ministerie van verkeer en waterstaat

rijkswaterstaat

riza

rijksinstituut
voor integraal zoetwaterbeheer
en afvalwaterbehandeling
tel. 026-3688911, fax. 026-3688678
doorkiesnummer 558

De invloed van wilgen op de bodemligging van kribvakken 1990-1995



Werkdocument **96.090x**

auteur(s) Margriet Schoor, Wilfred Janssen, Bertus Schutte

datum 15 juli 1996

ministerie van verkeer en waterstaat

rijkswaterstaat

riza

rijksinstituut
voor integraal zoetwaterbeheer
en afvalwaterbehandeling
tel. 026-3688911, fax. 026-3688678
doorkiesnummer 558

De invloed van wilgen op de bodemligging van kribvakken 1990-1995

Werkdocument **96.090x**

auteur(s) Margriet Schoor, Wilfred Janssen, Bertus Schutte

datum 15 juli 1996

In dit werkdocument wordt de visie van de auteurs weergegeven, niet noodzakelijk die van het ministerie van Verkeer en Waterstaat.

Inhoud werkdocument

1 Inleiding 7
1.1 Algemeen 7
1.2 Doelstelling 7
1.3 Methode 7
1.4 Waterstanden 9

2 Resultaten 11
2.1 Gendt 11
2.2 Druten 17
2.3 Gameren 21

3 Processen 25

4 Conclusies 29

5 Aanbevelingen voor verder onderzoek 31

Literatuur 33

Omslagfoto: De wilgenaanplant bij Gameren, 20 maart 1995. (foto: Meetkundige Dienst)
Het zand op de foto is afgezet tijdens het hoogwater van januari 1995.

Lijst van figuren

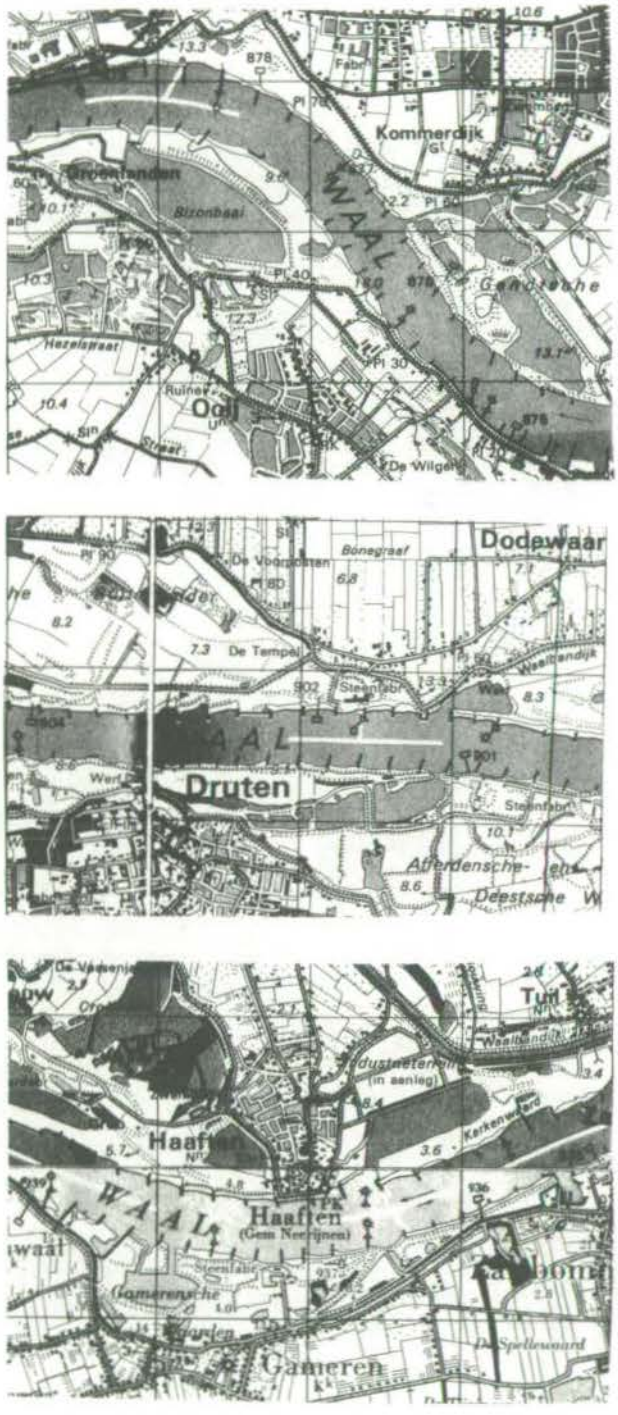
figuur 1: De ligging van de drie onderzoekslocaties bij Gendt, Druten en Gameren 6
figuur 2: Waterstanden en hoogteligging van de wilgenaanplant te Gendt 10
figuur 3: Twee profielen bij Gendt 12
figuur 4: Ontwikkeling steilrand in wilgenkribvak Gendt 15
figuur 5: Waterstanden en hoogteligging van de wilgenaanplant te Druten 16
figuur 6: Twee profielen te Druten 18
figuur 7: Waterstanden en hoogteligging wilgenaanplant Gameren 20
figuur 8: Twee profielen te Gameren 22
figuur 9: Waterstanden in een wilgenkribvak, dwarsdoorsnede 26

lijst van tabellen

tabel 1: Gemiddelde verandering (in cm) van de bodemhoogten van de kribvakken in de periode juni 1991 t/m mei 1995. 15

Lijst van bijlagen (apart bijgevoegd)

bijlage 1: De ligging van de meetlocaties Gendt, Druten en Gameren
bijlage 2: Hoogtekaarten 1990 en 1995
bijlage 3: Fouten als gevolg van het ontbreken van informatie van gebied tussen waterpassingen en peilingen.
bijlage 4: Meetresultaten Gendt
4a: Profielen 1990 t/m 1995
4b: Overzicht ligging van de profielen en meetpunten 8603, 9106, 9311 en 9505.
4c: Verschilkaarten 1986, 1991, 1993 en 1995
bijlage 5: Meetresultaten Druten
5a: Profielen 1990 t/m 1995
5b: Overzicht ligging van de profielen en meetpunten, 9106, 9311 en 9505.
5c: Verschilkaarten 1991, 1993 en 1995
bijlage 6: Meetresultaten Gameren
6a: Profielen 1990 t/m 1995
6b: Overzicht ligging van de profielen en meetpunten, 9106, 9311 en 9505.
6c: Verschilkaarten 1991, 1993 en 1995
bijlage 7: Waterstanden Nijmegen 1990 t/m 1995
bijlage 8: Luchtfoto' Druten en Gameren, maart 1995
bijalge 9: Laboratorium experiment van Murakami *et al.*





1 = Gendt km. 877.350 - 877.600 rechter oever
2 = Druten km. 902.365 - 902.565 linker oever
3 = Gameren km. 936.985 - 937.185 linker oever

figuur 1: De ligging van de drie onderzoekslocaties bij Gendt, Druten en Gameren

1 Inleiding

1.1 Algemeen

Op drie locaties langs de Waal (Gendt, Druten en Gameren) zijn in april 1990 wilgen in een kribvak aangeplant (zie bijlage 1). De locaties Gendt en Gameren zijn gelegen in een buitenbocht van de rivier en de locatie Druten in recht stuk (zie figuur 1). Om de ontwikkeling van de bodemligging en de invloed van de wilgen daarop te volgen zijn tussen 1990 en 1995 ongeveer 8 keer waterpassingen en peilingen uitgevoerd. De metingen vonden per locatie in drie aaneengesloten kribvakken plaats. Behalve de kribvakken met wilgen, zijn ook de kribvakken aan beide zijden hiervan gevolgd.

De aktiviteiten vinden plaats onder het project WSE*NAT-WILG (voorheen OEV*WILG) In de loop der jaren zijn er verschillende voortgangsrapportages verschenen (Geilen *et al.*, 1991; van Splunder & Schoor, 1992, 1993; Janssen & Schoor 1994; van Splunder *et al.*, 1995).

1.2 Doelstelling

Doelstelling van de metingen is een indruk te krijgen van de invloed van aanplant van wilgen op de sedimentbalans van kribvakken. Vraag hierbij is of de aanplant van wilgen erosie in kribvakken vermindert.

1.3 Methode

In dit werkdocument worden meetgegevens uitgewerkt. Waterpassingen en peilingen, aangeleverd door de meetdienst van Directie Oost Nederland, zijn in ARC-INFO verwerkt tot grids. Uit die grids zijn hoogtekaarten, profielen en verschilkaarten vervaardigd. De gevolgde methoden staan beschreven in Schutte 1995, 1996a en 1996b.

Van de situatie in 1990 en in 1995 zijn hoogtekaarten vervaardigd (zie bijlage 2).

Per kribvak zijn er 4 profielen getekend, die op gelijke afstand tussen de kribben liggen. De profielen zijn genoemd naar het jaar en de maand waarin ze uitgevoerd zijn; bijvoorbeeld: 9009 is september 1990.

Uit deze profielen blijkt dat er een aantal metingen is, waarbij het gat tussen de waterpassing en de peilingen te groot is om een betrouwbaar beeld van het gehele kribvak te interpoleren. Er ontstaan dan lange rechte lijnen in het profiel en dat is met name erg als er in werkelijkheid hellingknikken in het profiel zitten (zie bijlage 3). Deze situatie komt voor bij de metingen van 9111, 9208, en 9411 (en in Gendt ook 9311). Daarnaast ontbreken de waterpassingen van meting 9212 en soms die van 9208. Van de meting 9009 zijn de oorspronkelijke peilingen niet meer beschikbaar, alleen nog de geïnterpoleerde raaien hiervan. Bij deze meting is de onderwateroever dus twee maal geïnterpoleerd, hetgeen fouten kan opleveren. Van Druten is een vrij goede meting samengesteld uit de waterpas-

singen 9208 en de peilingen 9212. Deze is 9210 genoemd. De profielen zijn te vinden in bijlage 4a, 5a en 6a. Van elke locatie is een raai van het wilgenvak en van een van de naastliggende vakken in een figuur opgenomen (zie figuur 3, 5 en 7). Hierin zijn voor de duidelijkheid slechts twee of drie metingen opgenomen die de veranderingen goed illustreren. Bijlagen 4b, 5b en 6b geven overzichten van de ligging van de profielen en meetpunten in de 9 kribvakken. De meetpunten zijn alleen weergegeven voor de metingen die tot verschilkaarten zijn verwerkt.

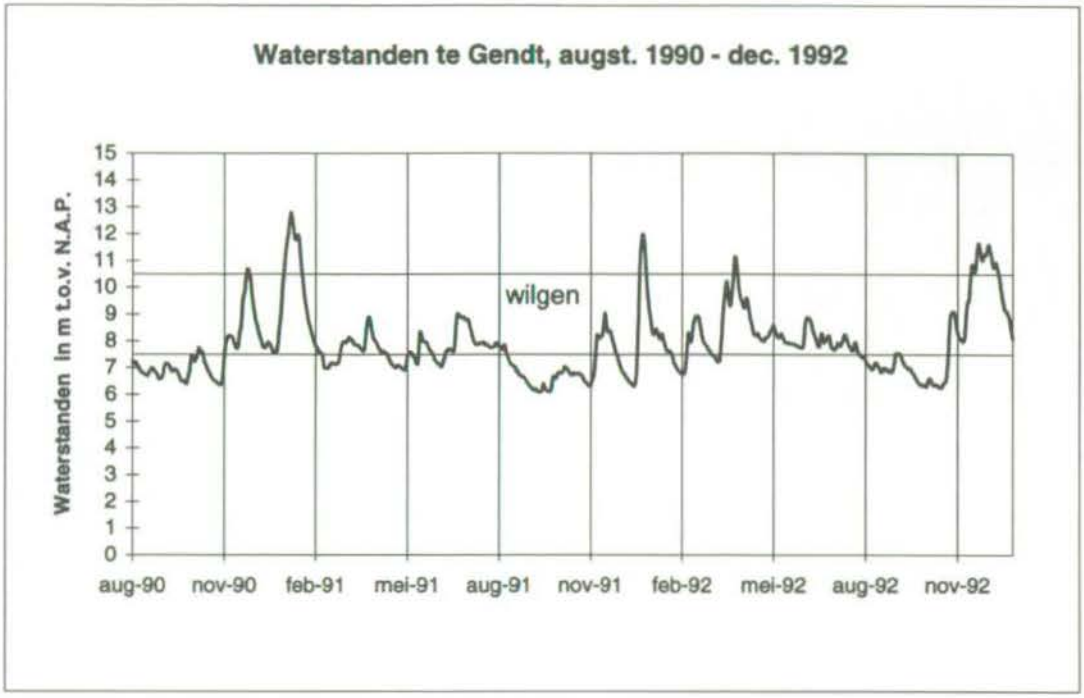
Er zijn verschilkaarten vervaardigd van de perioden 9311-9106, 9505-9311 en van de gehele periode 9505-9106 (zie bijlage 4c, 5c en 6c). Dit zijn verschilkaarten waarbij beide metingen weinig tot geen interpolatiefouten geven. In eerste instantie zijn er ook verschilkaarten tussen alle opeenvolgende metingen gemaakt, maar deze worden hier niet gepresenteerd omdat ze door interpolatiefouten moeilijk te interpreteren zijn. In Gendt is in 1986 ook een meting uitgevoerd. Hiervan is ook een verschilkaart gemaakt (9106-8603).

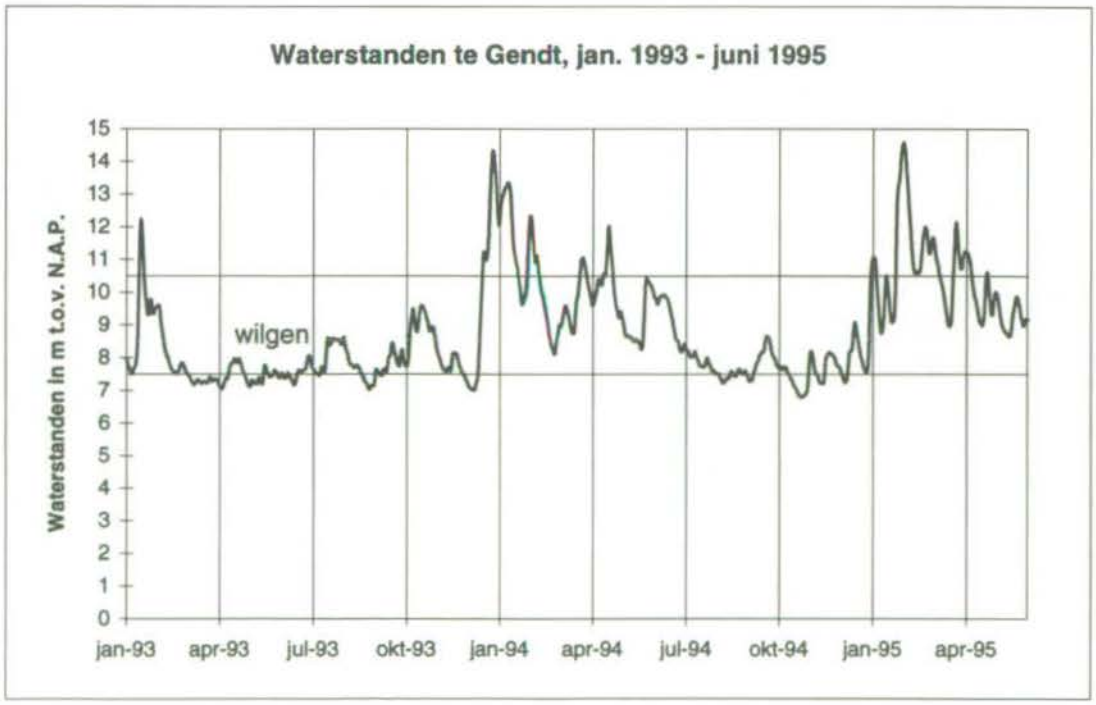
1.4 Waterstanden

Tussen september 1990 en mei 1995 hebben eerst een aantal lagere hoogwaters zich voorgedaan en in december 1993 en januari 1995 twee uitzonderlijke hoge hoogwaters (zie figuur bijlage 7). De lagere hoogwaters vonden plaats in januari en december 1991 en november/december 1992. De peiling 9212 heeft plaatsgevonden vlak na dat hoogwater. Ook de meting 9505 heeft vlak na het hoogwater plaatsgevonden. De andere metingen geven een beeld van de situatie na minimaal een half jaar laagwater weer.

In bijlage 8 zijn luchtfoto's opgenomen van maart 1995. Ze geven een beeld van de zandafzettingen op de oeverwallen na het hoogwater van 1995 ter plaatse van de wilgenkribvakken.

De waterstanden ter plaatse van de kribvakken zijn uitgezet in de figuren 2, 4 en 6. Hierin is ook de hoogteligging van de wilgenaanplant aangegeven.





figuur 2: Waterstanden en hoogteligging van de wilgenaanplant te Gendt

2 Resultaten

2.1 Gendt

Baggerstort op vooroever

Alle drie de kribvakken bij Gendt worden gedomineerd door "aanwas" met grote hoeveelheden sediment rond de normaallijn tussen 9212 en 9311. Dit is hoogstwaarschijnlijk materiaal dat, na baggeren in de vaargeul, in de kribvakken is gestort. Vanaf 1992 is men begonnen gebaggerd zand terug te storten in de rivier, om bodemdaling te voorkomen. Hierbij wordt het gebaggerde zand "geklapt" op de normaallijn. Bekend is dat dit in 1995 en 1996 in de kribvakken bij Gendt gebeurd is. Wat er precies waar gestort is tussen 1992 en 1995 is niet meer bekend. Wel is bekend dat er door werkzaamheden in de rivierbochten aldaar zand is gebaggerd dat op de normaallijn is teruggestort. In combinatie met de omvang en de ligging van de zandsedimentatie in 1993 in de kribvakken bij Gendt, kan geconcludeerd worden dat dit zand niet op een natuurlijke wijze daar terecht is gekomen.

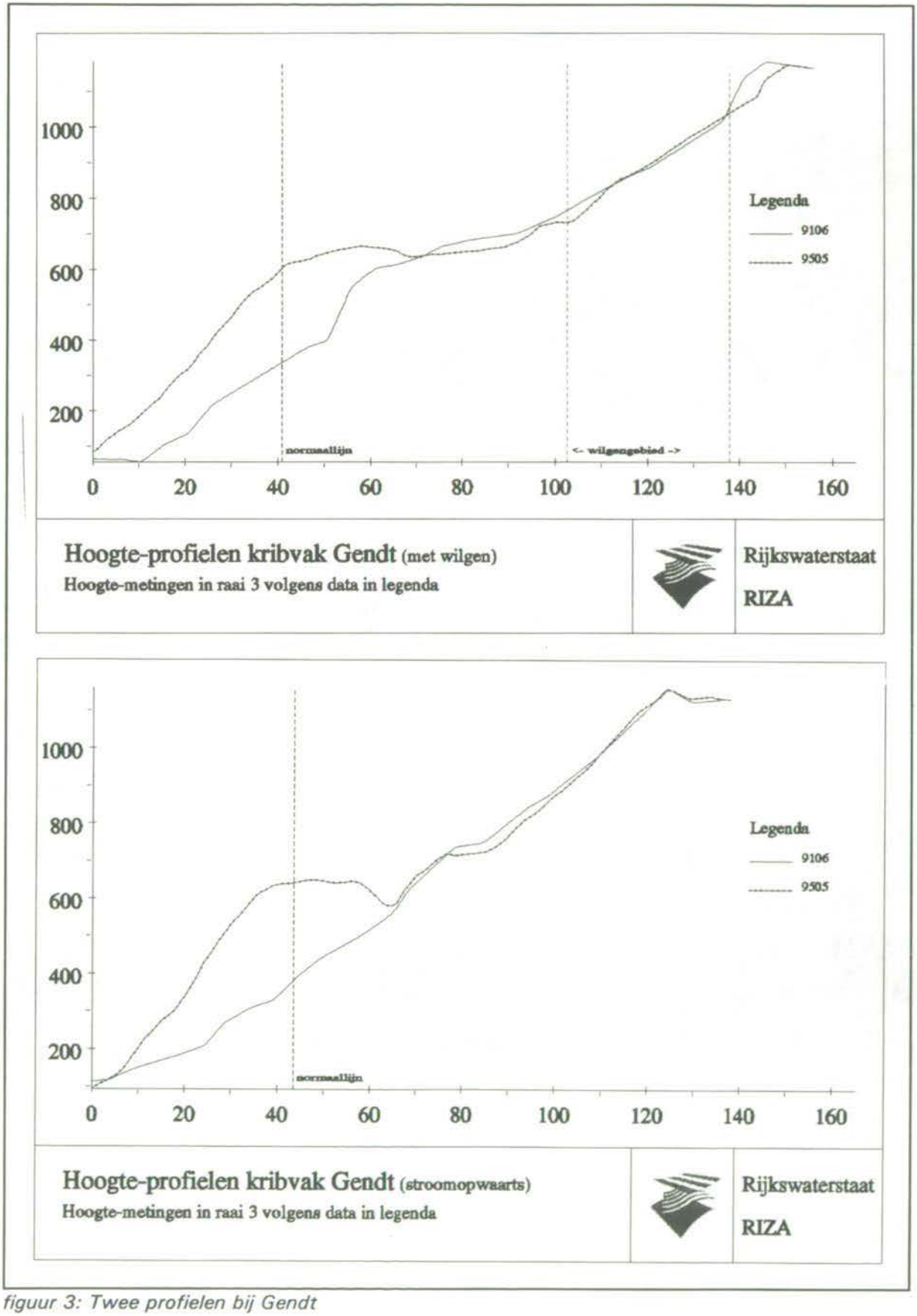
In het midden van de kribvakken (raai 2 en 3) is de sedimentatie rond de normaallijn het grootst; 2 meter dik. De kribvakbodem verflauwt hierdoor en de hellingknik naar de vooroever komt tot ca. 40 meter geulwaarts te liggen. In de raaien 1 en 4 zijn dezelfde verschijnselen op kleinere schaal te zien. Tussen 9311 en 9505 wordt een deel van het zand het kribvak in getransporteerd. De vooroever vertoont hierbij terugschrijdende erosie terwijl de kribvakbodem hoger komt te liggen. De concave helling bovenin het profiel is tot 1992 stabiel, maar vertoont daarna lichte erosie. Kribvakbodem en -vooroever zijn tot 9212 erosief.

Ontstaan hellingknik in wilgenkribvak

In het wilgenkribvak is het onderste (1/3 tot 1/4) deel van het wilgengebied aan erosie onderhevig, terwijl de rest min of meer stabiel is of licht sedimenteert. Dit heeft tot gevolg dat er (tussen 9112 en 9311) een hellingknik in het profiel is ontstaan. Deze is niet of nauwelijks onderhevig aan terugschrijdende erosie (i.t.t. Druten en Gameren). Dit kan een gevolg zijn van het op de vooroever gestorte sediment dat het kribvak in getransporteerd wordt.

Overgang kribvak-oeverwal

In het stroomopwaartse gedeelte van het wilgenvak (omgeving raai 3) is een steilrand aanwezig van ongeveer 1 meter hoogte. Deze gaat tussen 9106 en 9112 ongeveer 5 meter achteruit en is daarna tot 9311 min of meer stabiel. Tussen 9311 en 9411 erodeert alleen de bovenzijde van de steilrand, terwijl de teen slechts zeer weinig achteruitgaat (zie figuur 4). Hierdoor is er een tendens naar een meer geleidelijke overgang van kribvak naar oeverwal te zien. Dit fenomeen doet zich ook voor bij Slijk Ewijk, waar een zandsuppletie in een aantal kribvakkken met een steilrand heeft plaatsgevonden (Duijn, in voorb.).



figuur 3: Twee profielen bij Gendt

Gemiddelde bodemhoogteverandering

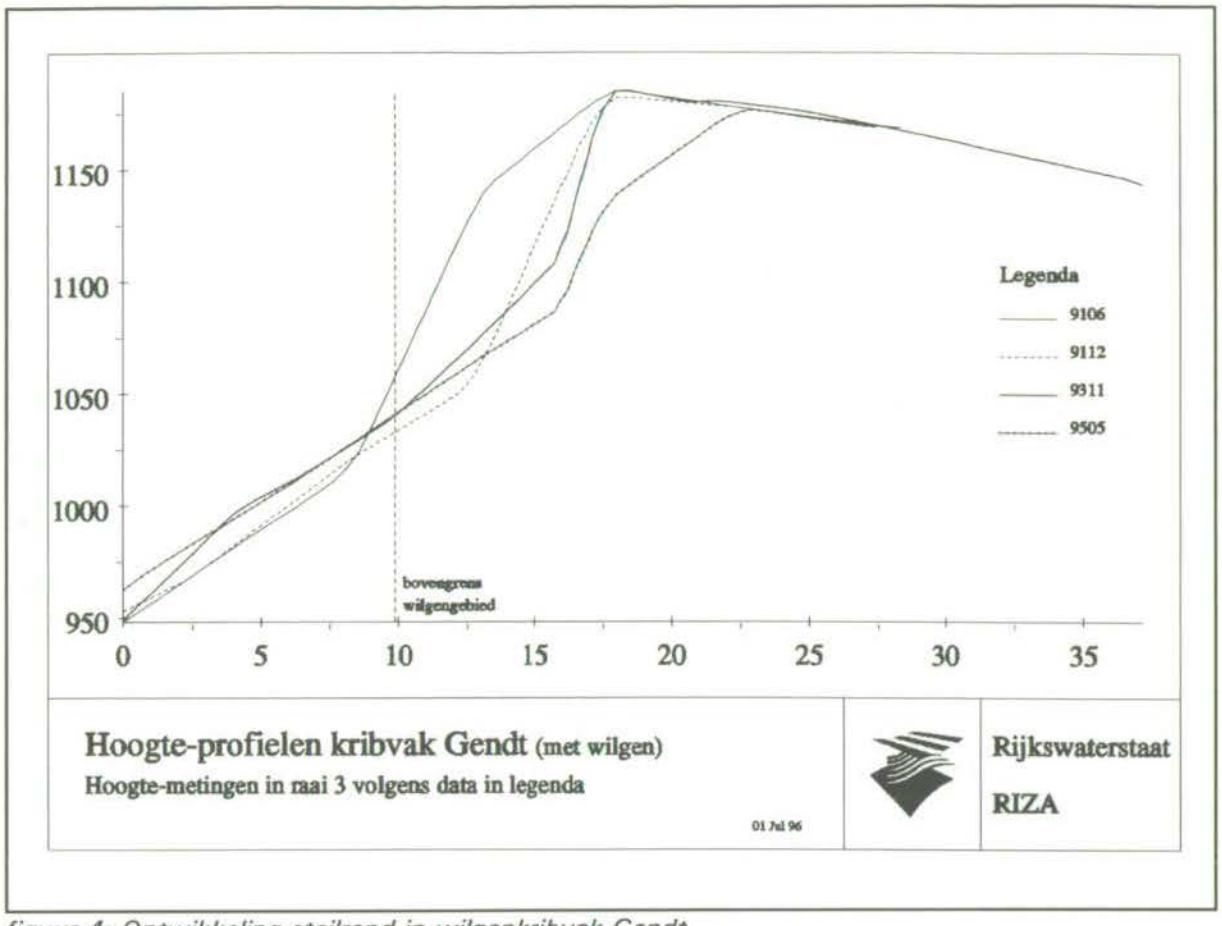
In de meting van 9311 zitten interpolatiefouten als gevolg van het ontbreken van meetpunten op de kribvakbodem. Alleen de verschilkaart 9106-9505 is daardoor in het hele gebied betrouwbaar. In tabel 1 is daarom alleen de gemiddelde verandering van de bodemhoogte in deze periode opgenomen.

In de kribvakken bij Gendt heeft geringe netto sedimentatie plaatsgevonden (gemiddeld 6, 8 en 5 cm in 4 jaar). Zonder de omvangrijke stort van zand rond de normaallijn, zou dit niet het geval zijn geweest. De verschillen in gemiddelde bodemhoogteverandering tussen de kribvakken zijn gering. Deze zijn niet toe te schrijven aan de aanplant van wilgen in het middelste gemeten kribvak. Zoals ook uit de profielen blijkt heeft de aanplant van wilgen, door het ontstaan van een hellingkink, wel duidelijke invloed gehad op de verdeling van zand binnen het kribvak (zie figuur 3).

Orde van grootte van de bodemhoogteveranderingen (in 4 jaar):
- rond de normaallijn: meer dan 2 meter sedimentatie
- kribvakbodem: ca 30 cm verlaging in het wilgenvak; 10-20 cm verlaging stroomaf- en stroomopwaarts
- wilgengebied: 10-20 cm sedimentatie. In naastliggende kribvakken is de bodemhoogteverandering daar +10 tot -50 cm.

Situatie voor 1990

Van de kribvakken bij Gendt zijn peilingen beschikbaar van de situatie in maart 1986. Waterpassingen ontbreken. In het stroomafwaartse vak is in het midden niet gemeten. (zie bijlage 5).
In de periode maart 1986 - juni 1991 vindt er sedimentatie plaats op de kribvakbodem en de vooroever. De gemiddelde verhoging bedraagt ca. 20 cm.
In de periode na juni 1991 vindt op de kribvakbodem ca. 20 cm erosie plaats, terwijl op de vooroever sediment wordt gestort.
In het stroomafwaartse deel van het wilgenvak vindt vlak onder de (later aangeplantte) wilgen erosie plaats. Tussen 9106 en 9311 vindt daar juist weer sedimentatie plaats. Dit wijst op het voorkomen van korte termijn variaties waaruit geen langjarige trend valt af te leiden.



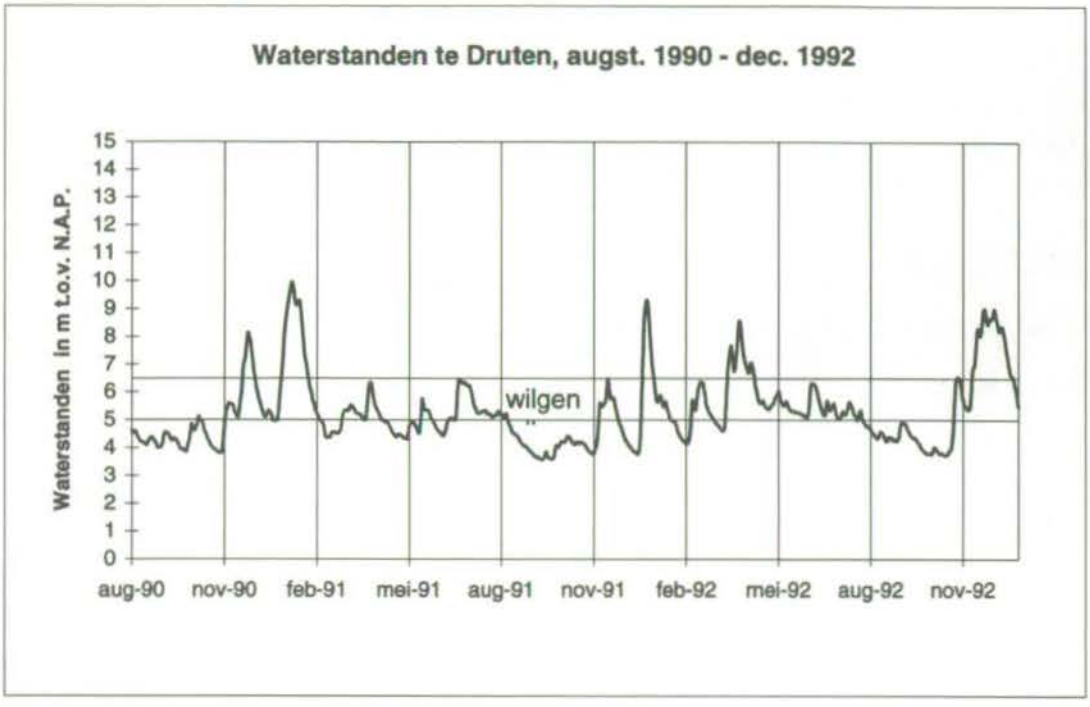
figuur 4: Ontwikkeling steilrand in wilgenkribvak Gendt

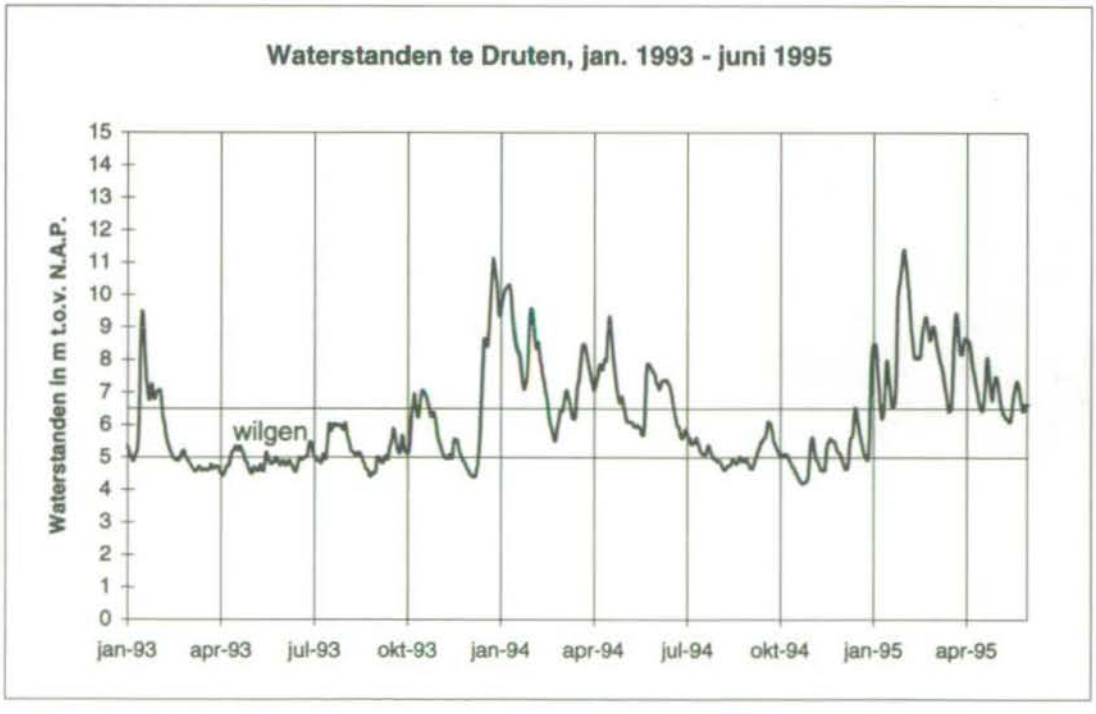
tabel 1: Gemiddelde verandering (in cm) van de bodemhoogten van de kribvakken in de periode juni 1991 t/m mei 1995

	Gendt			Druten			Gameren		
	stroomop	wilgen	stroomaf	stroomop	wilgen	stroomaf	stroomop	wilgen	stroomaf
juni 91 - nov. 93	*	*	*	10	-9	0	6	-8	-15
nov. 93 - mei 95	*	*	*	-4	4	6	-33	-21	-11
juni 91 - mei 95	6	8	5	8	-6	6	-27	-30	-26

* = meting november 93 is niet volledig genoeg om cijfers te kunnen geven

De indeling in twee perioden is gebaseerd op beschikbaarheid van complete metingen. De periode nov. 1993 - mei 1995 wordt gekenmerkt door extreem hoge afvoeren.





figuur 5: Waterstanden en hoogteligging van de wilgenaanplant te Druten

2.2 Druten

Uitgangssituatie

Het kribvak met wilgenaanplant bij Druten kenmerkt zich voor 1990, net als het stroomafwaartse kribvak, door een concave helling van kribvak naar weiland, een recht hellende kribvakbodem en een convexe hellingknik naar vooroever en geul. In het stroomopwaartse kribvak echter, helt de kribvakbodem vrij steil en is de hellingknik naar vooroever en geul zeer gering. De situatie hier lijkt op die van de kribvakken bij Gendt.

