneemt. Zie verder figuur 7f voor de correlatieplot.

Spruitlengte

De verwachte (gemiddelde) spruitlengte =
 $135,67 - 2,00 \times \text{trek-inslag} - 1,17 \times \text{rek-inslag}$

De gemiddelde spruitlengte neemt af met een toenemende trek-inslag en met een toenemende rek-inslag. Het voorspellingsmodel verslechtert het meest wanneer de trek-inslag uit het model wordt weggelaten (F-to-remove van trek-inslag en rek-inslag bedraagt respectievelijk 36,51 en 11,20). Zie verder figuur 7g-h.

Spruitdiameter

De verwachte (gemiddelde) spruitdiameter =
 $5,68 - 0,08 \times \text{trek-inslag} - 0,05 \times \text{rek-inslag}$

De gemiddelde spruitdiameter neemt af met een toenemende trek-inslag en een toenemende rek-inslag. Het voorspellingsmodel verslechtert het meest wanneer de trek-inslag uit het model wordt weggelaten (F-to-remove van trek-inslag en rek-inslag bedraagt respectievelijk 36,81 en 11,47). Zie verder figuur 7i-j.

4 Discussie

4.1 Relaties tussen doorgroei van riet en geotextieleigenschappen

Bij het vaststellen van eventuele relaties tussen de doorgroei van riet en de technische eigenschappen van de geteste geotextielen is uitgegaan van de volgende eigenschappen:

- type geotextiel (vlies of weefsel);
- gewicht in gram per m²;
- treksterkte in de kettingrichting in kilo Newton (kN) per m;
- treksterkte in de inslagrichting in kilo Newton (kN) per m;
- rek in de kettingrichting in %;
- rek in de inslagrichting in %;
- poriegrootte (O_{90}) in μm ;
- waterdoorlatendheid (permitiviteit) in liter per m² per seconde.

Deze eigenschappen worden beschouwd als de belangrijkste beperkende factoren ten aanzien van doorgroei. Reitsma (1992) veronderstelt, op grond van de eerste buitenproeven met geotextieldoorgroei, dat met name poriegrootte van belang is voor doorgroeimogelijkheden. Ivens & Van den Bol (1994) concluderen op grond van penetratieproeven met geotextielen dat voor vliezen de poriegrootte de bepalende factor is, terwijl dat voor weefsels het gewicht van de geotextielen is. De bij deze studie gebruikte doorgroeieresultaten waren beperkt tot het "aantal doorboringen in 1993", omdat op het moment van publicatie niet meer gegevens met betrekking tot doorgroei voorhanden waren. In onderhavig onderzoek zijn veel meer doorgroeigegevens beschikbaar, waardoor bepaling van de voor doorgroei relevante factoren een breder fundament krijgen.

Weefsels

Voor wat betreft het drooggewicht en het aantal doorboringen c.q. aantal stengels is het gewicht van het weefsel de meest verklarende eigenschap. Voor de spuitlengte en spuitdiameter zijn dat respectievelijk de trek-ketting en de trek-inslag.

Het is niet verwonderlijk dat ten aanzien van spuitlengte en -diameter andere factoren van belang zijn dan voor het aantal doorboringen of het drooggewicht. Tussen drooggewicht en aantal doorboringen c.q. stengels bestaat een duidelijk verband; meer doorboringen en dus stengels betekent automatisch een groter drooggewicht. Biologisch gezien zijn deze doorgroeiparameters van een andere aard dan spuitlengte en spuitdiameter. Deze laatste twee eigenschappen geven beide een indicatie van de vitaliteit van het gewas. Wanneer er eenmaal doorgroei is opgetreden en er dus waarden zijn gevonden voor aantallen doorboringen c.q. spruiten en drooggewicht, dan kunnen de gemiddelde lengte en diameter van de spruiten nog variëren.

In natuurlijke rietbestanden kan het voorkomen dat bij hoge dichtheden de diameter terugloopt, met andere woorden het riet wordt ijler. Daarmee zal ook de gemiddelde lengte teruglopen. Aangezien de referentiebakken de hoogste waarden vertonen voor zowel het aantal spruiten (dus hoogste dichtheid), de spuitlengte als de spuitdiameter, kan worden gesteld dat bij de doorgroei-proef de dichtheid niet limiterend is geweest. Met andere woorden: andere

factoren, namelijk geotextieleigenschappen, zijn daarvoor verantwoordelijk. Blijkens de resultaten van de correlatietoetsen zijn dat trek-inslag en trek-ketting. Bij toenemende waarden van deze geotextieleigenschappen is er sprake van respectievelijk dunner en korter riet, kortom van minder vitaal riet. Dit zou kunnen betekenen dat de levensvatbaarheid van dergelijke rietbegroeiingen relatief gering is.

Vliezen

Voor wat betreft het drooggewicht en het aantal doorboringen c.q. aantal stengels is de poriegrootte (O_{90}) van het vlies steeds de meest verklarende eigenschap. Voor de spuitlengte en spuitdiameter is dat in beide gevallen een combinatie van de trek-inslag en de rek-inslag. Een complicerende factor met betrekking tot de O_{90} -waarde is het feit dat deze waarde moeilijk exact te bepalen is. Van der Aa en Van den Burg (1994) toonden aan dat er binnen eenzelfde geotextiel met betrekking tot de poriegrootte een vrij grote spreiding aanwezig is. Op grond van hun onderzoek kan gesteld worden dat indien de O_{90} -waarde gelijk is aan 190 μm , de karakteristieke poriegrootte ligt tussen de 168 en de 212 μm .

4.2 Vergelijking met resultaten pilot study

Van de in de pilot studie (Reitsma, 1992) geteste geotextielen zijn er drie ook in de tweejarige doorgroeioproef (deze studie) getest. Het betreft de geotextielen F 180, M 600 en HF 1200.

Tabel 5 geeft een overzicht van de groeieresultaten van deze drie typen geotextielen in beide proeven. Van de pilot studie komen alleen die bakken in aanmerking waarbij de wortelstokken onder het geotextiel geplant waren. Het enige verschil bestaat hierin dat bij de pilot studie geen stenen op het geotextiel waren aangebracht. Een goede vergelijking is alleen mogelijk met betrekking tot het aantal doorboringen na één jaar.

Tabel 5. Aantal doorboringen per bak bij drie typen geotextiel. Vergelijking van de pilot studie met het eerste groeiseizoen van deze studie (1993).

	pilot studie (1991)		deze studie (1993)		
	bak 1	bak 2	bak 1	bak 2	bak 3
F 180	0	4	0	0	1
M 600	3	5	0	0	3
HF 1200	0	0	6	6	2

Uit de tabel blijkt dat wat betreft F 180 en M600 de doorgroei in 1991 iets groter was dan in 1993. Dit kan een gevolg zijn van het feit dat in 1991 geen

stenen op het geotextiel waren aangebracht. Echter, HF 1200 geeft in 1993 betere doorgroeiresultaten dan in 1991.

4.3 Vergelijking met resultaten labproeven (penetratieweerstand)

Ivens & Van den Bol (1994) hebben met behulp van een door DWW ontwikkelde testmethode de penetratieweerstand van geotextielen bepaald. Daarbij zijn dezelfde geotextielen getest welke ook in onderhavig rapport onderwerp van studie zijn. Het enige doorgroeiresultaat waar Ivens & Van den Bol op dat moment over beschikten was het aantal doorboringen in 1993.

De overige doorgroeiresultaten (drooggewicht bovengronds, drooggewicht ondergronds, aantal stengels 1994, aantal doorboringen 1994, gemiddelde spuitlengte en gemiddelde spuitdiameter) bevestigen over het algemeen de door Ivens & Van den Bol gevonden relatie tussen doorgroeibaarheid en geotextieleigenschappen (dit rapport). Voor wat betreft de weefsels wordt de doorgroeibaarheid vooral bepaald door het gewicht, bij vliezen is dat de poriegrootte (O_{90}). Alleen gemiddelde diameter en lengte van de spruiten worden verklaard door andere factoren: bij weefsels door respectievelijk trek-inslag en trek-ketting, bij vliezen worden beide verklaard door een combinatie van trek-inslag en rek-inslag.

4.4 De factor tijd

4.4.1 Eerste versus tweede groeiseizoen

Het eerste en het tweede groeiseizoen laten een duidelijk verschillend beeld zien ten aanzien van de spreiding van het aantal doorboringen in de tijd (§ 3.1 en figuur 1). In 1993, wanneer de rietstekken zijn geplant, komt de doorgroei langzaam op gang en blijft deze gedurende de rest van het seizoen redelijk constant. In 1994 daarentegen vindt de grootste doorgroei plaats meteen aan het begin van het groeiseizoen en neemt af gedurende de rest van het seizoen. Het is aannemelijk dat de groeiverdeling zoals waargenomen in 1994 ook de volgende jaren zich voor zou doen, indien de proef langer zou hebben gelopen. Immers, riet vormt voor de winter nieuwe knoppen die gedurende het winterseizoen "slapen" en in het voorjaar massaal uit gaan lopen.

In het eerste groeiseizoen moest nog veel worden geïnvesteerd in wortelmasse waardoor de bovengrondse biomassa vanzelfsprekend beperkt bleef. Wanneer in het eerste seizoen in redelijke mate doorgroei plaatsvond en dus een behoorlijke wortelmasse gevormd kon worden, bleek in het tweede groeiseizoen de doorgroei verveelvoudigd; gemiddeld per geotextiel zijn in 1994 bijna viermaal zoveel doorboringen geteld als in 1993.