Sedimentatie op onderwatertalud

In de loop der jaren vindt in de naastliggende kribvakken lichte sedimentatie bij de concave bocht bovenin het profiel plaats. De kribvakbodem fluctueert enigszins en na het hoogwater van 1995 is er in het stroomafwaartse kribvak veel zand gesedimenteerd op de convexe bocht naar de vooroever en in mindere mate op de kribvakbodem. De geul ligt dan ook dieper en de vooroever helt steiler. Ook in de peiling 9212 (na een hoogwater) en in het wilgenvak, is deze versteiling van de vooroever waar te nemen. In het stroomopwaartse (relatief steil hellende) vak is er vrijwel geen zand gesedimenteerd op de overgang kribvakbodem - vooroever. In het wilgenvak daarentegen weer wel. In de verschilkaarten van de periode november '93 - mei '95 is de sedimentatie op de kribvakbodem (ca. 50 cm) na hoogwater dan ook dominant.

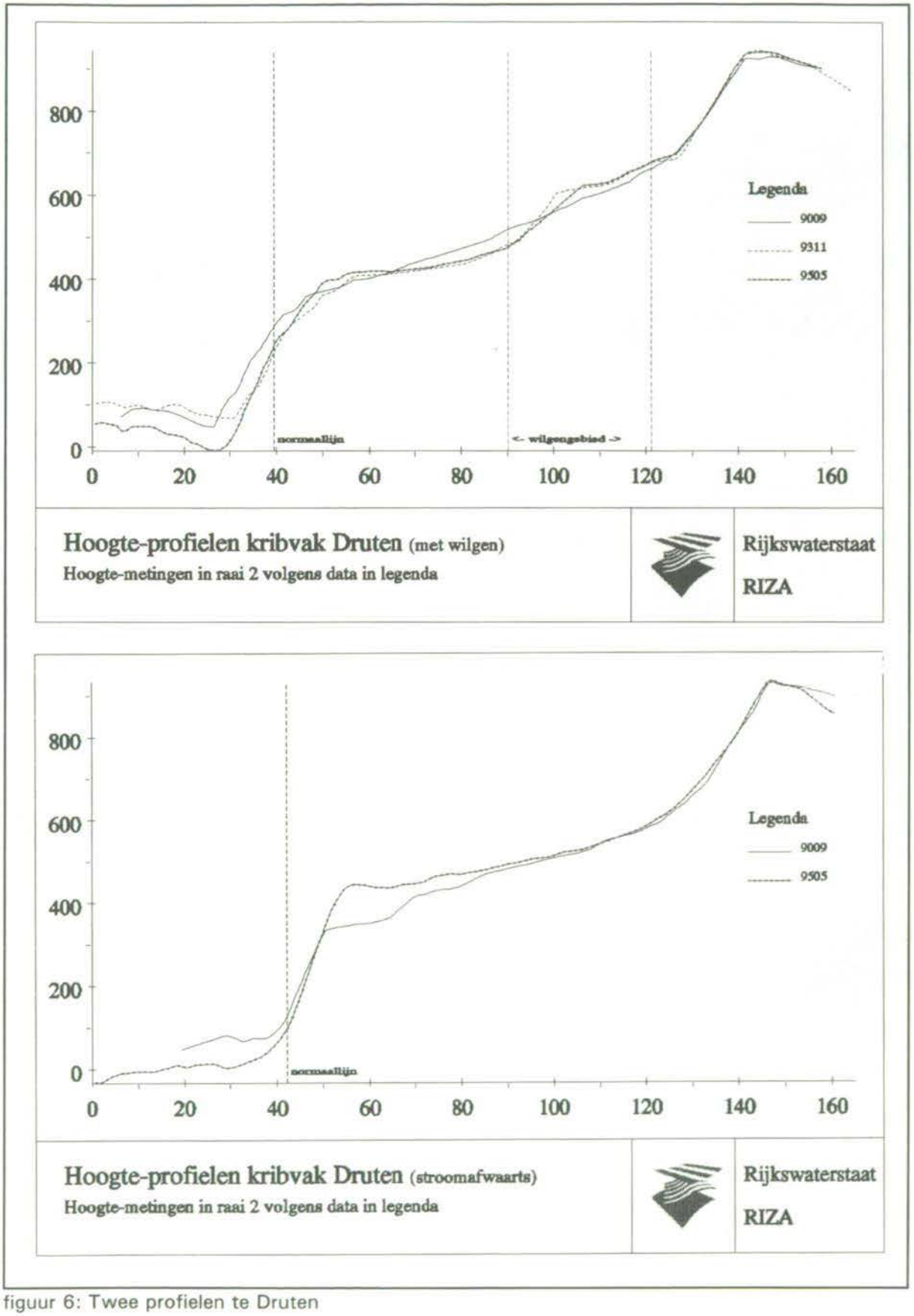
Ontstaan hellingknik in wilgenvak

Het profiel in het wilgenvak heeft zich in de loop der jaren drastisch gewijzigd. In het bovenste (2/3) deel van de wilgenaanplant vindt sedimentatie van zand plaats terwijl het onderste (1/3) deel en de onder water gelegen kribvakbodem erodeert. Hierdoor is een hellingknik ontstaan ter plaatse van de onderrand van de wilgen. De sedimentatie tussen de wilgen is het grootst tussen 9111 en 9210 en neemt daarna af tot vrijwel nihil in de periode 9411-9505. De erosie van de kribvakbodem is het sterkst in de periode 9210-9311. Daarna daalt deze niet veel meer, maar de hellingknik is dan wel onderhevig aan terugschrijdende erosie (zie figuur 6). Tussen 9411 en 9505 was de helft van de wilgenaanplant hierdoor aan erosie onderhevig. In een kwart van de wilgenaanplant heeft erosie tot ruim beneden het oorspronkelijke niveau plaatsgevonden.

Tussen de wilgen vindt in de periode 9106-9311 ca. 25 cm sedimentatie plaats, terwijl de kribvakbodem aan de onderrand van de aanplant en lager ca. 40 cm erodeert. De stroomopwaartse helft van het wilgenvak is dynamischer dan de andere helft; er vindt meer erosie en meer sedimentatie plaats.
Naast de wilgen, tussen de wilgenaanplant en het stroomopwaarts gelegen krib, vindt erosie plaats. In combinatie met sedimentatie tussen de wilgen resulteert dit in een geultje.

Overgang kribvak-oeverwal

In de drie kribvakken is de overgang kribvak-oeverwal stabiel tot licht sedimentatief. De



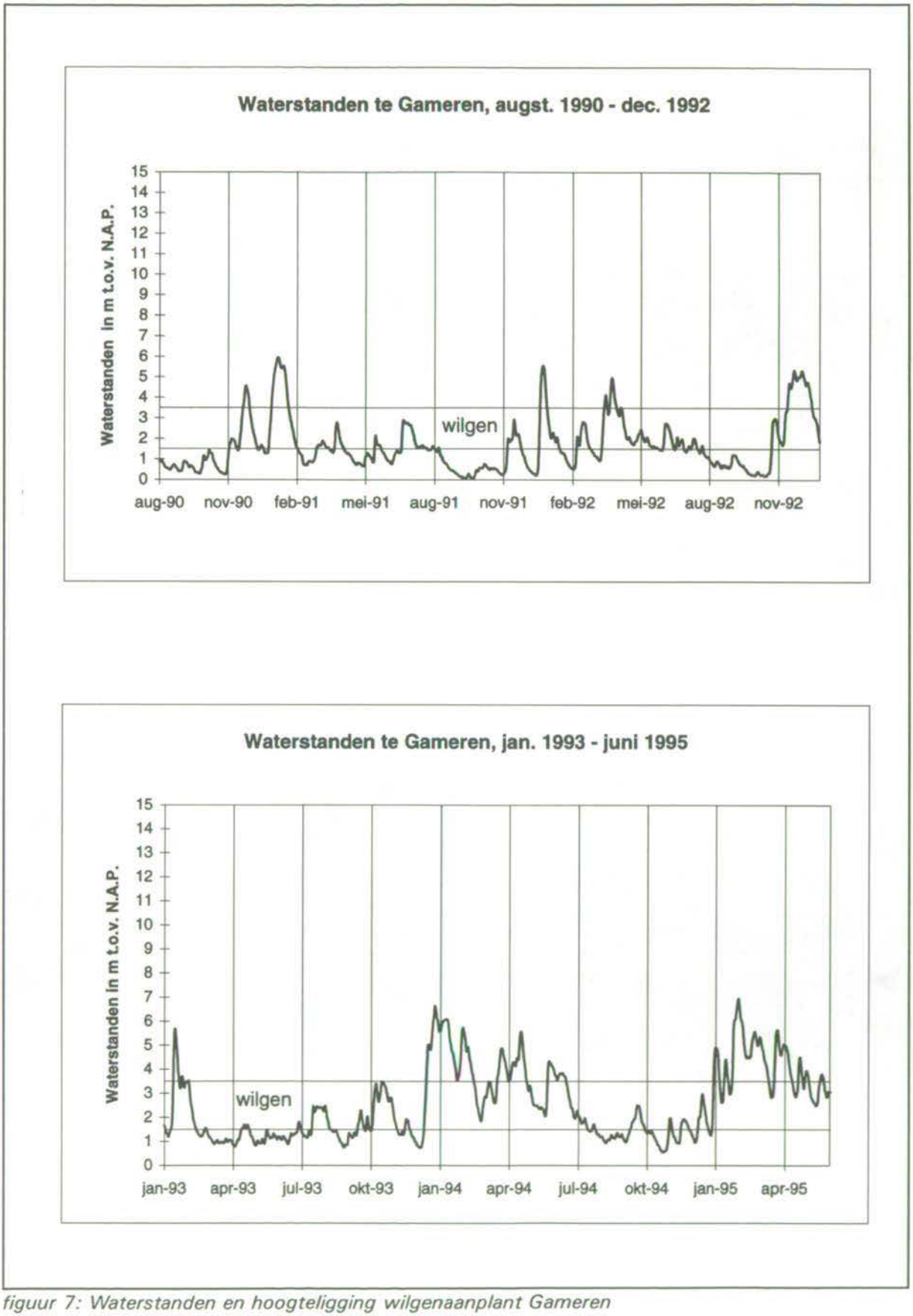
figuur 6: Twee profielen te Druten

helingknik migreert 0 to 5 meter rivierwaarts terwijl er 0 tot 20 cm zand op de oever. Uit de profielen zijn geen verschillen te constateren tussen wilgenvak en naastliggende vakken.

Gemiddelde bodemhoogteveranderingen

In het stroomop- en stroomafwaartse kribvak is geen hellingknik ontstaan zoals in het wilgenvak. In de periode 9106-9311 vindt in deze vakken wel sedimentatie op de oever plaats, maar de erosie op de onderwateroever is er veel minder dan in het wilgenvak. Dit resulteert in een netto sedimentverlies in het wilgenvak in die periode, terwijl dat in beide naastliggende vakken niet het geval was (zie tabel 1).
De periode november 9311-9505 wordt in wilgenvak en stroomafwaarts vak gedomineerd door sedimentatie op de overgang geul-kribvakbodem die netto sedimentatie vertonen. In het (steilere) stroomopwaartse vak is er sprake van netto erosie.

Over de gehele periode tussen juni 1991 en mei 1995 heeft in het wilgenvak netto erosie plaatsgevonden (gemiddeld 6 cm bodemverlaging), terwijl in de naastliggende vakken netto sedimentatie plaats vond (gemiddeld 8 en 6 cm bodemverhoging). De verschillen worden veroorzaakt door de erosie van de kribvakbodem in het wilgenvak (maximaal 70 cm). De sedimentatie tussen de wilgen is van de zelfde orde van grootte als sedimentatie die ook in de naastliggende vakken heeft plaatsgevonden (ook maximaal 70 cm).



figuur 7: Waterstanden en hoogteligging wilgenaanplant Gameren

2.3 Gameren

Situatie 1990 t/m 1993

Tot december 1992 zijn alle kribvakken, voor wat betreft hun onderwatertalud, aan erosie onderhevig. Bovenin het profiel vindt in de periode t/m november 1993 stroomopwaarts van het wilgenvak erosie en in het wilgenvak en stroomafwaarts ervan sedimentatie plaats. De hellingknik die net als in Gendt en Druten in die periode ontstaat aan de onderrand van de wilgenaanplant, is in Gameren ook waarneembaar in het stroomopwaarts en stroomafwaarts van het wilgenvak gelegen kribvak. Hiervoor is geen verklaring gevonden. In deze beide aanliggende kribvakken is in de meting van 9311 in de stroomopwaartse helft van het kribvak een hellingknik zichtbaar op ongeveer 60 meter landwaarts van de normaallijn.

De sedimentatie tussen de wilgen bedraagt in de periode juni '91 - november '93 minimaal 10 en maximaal 50 cm. Dit is ook het geval bij het stroomafwaarts gelegen vak. Erosie van de kribvakbodem in die periode is ca 40 cm in het wilgenvak en ca 25 cm in beide andere vakken, met maxima van 70-100 cm in alle vakken. Het netto effect van erosie en sedimentatie (zie tabel 1) is van stroomop- tot afwaarts respectievelijk -15 cm, -8 cm en 6 cm. Alleen in het kleine stroomafwaartse kribvak vindt in de eerste 2 jaar netto sedimentatie plaats. De sedimentatie tussen en boven de wilgen is minder dan de erosie op de onderwateroever in het wilgenvak.

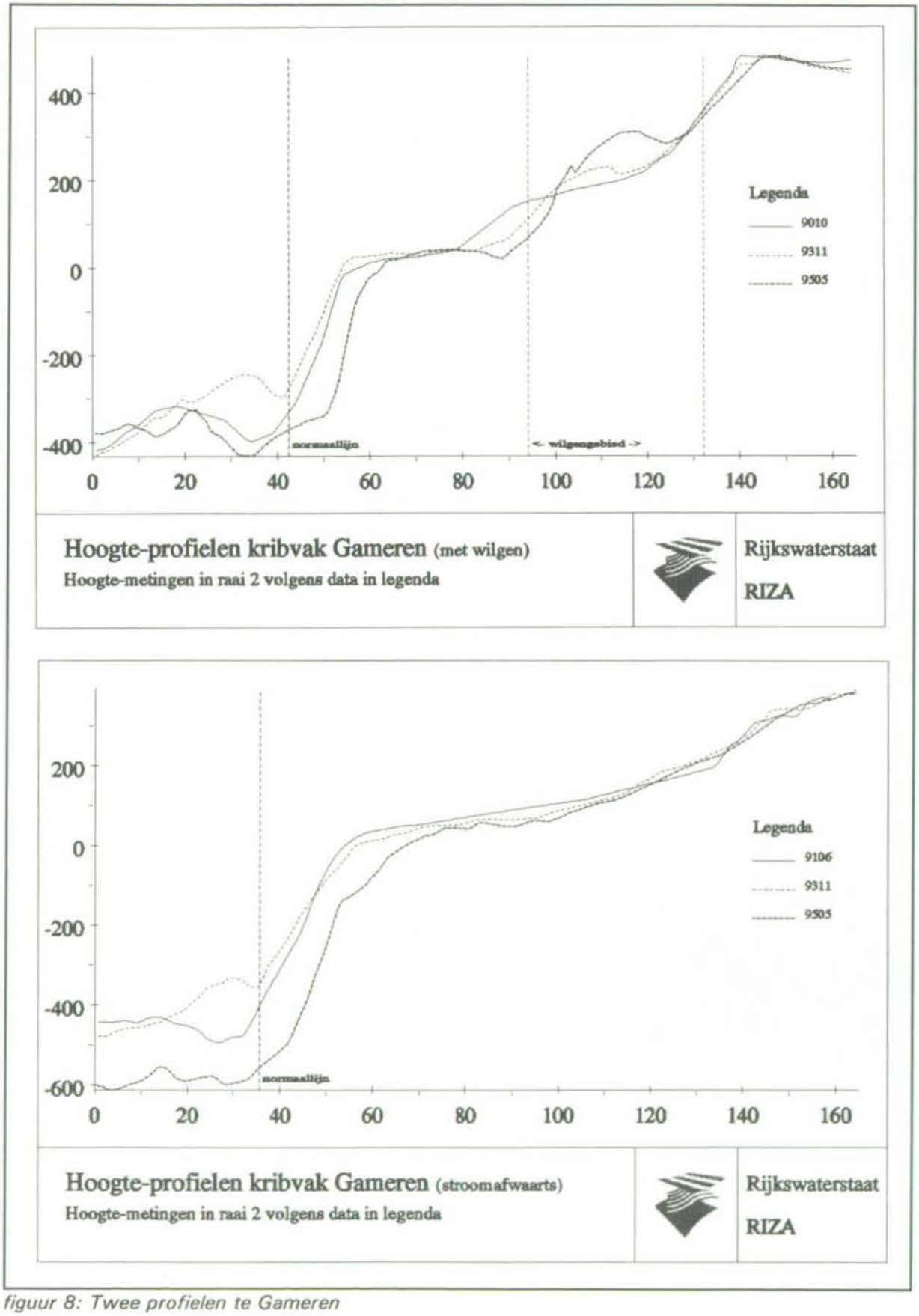
Invloed van de hoogwaters; sedimentatie op oever

De hoogwaters van 93/94 en 95 hebben grote invloed op de kribvakken bij Gameren gehad. Tussen de wilgen vindt, in vergelijking met Gendt en Druten zeer veel sedimentatie plaats (tot een maximum van 1 meter dik in 2 winters). Ook op de oeverwallen achter deze kribvakken sedimenteert veel zand (van Manen *et al.*, 1994; van Dinter *et al.*, 1995). Bij Gendt en Druten is dit niet het geval. In bijlage 5 zijn luchtfoto's opgenomen van de kribvakken in maart 1995.

In de profielen is deze sedimentatie op de oeverwal ook terug te zien. Daaruit blijkt ook dat deze vaak wel gepaard gaat met terugschrijdende erosie en verflauwing van de overgang kribvak/oeverwal. Net als bij de stijlrand in Gendt, is er ook in Gameren een tendens naar een meer geleidelijke overgang van kribvak naar oeverwal. Dit vindt zowel in het wilgenkribvak meer plaatas dan in de naastliggende kribvakkken, die meer stabiele of achteruitgang vertonende overgangen van kribvak naar oeverwal laten zien.

Invloed van hoogwaters; erosie van vooroever

De sedimentatie tussen de wilgen gaat gepaard met slechts zeer lichte achterwaartse erosie van de hellingknik onderaan de wilgen. De kribvakbodem rivierwaarts van de wilgen erodeert echter sterk (50-70 cm bodemverlaging), wat een versteiling van de helling tussen kribvakbodem en wilgenaanplant veroorzaakt.
Ook boven de wilgenaanplant vindt in een smal gebied (ca. 20 cm) erosie plaats. Er ontstaat echter geen geultje.
Tevens vindt er erosie van het zomerbed en terugschrijdende erosie en versteiling van de



figuur 8: Twee profielen te Gameren

vooroever plaats. De bodemverlaging van de vooroever bedraagt 1 à 2 meter. De vooroever migreert hierbij ongeveer 8 meter landwaarts, tijdens het eerste hoogwater meer dan tijdens het hoogwater van 1995.

In het stroomafwaarts van het wilgenvak gelegen kribvak is de terugschrijdende erosie van de vooroever in combinatie met geulverdieping en kribvakbodemverlaging het sterkst. Een relatief groot gebied wordt meer dan 2 meter lager. De vooroever achteruitgang bedraagt ca. 10 meter. Beide jaren hebben een gelijk aandeel hierin (ca. 5 meter achteruitgang per hoogwater). Alleen op de concave overgang naar de oeverwal vindt sedimentatie plaats. In het stroomopwaartse kribvak is de vooroever alleen tussen 9311 en 9411 licht erosief. De periode tot 9505 geeft een stabiele vooroever die op sommige plaatsen zelfs vooruit gaat. Wel wordt in de stroomopwaartse helft van dat kribvak de kop van de concave overgang vooroever/kribvakbodem weggeërodeerd; de vooroeverhelling verflauwt. In het midden van dit stroomopwaarts van het wilgenvak gelegen kribvak vindt tijdens de hoogwaters forse sedimentatie (0,5 - 1,5 meter) op de kribvakbodem plaats.

Met deze metingen is niet te achterhalen of de geul zich verbreedt heeft, of dat deze een aantal meters naar de linker oever is opgeschoven.

Gemiddelde bodemhoogteverandering

De terugschrijdende erosie van de vooroever bij hoogwaters, in combinatie met kribvakbodemverlaging, heeft een doorslaggevend effect op de zandbalans van de kribvakken bij Gameren. De sedimentatie hoger in het profiel (bv tussen de wilgen) is veel minder dan de erosie bij de vooroever. Dit resulteert in een totale gemiddelde bodemverandering van -26 tot -30 cm tussen juni '91 en mei '95.

3 Processen

Waarneming 1: Sedimentatie van zand tussen de wilgen.

Gebied : Gendt (max. 50 cm) , Druten (max. 50 cm), Gameren (max. 100 cm).

Periode : Gendt : 9106-9411, het merendeel tussen 9111 en 9311;.
Druten : periode 9111-9411, het merendeel tussen 9111 en 9311.
Gameren : 9111-9505, het merendeel (en veel meer dan in Gendt en Druten) na 9311.

In Gendt en Druten vindt sedimentatie voornamelijk plaats bij lagere hoogwaters (dec. '92) en in Gameren bij hoge hoog waters (dec. '93, jan. '95).

Processen : a) Uitval van sediment bij afnemende stroomsnelheid tussen de wilgen. Dit is het duidelijkst het geval in Gameren, waar op de onderzoekslocatie water vanuit de geul de uiterwaard in stroomt. Ook op de oeverwal achter de kribvakken is daar zand gesedimenteerd (zie bijlage 8). De kribvakken in Druten liggen op een punt waar de uiterwaard bij hoogwater juist leeg stroomt.

b) In Gendt en Druten vindt op het raakvlak van matig snel stromend water in het onbegroeide kribvak en langzaam stromend water in de wilgenaanplant sedimentatie van zand tussen de vegetatie plaats. Blijkbaar gebeurt dit daar voornamelijk bij lagere hoogwaters. Murakami *et al.* nemen dit ook waar in een laboratorium experiment (zie bijlage 9).

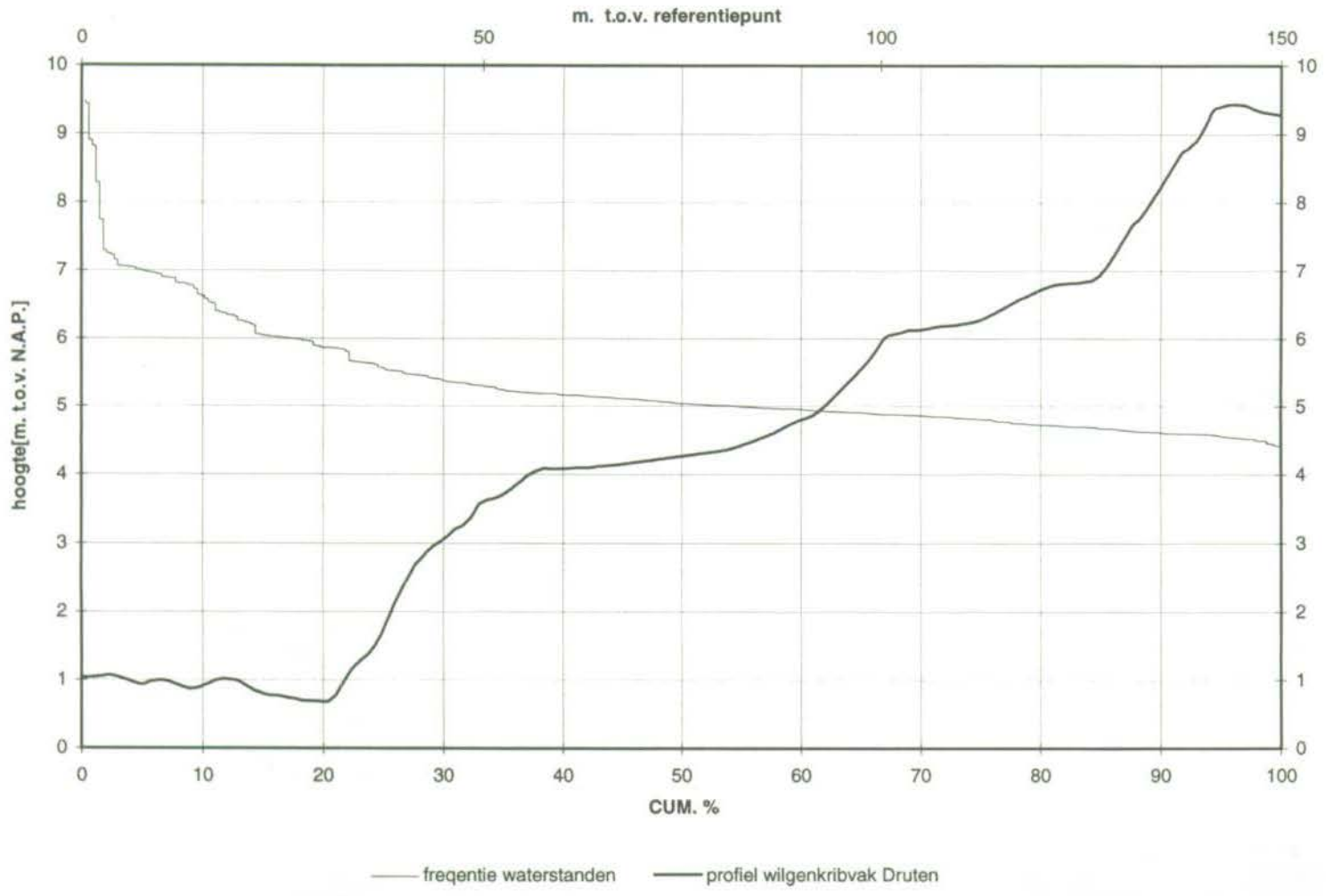
Waarneming 2: Erosie van kribvakbodem, aan de onderrand van de wilgenaanplant (ca. 50 cm bodemverlaging). In combinatie met sedimentatie van zand tussen de wilgen versteilt de kribvakbodem plaatselijk en ontstaat er een hellingknik.

Gebied : Gendt, Druten, Gameren

Periode : Gendt : hellingknik ontstaat tussen 9112 en 9311.
Druten : hellingknik ontstaat tussen 9009 en 9106, nog voor er sedimentatie tussen de wilgen plaatsvindt. Erosie kribvakbodem het sterkst in de periode 9212-9311 (De peiling van de meting 9210 vond plaats in december). Dit is een laagwater periode.
Gameren : In stroomopwaartse deel is al in 1990 een hellingknik aanwezig. In de rest van het kribvak ontstaat deze tussen 9111 en 9311.

Processen : a) Door het ontstaan van een hellingknik staat het water vaker tot het niveau van de onderrand van de wilgen. Hierdoor vindt er een meer geconcentreerde golfaanval plaats, hetgeen de erosie aan de onderrand van de wilgen versterkt.
In 1993 was er een zeer langdurige periode van laagwater, waarbij de waterstand rond de onderkant van de wilgenaanplant stond. In figuur 9 is de frequentielijn van de waterstanden uitgezet in het profiel van het wilgenvak bij Druten in 1993. In 11 maanden stond 80 % van de tijd de waterstand op het niveau van de steile helling aan de onderkant van de wilgenaanplant. Hierdoor heeft juist in die periode daar veel erosie plaatsgevonden. Erosie tijdens lagere waterstanden zijn in de meetperiode dominant ten opzichte van erosie bij hoogwater (b).

b) Bij hoog water zijn de stroomsnelheden als gevolg van covergentie van



figuur 9: Waterstanden in een wilgenkribvak, dwarsdoorsnede 1 jan. 1993 - nov. 1993

stroombanen rivierwaarts van de wilgenaanplant hoger dan zonder wilgenaanplant. Dit is aangetoond met WAQUA-berekeningen in het kribvak bij Gendt (van den Brink & Schoor, in voorb.). Hierdoor wordt er daar meer bodemmateriaal opgewerveld en afgevoerd.

Waarneming 3: Terugschrijdende erosie onderrand wilgen.

Hierbij gaat het niet alleen om de rand zelf, waar struiken losgewoeld worden en dood gaan, maar ook om bodemverlaging in de onderste helft van de wilgenaanplant. Eerder gesedimenteerd zand is opgenomen en afgevoerd. Op sommige plaatsen, met name onderin de wilgenaanplant, tot beneden het oorspronkelijke niveau van 1990.

Gebied : Druten, Gameren

Periode : Druten : 9311-9505
Gameren : 9311-9411

Processen : Terugschrijdende erosie van de onderrand van de wilgen heeft plaatsgevonden tijdens de hoogwaters van 1993/94 en 1995. Bij hoge hoogwaters is de stroomsnelheid en turbulentie tussen de onderste wilgenstruiken nog zo hoog dat materiaal opgewerveld en afgevoerd wordt. In Gameren kan dat hogerop in de wilgenaanplant afgezet zijn, maar in Druten verdwijnt het in 1995 richting geul. Tijdens het laatste hoogwater heeft er in Druten geen sedimentatie tussen de wilgen plaats gevonden.

Waarneming 4: Sedimentatie op kribvakbodem, nabij de normaallijn, na hoogwater.

Gebied : Druten

Periode : Tussen 9311/9411 en 9505 (De meting 9411 ontbreekt op dit gedeelte).

Processen : Op het raakvlak van snelstromend water, met een hoge sedimentconcentratie, in de geul en langzamer stromend water, met een kleinere sedimentconcentratie, in de kribvakken krijg je menging van water en sediment. Hierbij sedimenteert er zand op de kribvakbodem, vlak naast de geul. Blijkbaar geeft alleen in Druten het stromingspatroon bij hoogwater aanleiding tot sedimentatie op de overgang geul-kribvak.

Waarneming 5: Terugschrijdende erosie en versteiling vooroever en verlaging kribvakbodem na hoog water

Gebied : Gameren

Periode : 9411-9505

Processen : Laterale erosie van de geul. De kribvakken bij Gameren liggen in een buitenbocht. Bij het hoogwater van januari 1995 erodeert deze als gevolg van de hoge stroomsnelheden die dan optreden. De kribben houden in principe het zomerbed op zijn plaats, maar verdieping van het zomerbed en erosie van de kribvakvorooevers treedt wel op.

Wat er in de binnenbocht met de vooroever van kribvakken gebeurt is niet bekend, omdat geen van de meetlocaties in een binnenbocht is gesitueerd. Het ligt voor de hand dat als gevolg van de spriraalstroming, die over de bodem van de rivier in de richting van de binnenbocht gaat, sedimentatie in deze kribvakken plaatsvindt.

4 Conclusies

1. De aanplant van wilgen heeft invloed op de bodemligging van kribvakken. Tussen de wilgen vindt sedimentatie plaats terwijl de kribvakbodem vlak onder de wilgen erodeert. Hierdoor ontstaat er een zeer kenmerkende hellingknik op de overgang van wilgenaanplant naar kribvakbodem (zie figuur 3, 5 en 7). Deze hellingknik is meestal onderhevig aan terugschrijdende erosie.

   Bovenstaande is een gevolg van een combinatie van de volgende processen:

   Bij hoog water:

   a) Laterale uitwisseling van sediment tussen hoofdgeul en kribvak/uiterwaard. Dit is het proces waarbij door zijwaartse stroming van sedimentrijk water het kribvak en de uiterwaard in, bij afnemende stroomsnelheid (tussen de wilgen) zand sedimenteert.

   b) Erosie door stroomsnelheidsverhoging als gevolg van convergergentie van stroombanen rivierwaarts van de wilgen.

   c) Diffuus transport van sediment. Dit is de menging van water op het raakvlak van snel en langzaam stromend water onder uitwisseling van momentum en sediment. Hierbij wordt ter plaatse van het relatief langzaam stromende water (tussen de wilgen) zand afgezet, terwijl ter plaatse van het relatief snel stromende water (kribvakbodem rivierwaarts van de wilgen) erosie plaats vindt.

   Bij laag water:

   d) Erosie door golfwerking. Deze treedt vooral op aan de onderrand van de wilgenaanplant omdat de wilgen de golven breken. Hierbij wordt zand opgewerveld en afgevoerd richting geul. Dit proces wordt versterkt doordat er als gevolg van bovengenoemde processen een hellingknik in het profiel ontstaat. Hierdoor vindt er vaker golfwerking op hetzelfde niveau plaats.

   Welk proces het belangrijkst is, is afhankelijk van de waterstand en de lokale stromingspatronen bij hoog water. In Gendt en Druten heeft sedimentatie voornamelijk tijdens de lagere hoogwaters (voor dec. 1993) plaatsgevonden en waren diffuus transport van sediment en erosie door verhoogde stroomsnelheden dominant. In Gameren daarentegen, vindt de meeste sedimentatie plaats tijdens de hoge hoogwaters van december 1993 en januari 1995. Laterale uitwisseling van sediment is hierbij het belangrijkste proces.

   In 1993 fluctueerde de waterstand langdurig rond de onderrand van de wilgenaanplant. Hierbij is veel erosie door golfwerking opgetreden. In Druten is dit het duidelijkst te zien. Na 1993 verlaagt de kribvakbodem vlak onder de wilgen niet veel meer. Het lijkt erop dat er een nieuwe evenwichtsligging is berijkt. Na 1993 is de hellingknik die ontstaan aan de ondergrens van de wilgenaanplant wel onderhevig aan terugschrijdende erosie. Het is onduidelijk wanneer hier een evenwicht zal zijn bereikt.

2. Op de overgang geul/kribvak vindt ook sedimentuitwisseling plaats. Deze is onafhankelijk van de wilgenaanplant. Over het algemeen is de sedimentuitwisselig geul/kribvak groter dan dan de sedimentuitwisseling kribvakboden/wilgenaanplant.

   Voor de drie locatie zijn hierbij verschillende processen dominant:

   Gendt: De stort van sediment rond de normaallijn (na baggeren in de geul). Dit vond plaats tussen december 1992 en november 1993. Een gedeelte van dat sediment is bij de latere hoogwaters verder het kribvak in getransporteerd.

   Druten: Diffuus transport van sediment op de overgang geul/kribvak zorgt voor sedimentatie op de kribvakbodem vlak bij de geul en een vrij stabiele vooroever. Hierbij gaat het om relatief kleine hoeveelheden zand.

   Gameren: Laterale erosie van de geul veroorzaakt terugschrijdende erosie en versteiling van de vooroever, in combinatie met verdieping van de geul.

   Deze processen zorgen ervoor dat de netto sedimentbalans tussen juni 1991 en mei 1995 van de drie kribvakken bij Gendt licht positief is en bij Gameren negatief. In Druten is de sedimentbalans voor het wilgenvak licht negatief terwijl de naastliggende kribvakken een licht positief resultaat hebben. Het verschil zit hem in de versterkte erosie door golfwerking aan de hellingknik onder aan de wilgenaanplant.

3. De wilgenaanplant heeft een zekere beschermende werking op de er achter gelegen oever. Als er een steilrand of scherpe hellingknik tussen kribvak en oeverwal is, wordt deze, door verminderde erosie aan de teen in vergelijking met de bovenrand, flauwer. Er is een tendens waarneembaar naar een zelfde helling als het kribvak.
   Het is niet zo dat tussen wilgenaanplant en oeverwal een sterkere sedimentatie plaatsvindt in vergelijking met de naastgelegen vakken. Deze sterkere sedimentatie beperkt zich tot de wilgenaanplant zelf.

5 Aanbevelingen voor verder onderzoek

Op basis van de in dit werkdocument verkregen inzichten, worden de volgende aanbevelingen voor verder onderzoek gedaan:

- De meting dient met een frequentie van eenss per 5 jaar herhaald te worden. Dit om inzicht te verkrijgen in de achterwaartse erosie van de in de wilgenkribvakken ontstane hellingknik.

  Bij onbeperkt doorgaande achterwaartse erosie zal de wilgenaanplant namelijk op de duur verdwijnen. Als dat het geval is, is aanplant van wilgen in kribvakken per definitie een tijdelijke zaak. Het effect op korte termijn is het ontstaan van een hellingknik in het profiel door sedimentatie in de aanplant en erosie er vlak onder. Deze hellingknik is onderhevig aan versterkte erosie, als gevolg van geconcenteerde golfwerking bij laagwater en toegenomen stroomsnelheden bij hoog water. De huidige metingen beslaan een te korte tijd om inzicht te geven in de omvang en snelheid van de terugschrijdende erosie.

- Gezien de verwerking van de meetgegevens met behulp van GIS, is het beter random punten in het kribvak op te meten. Bij metingen in raaien zijn de interpolatieproblemen namelijk groot. Een digitaal terreinmodel dat gebaseerd is op een voldoende aantal meetpunten zal altijd nog raaien kunnen genereren. Indien men alleen geïnteresseerd is in een globale verkenning van de optredende processen, is het meten van 2 tot 4 raaien per kribvak voldoende.

Literatuur

Dinter, M. van, A.M. Sorber & H.J.A. Berendsen (1995). Inventarisatie van de sedimentatie van zand op de oeverwallen van de Waal en de Gelderse IJssel tijdens het hoogwater van januari en februari 1995. Interuniversitair Centrum voor Geo-ecologisch Onderzoek. Amsterdam, Utrecht. 95/2.

Duijn, P. (in voorb.). Monitoring kribvaksuppletie Slijk Ewijk. DWW-rapport (concept).

Geilen, N., H. Coops, M. Schoor & T. Smits, (1991). Wilgen in natuurvriendelijke oevers langs de Waal. RIZA werkdocument 91.195x.

Janssen, W & M. Schoor (1994). Erosie/Sedimentatie in kribvakken met wilgenaanplant in de periode 1990-1991. RIZA werkdocumnet 94.042x.

Manen, G.R., Y. Onneweer & H.J.A. Berendsen (1994). Inventarisatie van de sedimentatie van zand op de oeverwallen van de Waal tijdens het hoogwater van december 1993 - januari 1994. Universiteit Utrecht, Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen, Vakgroep Fysische Geografie, Rapport GEOPRO 1994.01.

Murakami, S., H. Nakagawa & T. Tsujimoto (1994). Effect of suspended sediment on formation of bed profile and flood plain of open chanel with vegetation zone. Proc. 1st Int. Sym. Habitat Hydraulics, Trontheim, Norway, August 1994, pp.502-512.

Schutte, L (1995). Fabriceren van verschilkaarten t.b.v. OEV*WILG (in Arc/info). RIZA werkdocument 95.079x. Arnhem, 1 juni 1995.

Schutte, L (1996a). Fabriceren van dwarsprofielen t.b.v. WSE*NAT-WILG (in Arc/info). RIZA werkdocument 96.050x. Arnhem, 29 februari 1996.

Schutte, L (1996b). Hoogte, helling en overstromingsduur in relatie tot overleving van wilgen t.b.v. WSE*NAT-WILG (in Arc/info). RIZA werkdocument 96.050x. Arnhem, 14 maart 1996.

Splunder, I. van, W. Janssen & M .Schoor (1995). Wilgenaanplant als natuurlijke oeverbescherming, 1993. RIZA werkdocument 95.-14x.

Splunder, I. van & M. Schoor (1992). Wilgenaanplnat als natuurlijke oeverbescherming. RIZA werkdocument 92.129x.

Splunder, I. van & M. Schoor (1993). Wilgenaanplnt als natuurlijke oeverbescherming, 1992. RIZA werkdocument 93.137x.

ministerie van verkeer en waterstaat

rijkswaterstaat

riza

rijksinstituut
voor integraal zoetwaterbeheer
en afvalwaterbehandeling
tel. 026-3688911, fax. 026-3688678
doorkiesnummer 558

De invloed van wilgen op de bodemligging van kribvakken 1990-1995

BIJLAGEN

Bijlagen bij Werkdocument 96.090x

auteur(s) Margriet Schoor, Wilfred Janssen, Bertus Schutte

datum 24 mei 1996

INHOUDSOPGAVE BIJLAGEN

bijlage 1: De ligging van de meetlocaties Gendt, Druten en Gameren

bijlage 2: hoogtekaarten 1990 en 1995

bijlage 3: fouten als gevolg van het ontbreken van informatie van gebied tussen waterpassingen en peilingen.

bijlage 4: Meetresultaten Gendt
- 4a: profielen 1990 t/m 1995
- 4b: overzicht ligging van de profielen en meetpunten 8603, 9106, 9311 en 9505.
- 4c: verschilkaarten 1986, 1991, 1993 en 1995

bijlage 5: Meetresultaten Druten
- 5a: profielen 1990 t/m 1995
- 5b: overzicht ligging van de profielen en meetpunten, 9106, 9311 en 9505.
- 5c: verschilkaarten 1991, 1993 en 1995

bijlage 6: Meetresultaten Gameren
- 6a: profielen 1990 t/m 1995
- 6b: overzicht ligging van de profielen en meetpunten, 9106, 9311 en 9505.
- 6c: verschilkaarten 1991, 1993 en 1995

bijlage 7: waterstanden 1990 t/m 1995

bijlage 8: luchtfoto' maart 1995

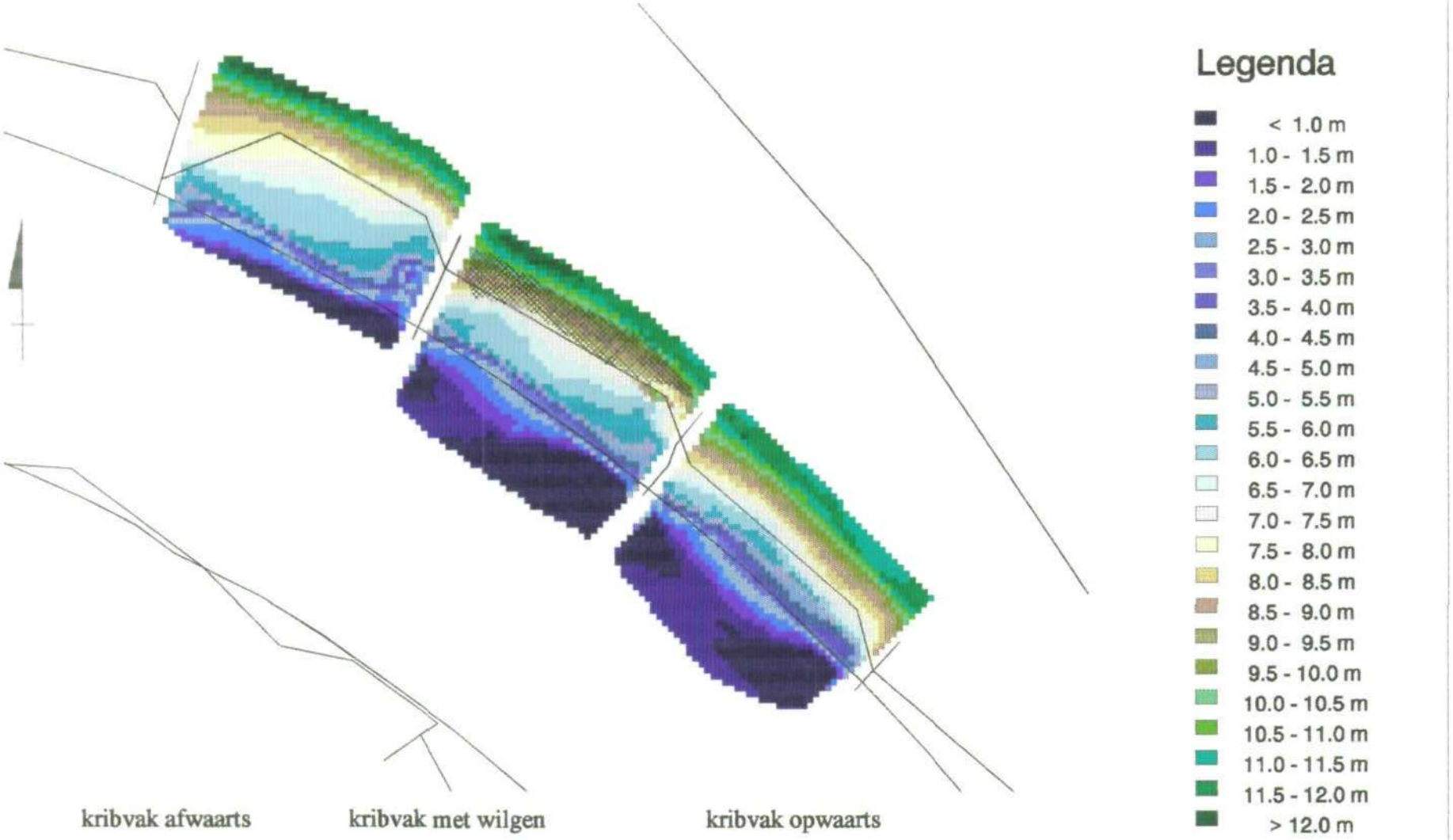
bijalge 9: laboratorium experiment van Murakami *et al.*

Bijlage 1: De ligging van de meetlocaties in Gendt, Druten en Gameren

1 = Gendt km. 877.350 - 877.600 rechter oever (Gendtse waard)
2 = Druten km. 902.365 - 902.565 linker oever (Afferdensche en Deestsche waarden)
3 = Gameren km. 936.985 - 937.185 linker oever (Gamerensche waarden)



bijlage 2: Hoogtekaarten 1990 en 1995



Legenda

- < 1.0 m
- 1.0 - 1.5 m
- 1.5 - 2.0 m
- 2.0 - 2.5 m
- 2.5 - 3.0 m
- 3.0 - 3.5 m
- 3.5 - 4.0 m
- 4.0 - 4.5 m
- 4.5 - 5.0 m
- 5.0 - 5.5 m
- 5.5 - 6.0 m
- 6.0 - 6.5 m
- 6.5 - 7.0 m
- 7.0 - 7.5 m
- 7.5 - 8.0 m
- 8.0 - 8.5 m
- 8.5 - 9.0 m
- 9.0 - 9.5 m
- 9.5 - 10.0 m
- 10.0 - 10.5 m
- 10.5 - 11.0 m
- 11.0 - 11.5 m
- 11.5 - 12.0 m
- > 12.0 m

Hoogtekaart Waal bij Gendt

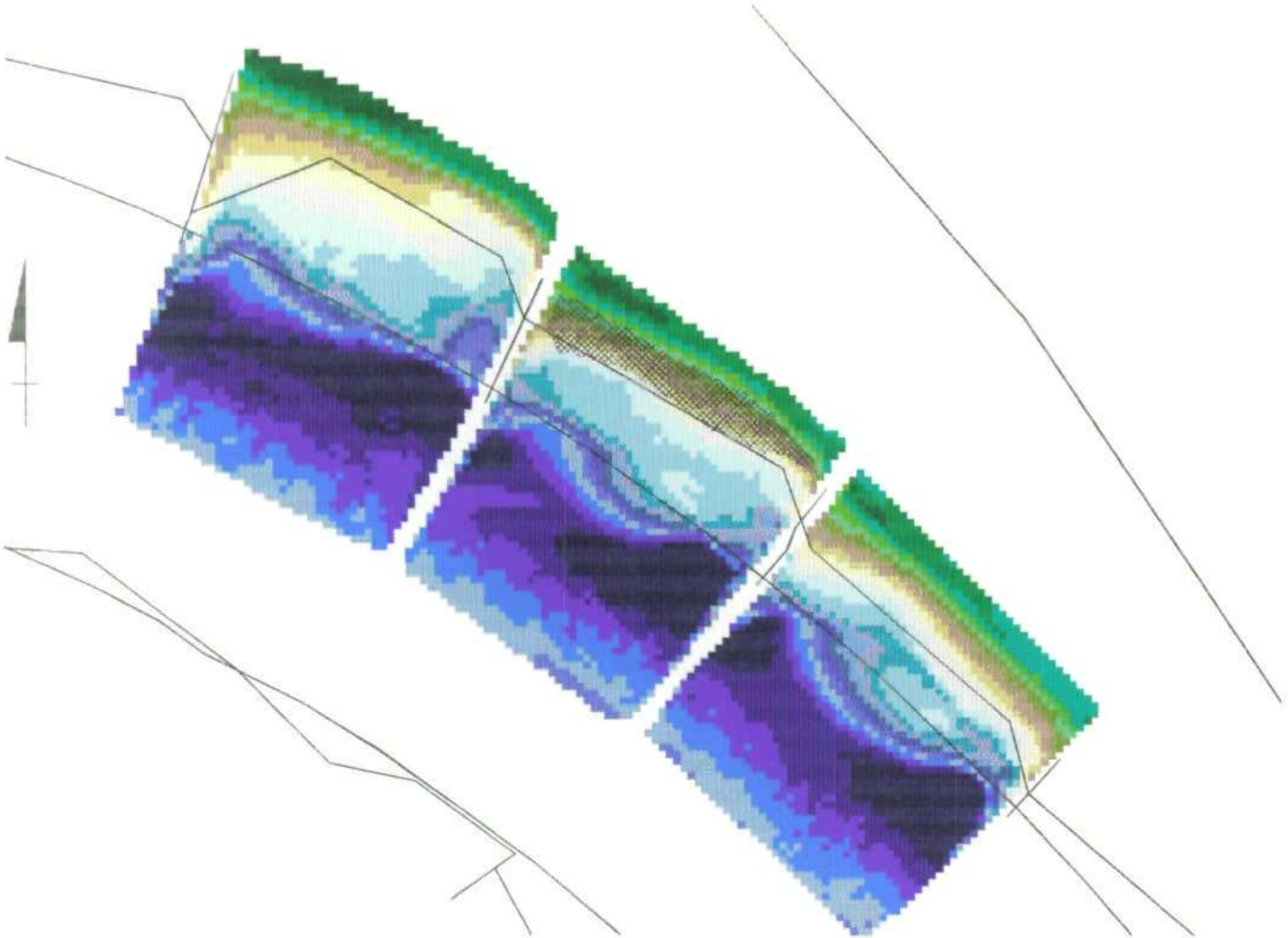
Hoogten in meters t.o.v. NAP

Opname-tijdstip : 9009

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



Legenda

- < 1.0 m
- 1.0 - 1.5 m
- 1.5 - 2.0 m
- 2.0 - 2.5 m
- 2.5 - 3.0 m
- 3.0 - 3.5 m
- 3.5 - 4.0 m
- 4.0 - 4.5 m
- 4.5 - 5.0 m
- 5.0 - 5.5 m
- 5.5 - 6.0 m
- 6.0 - 6.5 m
- 6.5 - 7.0 m
- 7.0 - 7.5 m
- 7.5 - 8.0 m
- 8.0 - 8.5 m
- 8.5 - 9.0 m
- 9.0 - 9.5 m
- 9.5 - 10.0 m
- 10.0 - 10.5 m
- 10.5 - 11.0 m
- 11.0 - 11.5 m
- 11.5 - 12.0 m
- > 12.0 m

Hoogtekaart Waal bij Gendt

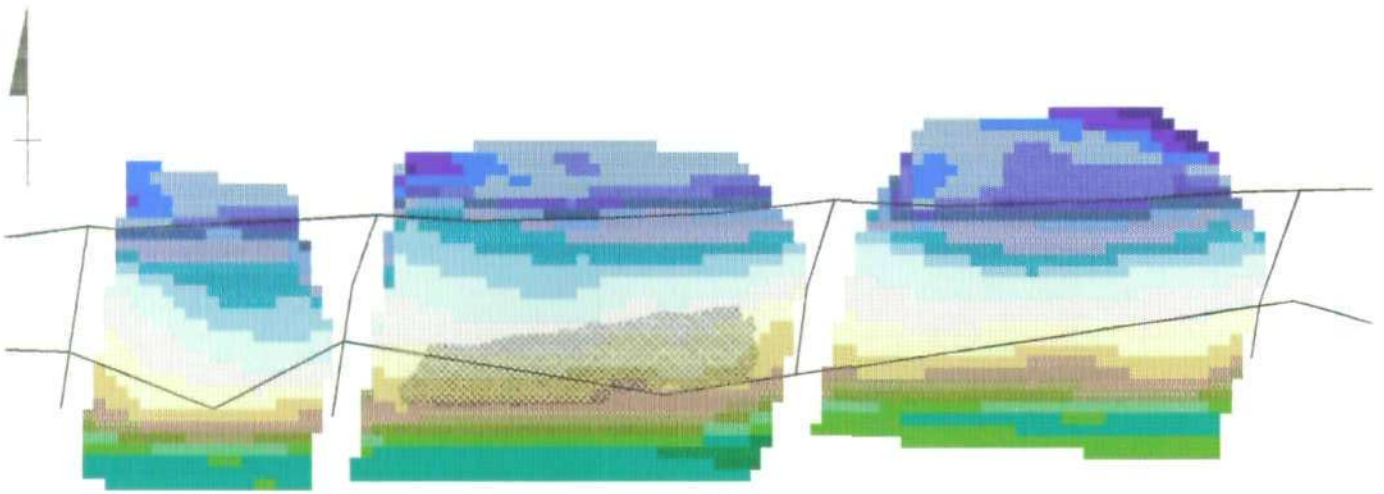
Hoogten in meters t.o.v. NAP

Opname-tijdstip : 9505

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



kribvak afwaarts kribvak met wilgen kribvak opwaarts

Legenda

- < -1.0 m
- -1.0 - -0.5 m
- -0.5 - 0.0 m
- 0.0 - 0.5 m
- 0.5 - 1.0 m
- 1.0 - 1.5 m
- 1.5 - 2.0 m
- 2.0 - 2.5 m
- 2.5 - 3.0 m
- 3.0 - 3.5 m
- 3.5 - 4.0 m
- 4.0 - 4.5 m
- 4.5 - 5.0 m
- 5.0 - 5.5 m
- 5.5 - 6.0 m
- 6.0 - 6.5 m
- 6.5 - 7.0 m
- 7.0 - 7.5 m
- 7.5 - 8.0 m
- 8.0 - 8.5 m
- 8.5 - 9.0 m
- 9.0 - 9.5 m
- 9.5 - 10.0 m
- > 10.0 m

Hoogtekaart Waal bij Druten

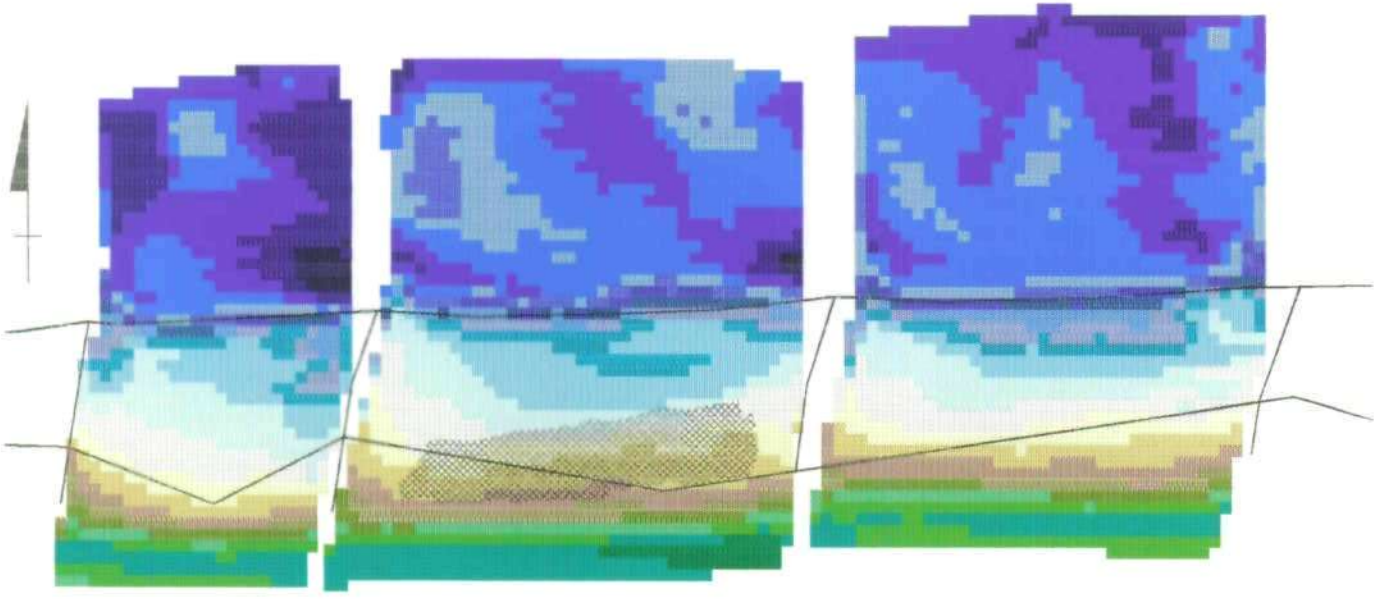
Hoogten in meters t.o.v. NAP

Opname-tijdstip : 9009

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



kribvak afwaarts kribvak met wilgen kribvak opwaarts

Legenda

- < -1.0 m
- -1.0 - -0.5 m
- -0.5 - 0.0 m
- 0.0 - 0.5 m
- 0.5 - 1.0 m
- 1.0 - 1.5 m
- 1.5 - 2.0 m
- 2.0 - 2.5 m
- 2.5 - 3.0 m
- 3.0 - 3.5 m
- 3.5 - 4.0 m
- 4.0 - 4.5 m
- 4.5 - 5.0 m
- 5.0 - 5.5 m
- 5.5 - 6.0 m
- 6.0 - 6.5 m
- 6.5 - 7.0 m
- 7.0 - 7.5 m
- 7.5 - 8.0 m
- 8.0 - 8.5 m
- 8.5 - 9.0 m
- 9.0 - 9.5 m
- 9.5 - 10.0 m
- > 10.0 m

Hoogtekaart Waal bij Druten

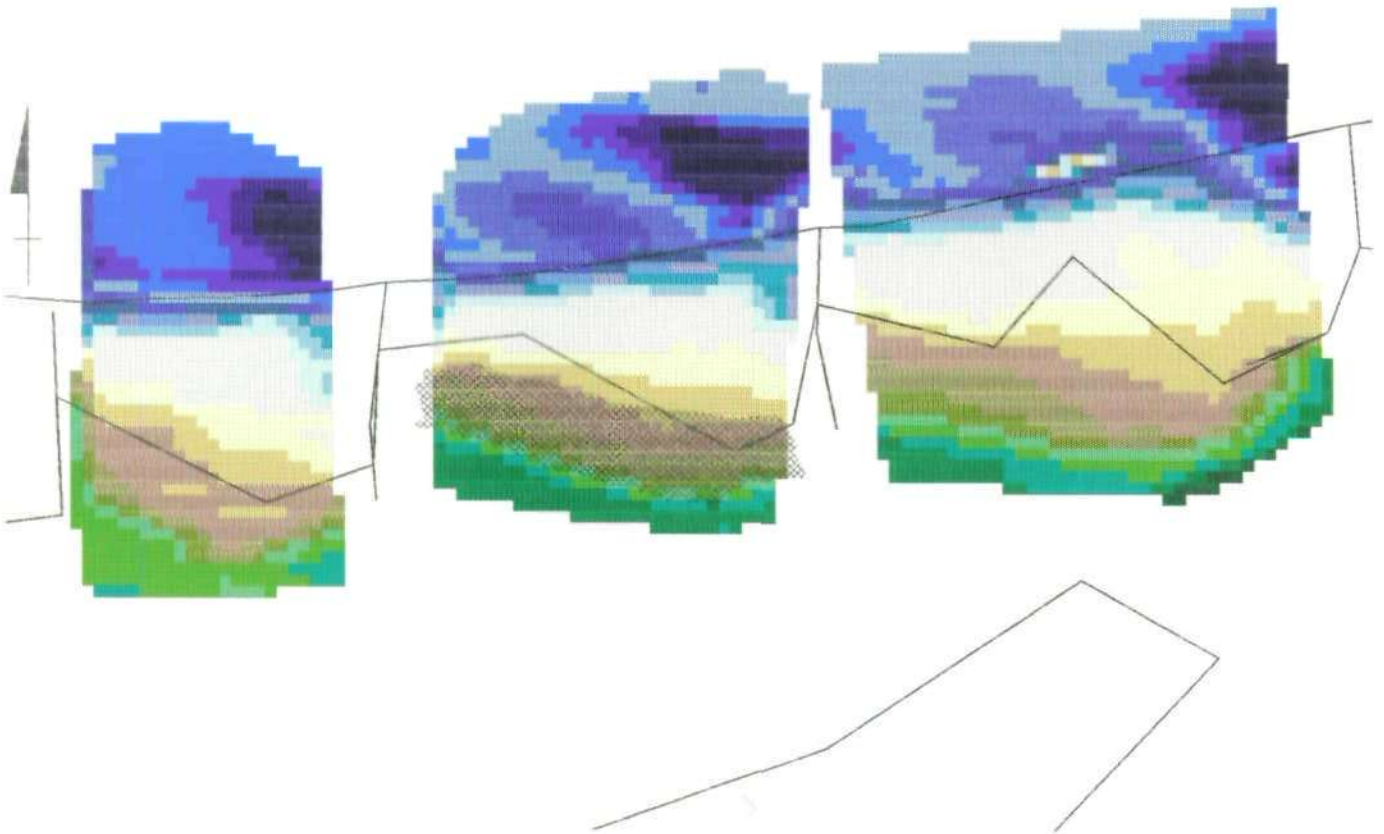
Hoogten in meters t.o.v. NAP

Opname-tijdstip : 9505

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



Legenda

- < -6.0 m
- -6.0 - -5.5 m
- -5.5 - -5.0 m
- -5.0 - -4.5 m
- -4.5 - -4.0 m
- -4.0 - -3.5 m
- -3.5 - -3.0 m
- -3.0 - -2.5 m
- -2.5 - -2.0 m
- -2.0 - -1.5 m
- -1.5 - -1.0 m
- -1.0 - -0.5 m
- -0.5 - 0.0 m
- 0.0 - 0.5 m
- 0.5 - 1.0 m
- 1.0 - 1.5 m
- 1.5 - 2.0 m
- 2.0 - 2.5 m
- 2.5 - 3.0 m
- 3.0 - 3.5 m
- 3.5 - 4.0 m
- 4.0 - 4.5 m
- 4.5 - 5.0 m
- > 5.0 m