De overwinteringsperiode heeft op bakken met matige tot goede doorgroei geen negatief effect gehad. Alleen enkele bakken met slechte tot zeer slechte groeiresultaten in 1993, hebben in 1994 geen doorgroei meer vertoond. Het betreft vrijwel steeds bakken met slechts één doorboring in 1993.

4.4.2 Verwachte ontwikkelingen over een langere periode

Is voor doorgroei van riet door geotextielen in het eerste en tweede groeiseizoen vooral het gewicht en de poriegrootte (respectievelijk weefsels en vliezen) van belang, voor de langere termijn worden eigenschappen als trek-inslag, rek-inslag en trek-ketting van belang. Deze eigenschappen zijn vooral verantwoordelijk voor de mate van afsnoering van stengels, niet zozeer voor de mate van doorgroeiing. Bij toenemende waarden voor de genoemde geotextieleigenschappen neemt de gemiddelde spruitdiameter en -lengte af. Daarmee neemt ook de levensvatbaarheid, de vitaliteit van het riet af.

Voor de praktijksituatie van oevers houdt dit in dat voor handhaving van vitale (riet)begroeiingen op geotextielen gedurende een lange periode vooral de trek-inslag en de trek-ketting bepalend zijn. Voor de korte termijn (één tot twee jaar) zijn dat gewicht (weefsels) en poriegrootte (vliezen); deze bepalen immers of en in welke mate er sprake is van doorgroei.

4.5 Vertaling naar de praktijksituatie van oevers

In deze studie is de doorgroeibaarheid getest van geotextielen die toegepast worden in oevers waar hoofdzakelijk zware materialen de oever verdedigen en waarbij de vegetatie de verdediging ondersteunt. Dit betekent dat het talud regelmatig door golven overspoeld zal worden waardoor het aanbrengen van rietstekken op het filterdoek geen zin heeft. Om die reden zijn bij uitvoering van de doorgroeibaarheidsproef alle rietstekken onder de geotextielen aangebracht.

In een praktijksituatie van oever(her)inrichting zouden dus rietstekken (bij voorkeur rietwortelstokken) op het afgewerkte talud gestrooid moeten worden (ca. 5 per m²) alvorens het geotextiel en bijbehorende materialen zoals betonblokkenmatten, worden aangebracht. Het beste zou zijn de wortelstokken aan te brengen in een enigszins losgewoelde toplaag, waardoor beschadiging als gevolg van het gewicht van de oeververdediging en/of frictie zo veel mogelijk kan worden vermeden.

Bij aanplant van riet wordt onder normale omstandigheden gerekend met ongeveer 10 rietstekken per m² of 6-10 wortelstokken per m² (CUR, 1994). Dit is wanneer het riet een verdedigende functie heeft. In oeversituaties waar de in dit rapport geteste geotextielen worden toegepast, speelt het geotextiel de voornaamste rol in de verdediging. Het riet vervult dan een ondersteunende rol en daarnaast zorgt het voor een verhoogde landschappelijk-esthetische waarde en brengt het een zekere natuurwaarde met zich mee. In situaties waar het geotextiel de voornaamste verdediging tegen oevererosie vormt (dit rapport) is het riet nodig 10 stekken per m² aan te planten, maar kan worden volstaan met ongeveer 6 stekken per m². Binnen een aantal jaren kan dan een acceptabele rietdichtheid worden verwacht.

Terugkerend naar de doorgroeieresultaten van de geteste geotextielen kan het plaatsen van 6 stekken per m² worden vergeleken met het behalen van 6 doorboringen na één groeiseizoen (dit is 4,5 doorboringen voor 0,75 m², het

oppervlak van drie bakken).

Een aantal van 6 stekken per m² wordt gezien als een minimumdoorgroei; geotextielen met minder goede resultaten worden beschouwd als "relatief slecht doorgroeibaar".

Met behulp van de voor weefsels en vliezen gevonden voorspellingsmodellen (§ 3.5.1 en § 3.5.2) kan worden berekend wat dit betekent voor de minimum- c.q. maximumwaarden van de voor doorgroei meest belangrijke geotextieleigenschappen. De modellen voor het verwachte aantal doorboringen in het eerste groeiseizoen (1993) zijn:

voor weefsels:

$$\sqrt{(\text{aantal doorboringen } 1993 + 0,375)} = 4,54 - 0,01 \times \text{gewicht}$$

Vullen we in deze formule voor het aantal doorboringen 1993 de waarde "4,5" in (de formule geldt voor een oppervlak van 0,75 m²) dan kan voor het gewicht een waarde van 194 gram/m² worden berekend. Omdat de verklarende variantie van dit model gering is (37%) is het goed ook te kijken naar de penetratiekracht ($F_{2,5}$ = de kracht (N) die nodig is om een metalen conus over een lengte van 2,5 cm door het geotextiel te drukken). Ivens & Van den Bol vonden dat de doorgroeibaarheid van weefsels kan worden weergegeven door het volgende model:

$$\sqrt{(\text{aantal doorboringen } 1993 + 0,375)} = 7,8 - 2,03 \times \ln(F_{2,5}).$$

Ook dit model geldt voor een oppervlak van 0,75 m². Uitgaande van 6 doorboringen per m² kan men met deze formule een penetratiekracht ($\ln F_{2,5}$) van 2,76 berekenen. De verklarende variantie van dit model is hoog, namelijk 84%.

Tabel 6 geeft een overzicht van de voor weefsels berekende penetratiekrachten.

Voor vliezen is het voorspellingsmodel:

$$\sqrt{(\text{aantal doorboringen } 1993 + 0,375)} = -3,4 + 0,06 \times O_{90}$$

Vullen we in deze formule voor het aantal doorboringen 1993 de waarde "4,5" in (de formule geldt voor een oppervlak van 0,75 m²) dan kan voor de poriegrootte O_{90} een waarde van 94 µm worden berekend. De verklarende variantie van het gegeven model is hoog, namelijk 80%.

Samenvattend worden in tabel 7 een aantal minimum eisen gesteld waaraan geotextielen moeten voldoen willen ze een redelijk tot goed begroeide oever mogelijk maken. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen vliezen en weefsels.

Het is duidelijk dat de geteste geotextielen ook aan minimale civiel-technische en grondmechanische eisen moeten voldoen willen ze toepasbaar zijn in redelijk zwaar aangevallen oevers. Er wordt hier van uitgegaan dat alle geteste

Tabel 6. Waarden voor de penetratiekracht ($F_{2,5}$) bij weefsels volgens Ivens & Van den Bol (1994). Weergegeven zijn de logarithmische waarden, $\ln(F_{2,5})$.

weefsel	$\ln(F_{2,5})$
6G/120/SA	2,32
A 50.508	2,29
C 10.341	1,80
C 50.002	1,96
Geolon 15	1,94
Geolon 40	2,88
HF 1200	2,45
LP 200	3,61
F 130	3,64
F 180	2,69
F 250	1,18
F 300	1,59
M 600	2,82
Propex 6074	2,30
Propex 6078	3,22
HF 460	2,69
HF 180	2,79
HF 250	3,56
HF 260	3,07
HF 360	2,46
HS 150	3,74
SG 40/36	2,85

Tabel 7. Eisen gesteld aan geotextielen ter verkrijging van een redelijke oeverbegroeiing in redelijk zwaar aangevallen oevers

	redelijke doorgroei bij:
weefsels	gewicht $\leq 194 \text{ g/m}^2$ $\ln(F_{2,5}) \leq 2,76$
vliezen	poriegrootte (O_{90}) $\geq 94 \mu\text{m}$

geotextielen in principe voldoen aan de civiel-technische eisen voor het bedoelde oevertype.

Tabel 7 heeft betrekking op doorgroeiresultaten op betrekkelijk korte termijn. Voor een vitale begroeiing op de wat langere termijn zijn voor weefsels de

trek-ketting en trek-inslag van belang, voor vliezen is dat vooral de trek-inslag (§ 4.4.1). Deze eigenschappen bepalen voor een groot deel de dikte en hoogte van het riet dat eenmaal door het geotextiel heen is gegroeid. Een globaal idee ten aanzien van kritieke waarden voor deze eigenschappen, wil een redelijk vitale rietbegroeiing in stand blijven, kan worden verkregen uit de figuren 6 en 7. Voor wat betreft weefsels dienen zowel trek-ketting als trek-inslag maximaal 50 kN/m te bedragen, voor wat betreft vliezen zou de trek-inslag maximaal 20 kN/m moeten zijn.

Resumerend kan worden gesteld dat van de 22 typen geteste weefsels er 13 voldoen aan het in tabel 7 gestelde criterium ten aanzien van de penetratiekracht en 9 aan het gewichtscriterium. Van de 13 typen vliezen voldoen er 8 aan de minimumeis ten aanzien van de O_{90} .

Wanneer we de eisen met betrekking tot doorgroei (tabel 7) combineren met de eisen voor een vitale begroeiing op langere termijn, dan voldoen er van de weefsels 9 (41%) en van de vliezen 4-7 (31-54%). De variatie bij de vliezen wordt veroorzaakt door het feit dat van drie vliezen geen waarde voor de trek-inslag bekend is.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

- Van de geteste geotextielen heeft 77% in meer of mindere mate doorgroei laten zien. Aan het eind van de proef was er nog bij 69% van de geotextielen sprake van een meer of minder vitale begroeiing van riet. Een aantal bakken met (zeer) slechte groeieresultaten in het eerste groeiseizoen zijn in het tweede seizoen niet teruggekomen.
- Gemiddeld per geotextiel is het aantal doorboringen in 1994 3,9 maal zo groot als in 1993, de geotextielen zonder doorgroei niet meegerekend.
- Gemiddeld per geotextiel is het aantal stengels 2,3 maal zo hoog als het aantal doorboringen in 1994. Dit komt doordat rietspruiten, wanneer ze eenmaal het geotextiel doorgroeid hebben, vaak verdikkingen vormen vlak boven het geotextiel. Vanuit deze verdikkingen vormen zich veelal nieuwe uitlopers of spruiten.
- De bakken zonder geotextiel (referenties) geven de beste groeieresultaten te zien. Dit geldt voor alle groeiparameters. De verschillen met de bakken met geotextiel zijn meestal aanzienlijk.
- De gemiddelde waarden voor spuitlengte bedraagt voor de vliezen en de weefsels respectievelijk 46,3 en 45,5 cm. Voor de spuitdiameter is de gemiddelde waarde in beide gevallen 2,0 mm. Er blijkt geen duidelijk verband te bestaan tussen de spuitdiameter en spuitlengte, dit in tegenstelling tot natuurlijke rietvegetaties.
- De verhouding tussen boven- en ondergrondse biomassa bij vliezen en weefsels bedragen gemiddeld respectievelijk 2,6 en 2,9 waarmee ze voldoen aan het gemiddelde gegeven door Rodewald-Rudescu (1974). De referenties geven samen een verhouding van 2,1 te zien. Dit betekent dat bij toepassing van een geotextiel de bovengrondse biomassa relatief gezien enigszins achterblijft in vergelijking met een situatie zonder geotextiel.
- Door uitvoering van een ANOVA blijkt dat de verschillen in doorgroei zoals die zijn aangetroffen, geen toeval zijn maar verklaard kunnen worden door de verschillende eigenschappen van de geteste geotextielen. Correlaties tussen deze eigenschappen en groeieresultaten zijn opgespoord door middel van stapsgewijze regressie-analyse. Een blokeffect bleek niet aanwezig: dit betekent dat de positie van de bakken in de proefopstelling niet van invloed is geweest op de doorgroeieresultaten.
- Bij weefsels wordt de doorgroeibaarheid vooral bepaald door het gewicht. Hoe groter het gewicht, des te slechter de doorgroeibaarheid. Als maat voor de vitaliteit van het doorgegroeide riet wordt de gemiddelde spuitlengte en spuitdiameter gezien. Deze worden respectievelijk verklaard door de trek-ketting en de trek-inslag. Bij een hogere waarde voor de trek-

ketting c.q. trek-inslag neemt de afsnoering toe en daarmee de vitaliteit van het gewas af.

De verklarende variantie van de gevonden modellen is relatief laag en schommelt rond de 25%.

- Bij vliezen wordt de doorgroeibaarheid vooral bepaald door de poriegrootte (O_{90}). Voor de spuitlengte en spuitdiameter is dat een combinatie van de trek-inslag en de rek-inslag. De verklarende variantie is hoog en schommelt tussen de 80 en 97%.
- De gevonden correlaties (spuitlengte en -diameter buiten beschouwing gelaten) bevestigen de door Ivens & Van den Bol (1994) gevonden relatie tussen doorgroeibaarheid en geotextieleigenschappen.
- Van de in de pilot studie (Reitsma, 1992) geteste geotextielen zijn er drie ook in de tweejarige doorgroeiproef (deze studie) getest. Het betreft de geotextielen F 180, M 600 en HF 1200. Wat betreft F 180 en M 600 kwam de doorgroei in 1991 redelijk overeen met die in 1993. Echter, HF 1200 gaf in 1993 betere doorgroeiresultaten te zien dan in 1991.
- Voor de praktijksituatie van oevers geldt dat voor handhaving van vitale (riet)begroeiingen op geotextielen gedurende een lange periode vooral de trek-inslag en de trek-ketting bepalend zijn. Voor de korte termijn (één tot twee jaar) zijn dat gewicht (weefsels) en poriegrootte (vliezen).
- Op grond van de doorgroeiresultaten van deze studie kunnen een aantal criteria worden geformuleerd. Willen geotextielen, in redelijk tot zwaar aangevallen oevers, een redelijk tot goed begroeide oever mogelijk maken dan gelden voor weefsels en vliezen de volgende eisen:

weefsels	gewicht $\leq 194 \text{ g/m}^2$ $\ln(F_{2,5}) \leq 2,76$
----------	--

vliezen	poriegrootte (O_{90}) $\geq 94 \mu\text{m}$
---------	---

Voor een vitale begroeiing op de wat langere termijn dienen voor wat betreft weefsels zowel de trek-ketting als de trek-inslag maximaal 50 kN/m te bedragen, voor wat betreft vliezen zou de trek-inslag maximaal 20 kN/m moeten zijn.

- Van de 22 typen geteste weefsels voldoen er 13 aan het criterium ten aanzien van de penetratiekracht en 9 aan het gewichtscriterium. Van de 13 typen vliezen voldoen er 8 aan de minimumeis ten aanzien van de O_{90} . Wanneer de eisen met betrekking tot doorgroei gecombineerd worden met de eisen voor een vitale begroeiing op langere termijn, dan voldoen er van de weefsels 9 (41%) en van de vliezen 4-7 (31-54%).

5.2 Aanbevelingen

- De resultaten van deze studie kunnen een aanzet vormen tot proeven met meerdere soorten oeverplanten. Voor wat betreft meerjarige soorten komen soorten als Mattenbies, Harig wilgeroosje en Wolfspoot in aanmerking.
- Doorwortelbaarheid van geotextielen zou aanvullend kunnen worden getest door uitzaai van een aantal kruiden en grassoorten. Immers, met name in het bovenste deel van het talud vindt vestiging van planten uit zaad plaats op het geotextiel. De mate waarin het geotextiel doorwortelbaar is, bepaalt voor een groot deel in hoeverre de oever "groen" is. Van de meeste soorten is bekend hoe dik de (primaire, secundaire en haar) wortels zijn (wortelatlassen). Zo kunnen de soorten zodanig worden gekozen dat een range ontstaat van zeer dunne naar relatief dikke wortels. Bovendien is standaardisatie beter mogelijk dan bij gebruik van nietwortelstokken: een afgewogen hoeveelheid zaad in een vaste samenstelling garandeert voor elk geotextiel eenzelfde uitgangssituatie voor wat betreft het plantmateriaal. Na uitzaai op de geotextielen zou aan het einde van één groeiseizoen de boven- en ondergrondse biomassa bepaald kunnen worden.
- Uiteindelijk zouden deze proeven moeten leiden tot de ontwikkeling van een doorgroeibaarheidsparameter voor geotextielen. Op grond van de resultaten van doorgroeibaarheidsproeven en metingen van penetratieweerstanden moet het mogelijk zijn deze parameter uit te drukken in een formule waarin één of meerdere bekende geotextieleigenschappen in voorkomen. Fabrikanten kunnen dan zelf gemakkelijk deze waarde berekenen en zouden samen met de gebruikelijke produktgegevens een dergelijk doorgroeibaarheidsgetal standaard moeten vermelden bij de produktinformatie bestemd voor afnemers.
- In een praktijksituatie van oever(her)inrichting kunnen rietstekken (bij voorkeur wortelstokken) op het afgewerkte talud gestrooid worden (ca. 5 per m²) alvorens het geotextiel en bijbehorende materialen worden aangebracht. Het beste is de wortelstokken aan te brengen in een losgewoelde toplaag, waardoor de kans op beschadiging kan worden verkleind.
- Willen geotextielen (in redelijk zwaar aangevallen oeversituaties) een redelijk tot goed begroeide oever mogelijk maken zowel op korte als op langere termijn dan verdient het aanbeveling geotextielen toe te passen die voldoen aan de volgende eisen:

weefsels	gewicht $\leq 194 \text{ g/m}^2$ $\ln(F_{2,5}) \leq 2,76$	trek-ketting $\leq 50 \text{ kN/m}$ trek-inslag $\leq 50 \text{ kN/m}$
vliezen	poriegrootte (O_{90}) $\geq 94 \text{ }\mu\text{m}$	trek-inslag $\leq 20 \text{ kN/m}$

6 Referenties

- AA, J.P.C.M. VAN DER & A. VAN DEN BURG, 1994. Ringonderzoek naar de karakteristieke poriegrootte van geotextielen. Rapport DWW-94-522.
- BUTIJN, G.D., 1982. Botanische en ecologische eigenschappen van riet in relatie tot de toepassing van de plant in de waterzuivering - een literatuuroverzicht - . Werkdocument RIJP 1982-196.
- C.R.O.W., 1988. Geotextielen, eigenschappen en testmethoden. Stichting Centrum voor Regelgeving en Onderzoek in de Grond-, Water- en Wegbouw en de Verkeertechniek, Ede.
- CUR/NGO, 1995. Geotextielen in de waterbouw. CUR/NGO publicatie 174. Stichting CUR, Gouda.
- GIROUD, J.-P., 1984. Geotextiles and geomembranes; definitions, properties and design. Industrial Fabrics Association International, St. Paul, USA.
- CUR, 1994. Natuurvriendelijke oevers. Rapport 168 CUR, Gouda.
- HEERTEN, G., 1981. Geotextilen im Wasserbau -Prüfung, Anwendung, Bewährung-. Mitteilungen des Franzius-Instituts für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Universität Hannover, Heft 52: 1-261.
- INGOLD, T.S. & K.S. MILLER, 1988. Geotextiles Handbook. Telford, London.
- IVENS, E., 1992. Onderzoek naar de doorgroeibaarheid van geotextielen. PROEVE-21-92-001. DWW-Delft.
- IVENS, E., 1993. Penetration through geotextiles by shoots, roots and rhizomes of the common reed (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel): a pilot study. *Limnologie aktuell* Vol. 5: 197-205.
- IVENS, E., en M. van den Bol, 1994. Penetratieweerstand van geotextielen. Notitie W-DWW-94-301. DWW, Delft.
- KENDALL, M.G. EN A. STUART, 1976. The advanced theory of statistics. Deel 3, p. 117. Charles Griffin Lim., Londen.
- NEDERLANDSE VERENIGING KUST- EN OEVERVERDEDIGING, 1982. Kunststoffilters in kust- en oeverwerken. Rotterdam.
- REITSMA, J.M., 1990. Begroeiing van betonblokkenmatten. P.M.O. rapport nr. 16. Bureau Waardenburg bv, Culemborg.
- REITSMA, J.M., 1992. Doorgroeibaarheid van geotextielen. PMO-rapport 18. Bureau Waardenburg bv, Culemborg. In opdracht van CUR, Gouda / DWW, Delft.
- RODEWALD-RUDESCU, L., 1974. Das Schilfrohr. Die Binnengewässer 27 (Schweizerbart'-sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart).