Hoogtekaart Waal bij Gameren

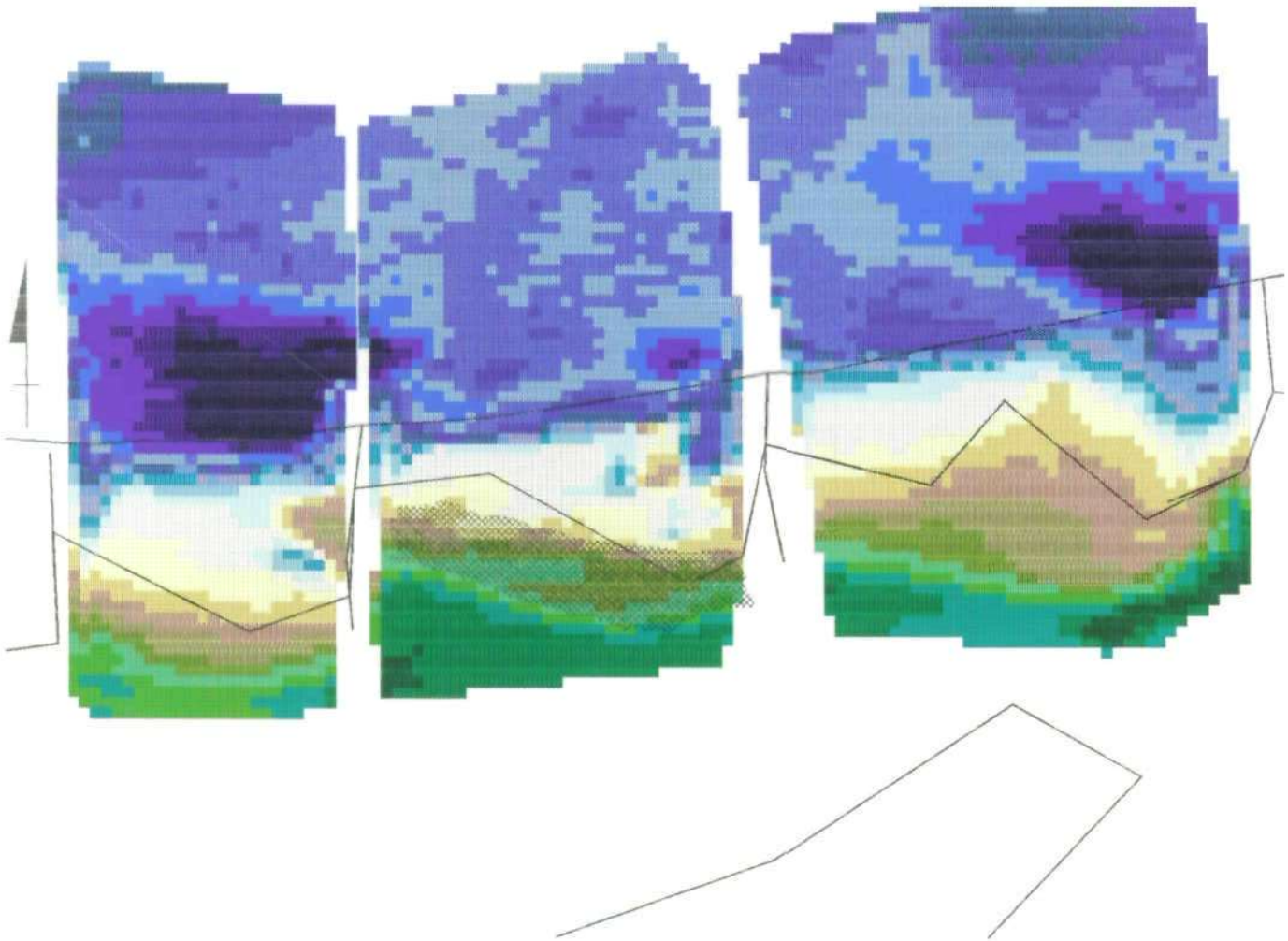
Hoogten in meters t.o.v. NAP

Opname-tijdstip : 9010

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



Legenda

- < -6.0 m
- -6.0 - -5.5 m
- -5.5 - -5.0 m
- -5.0 - -4.5 m
- -4.5 - -4.0 m
- -4.0 - -3.5 m
- -3.5 - -3.0 m
- -3.0 - -2.5 m
- -2.5 - -2.0 m
- -2.0 - -1.5 m
- -1.5 - -1.0 m
- -1.0 - -0.5 m
- -0.5 - 0.0 m
- 0.0 - 0.5 m
- 0.5 - 1.0 m
- 1.0 - 1.5 m
- 1.5 - 2.0 m
- 2.0 - 2.5 m
- 2.5 - 3.0 m
- 3.0 - 3.5 m
- 3.5 - 4.0 m
- 4.0 - 4.5 m
- 4.5 - 5.0 m
- > 5.0 m

Hoogtekaart Waal bij Gameren

Hoogten in meters t.o.v. NAP

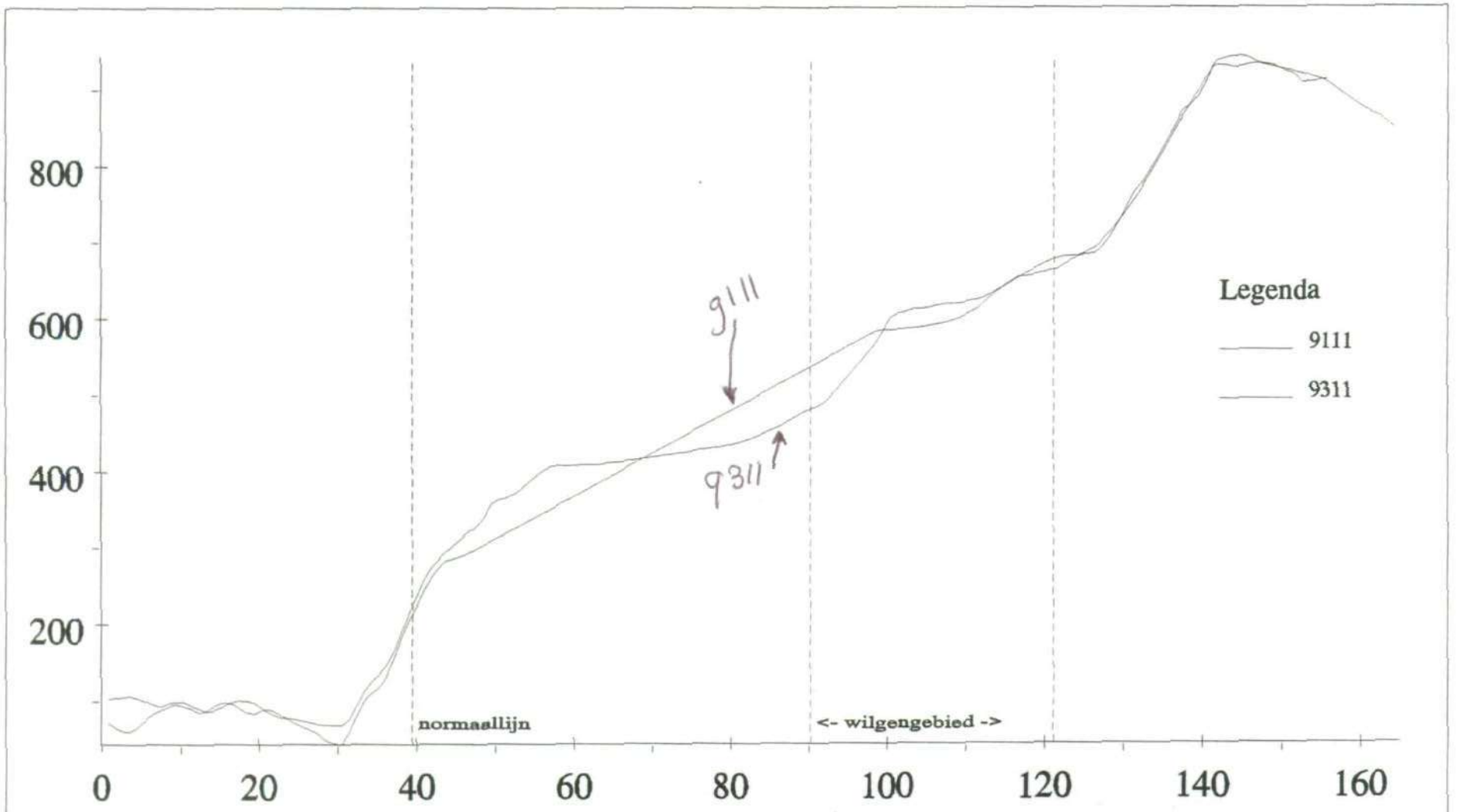
Opname-tijdstip : 9505

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA

bijlage 3: Fouten als gevolg van het ontbreken van informatie van gebied tussen waterpassingen en peilingen.

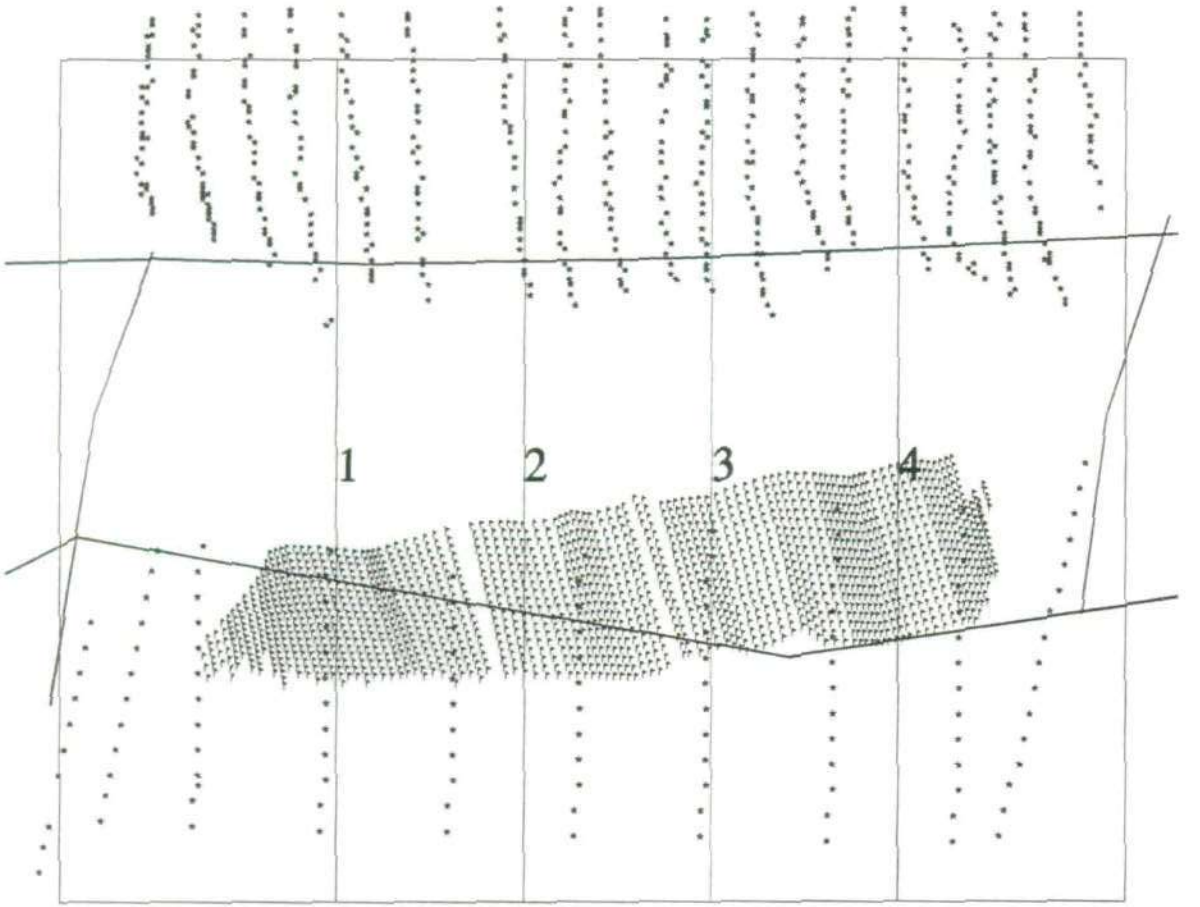


Hoogte-profielen kribvak Druten (met wilgen)

Hoogte-metingen in raai 2 volgens data in legenda

Rijkswaterstaat

RIZA



Legenda

drwlgraai1

drwlgraai2

drwlgraai3

drwlgraai4

oeverlijn

kribben

normaallijn

Overzicht kribvak Druten (met wilgen)

Dwarsprofiel-raaien in metingen van 9111

Rijkswaterstaat

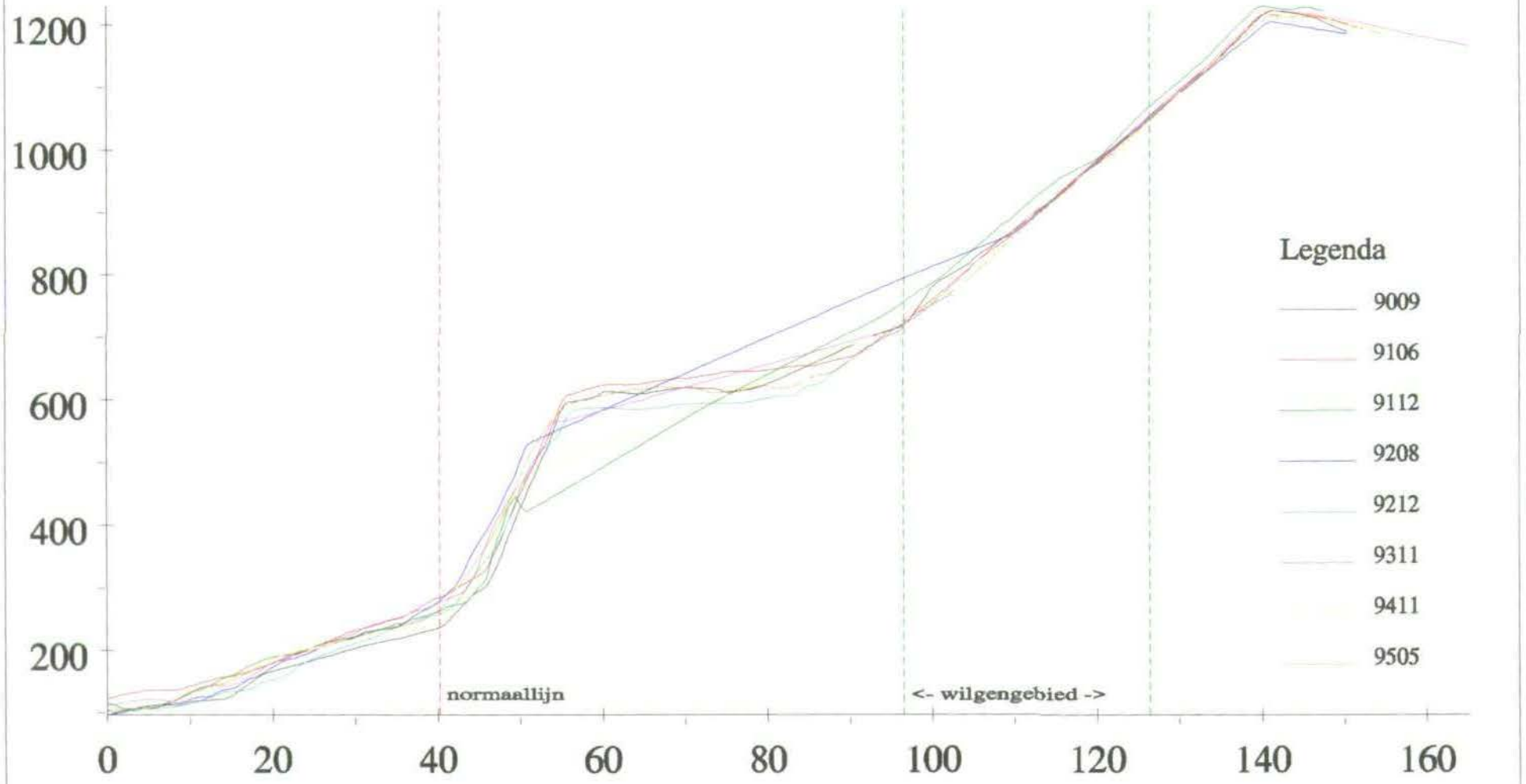
RIZA

bijlage 4: Meetresultaten Gendt

4a: profielen 1990 t/m 1995

4b: overzicht figging van de profielen en meetpunten 8603, 9106, 9311 en 9505.

4c: verschilkaarten 1986, 1991, 1993 en 1995



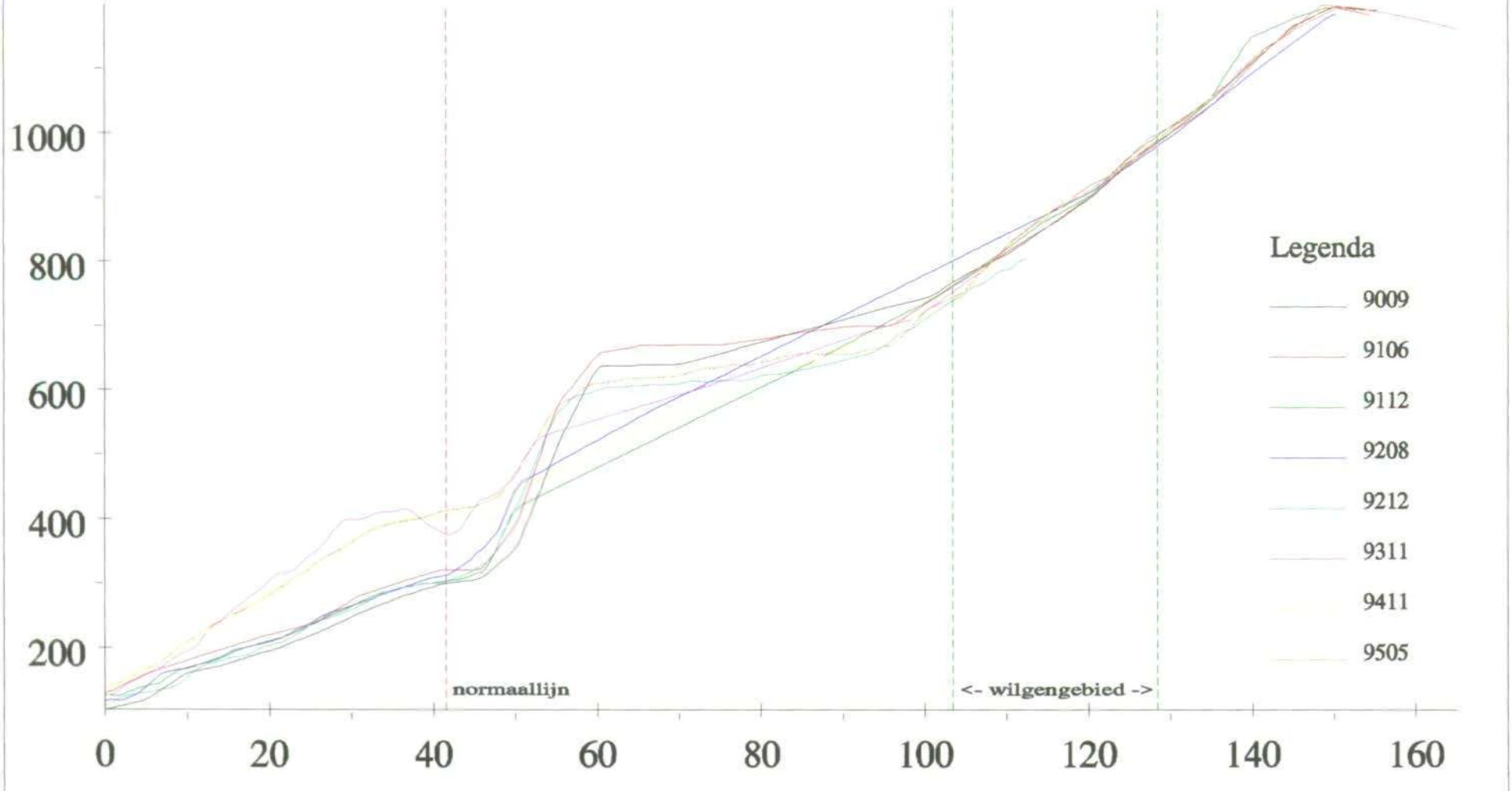
Hoogte-profielen kribvak Gendt (met wilgen)

Hoogte-metingen in raai 1 volgens data in legenda

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



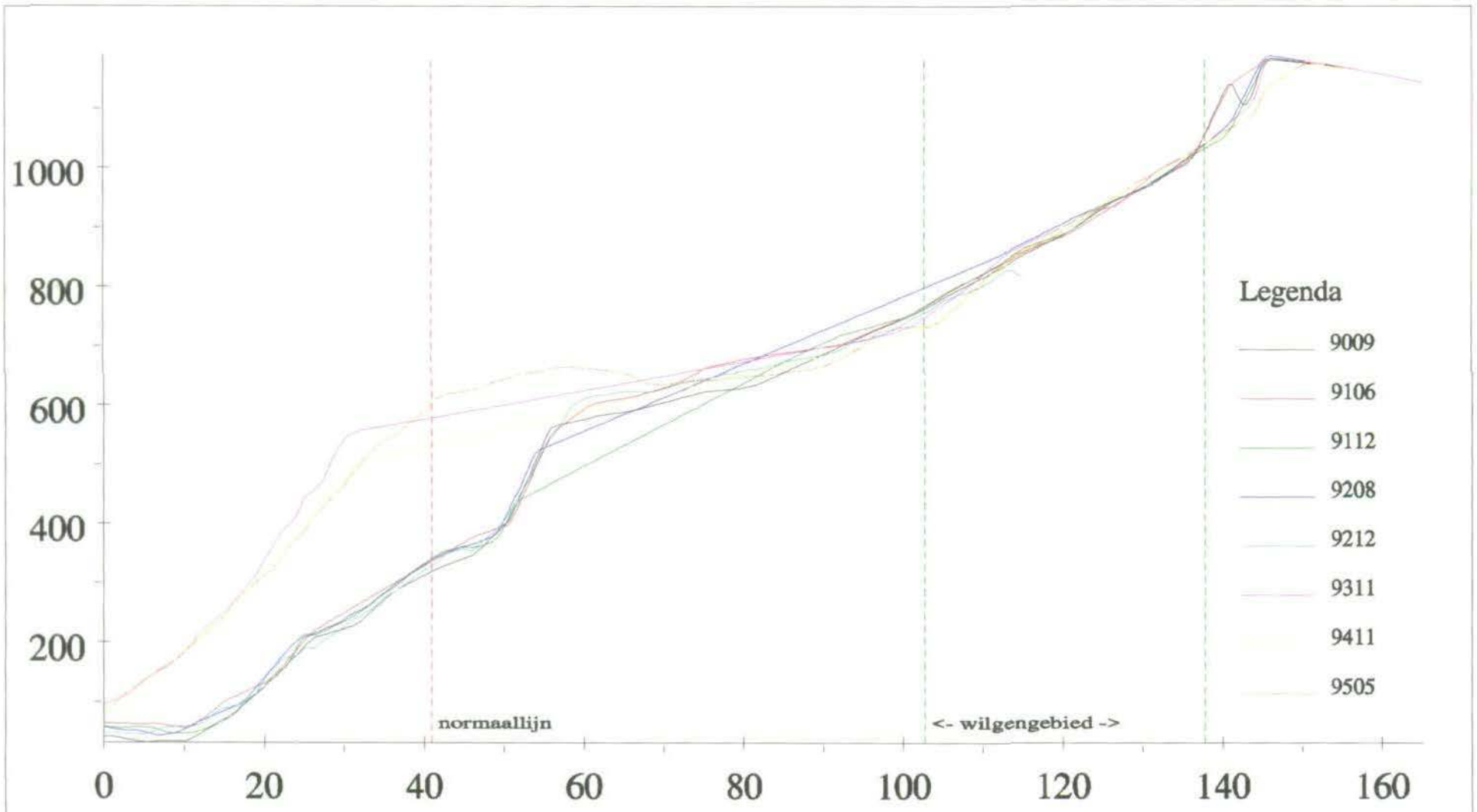
Hoogte-profielen kribvak Gendt (met wilgen)

Hoogte-metingen in raai 2 volgens data in legenda

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



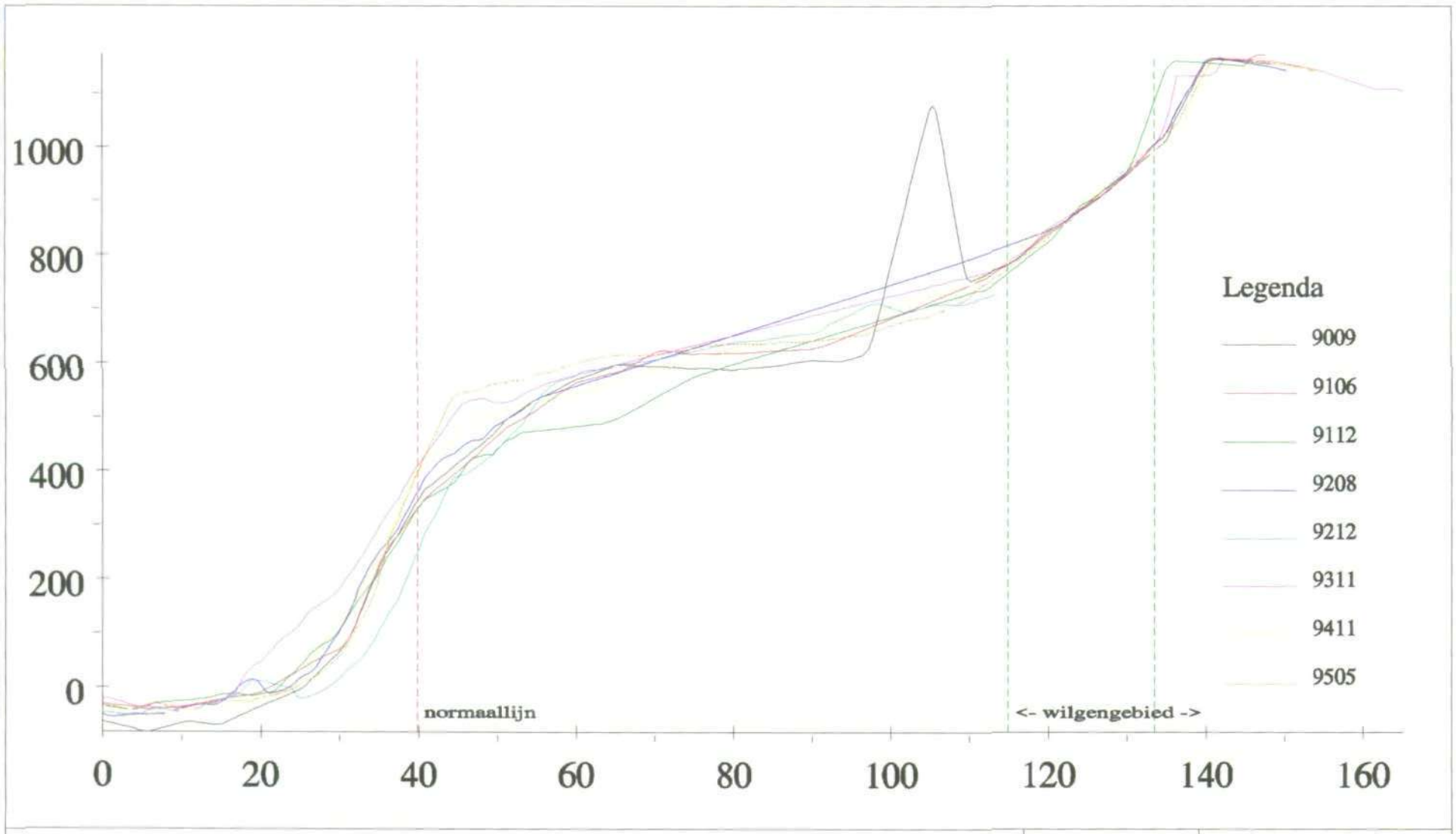
Hoogte-profielen kribvak Gendt (met wilgen)

Hoogte-metingen in raai 3 volgens data in legenda

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



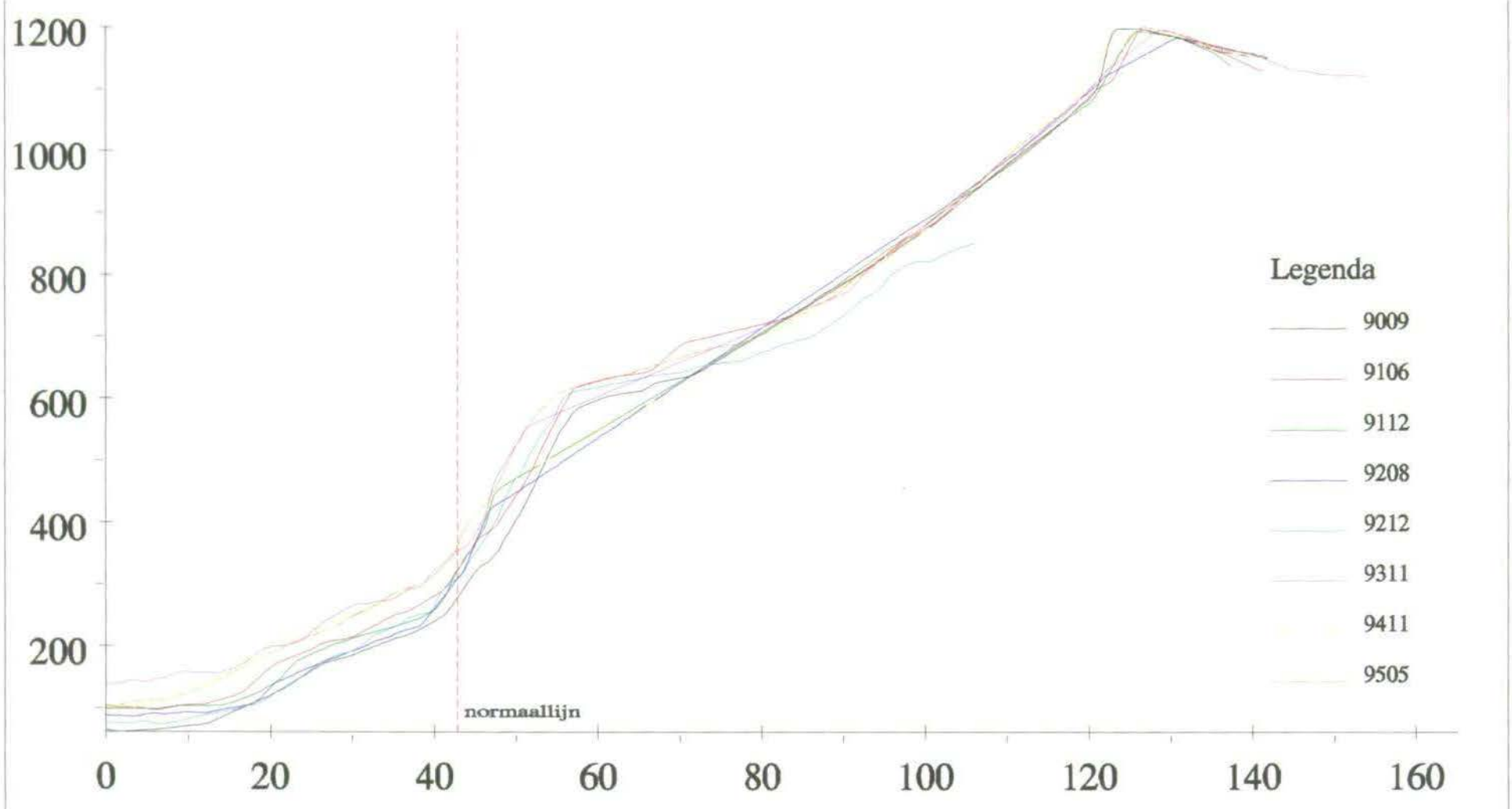
Hoogte-profielen kribvak Gendt (met wilgen)