SOKAL, R.R. EN F.J. ROHLF, 1981. Biometry. The principles en practice of statistics in biological research. W.H. Freeman & Co, New York.

SZCZEPANSKA, W., 1971. Allelopathy among the aquatic plants. Pol. Arch. Hydrobiol. 18: 17-30.

SZCZEPANSKA, W., 1976. Development of the underground parts of *Phragmites communis* Trin. and *Typha latifolia* L. Pol. Arch. Hydrobiol. 23: 227-232.

VELDHUIZEN VAN ZANTEN, R., 1994. Geotextiles and geomembranes in civil engineering. Balkema, Rotterdam.

Doorgroeibaarheid van geotextielen;

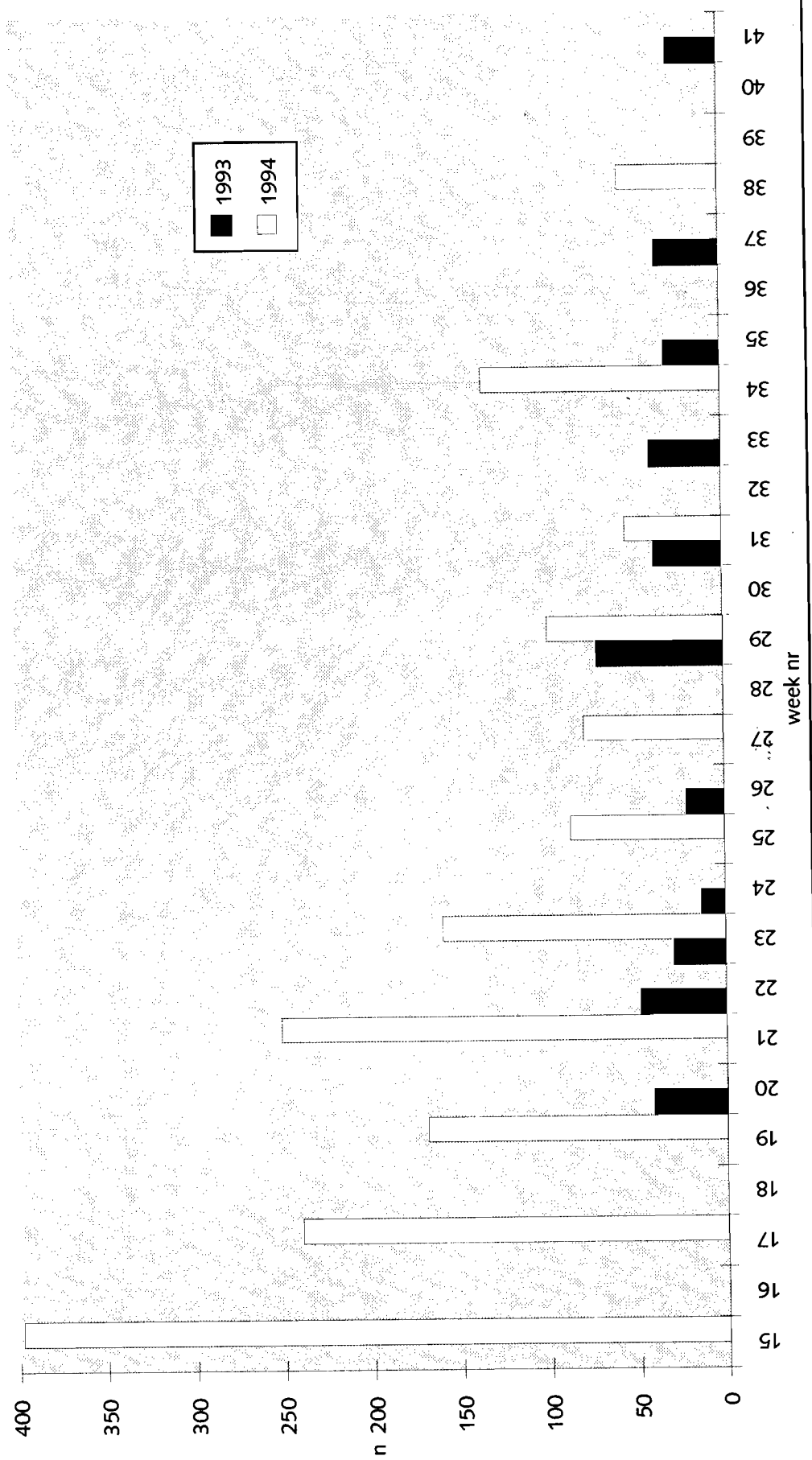
eindverslag van een tweejarige proefopstelling met riet

Figuren, bijlagen

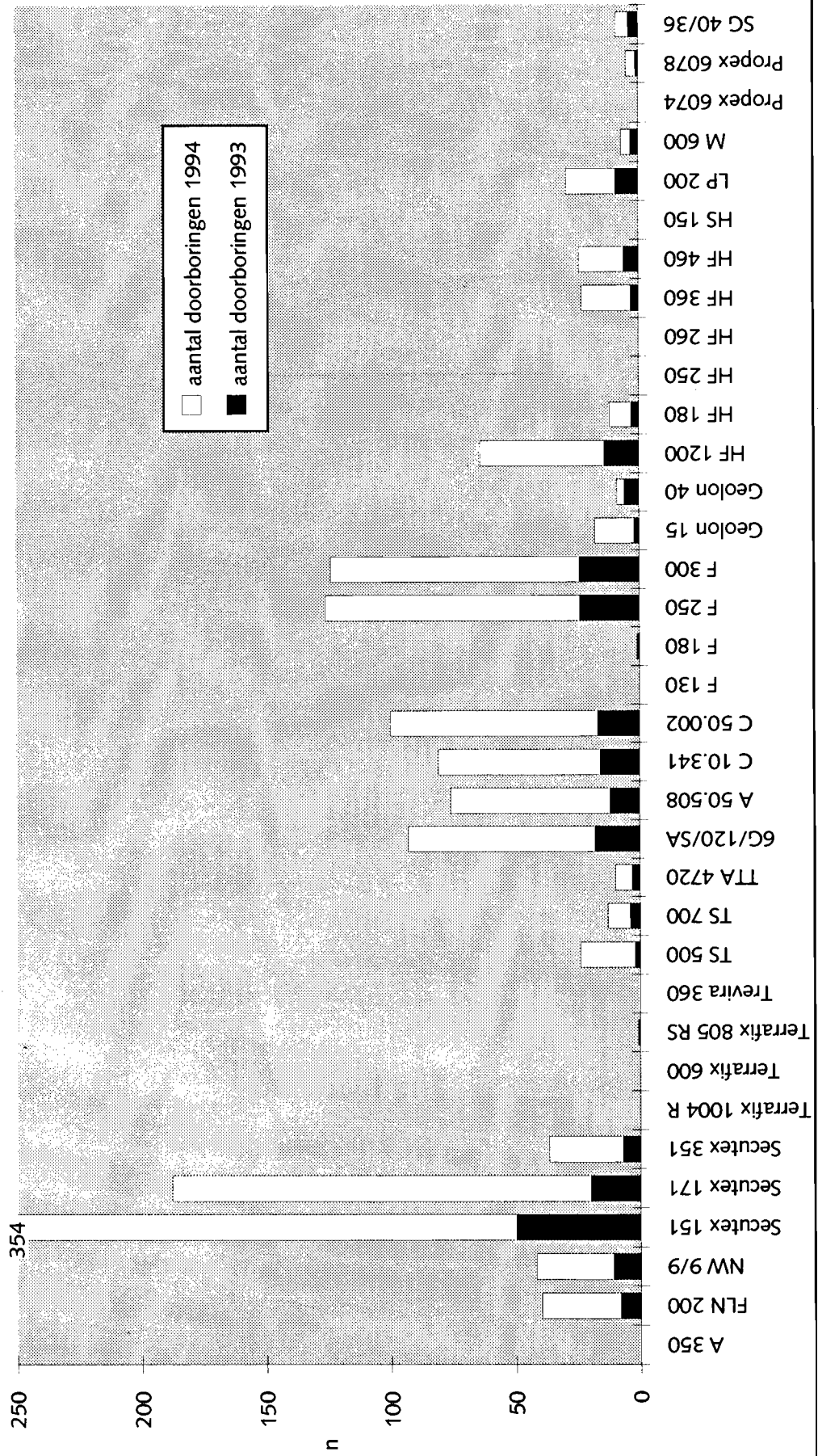
J.M. Reitsma
Bureau Waardenburg bv

maart 1995

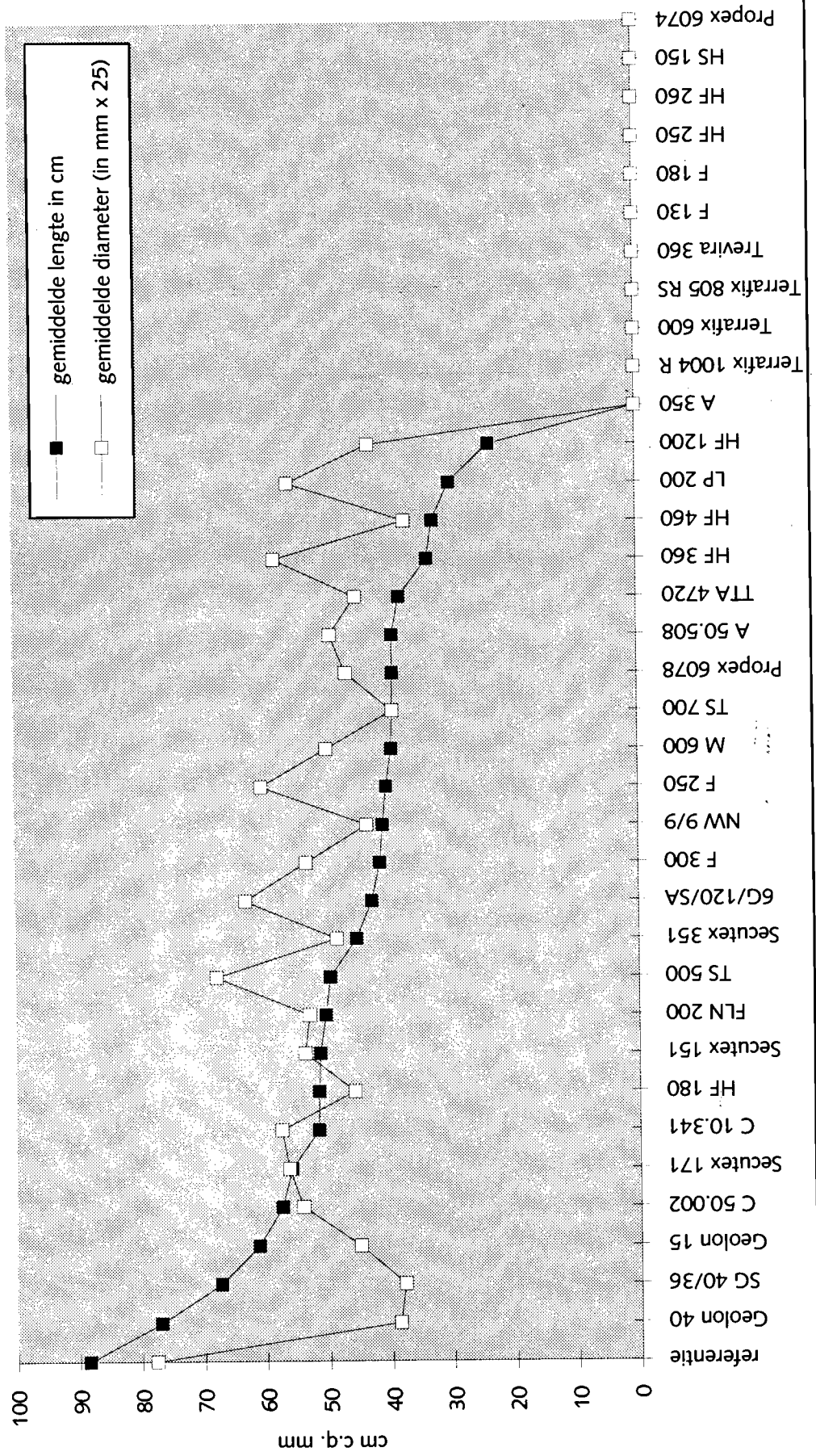
Figuur 1 Totaal aantal doorboringen per week in 1993 en 1994 (er is meestal om de twee weken gemeten)



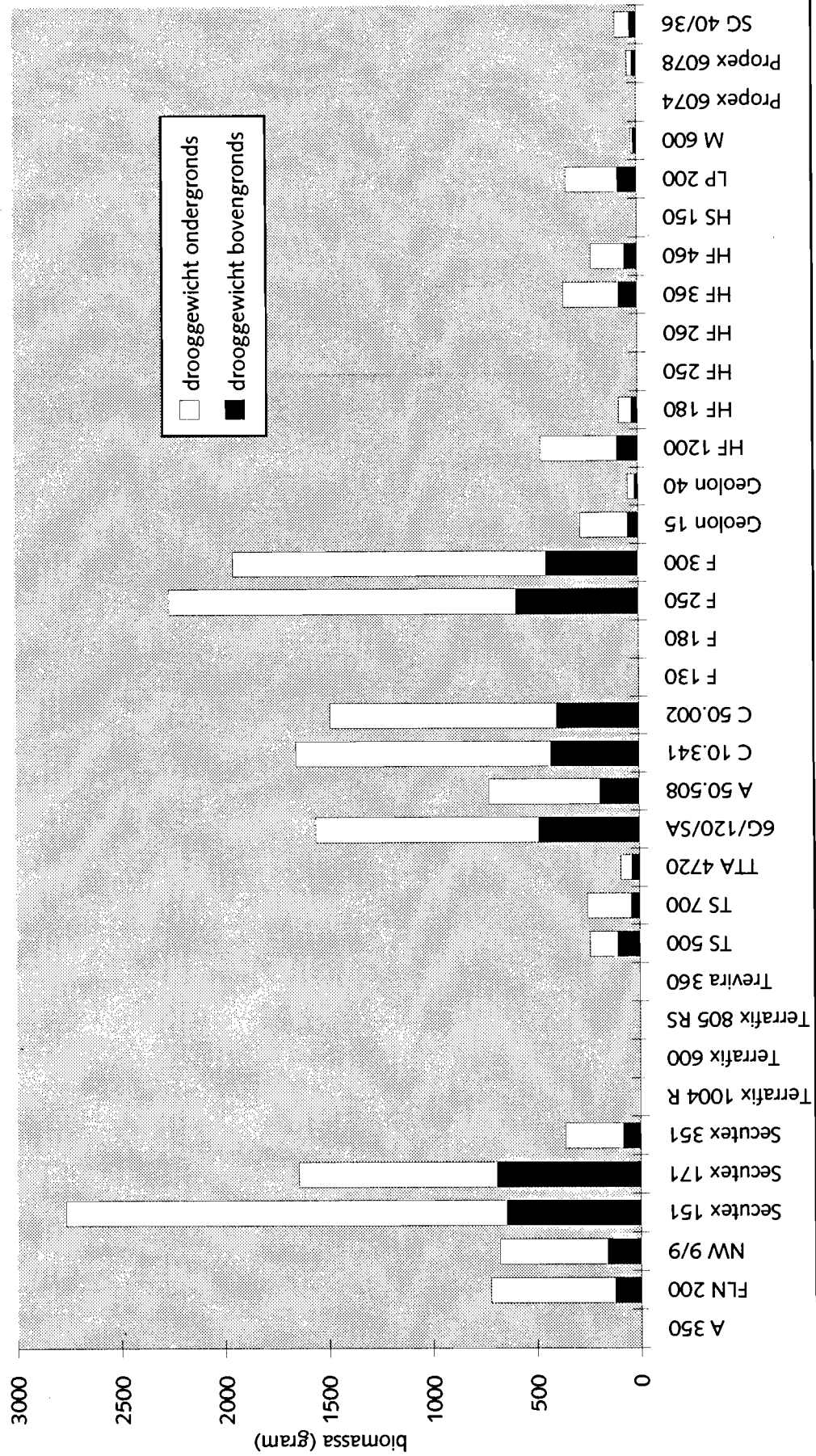
Figuur 2 Aantal doorboringen door rietspruiten in 1993 en in 1994. Vliezen: A 350 t/m TTA 4720, weefsels: 6G/120/SA t/m SG 40/36



Figuur 3 Gemiddelde lengte en diameter van rietspruiten per geotextiel. Geotextielen gerangschikt naar afnemende gemiddelde spruitlengte

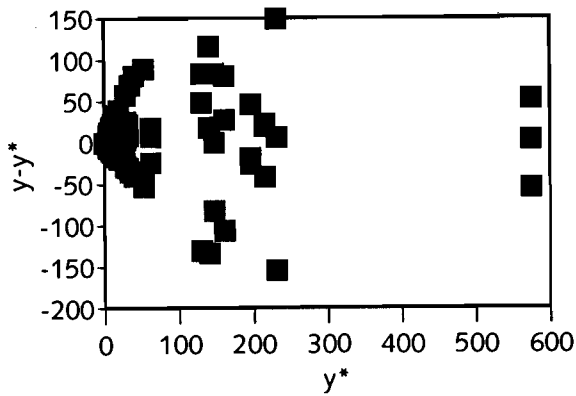


Figuur 4 Ondergrondse en bovengrondse biomassa (in grammen drooggewicht) gesommeerd per geotextiel. Vliezen: A 350 t/m TTA 4720, weefsel: 6G/120/SA t/m SG 40/36

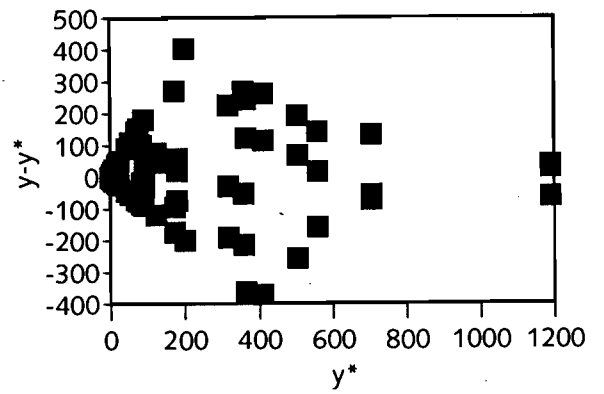


Figuur 5. Residuenplots ANOVA. Per doorgroeiparameter wordt het verschil tussen de gemeten waarden (y) en de verwachte (=gemiddelde) waarden (y^*) geplot tegen de verwachte waarde.