Hoogte-metingen in raai 4 volgens data in legenda

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



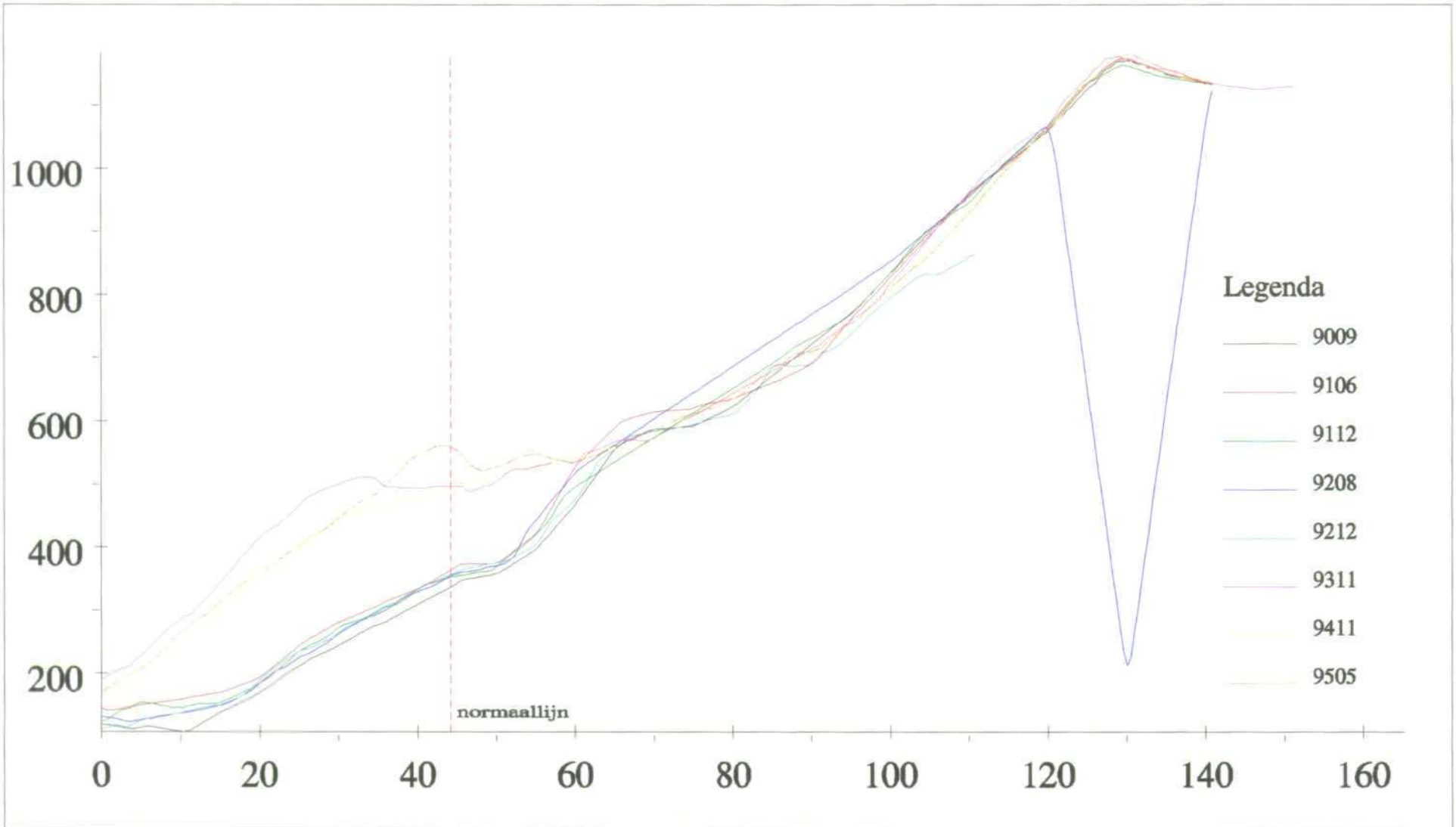
Hoogte-profielen kribvak Gendt (stroomopwaarts)

Hoogte-metingen in raai 1 volgens data in legenda

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



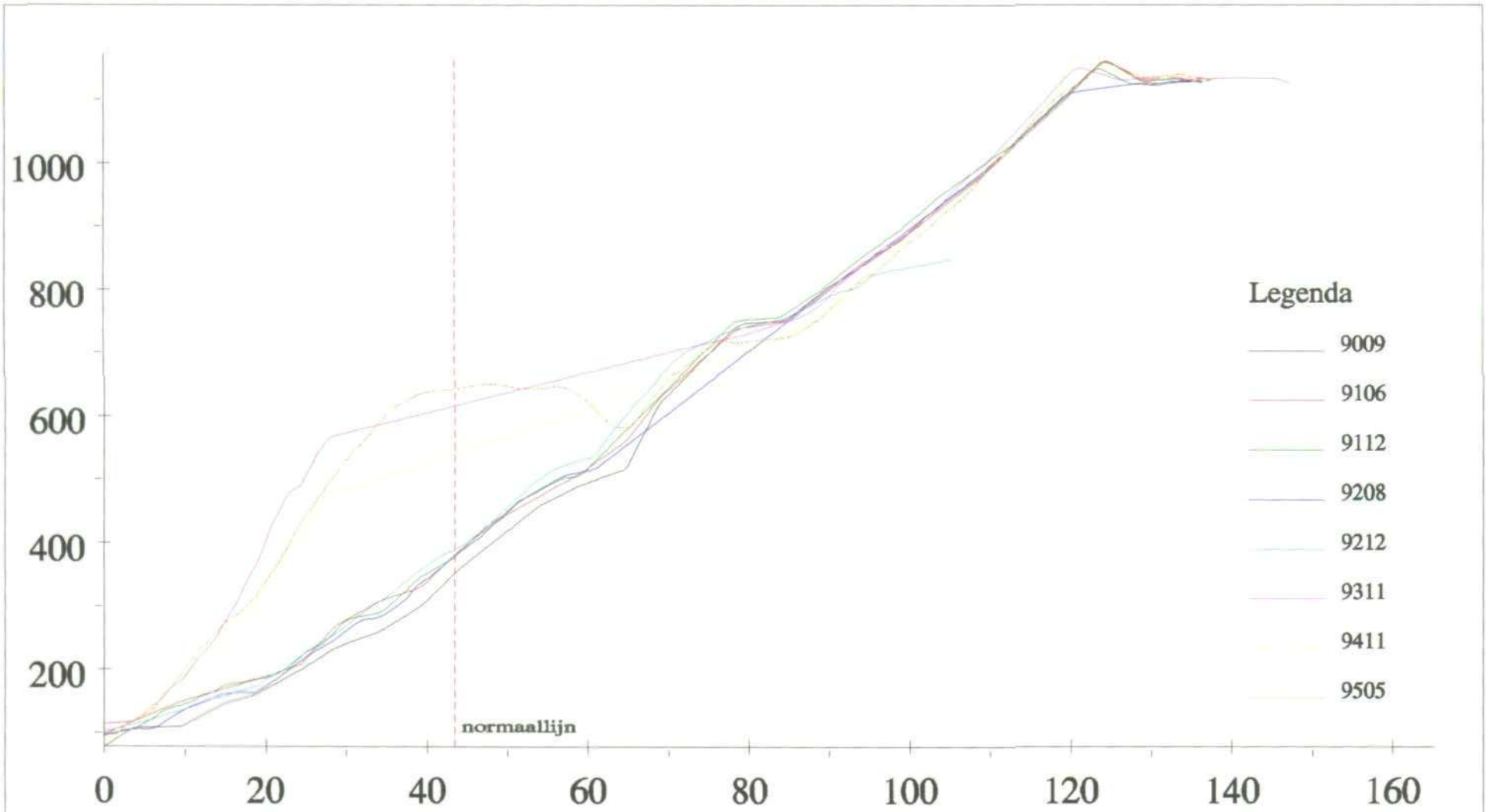
Hoogte-profielen kribvak Gendt (stroomopwaarts)

Hoogte-metingen in raai 2 volgens data in legenda

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



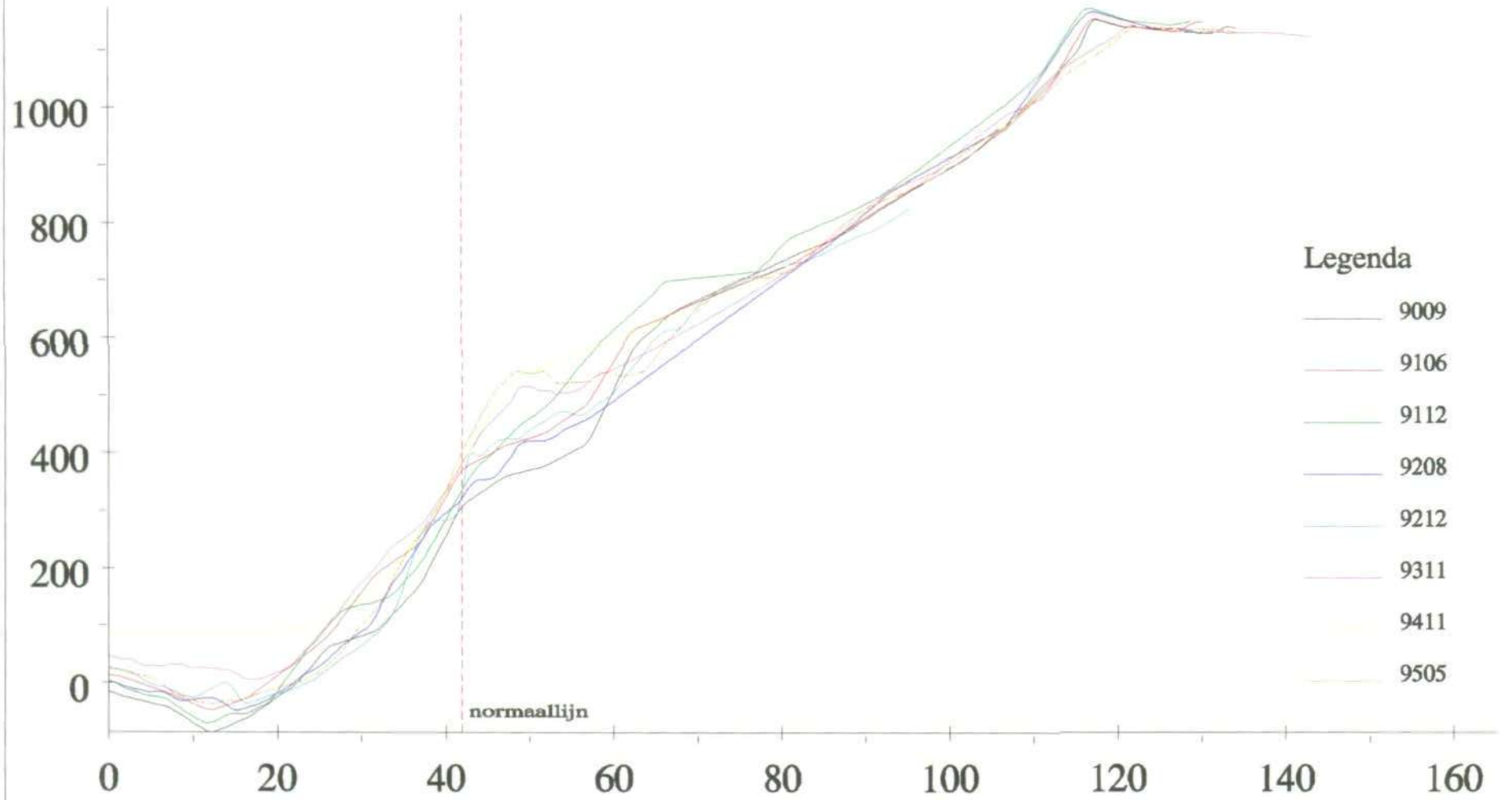
Hoogte-profielen kribvak Gendt (stroomopwaarts)

Hoogte-metingen in raai 3 volgens data in legenda

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



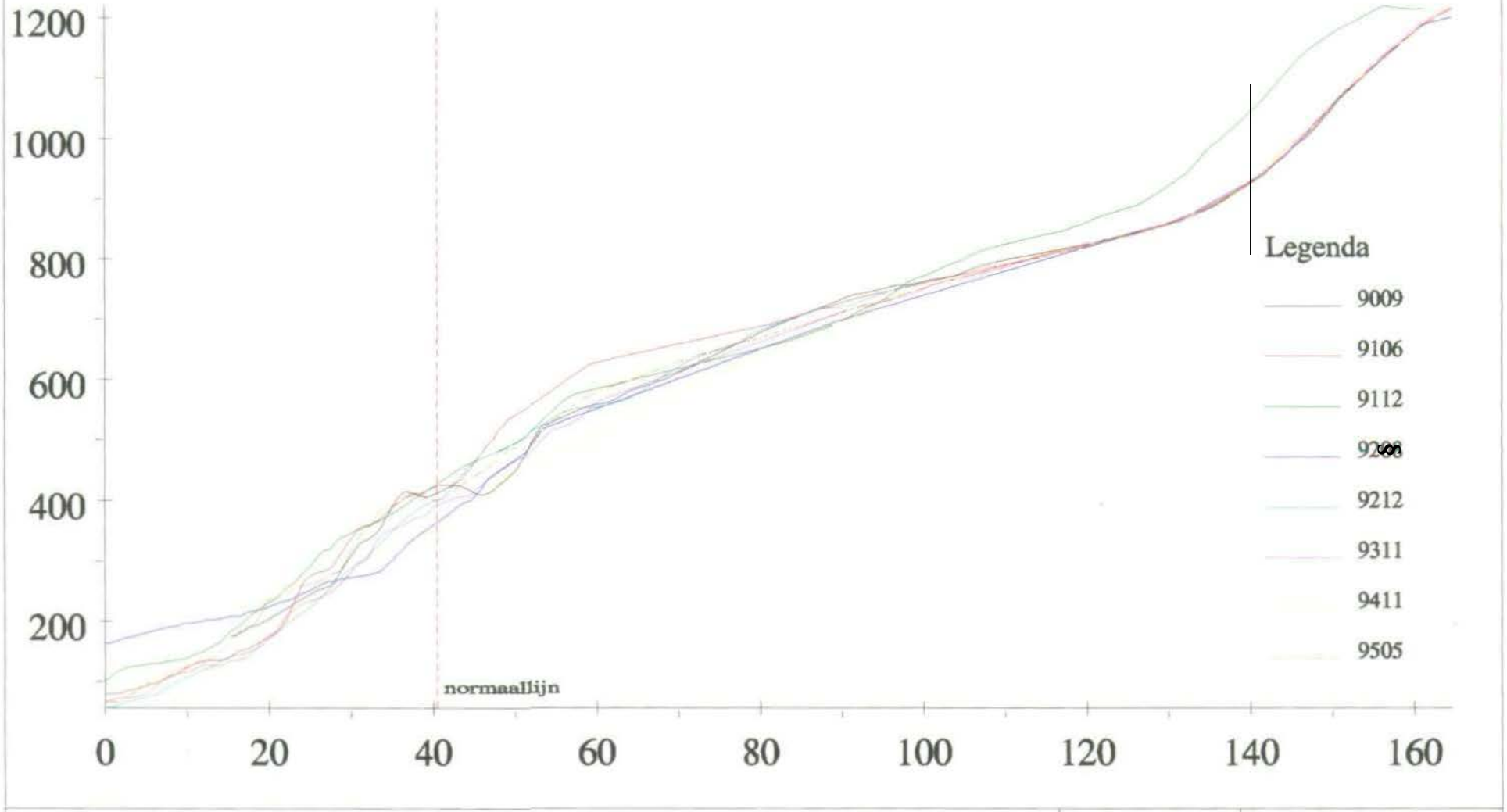
Hoogte-profielen kribvak Gendt (stroomopwaarts)

Hoogte-metingen in raai 4 volgens data in legenda

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



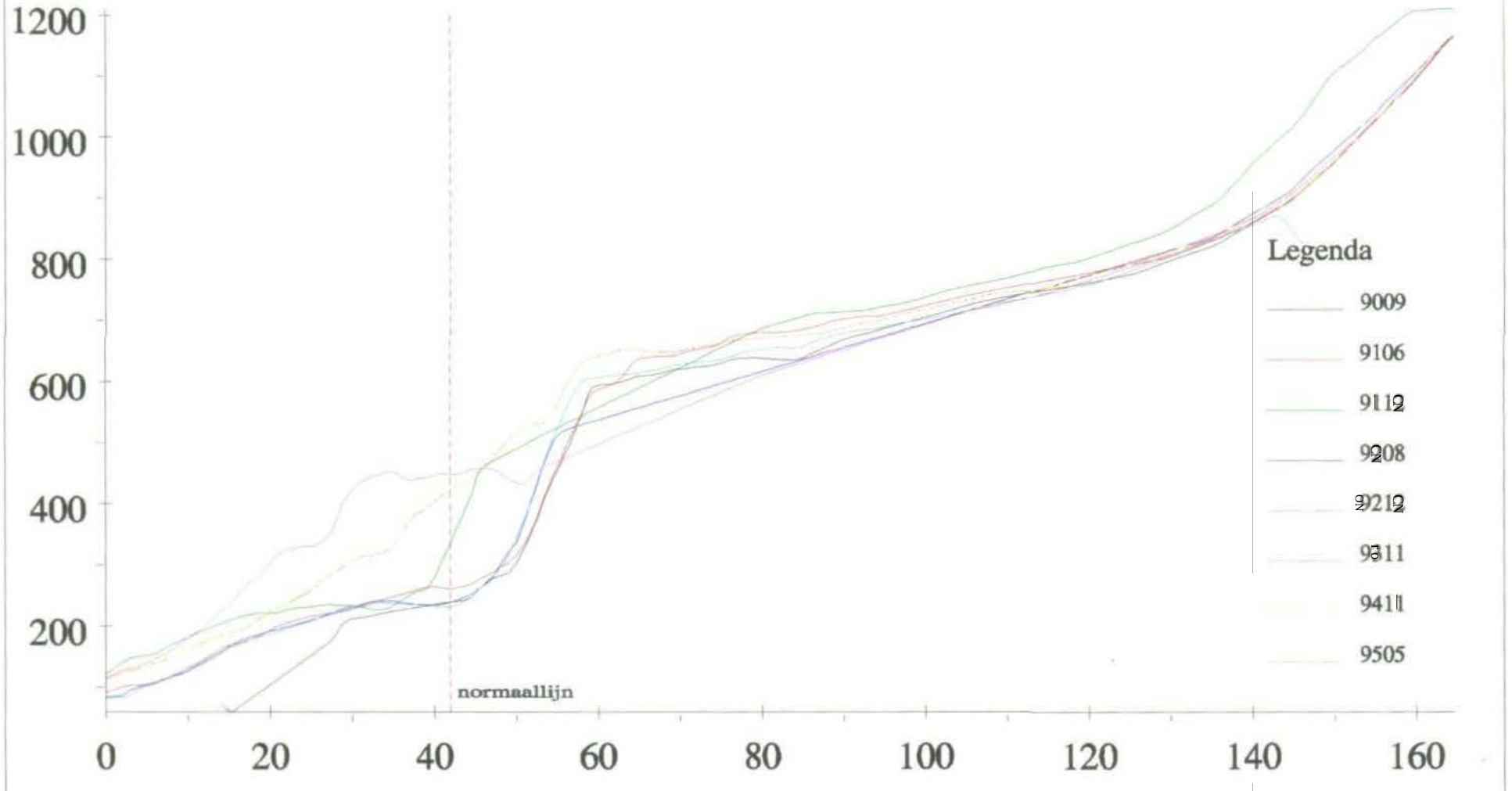
Hoogte-profielen kribvak Gendt (stroomafwaarts)

Hoogte-metingen in raai 1 volgens data in legenda

14 [redacted] 96

Rijkswaterstaat

RIZA



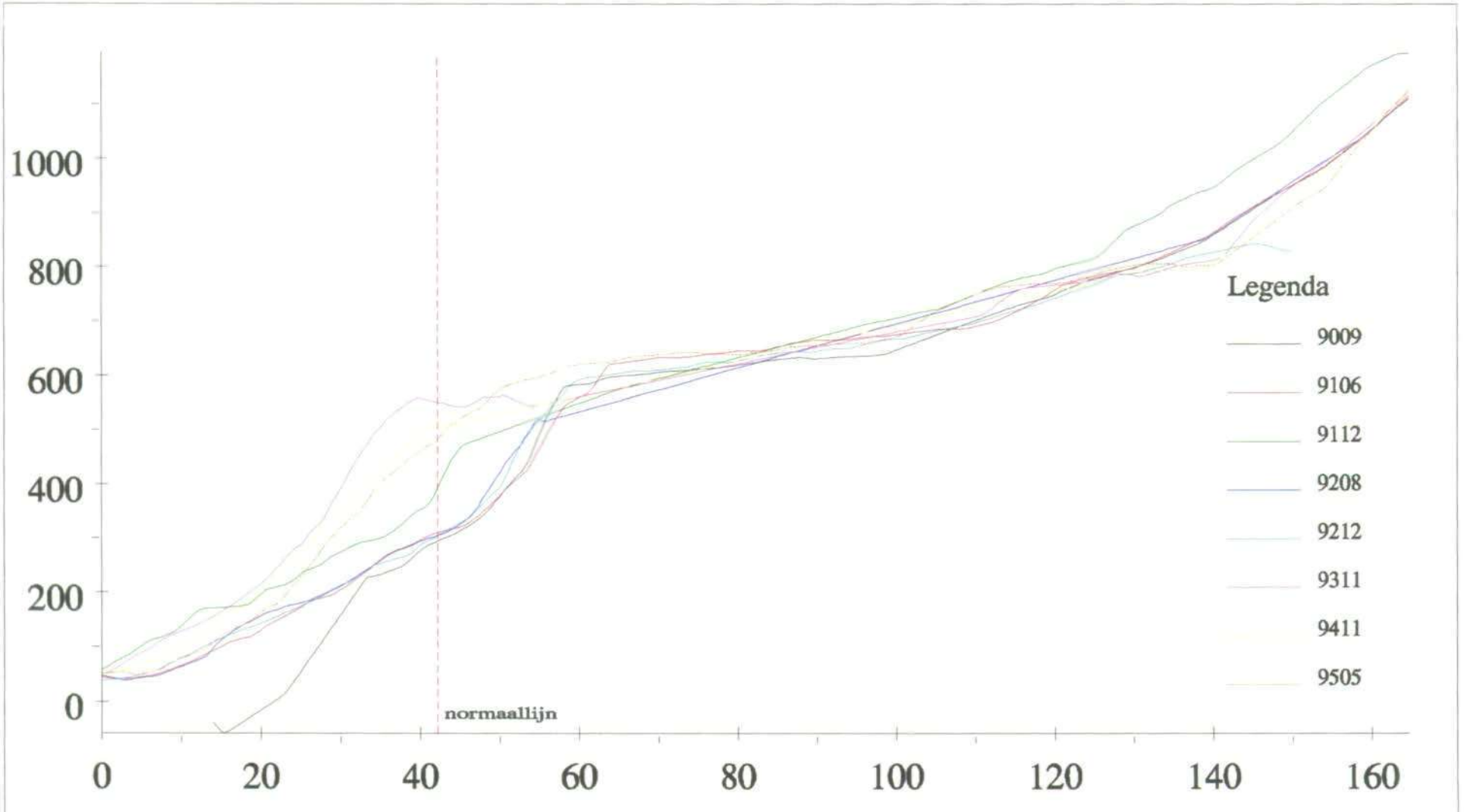
Hoogte-profielen kribvak Gendt (stroomafwaarts)

Hoogte-metingen in raai 2 volgens data in legenda

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



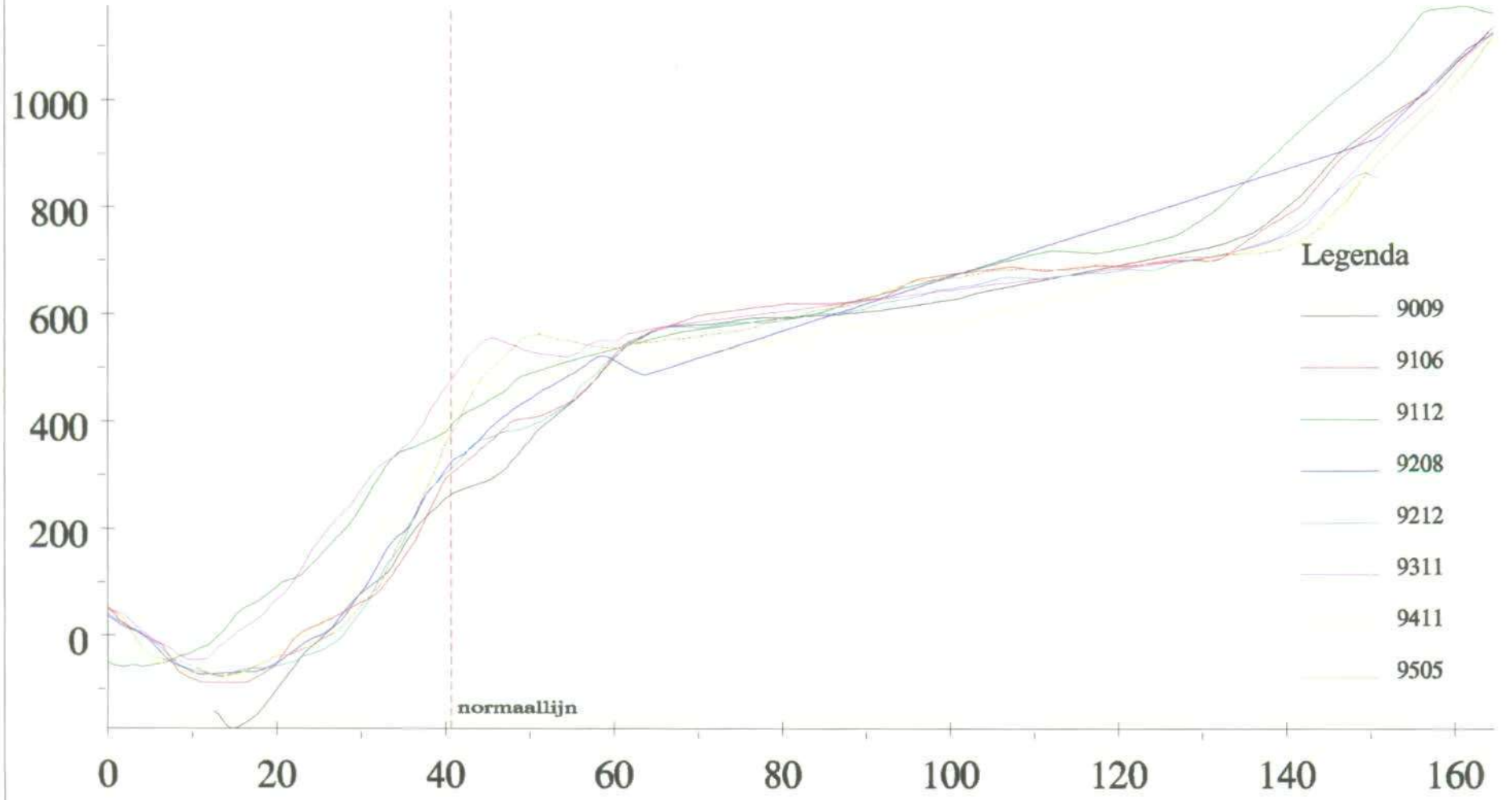
Hoogte-profielen kribvak Gendt (stroomafwaarts)

Hoogte-metingen in raai 3 volgens data in legenda

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



Hoogte-profielen kribvak Gendt (stroomafwaarts)

Hoogte-metingen in raai 4 volgens data in legenda

14 May 96

Rijkswaterstaat

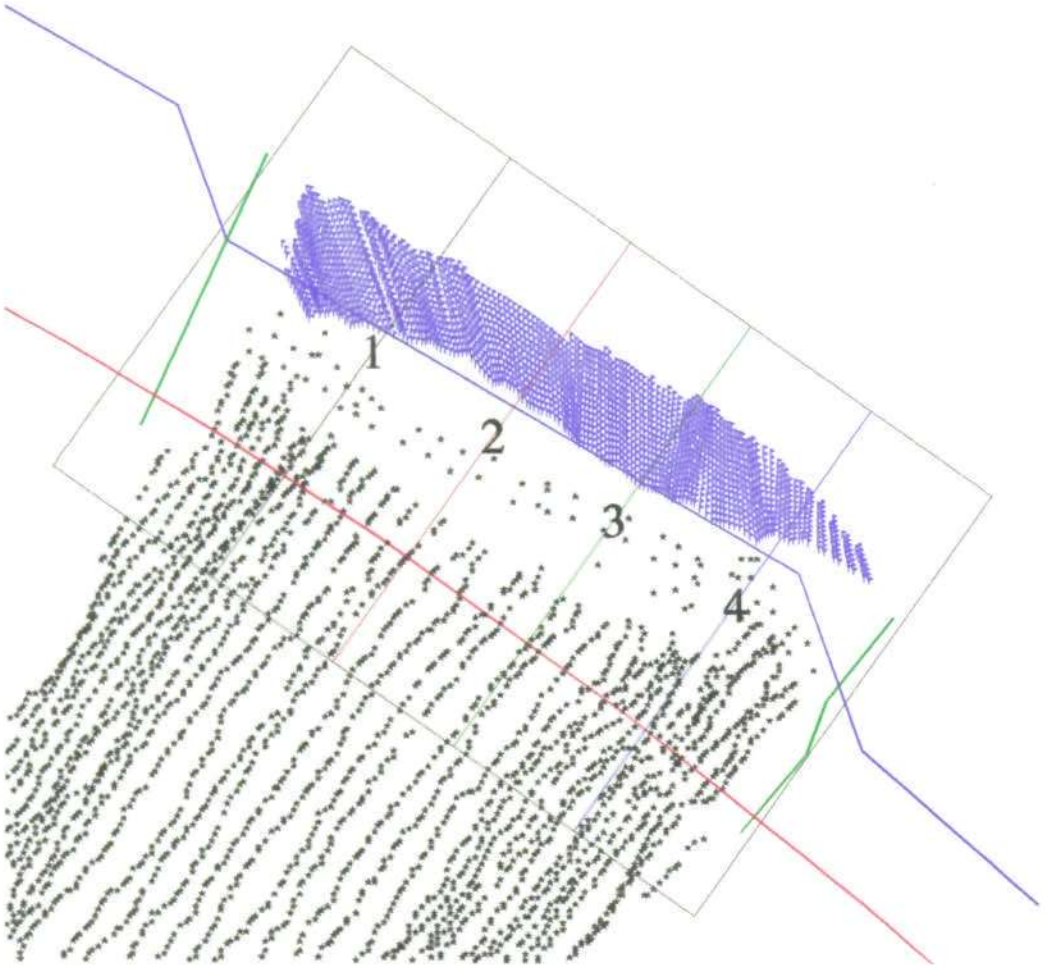
RIZA

bijlage 4: Meetresultaten Gendt

4a: profielen 1990 t/m 1995

4b: overzicht figging van de profielen en meetpunten 8603, 9106, 9311 en 9505.