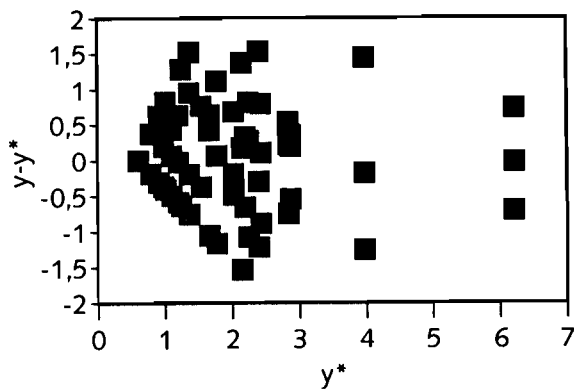
Bovengronds drooggewicht (g)



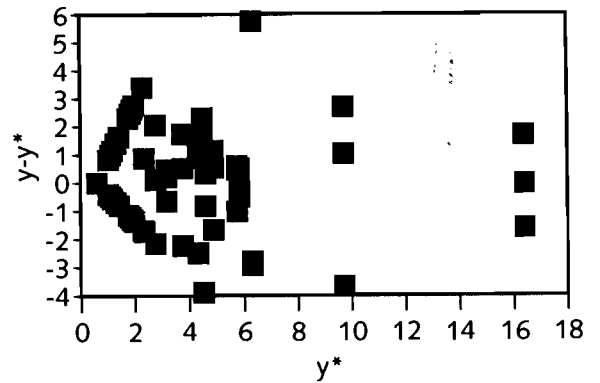
Ondergronds drooggewicht (g)



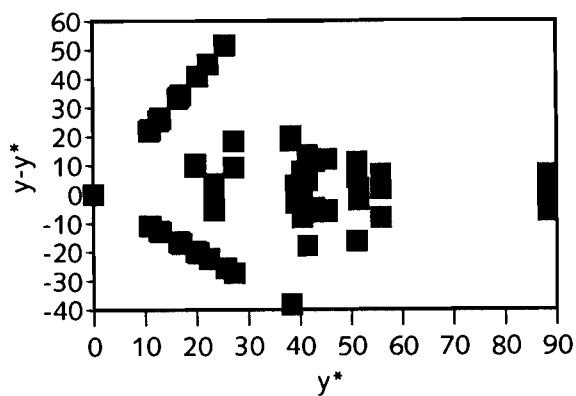
Aantal doorboringen in 1993 (getransformeerd)



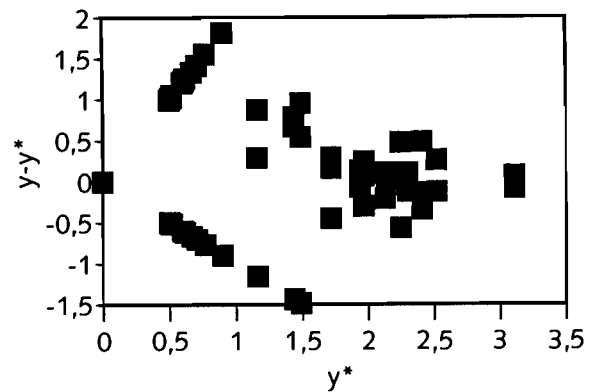
Aantal doorboringen in 1994 (getransformeerd)



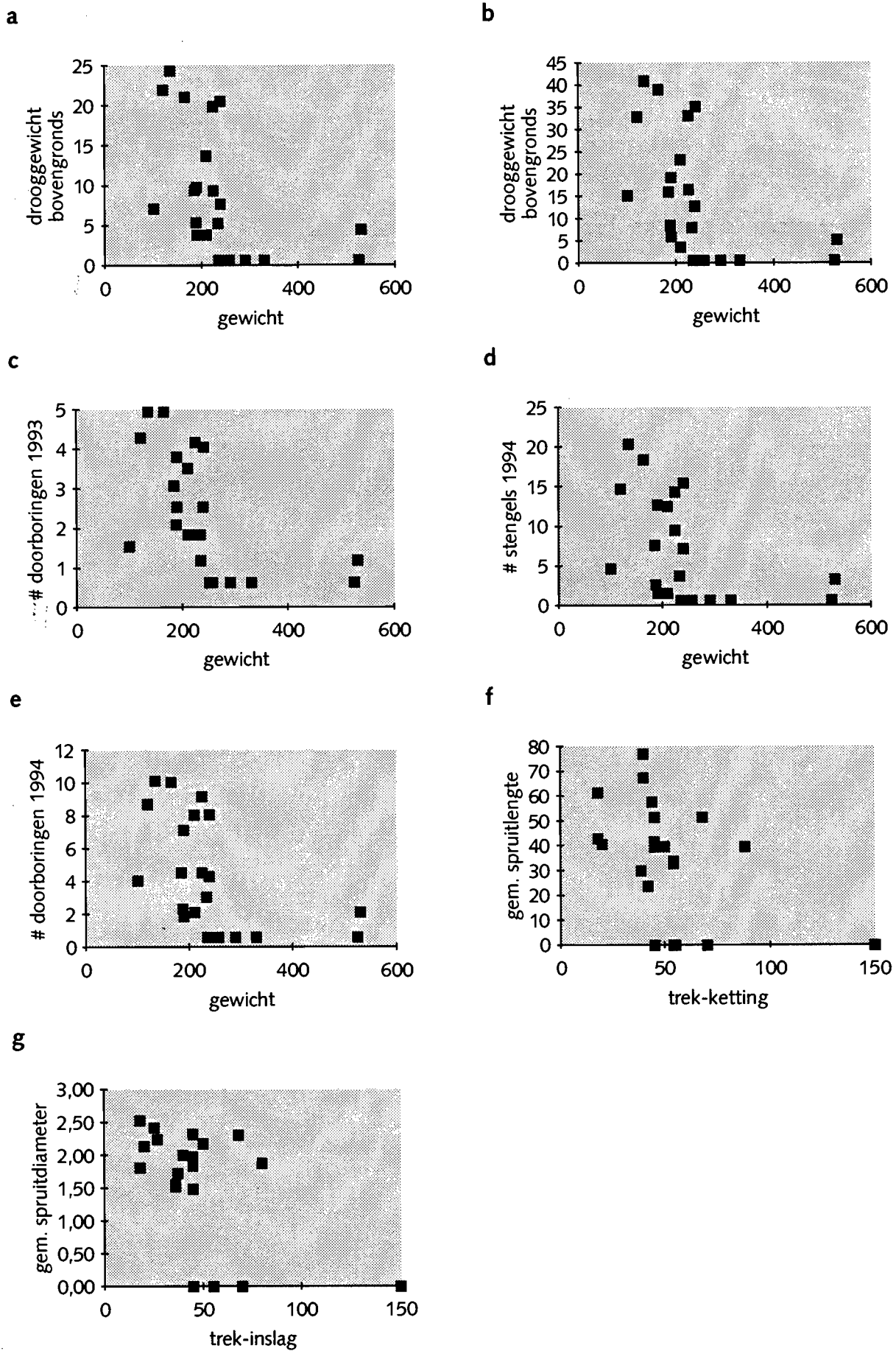
Spruitlengte (cm)