4c: verschilkaarten 1986, 1991, 1993 en 1995



Legenda

- gewlgraai1
- gewlgraai2
- gewlgraai3
- gewlgraai4
- oeverlijn
- kribben
- normaallijn

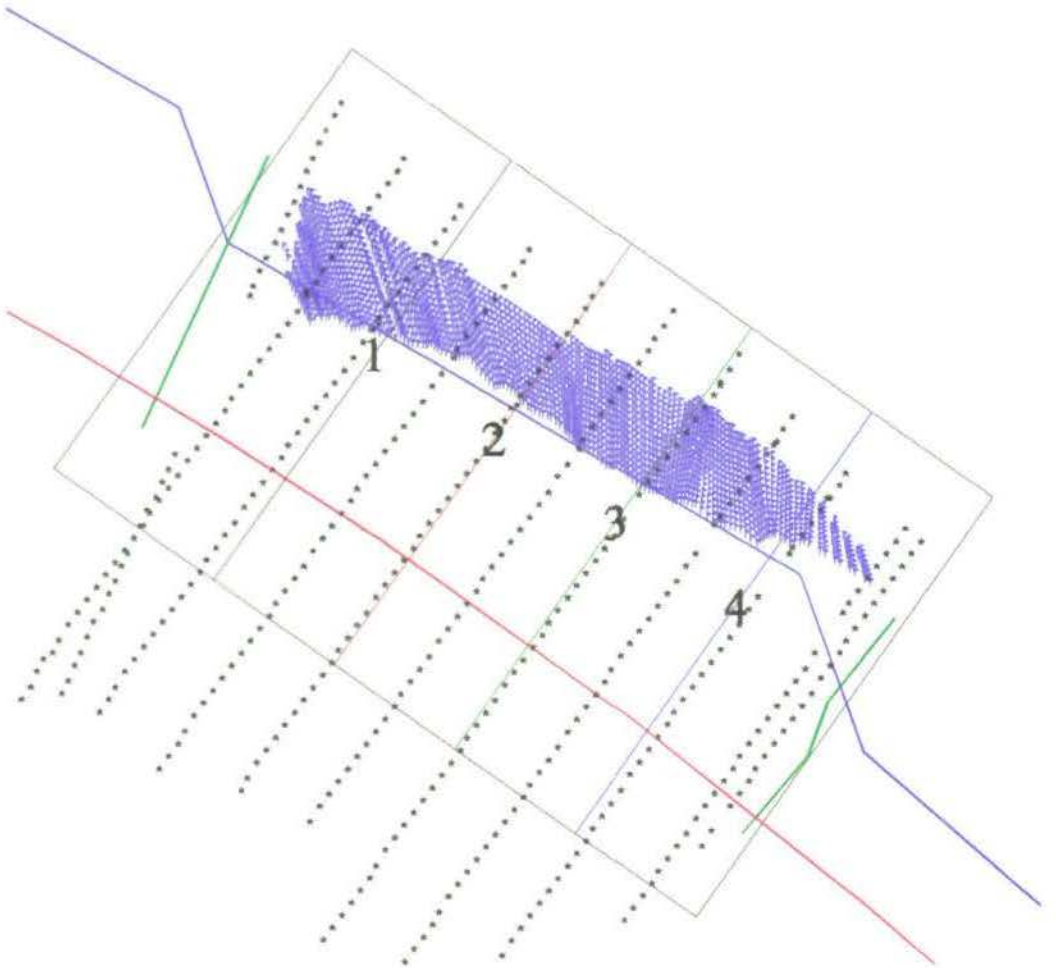
Overzicht kribvak Gendt (met wilgen)

Dwarsprofiel-raaien in metingen van 8603

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



Legenda

- gewlgraai1
- gewlgraai2
- gewlgraai3
- gewlgraai4
- oeverlijn
- kribben
- normaallijn

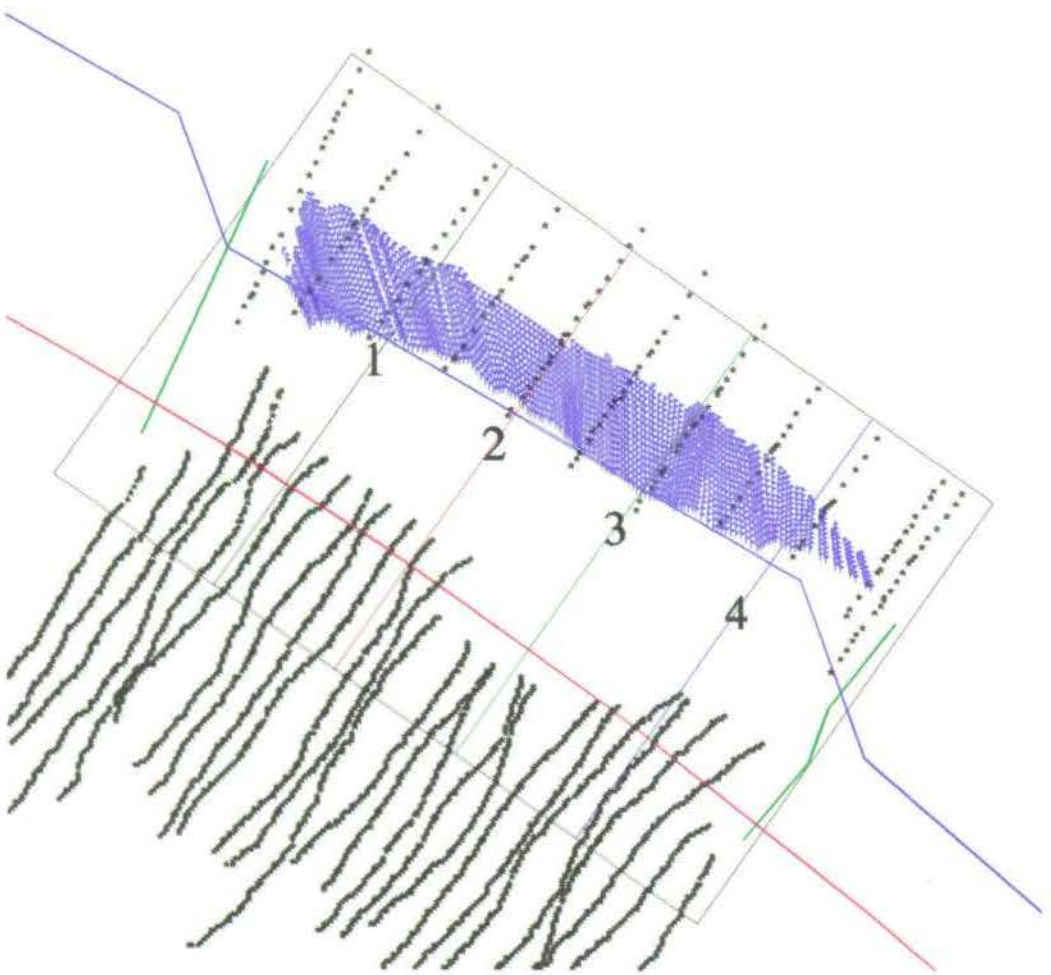
Overzicht kribvak Gendt (met wilgen)

Dwarsprofiel-raaien in metingen van 9106

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



Legenda

- gewlgraai1
- gewlgraai2
- gewlgraai3
- gewlgraai4
- oever
- kribben
- normaallijn

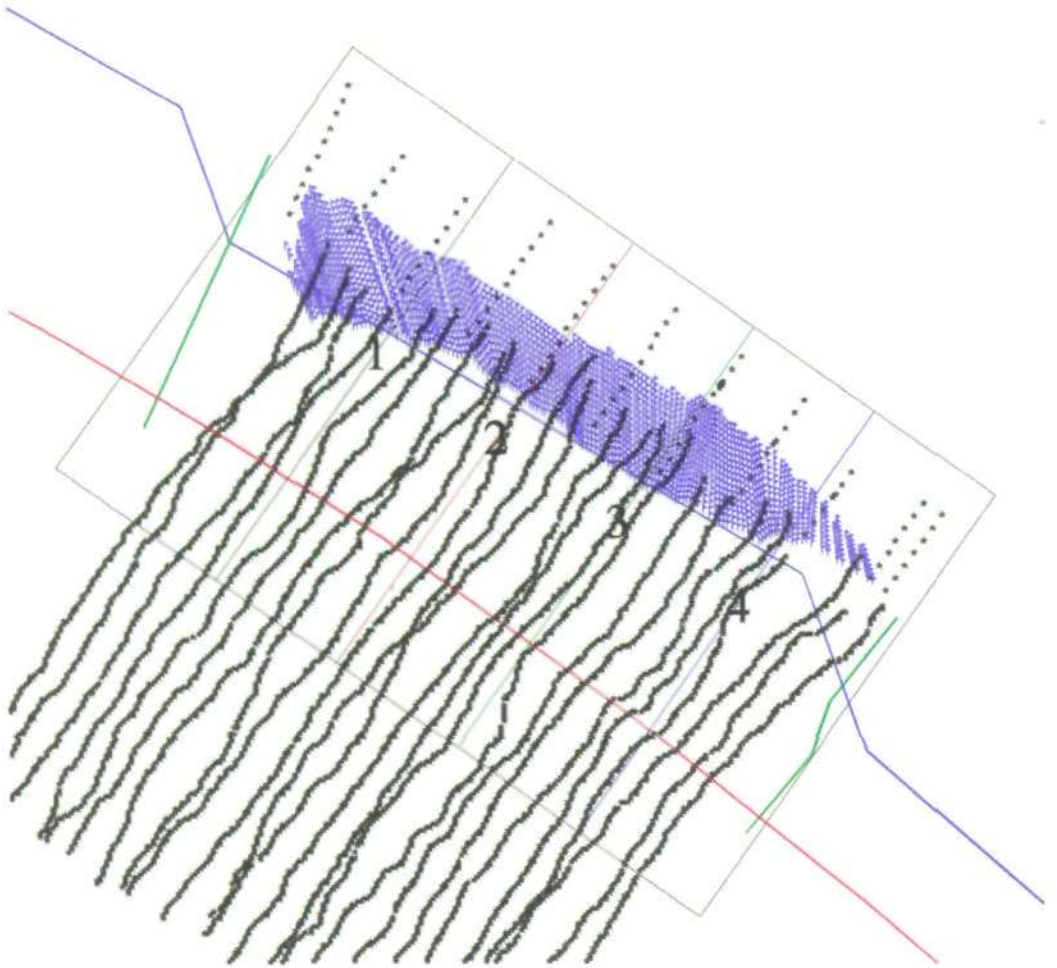
Overzicht kribvak Gendt (met wilgen)

Dwarsprofiel-raaien in metingen van 9311

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



Legenda

- gewlgraai1
- gewlgraai2
- gewlgraai3
- gewlgraai4
- oeverlijn
- kribben
- normaallijn

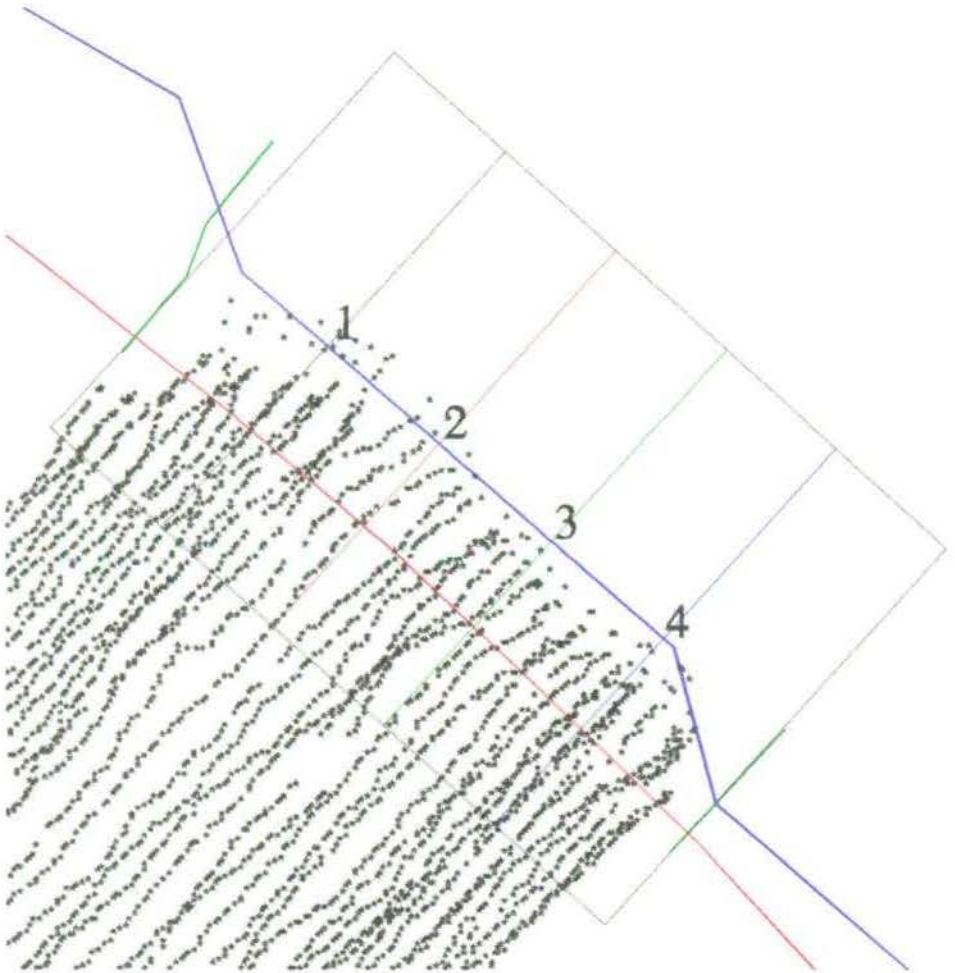
Overzicht kribvak Gendt (met wilgen)

Dwarsprofiel-raaien in metingen van 9505

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



Legenda

- geopwraai1
- geopwraai2
- geopwraai3
- geopwraai4
- oeverlijn
- kribben
- normaallijn

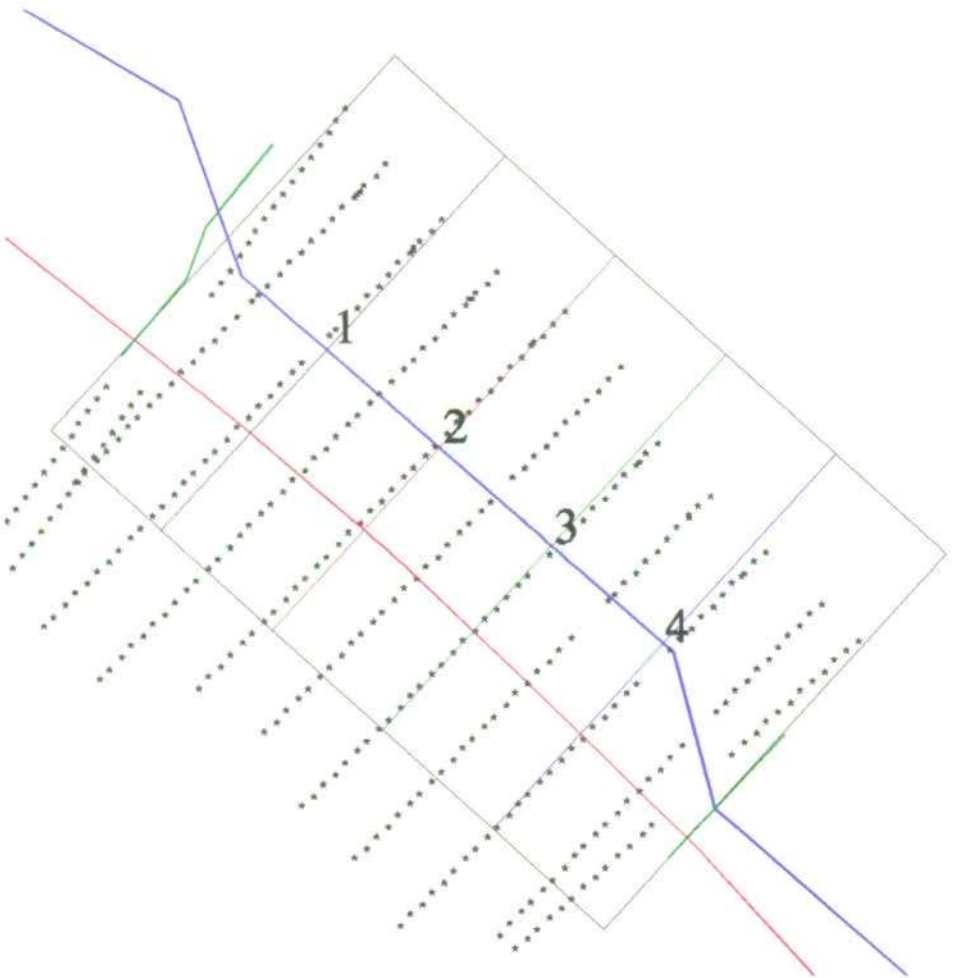
Overzicht kribvak Gendt (stroomopwaarts)

Dwarsprofiel-raaien in metingen van 8603

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



Legenda

- geopwraai1
- geopwraai2
- geopwraai3
- geopwraai4
- oeverlijn
- kribben
- normaallijn

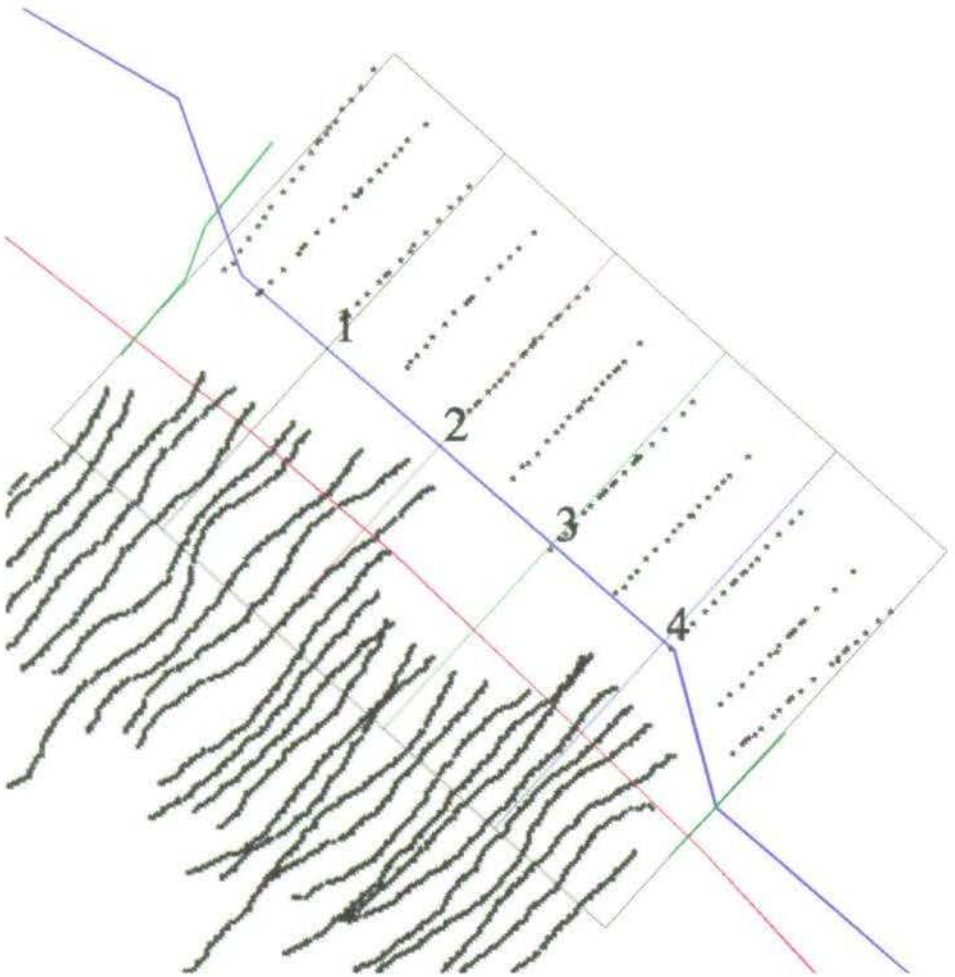
Overzicht kribvak Gendt (stroomopwaarts)

Dwarsprofiel-raaien in metingen van 9106

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



Legenda

- geopwraai1
- geopwraai2
- geopwraai3
- geopwraai4
- oeverlijn
- kribben
- normaallijn

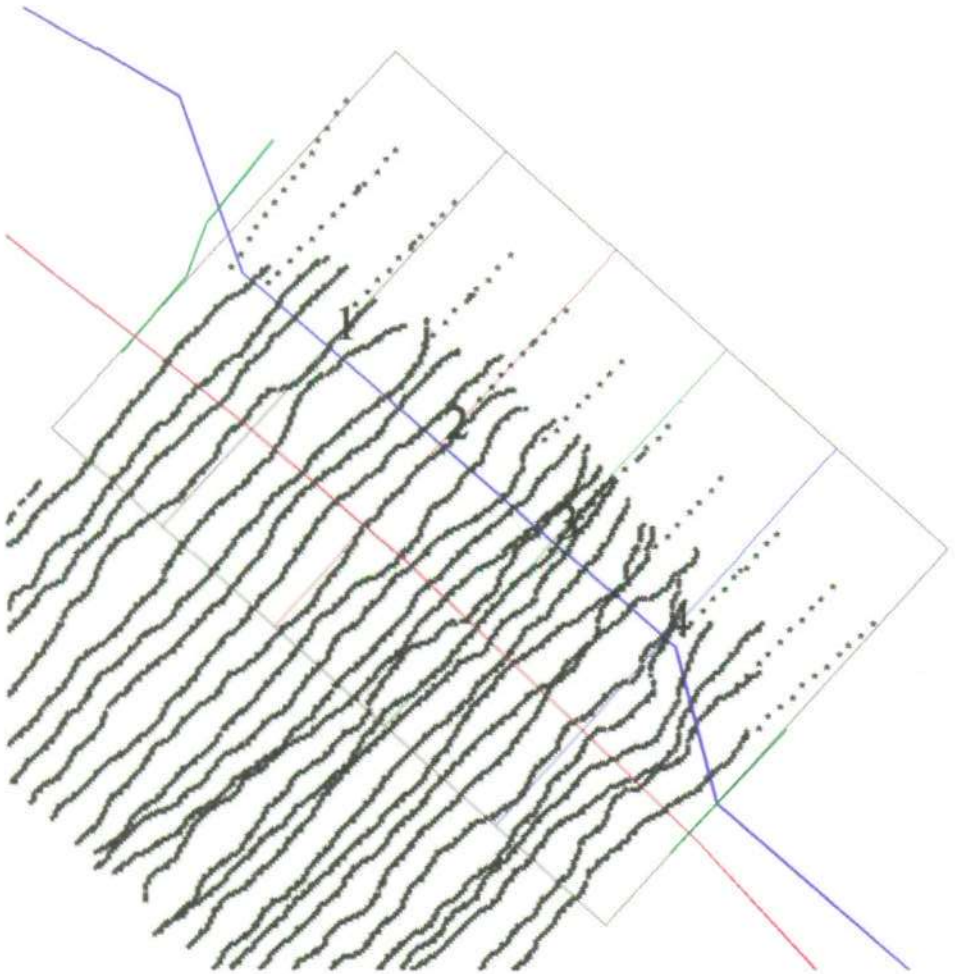
Overzicht kribvak Gendt (stroomopwaarts)

Dwarsprofiel-raaien in metingen van 1993

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



Legenda

- geopwraai1
- geopwraai2
- geopwraai3
- geopwraai4
- oeverlijn
- kribben
- normaallijn

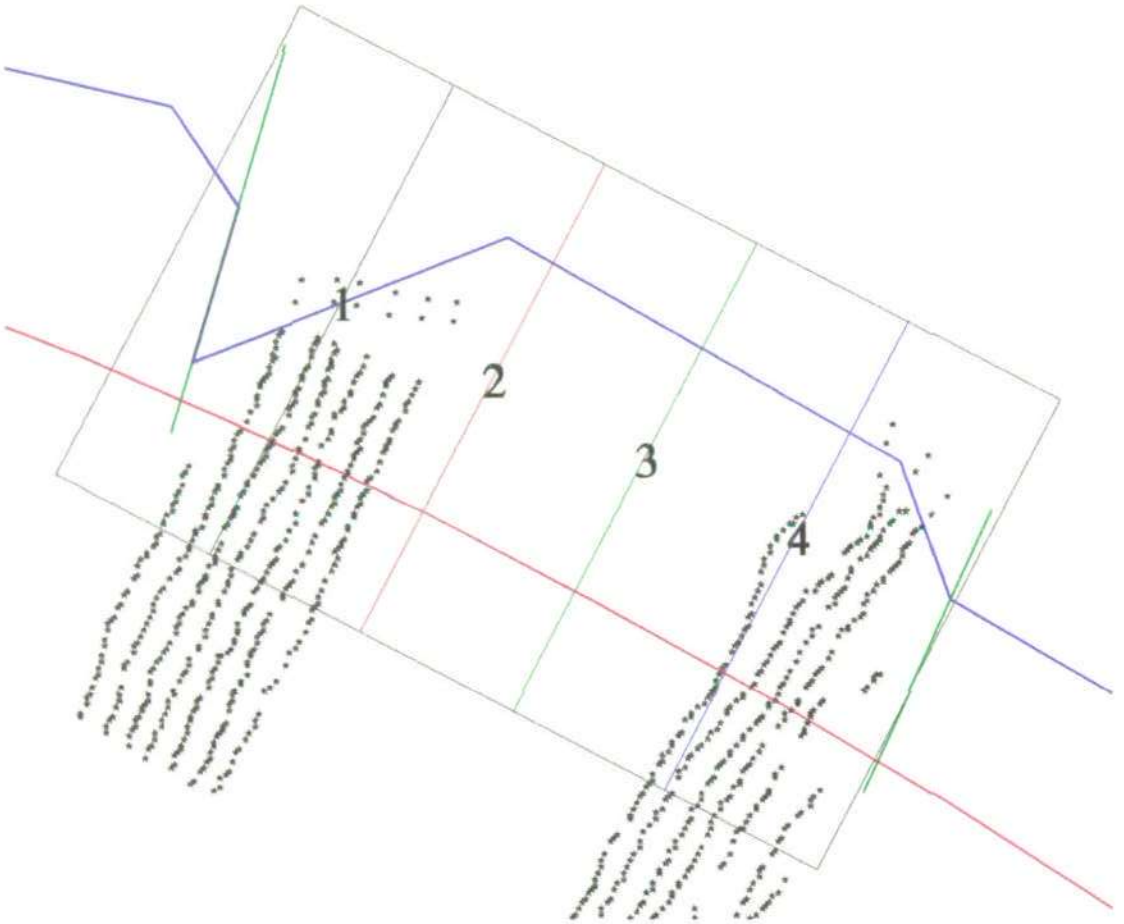
Overzicht kribvak Gendt (stroomopwaarts)

Dwarsprofiel-raaien in metingen van 9505

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



Legenda

- geafwraai1
- geafwraai2
- geafwraai3
- geafwraai4
- oeverlijn
- kribben
- normaallijn

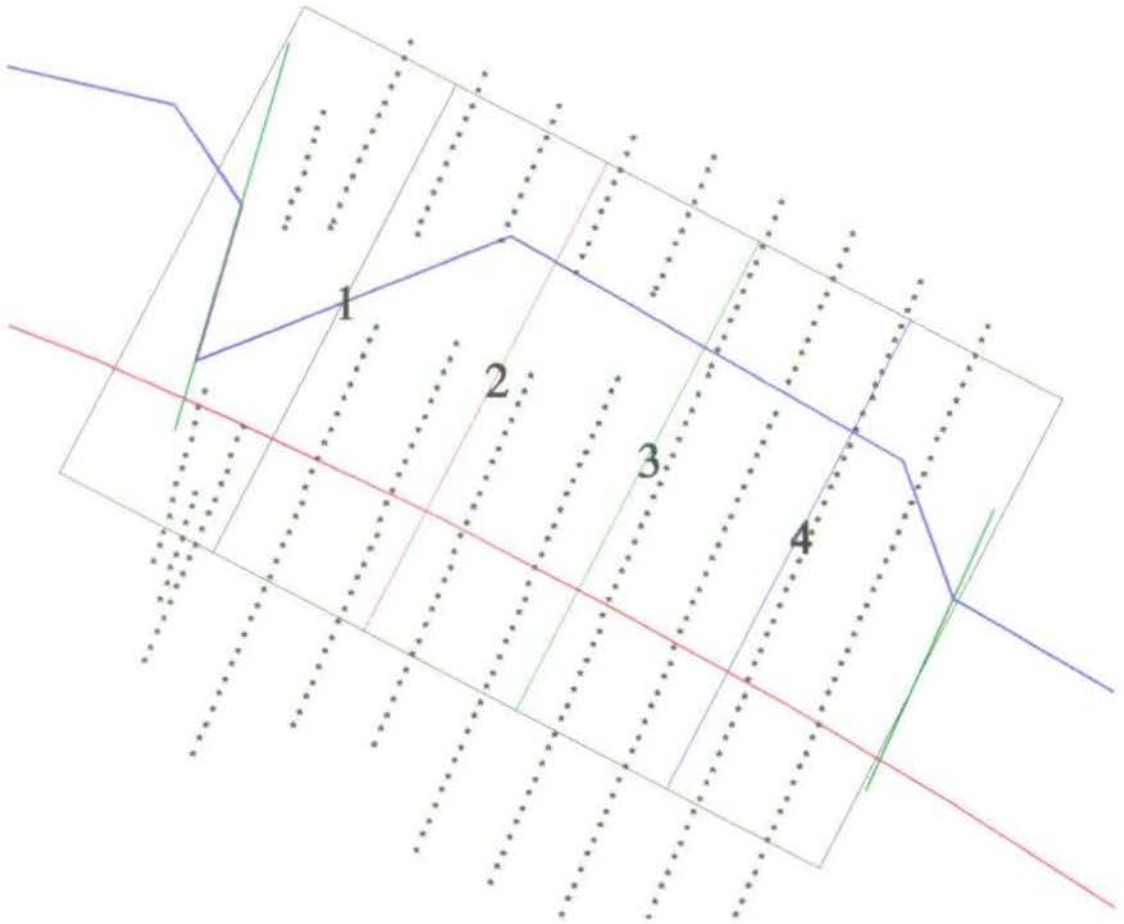
Overzicht kribvak Gendt (stroomafwaarts)

Dwarsprofiel-raaien in metingen van 8603

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



Legenda

- geafwraai1
- geafwraai2
- geafwraai3
- geafwraai4
- oeverlijn
- kribben
- normaallijn

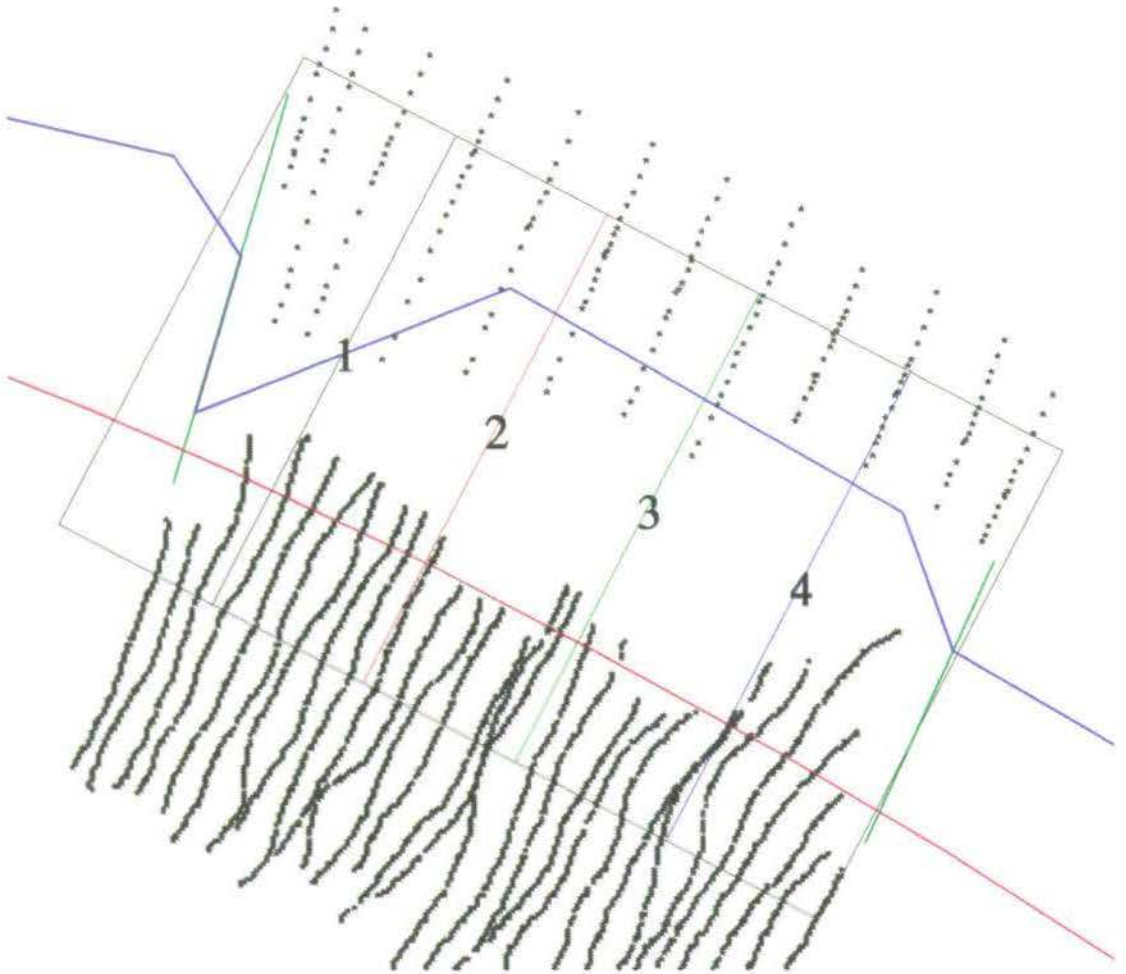
Overzicht kribvak Gendt (stroomafwaarts)

Dwarsprofiel-raaien in metingen van 2106

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



Legenda

- geafwraai1
- geafwraai2
- geafwraai3
- geafwraai4
- oeverlijn
- kribben
- normaallijn