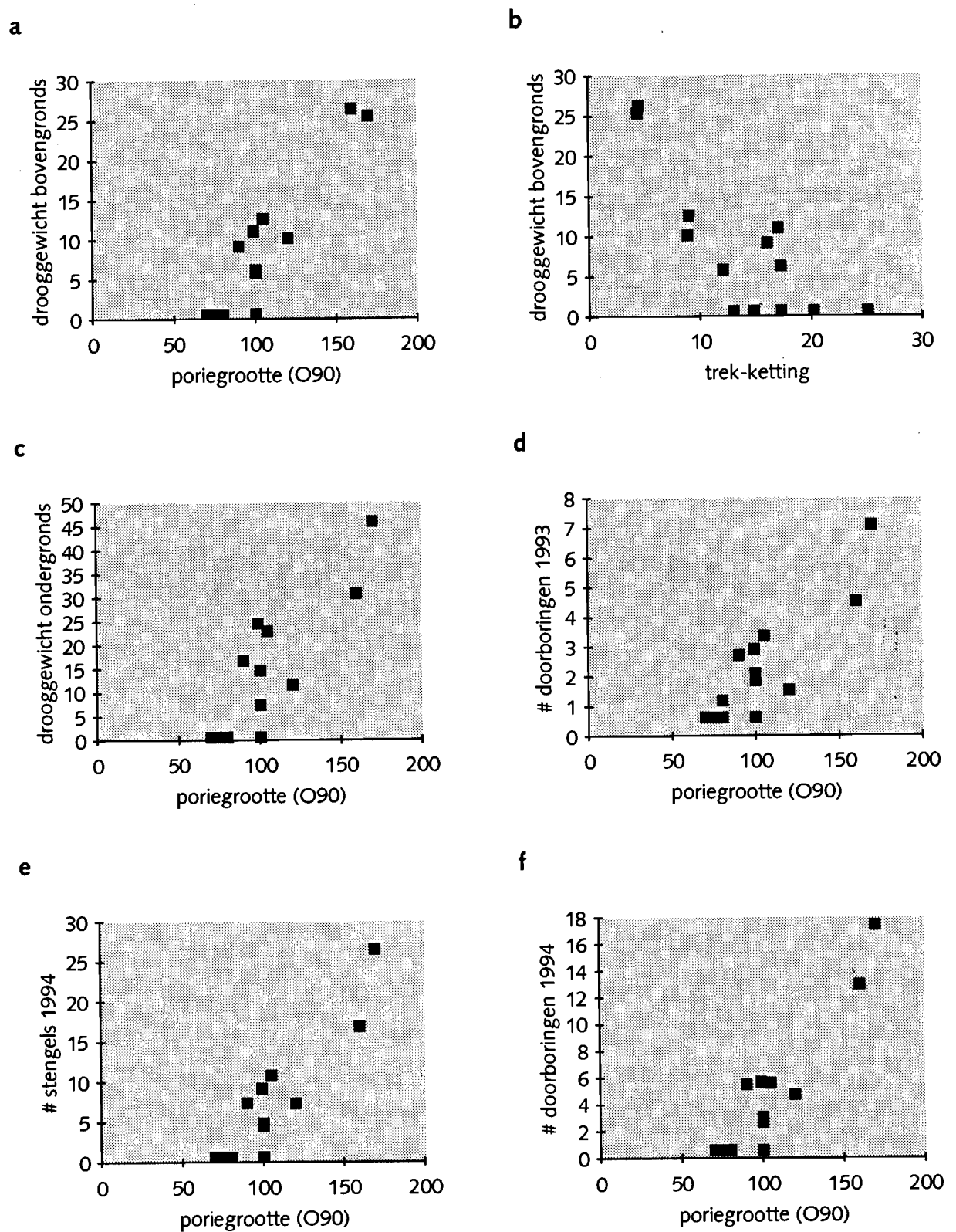
Spruitdiameter (mm)



Figuur 6 Relatie tussen verschillende doorgroeiresultaten en de best verklarende geotextieleigenschappen (weefsels). De waarden voor drooggewicht, aantal stengels en aantal doorboringen zijn getransformeerd.

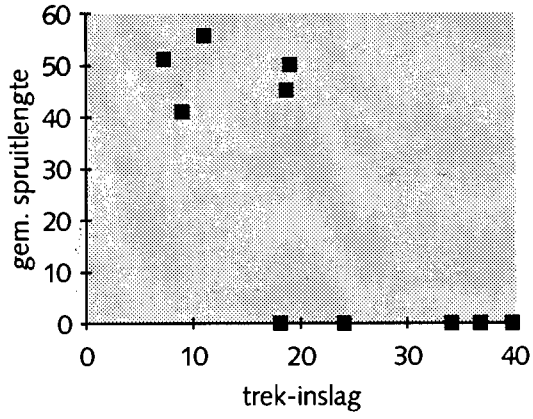


Figuur 7 Relatie tussen verschillende doorgroeiresultaten en de best verklarende geotextieleigenschappen (vliezen). De waarden voor aantal doorboringen, aantal en drooggewicht zijn getransformeerd.

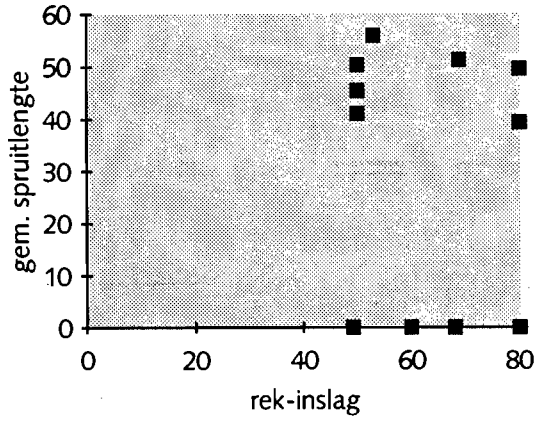


Figuur 7 Relatie tussen verschillende doorgroeieresultaten en de best verklarende geotextieleigenschappen (vliesen) - vervolg-

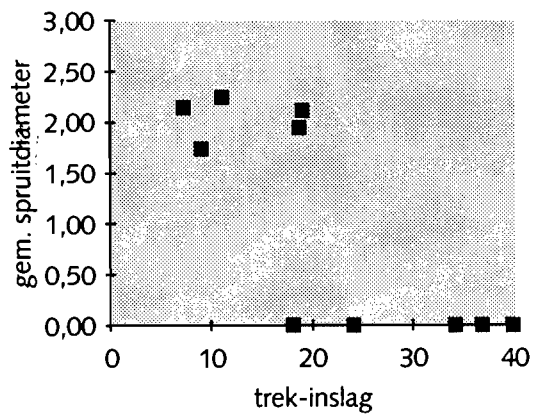
g



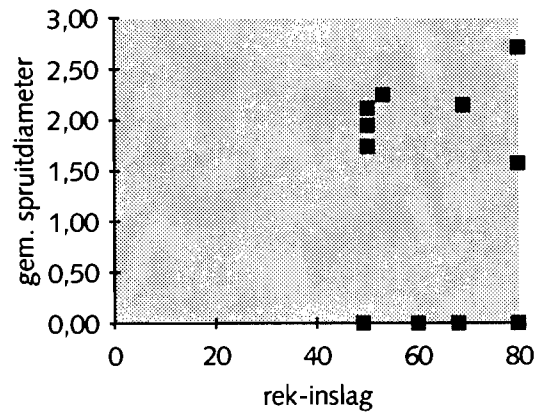
h



i



j



Bijlage 1. Karakteristieke eigenschappen van de geteste geotextielen (• geen waarde beschikbaar)

volledige produktnaam	code-naam zoals gebruikt in rapport	vlies	weefsel	gewicht (g/m ²)	treksterkte ketting (kN/m)	treksterkte inslag (kN/m)	rek ketting (%)	rek inslag (%)	poriegrootte O90 (µm)	waterdoorlatendheid (l/m ² s)
Hoechst Trevira Spunbound 011-360	Trevira 360	1	0	360	25	24	61	68	100	160
Rook Krimpen Verospun FLN 200	FLN 200	1	0	200	17	19	45	50	99	153
Rook Krimpen Lotrak LP 200	LP 200	0	1	185	39	27	27	5	198	25
De Keerkring Polyfelt TS 700	TS 700	1	0	280	17,2	•	50	80	100	190
De Keerkring Polyfelt TS 500	TS 500	1	0	140	8,8	•	50	80	120	330
Van Marle C 50.002	C 50.002	0	1	225	44	50	25	20	265	30
Van Marle 6G/120/SA	6G/120/SA	0	1	120	18	18	17	17	200	12
Van Marle A 350	A 350	1	0	350	13	18	80	80	75	70
Van Marle A 50.508	A 50.508	0	1	210	45	45	30	20	700	400
Van Marle C 10.341	C 10.341	0	1	240	68	68	15	15	200	•
CTN Terrafix 1004 R	Terrafix 1004 R	1	0	900	14,8	34,1	111	49	70	74
CTN Terrafix 600	Terrafix 600	1	0	600	17,3	36,8	99	60	80	34
CTN Secutex 351-4	Secutex 351	1	0	325	16	18,6	62	50	90	66
CTN Secutex 171-2	Secutex 171	1	0	175	4,5	11	86	53	160	154
CTN Secutex 151-1	Secutex 151	1	0	150	4,4	7,3	90	69	170	174
CTN Terrafix 805 RS	Terrafix 805 RS	1	0	966	20,2	39,8	125	49	80	29
Nicolon F 250 66640	F 250	0	1	135	20	25	20	15	250	35
Nicolon F 300 66530	F 300	0	1	165	45	20	20	20	300	100
Nicolon F 130 66786	F 130	0	1	250	70	70	25	20	100	10
Nicolon 40 66641	Geolon 40	0	1	190	40	36	15	15	145	20
Nicolon 15 66615	Geolon 15	0	1	100	18	18	20	14	180	20
Nicolon F 180 66424	F 180	0	1	235	45	45	25	25	180	50
Nicolon M 600 66339	M 600	0	1	210	50	40	30	20	450	600
Amoco propex 6078	Propex 6078	0	1	530	88	80	18	14	280	25
Amoco propex 6074	Propex 6074	0	1	330	55	55	14	12	190	15
Amoco 4720	TTA 4720	1	0	200	12	•	65	•	100	135
Amoco HF 1200	HF 1200	0	1	190	42	37	20	15	1200	700
UCO HF 460-L	HF 460	0	1	239	54	45	25	20	460	400
UCO SG 40/36-P-L	SG 40/36	0	1	187	40	36	15	10	180	10
UCO HF 360	HF 360	0	1	225	54	45	25	15	360	150
UCO NW/9/9	NW/9/9	1	0	150	9	9	50	50	105	150
UCO HS 150/150-S	HS 150	0	1	525	150	150	15	12	65	5
UCO HF 180	HF 180	0	1	233	45	45	25	10	230	50
UCO HF 290	HF 260	0	1	257	54	45	25	20	260	100
UCO HF 250	HF 250	0	1	290	54	45	25	20	250	40