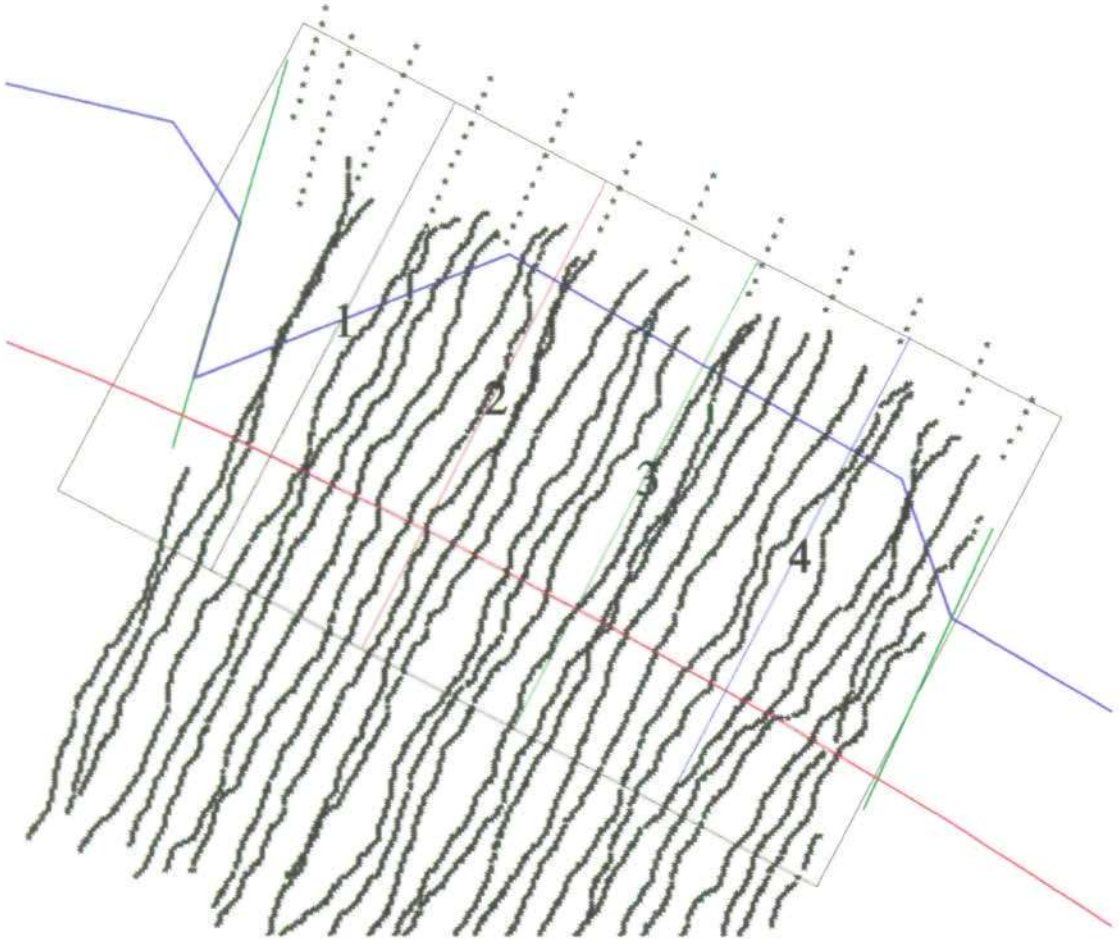
Overzicht kribvak Gendt (stroomafwaarts)

Dwarsprofiel-raaien in metingen van 9311

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



Legenda

- geafwraai1
- geafwraai2
- geafwraai3
- geafwraai4
- oeverlijn
- kribben
- normaallijn

Overzicht kribvak Gendt (stroomafwaarts)

Dwarsprofiel-raaien in metingen van 9505

14 May 96

Rijkswaterstaat

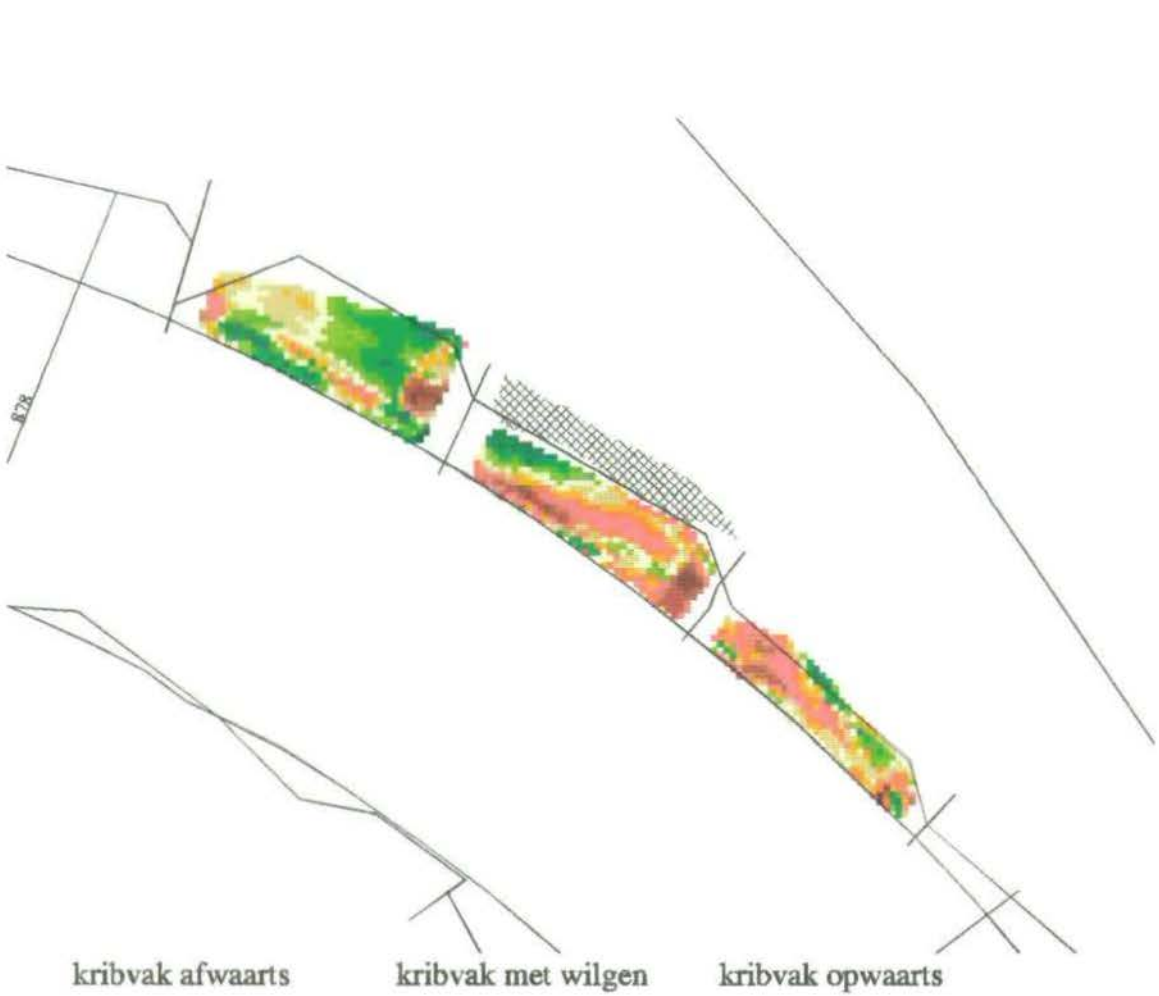
RIZA



bijlage 4: Meetresultaten Gendt

- 4a: profielen 1990 t/m 1995
- 4b: overzicht figging van de profielen en meetpunten 8603, 9106, 9311 en 9505.
- **4c: verschilkaarten 1986, 1991, 1993 en 1995**





Legenda

VERLAGING in cm :

- < -200
- -200 - -150
- -150 - -100
- -100 - -70
- -70 - -50
- -50 - -30
- -30 - -20
- -20 - -10
- -10 - 0

VERHOGING in cm :

- 0 - 10
- 10 - 20
- 20 - 30
- 30 - 50
- 50 - 70
- 70 - 100
- 100 - 150
- 150 - 200
- > 200

wilgenbeplanting

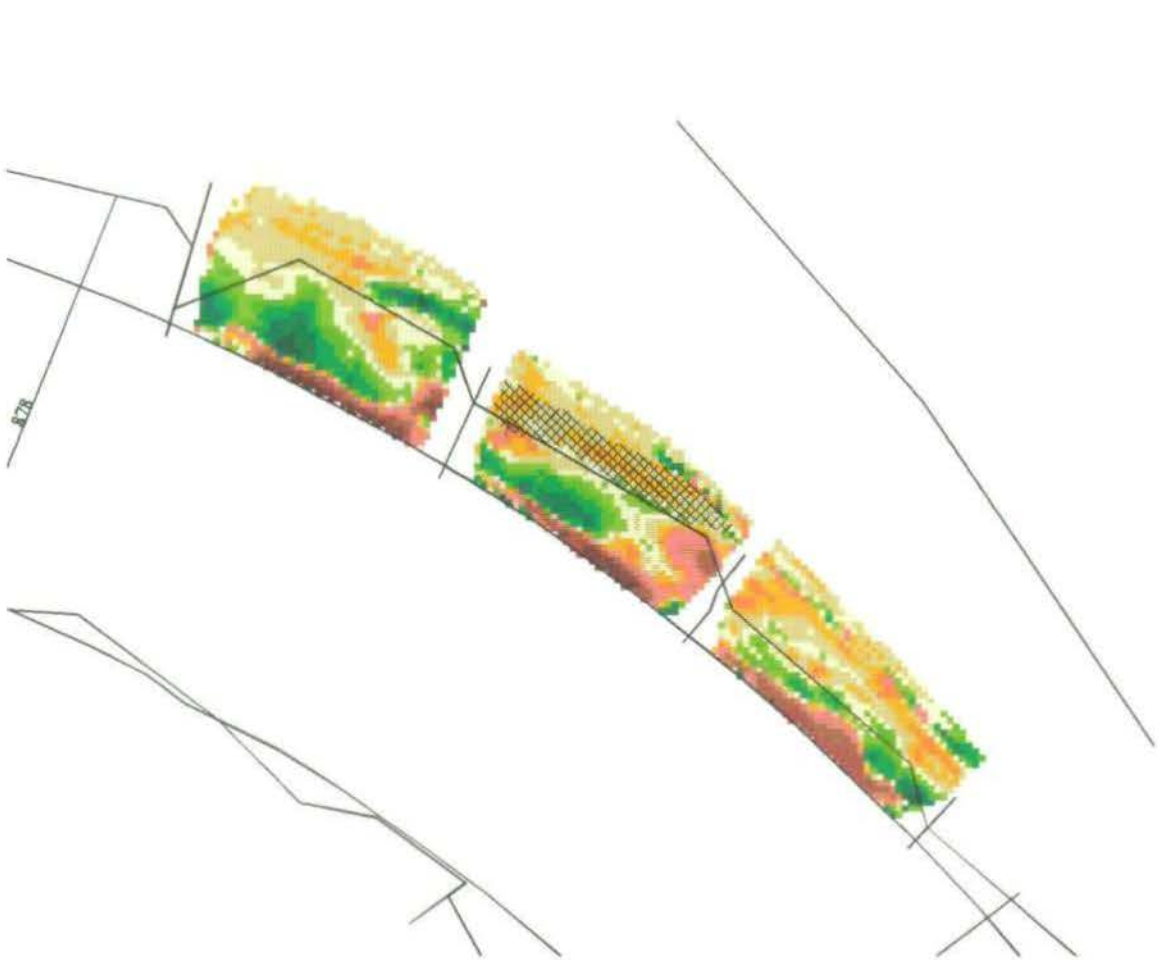
Waal bij Gendt

Verschilkaart bodemligging : 9106 - 8603

Gemiddelde verandering : -9 cm 23 cm 19 cm

Rijkswaterstaat

RIZA



Legenda

VERLAGING in cm :

- < -200
- -200 - -150
- -150 - -100
- -100 - -70
- -70 - -50
- -50 - -30
- -30 - -20
- -20 - -10
- -10 - 0

VERHOGING in cm :

- 0 - 10
- 10 - 20
- 20 - 30
- 30 - 50
- 50 - 70
- 70 - 100
- 100 - 150
- 150 - 200
- > 200
- wilgenlocatie

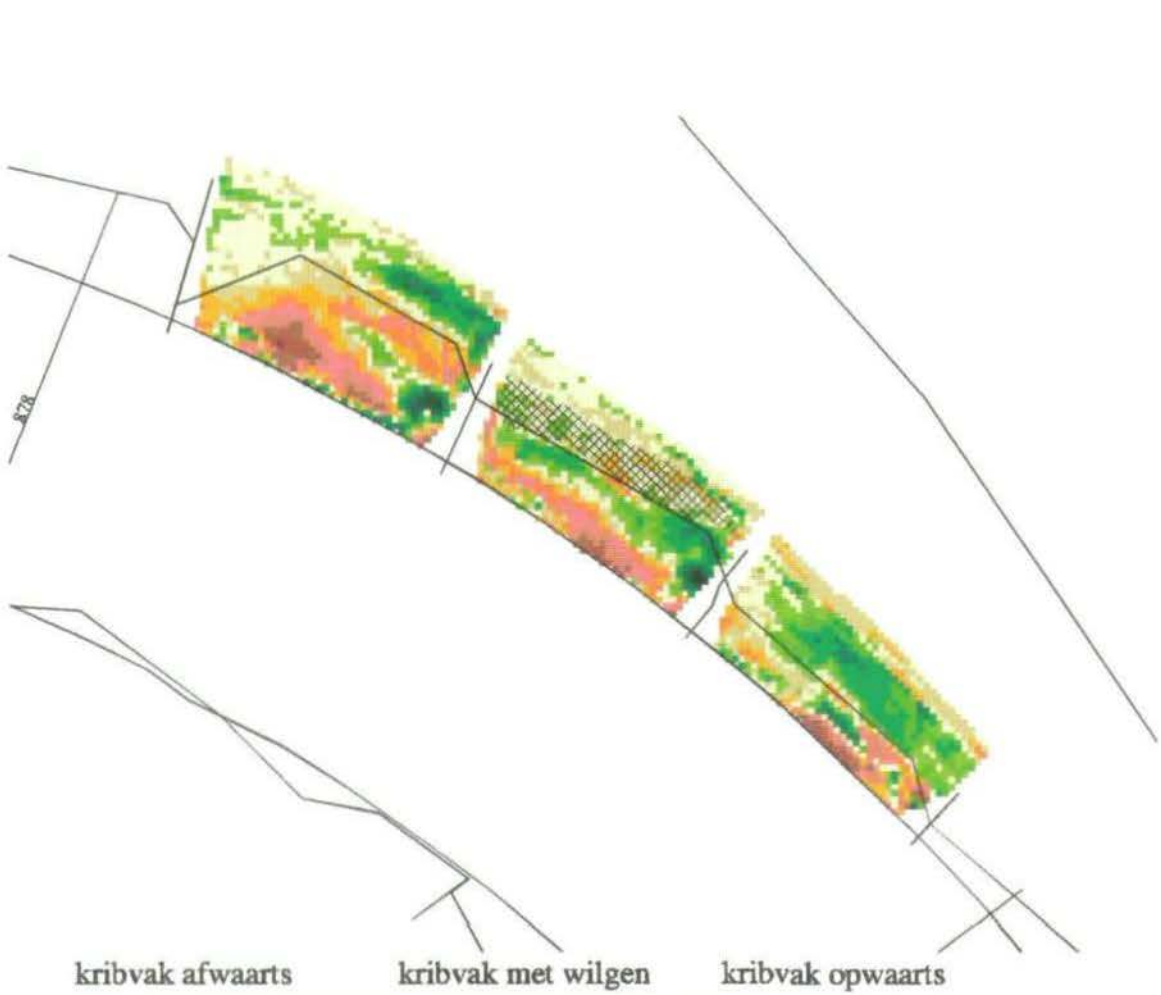
Waal bij Gendt

Verschilkaart bodemligging : 9311 - 9106

Gemiddelde verandering : 2 11 11 cm

Rijkswaterstaat

RIZA



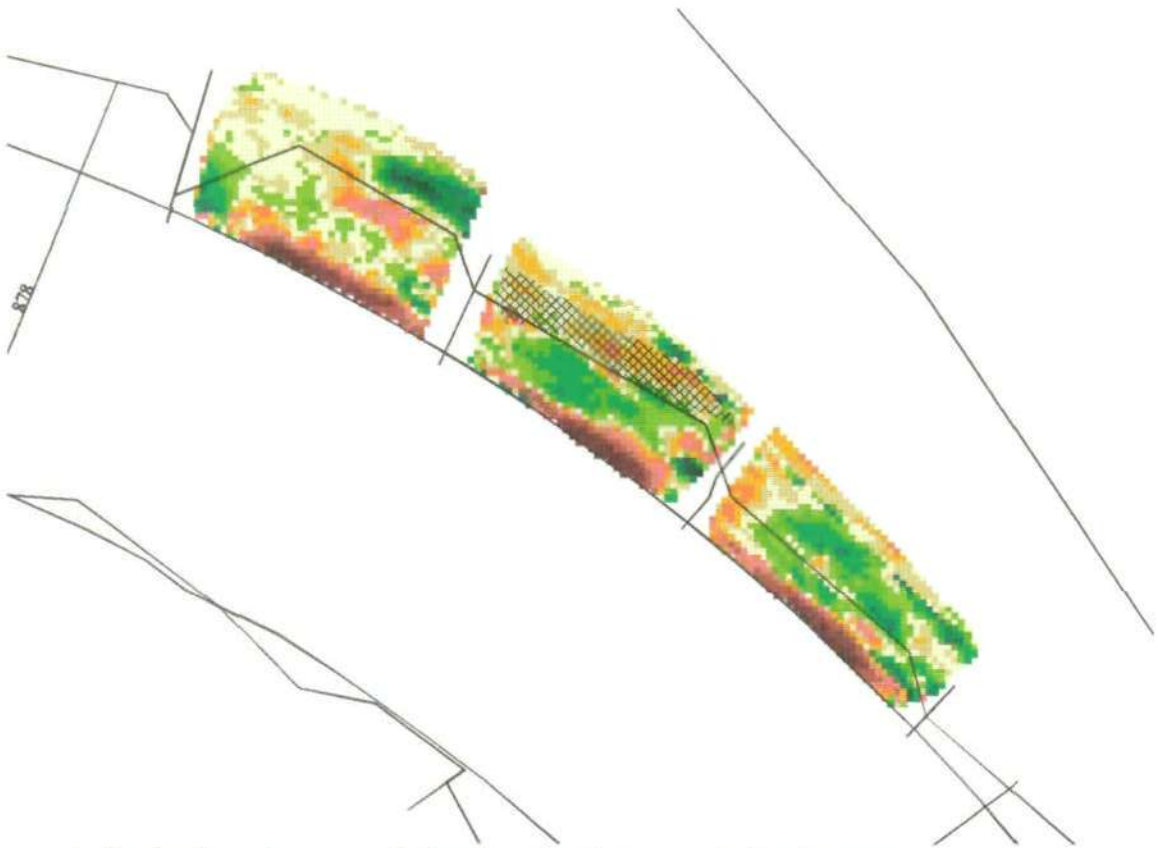
Waal bij Gendt

Verschilkaart bodemligging : 9505 - 9311

Gemiddelde verandering : 2 -2 -5 cm

Rijkswaterstaat

RIZA



N

Legenda

VERLAGING in cm :

- < -200
- -200 - -150
- -150 - -100
- -100 - -70
- -70 - -50
- -50 - -30
- -30 - -20
- -20 - -10
- -10 - 0

VERHOGING in cm :

- 0 - 10
- 10 - 20
- 20 - 30
- 30 - 50
- 50 - 70
- 70 - 100
- 100 - 150
- 150 - 200
- > 200
- wilgenlocatie

Waal bij Gendt

Verschilkaart bodemligging : 9505 - 9106

Gemiddelde verandering : 6 8 5 cm

Rijkswaterstaat

RIZA

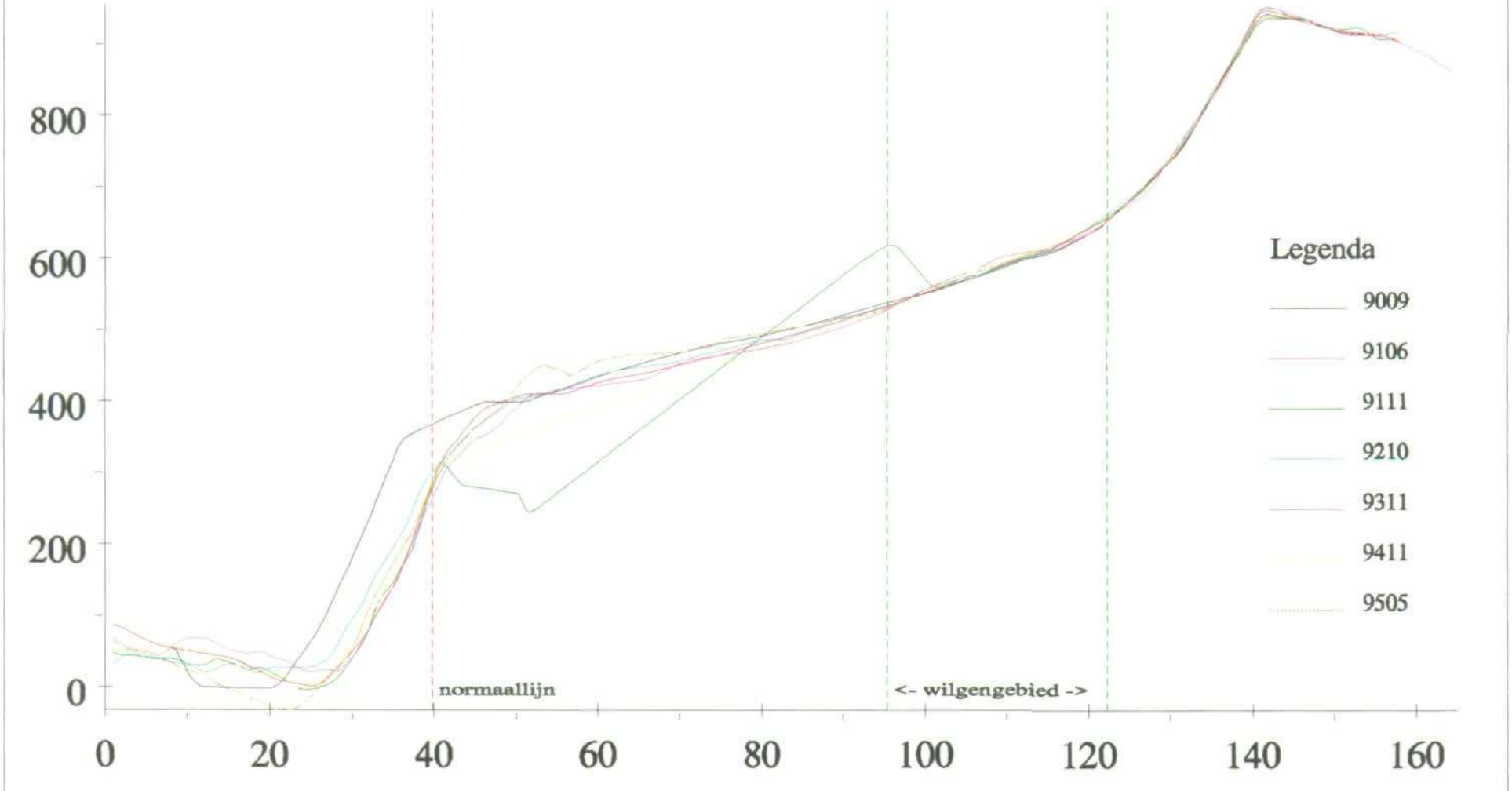
bijlage 5: Meetresultaten Druten

5a: profielen 1990 t/m 1995

5b: overzicht figging van de profielen en meetpunten, 9106, 9311 en 9505.

5c: verschilkaarten 1991, 1993 en 1995





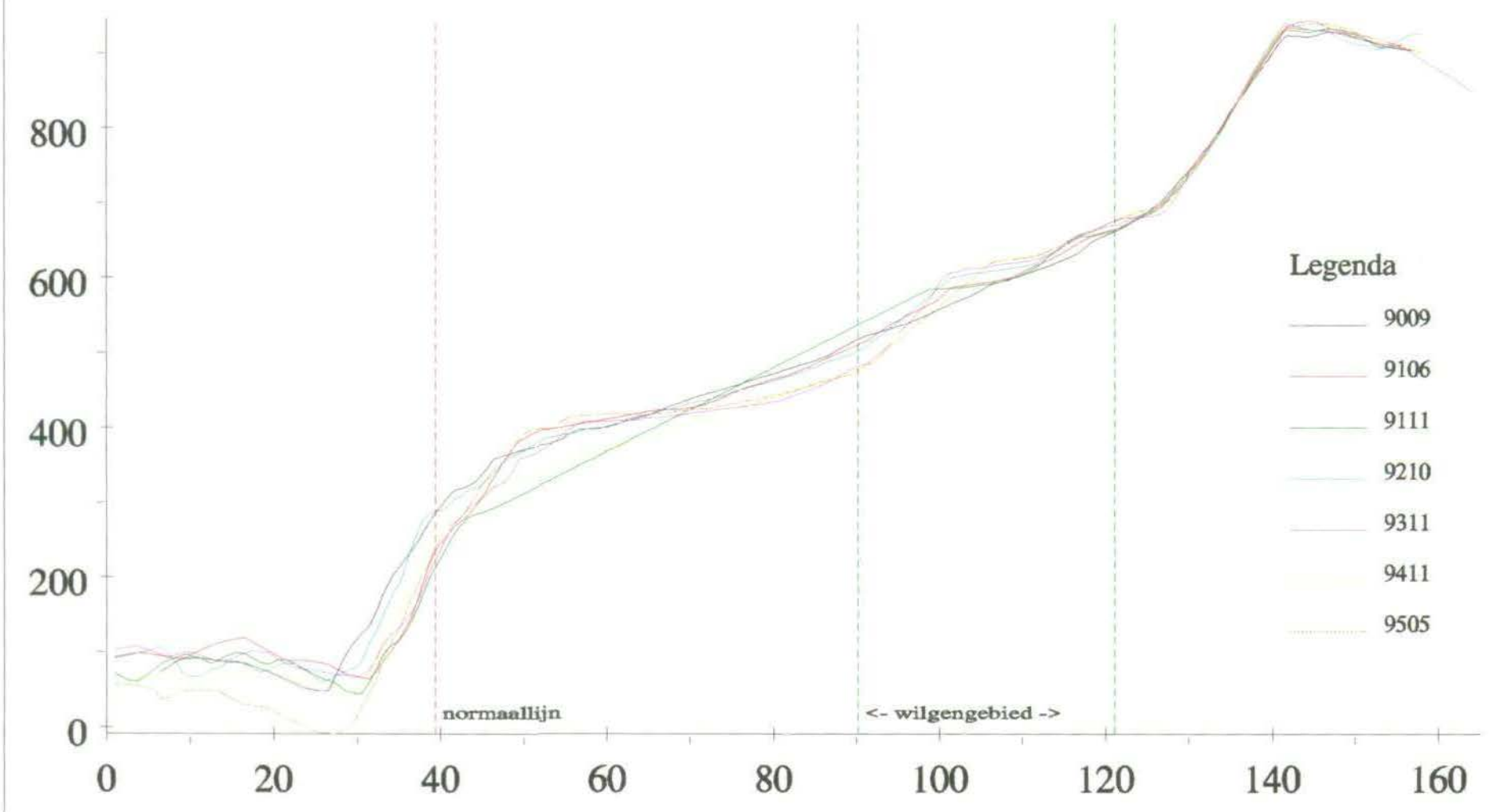
Hoogte-profielen kribvak Druten (met wilgen)

Hoogte-metingen in raai 1 volgens data in legenda

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



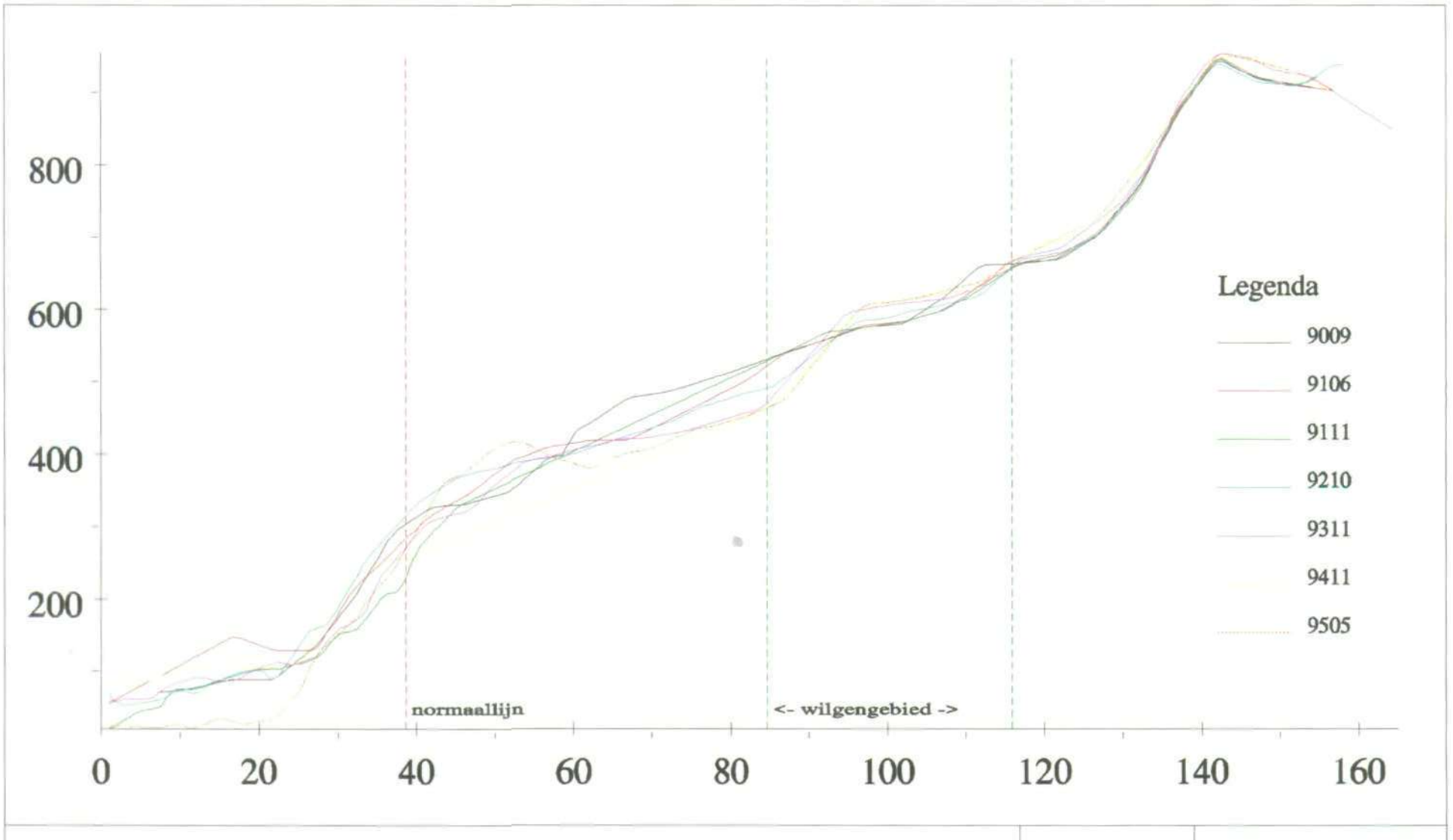
Hoogte-profielen kribvak Druten (met wilgen)

Hoogte-metingen in raai 2 volgens data in legenda

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



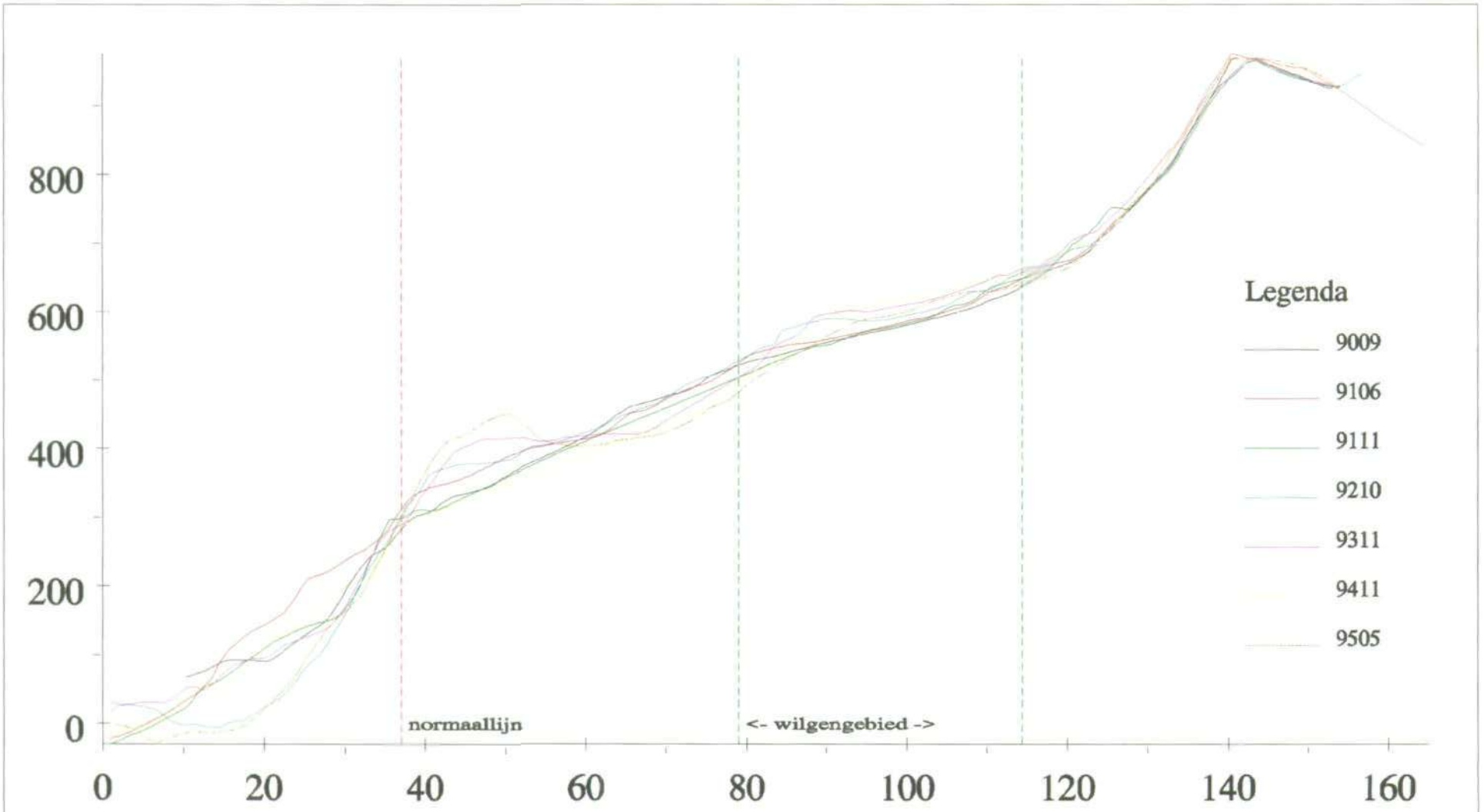
Hoogte-profielen kribvak Druten (met wilgen)