Bijlage 2. Doorgroeiresultaten per geotextiel en per bak

geotextiel	bak nr.	vlies	dr. gew. bovengr. g	dr. gew. ondergr. g	# doorb. 1993	# bloei 1994	# stengels 1994	# doorb. 1994	gem. lengte cm	gem. diam. mm
Trevira 360	26	1	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
Trevira 360	62	1	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
Trevira 360	94	1	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
FLN 200	72	1	121	603	8	0	83	32	50,3	2,12
FLN 200	23	1	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
FLN 200	102	1	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
LP 200	22	0	55	185	5	0	30	10	30,2	2,44
LP 200	101	0	33	69	4	0	26	10	29,5	2,02
LP 200	44	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
TS 700	67	1	38	213	3	0	23	9	39,3	1,57
TS 700	6	1	0	0	1	0	0	0	0,0	0,00
TS 700	77	1	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
TS 500	97	1	104	134	1	0	53	22	49,5	2,71
TS 500	10	1	0	0	1	0	0	0	0,0	0,00
TS 500	64	1	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
C 50.002	36	0	214	607	12	4	100	46	58,2	2,22
C 50.002	37	0	179	487	5	2	105	37	56,8	2,11
C 50.002	79	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
6G/120/SA	11	0	188	625	10	3	100	36	54,0	2,39
6G/120/SA	65	0	241	305	6	0	89	29	36,6	2,78
6G/120/SA	100	0	54	145	2	0	25	10	38,0	2,39
A 350	14	1	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
A 350	51	1	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
A 350	105	1	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
A 50.508	86	0	69	237	7	0	35	24	42,1	2,21
A 50.508	46	0	80	198	3	0	76	26	39,5	2,03
A 50.508	17	0	38	105	2	0	45	14	36,2	1,67
C 10.341	98	0	257	672	9	21	142	35	49,5	2,41
C 10.341	12	0	159	523	6	5	91	27	53,6	2,17
C 10.341	68	0	7	37	1	0	4	3	51,5	2,33
Terrafix 1004 R	24	1	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
Terrafix 1004 R	40	1	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
Terrafix 1004 R	85	1	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
Terrafix 600	32	1	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
Terrafix 600	58	1	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
Terrafix 600	107	1	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
Secutex 351	66	1	39	133	5	0	20	11	57,2	1,88
Secutex 351	25	1	21	62	1	0	16	13	39,5	2,08
Secutex 351	74	1	23	84	1	0	18	6	39,2	1,87
Secutex 171	69	1	380	542	15	18	198	145	62,5	2,72
Secutex 171	27	1	237	287	4	0	54	12	57,4	1,68
Secutex 171	99	1	76	124	1	0	32	11	47,6	2,36
Secutex 151	38	1	235	837	29	36	303	153	62,1	2,11
Secutex 151	31	1	238	649	14	12	207	115	56,7	2,19
Secutex 151	93	1	174	633	7	7	192	36	34,8	2,14
Terrafix 805 RS	70	1	0	0	1	0	0	0	0,0	0,00
Terrafix 805 RS	35	1	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
Terrafix 805 RS	88	1	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
F 250	1	0	170	575	11	0	88	34	48,2	2,07
F 250	71	0	177	399	9	0	159	40	32,3	2,28
F 250	104	0	242	698	4	3	165	28	40,8	2,90
F 300	54	0	231	696	10	26	183	38	46,1	2,23
F 300	3	0	147	569	9	2	80	40	54,8	2,25
F 300	78	0	65	246	5	0	73	22	23,5	1,92

Bijlage 2. Doorgroeiresultaten per geotextiel en per bak

geotextiel	bak nr.	vlies	dr. gew. bovengr. g	dr. gew. ondergr. g	# doorb. 1993	# bloei 1994	# stengels 1994	# doorb. 1994	gem. lengte cm	gem. diam. mm
F 130	28	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
F 130	39	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
F 130	75	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
Geolon 40	50	0	14	35	5	0	3	3	77,0	1,55
Geolon 40	82	0	0	0	1	0	0	0	0,0	0,00
Geolon 40	8	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
Geolon 15	19	0	50	229	2	0	21	16	61,1	1,80
Geolon 15	52	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
Geolon 15	87	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
F 180	16	0	0	0	1	0	0	0	0,0	0,00
F 180	60	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
F 180	96	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
M 600	49	0	14	12	3	0	4	4	39,5	2,00
M 600	7	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
M 600	103	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
Propex 6078	84	0	19	26	1	0	10	4	39,3	1,87
Propex 6078	4	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
Propex 6078	45	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
Propex 6074	13	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
Propex 6074	56	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
Propex 6074	91	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
TTA 4720	92	1	34	54	3	0	20	7	38,1	1,81
TTA 4720	30	1	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
TTA 4720	43	1	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
HF 1200	59	0	54	199	6	0	94	30	27,0	1,88
HF 1200	106	0	40	168	6	0	60	18	25,4	2,01
HF 1200	5	0	2	4	2	0	6	2	17,9	1,27
HF 460	80	0	59	163	6	0	51	18	32,6	1,49
HF 460	2	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
HF 460	55	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
SG 40/36	41	0	29	73	3	0	6	5	67,3	1,52
SG 40/36	15	0	0	0	1	0	0	0	0,0	0,00
SG 40/36	76	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
HF 360	57	0	86	270	2	0	90	20	33,5	2,32
HF 360	33	0	0	0	1	0	0	0	0,0	0,00
HF 360	81	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
NW 9/9	95	1	142	444	8	2	97	23	45,5	2,04
NW 9/9	9	1	17	79	3	0	19	8	36,5	1,45
NW 9/9	63	1	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
HS 150	20	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
HS 150	61	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
HS 150	90	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
HF 180	83	0	0	0	2	0	0	0	0,0	0,00
HF 180	34	0	27	62	1	0	13	9	51,5	1,83
HF 180	42	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
HF 260	29	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
HF 260	53	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
HF 260	73	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
HF 250	21	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
HF 250	47	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
HF 250	89	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00
referentie	18	n.v.t.	578	1227	30	68	219	219	94,8	3,17
referentie	48	n.v.t.	627	1219	48	115	326	326	87,9	3,15
referentie	108	n.v.t.	520	1127	38	77	267	267	82,4	3,02

Bijlage 3 Doorgroeiresultaten van de geteste geotextielen

(* totaal van de drie duplo's; ** gemiddelde waarde van de drie duplo's)

geotextiel	vlies	dr.gew.* bovengr. g	dr.gew.* ondergr. g	# doorb.* 1993	# bloei* 1994	# stengels* 1994	# doorb.* 1994	gem.** lengte cm	gem.** diam. mm	# bakken met groei 1993	# bakken met groei 1994
Trevira 360	1	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00	0	0
FLN 200	1	121	603	8	0	83	32	50,3	2,12	1	1
TS 700	1	38	213	4	0	23	9	39,3	1,57	2	1
TS 500	1	104	134	2	0	53	22	49,5	2,71	2	1
A 350	1	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00	0	0
Terrafix 1004 R	1	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00	0	0
Terrafix 600	1	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00	0	0
Secutex 351	1	83	279	7	0	54	30	45,3	1,94	3	3
Secutex 171	1	693	953	20	18	284	168	55,8	2,25	3	3
Secutex 151	1	647	2119	50	55	702	304	51,2	2,14	3	3
Terrafix 805 RS	1	0	0	1	0	0	0	0,0	0,00	1	0
TTA 4720	1	34	54	3	0	20	7	38,1	1,81	1	1
NW 9/9	1	159	523	11	2	116	31	41,0	1,74	2	2
LP 200	0	88	254	9	0	56	20	29,8	2,23	2	2
C 50.002	0	393	1094	17	6	205	83	57,5	2,17	2	2
6G/120/SA	0	483	1075	18	3	214	75	42,9	2,52	3	3
A 50.508	0	187	540	12	0	156	64	39,3	1,97	3	3
C 10.341	0	423	1232	16	26	237	65	51,5	2,30	3	3
F 250	0	589	1672	24	3	412	102	40,4	2,41	3	3
F 300	0	443	1511	24	28	336	100	41,5	2,13	3	3
F 130	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00	0	0
Geolon 40	0	14	35	6	0	3	3	77,0	1,55	2	1
Geolon 15	0	50	229	2	0	21	16	61,1	1,80	1	1
F 180	0	0	0	1	0	0	0	0,0	0,00	1	0
M 600	0	14	12	3	0	4	4	39,5	2,00	1	1
Propex 6078	0	19	26	1	0	10	4	39,3	1,87	1	1
Propex 6074	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00	0	0
HF 1200	0	96	371	14	0	160	50	23,5	1,72	3	3
HF 460	0	59	163	6	0	51	18	32,6	1,49	1	1
SG 40/36	0	29	73	4	0	6	5	67,3	1,52	2	1
HF 360	0	86	270	3	0	90	20	33,5	2,32	2	1
HS 150	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00	0	0
HF 180	0	27	62	3	0	13	9	51,5	1,83	2	1
HF 260	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00	0	0
HF 250	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00	0	0
referentie	n.v.t.	1725	3537	116	260	812	812	88,4	3,11	3	3



De Dienst Weg- en Waterbouwkunde is de adviesdienst voor techniek en milieu voor de weg- en waterbouw, die onderzoekt, adviseert en kennis overdraagt in de constructieve weg- en waterbouw, de natuur- en milieutechniek van fysieke infrastructuur, waterkeringen en watersystemen, en de grondstoffenvoorziening voor de bouw, inclusief de milieu-aspecten.

Voor meer informatie:

Dienst Weg- en Waterbouwkunde Rijkswaterstaat, Van der Burghweg 1,
Postbus 5044, 2600 GA DELFT, tel. 015 - 699 111*

* M.i.v. 1 oktober 1995 wordt het telefoonnummer van de DWW voorafgegaan door een 2.

DWW-PUBLICATIE: W-DWW-95-309