Hoogte-metingen in raai 3 volgens data in legenda

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



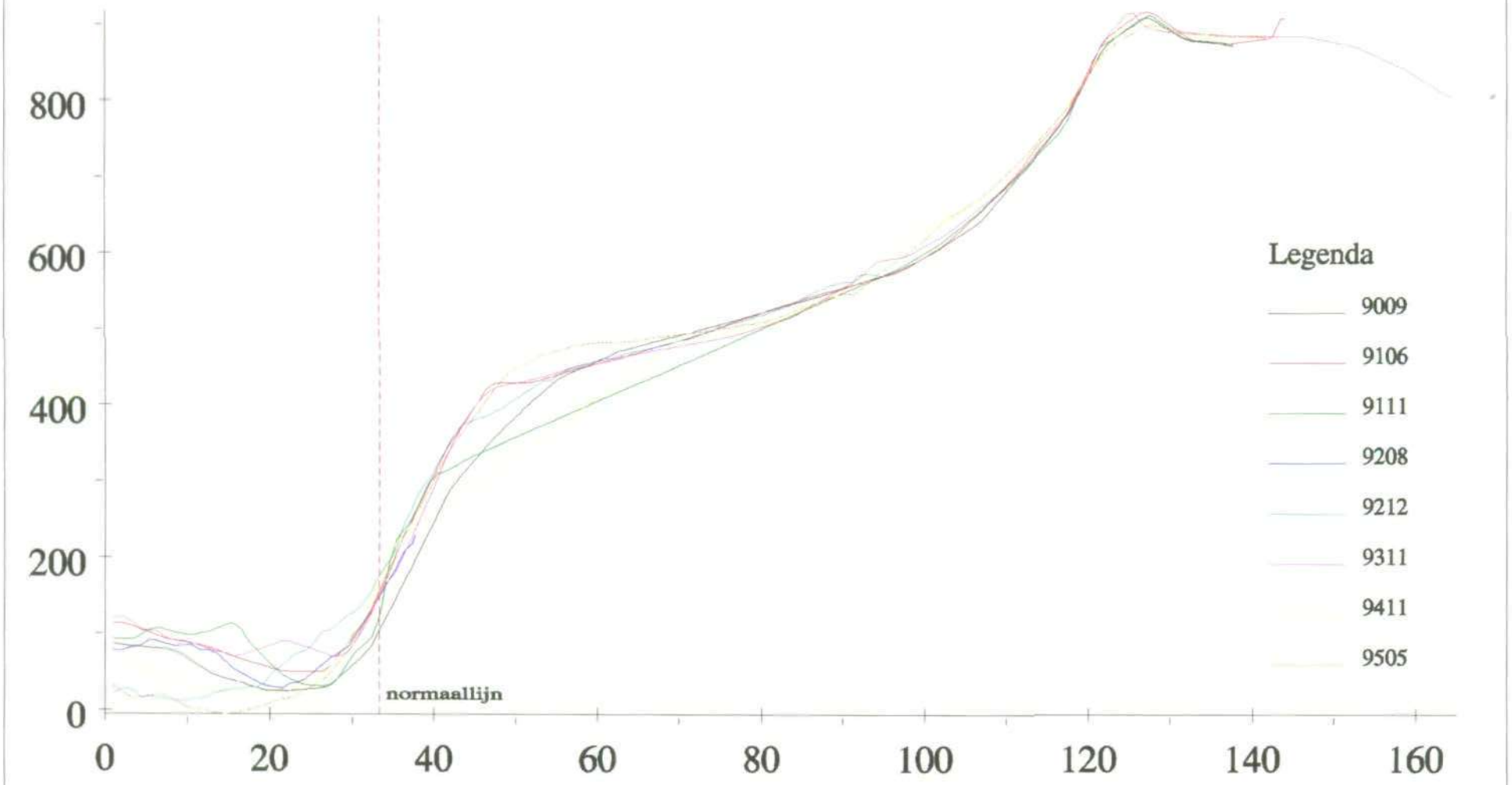
Hoogte-profielen kribvak Druten (met wilgen)

Hoogte-metingen in raai 4 volgens data in legenda

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



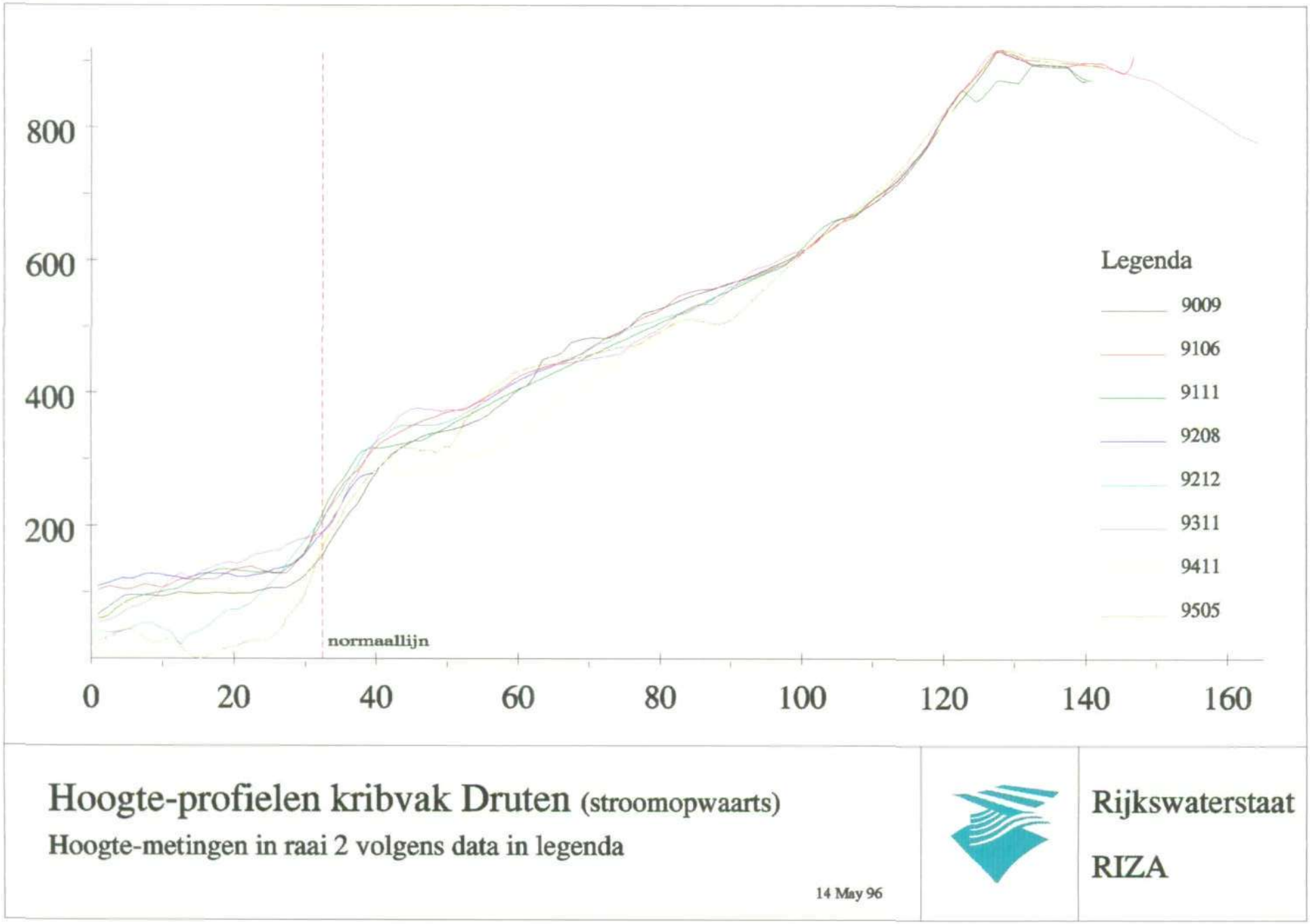
Hoogte-profielen kribvak Druten (stroomopwaarts)

Hoogte-metingen in raai 1 volgens data in legenda

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



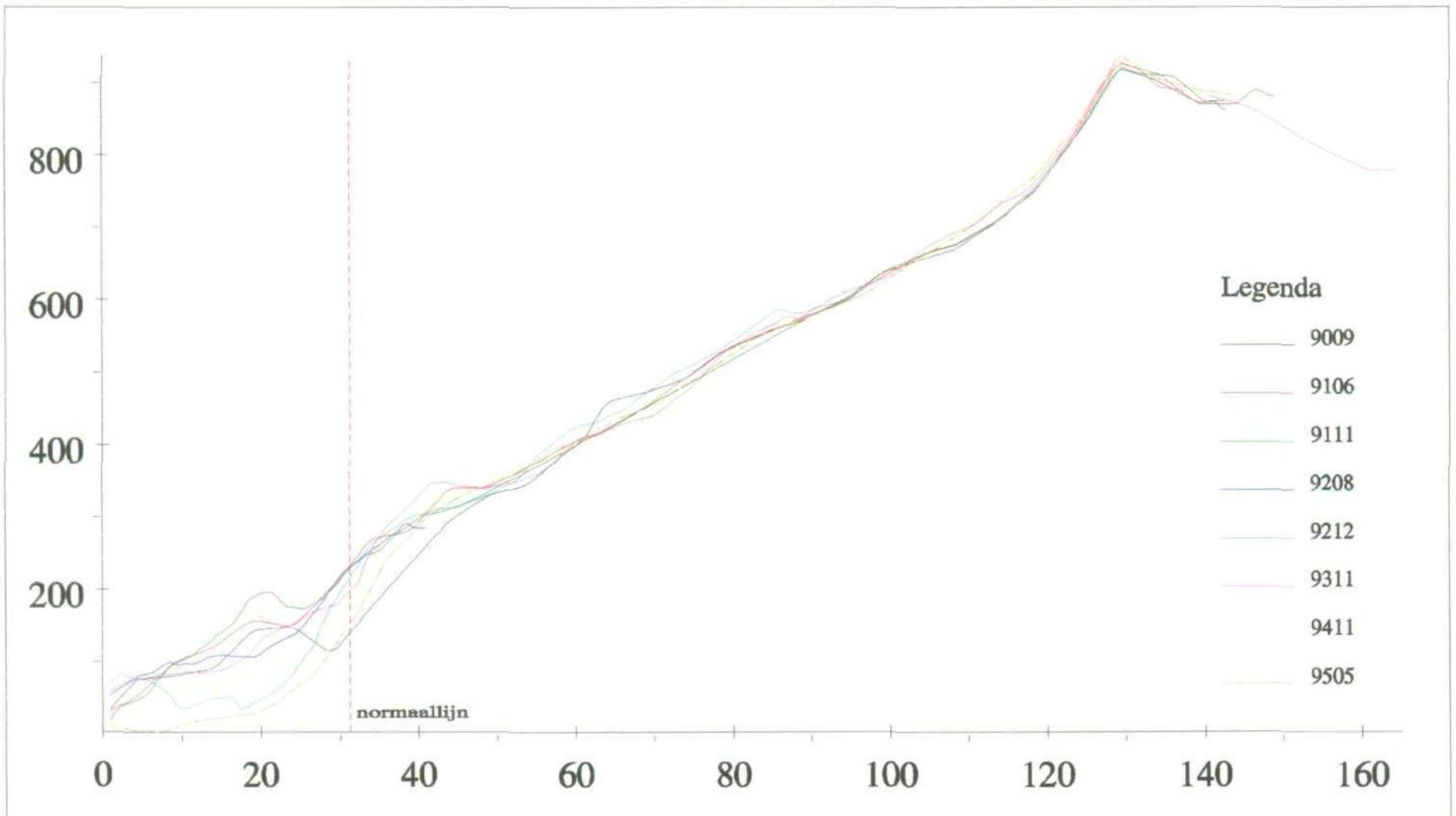
Hoogte-profielen kribvak Druten (stroomopwaarts)

Hoogte-metingen in raai 2 volgens data in legenda

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



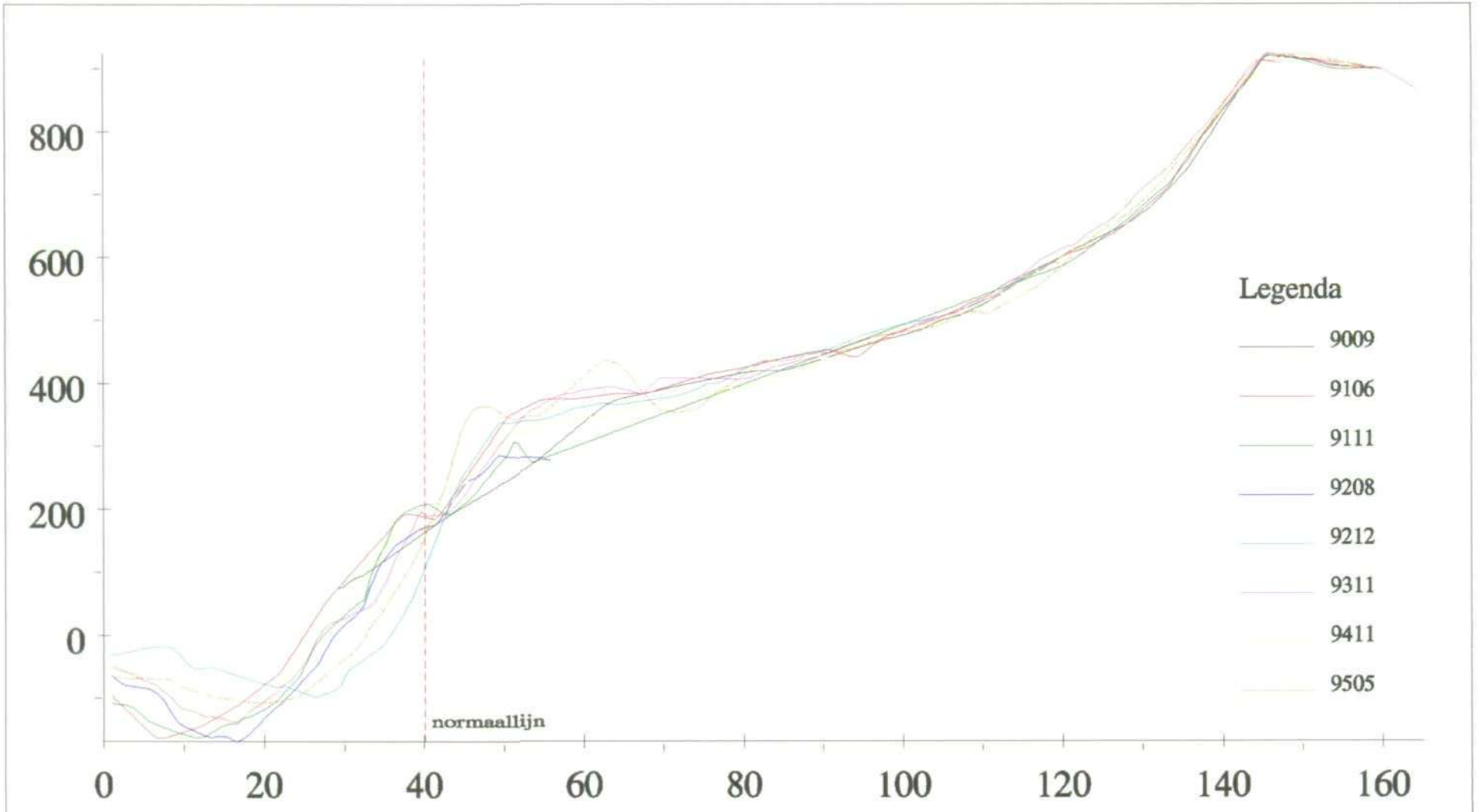
Hoogte-profielen kribvak Druten (stroomopwaarts)

Hoogte-metingen in raai 3 volgens data in legenda

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



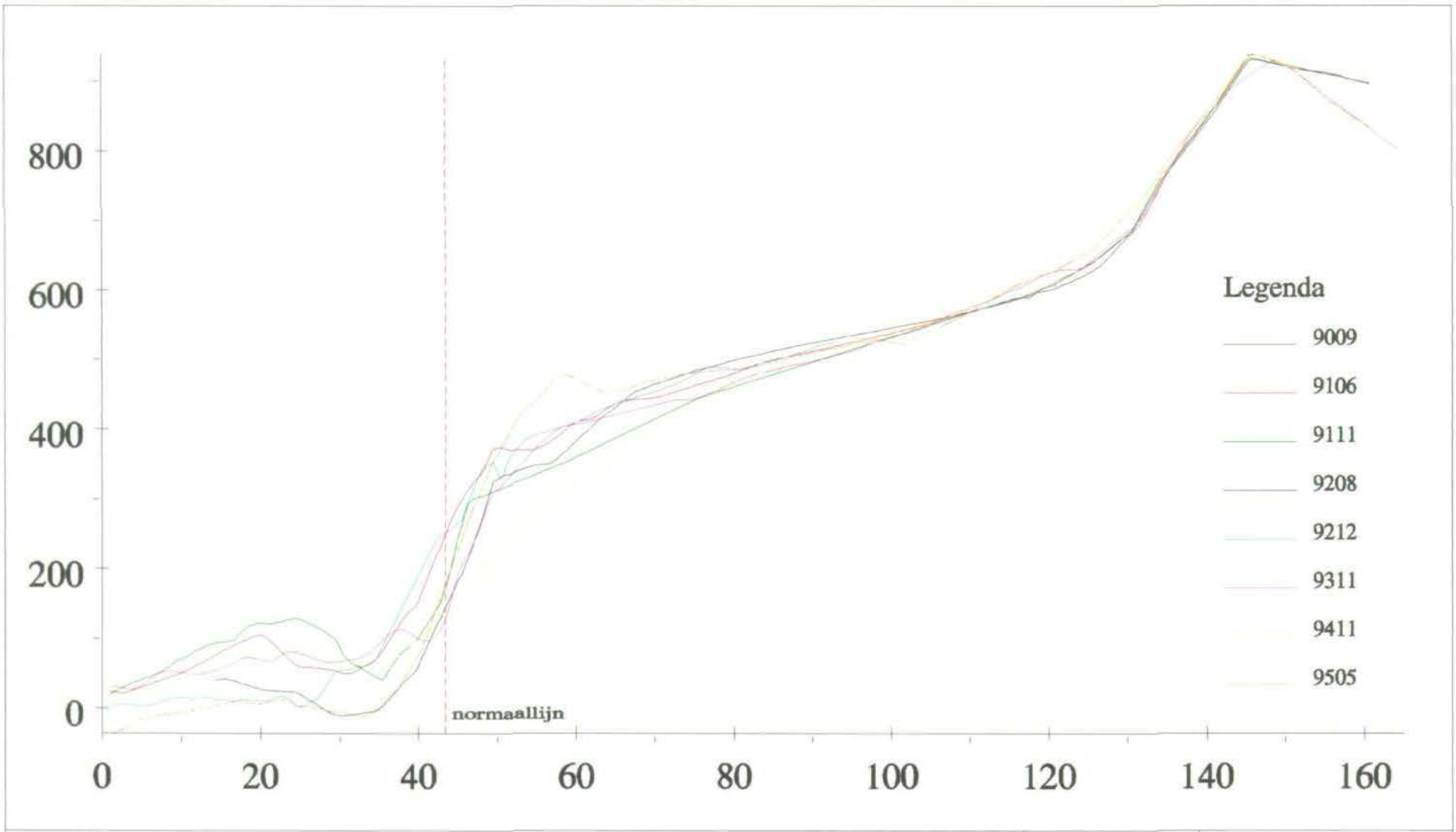
Hoogte-profielen kribvak Druten (stroomafwaarts)

Hoogte-metingen in raai 4 volgens data in legenda

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



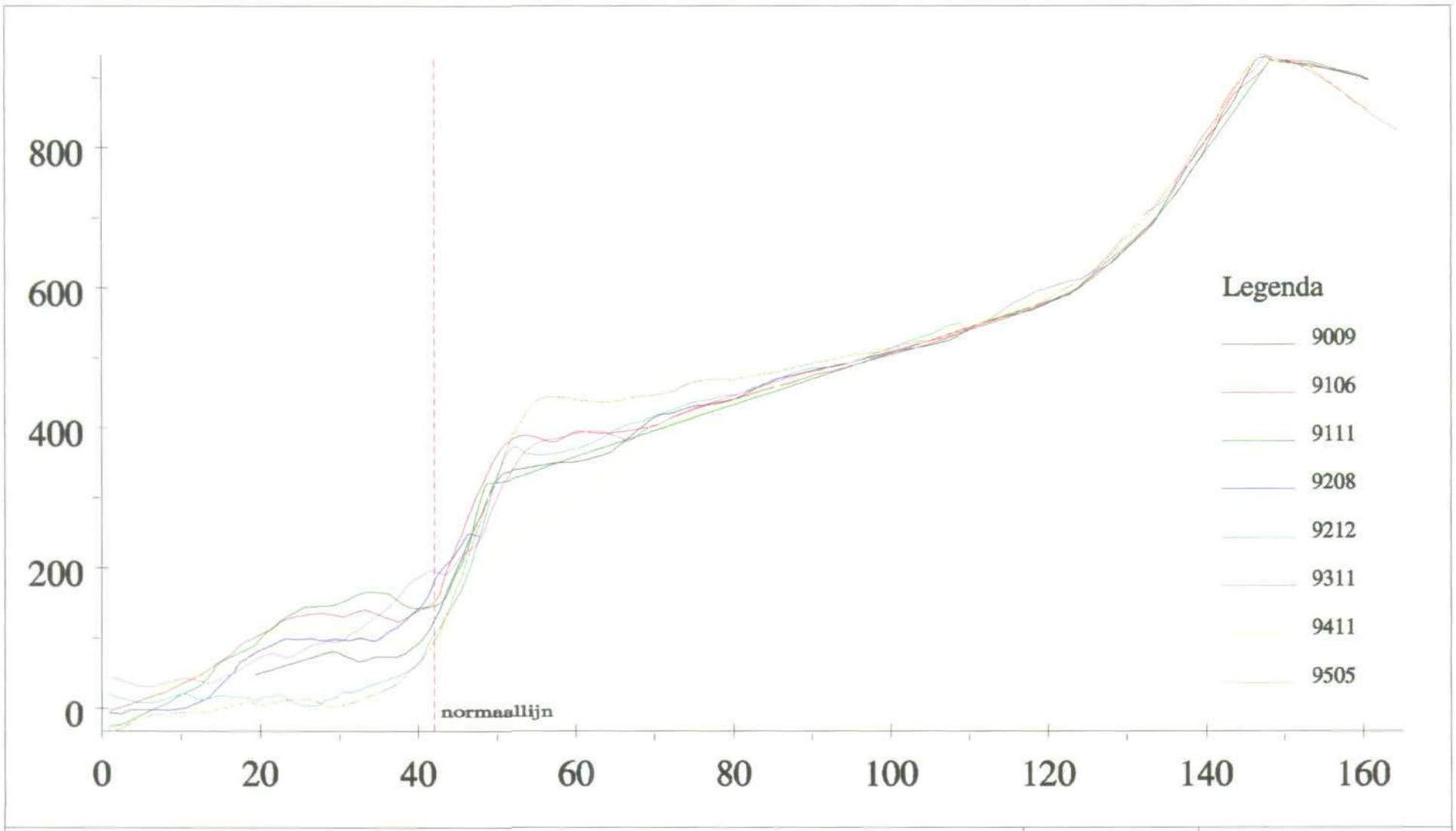
Hoogte-profielen kribvak Druten (stroomafwaarts)

Hoogte-metingen in raai 1 volgens data in legenda

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



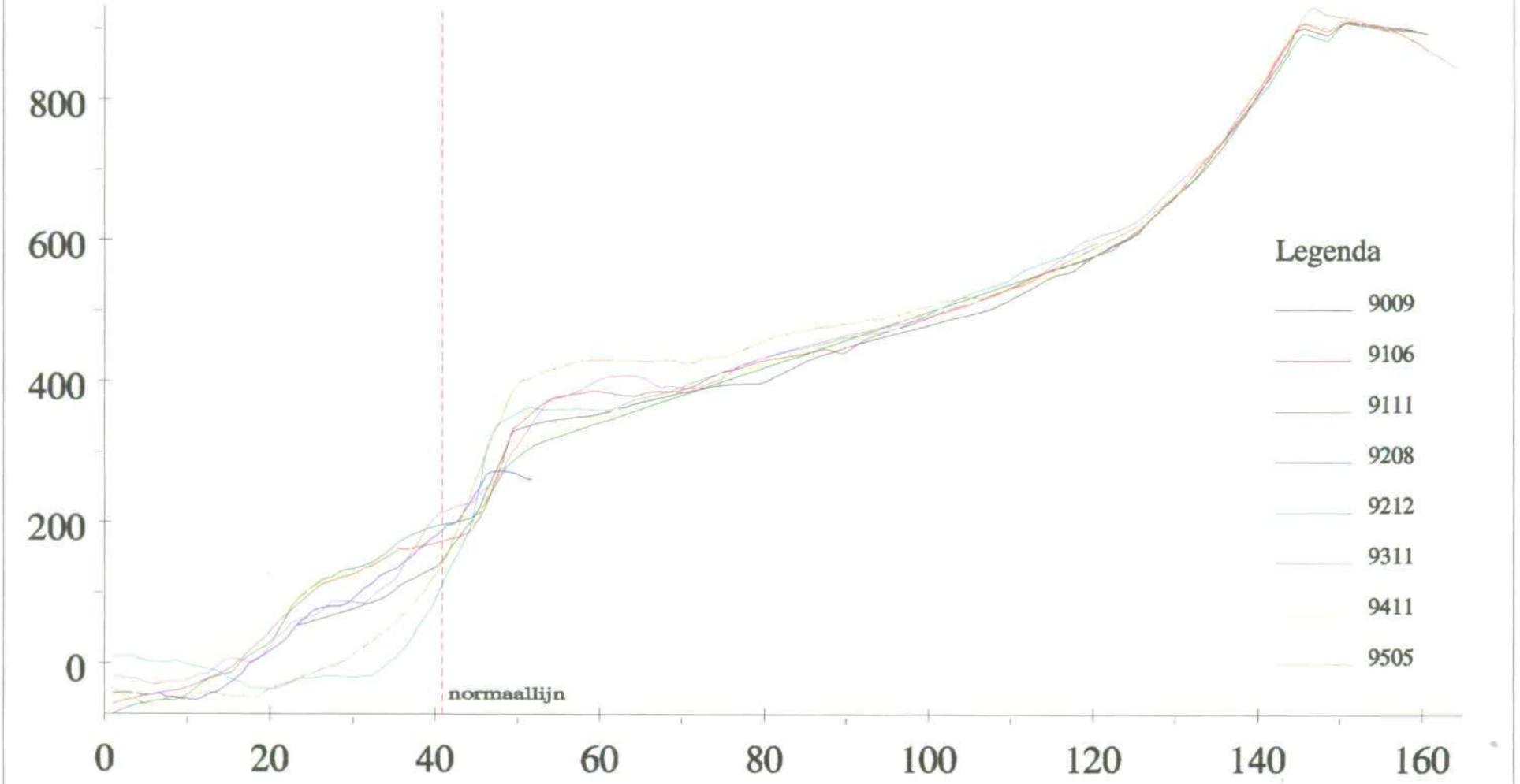
Hoogte-profielen kribvak Druten (stroomafwaarts)

Hoogte-metingen in raai 2 volgens data in legenda

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



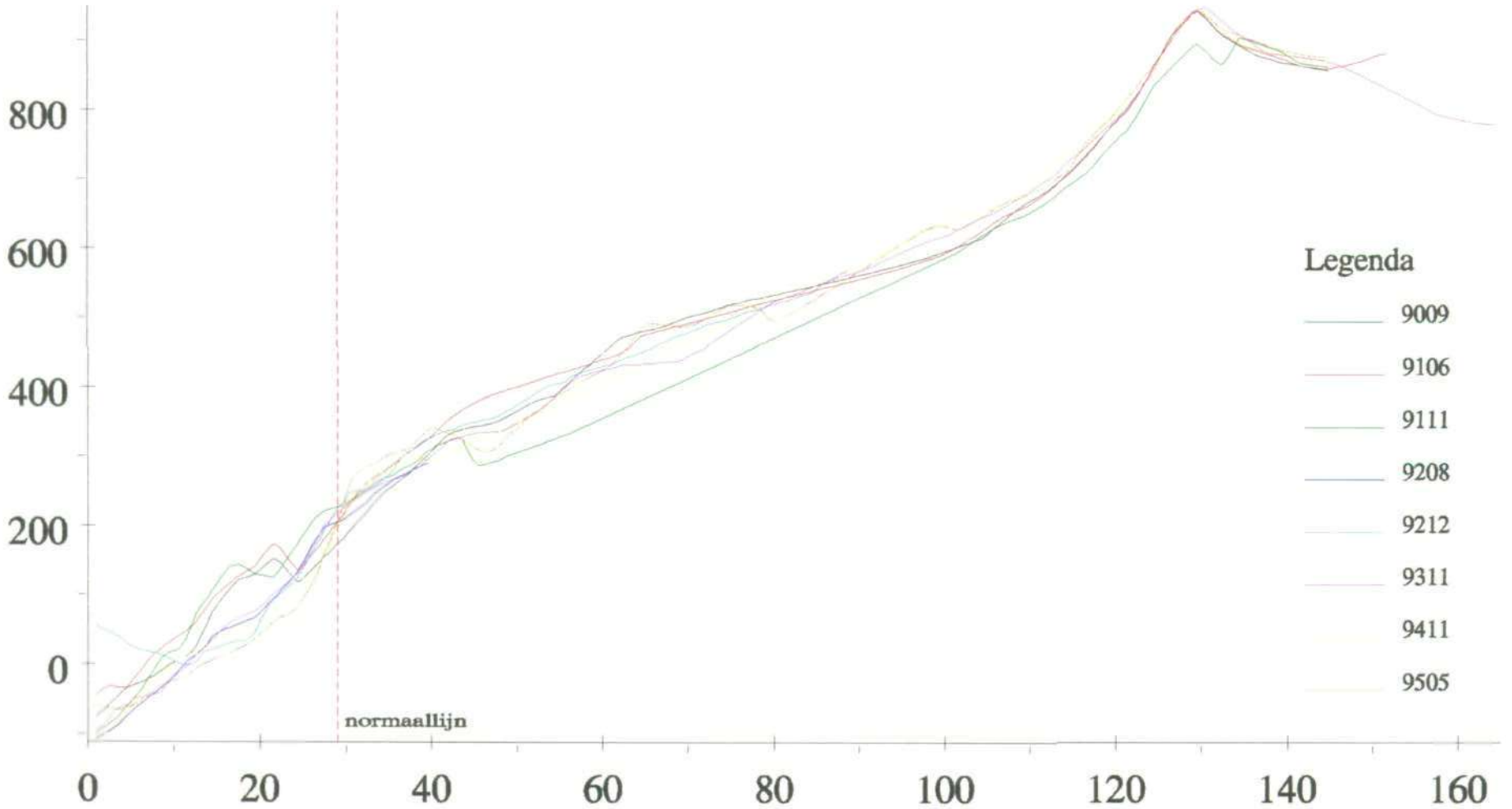
Hoogte-profielen kribvak Druten (stroomafwaarts)

Hoogte-metingen in raai 3 volgens data in legenda

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



Hoogte-profielen kribvak Druten (stroomopwaarts)

Hoogte-metingen in raai 4 volgens data in legenda

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA

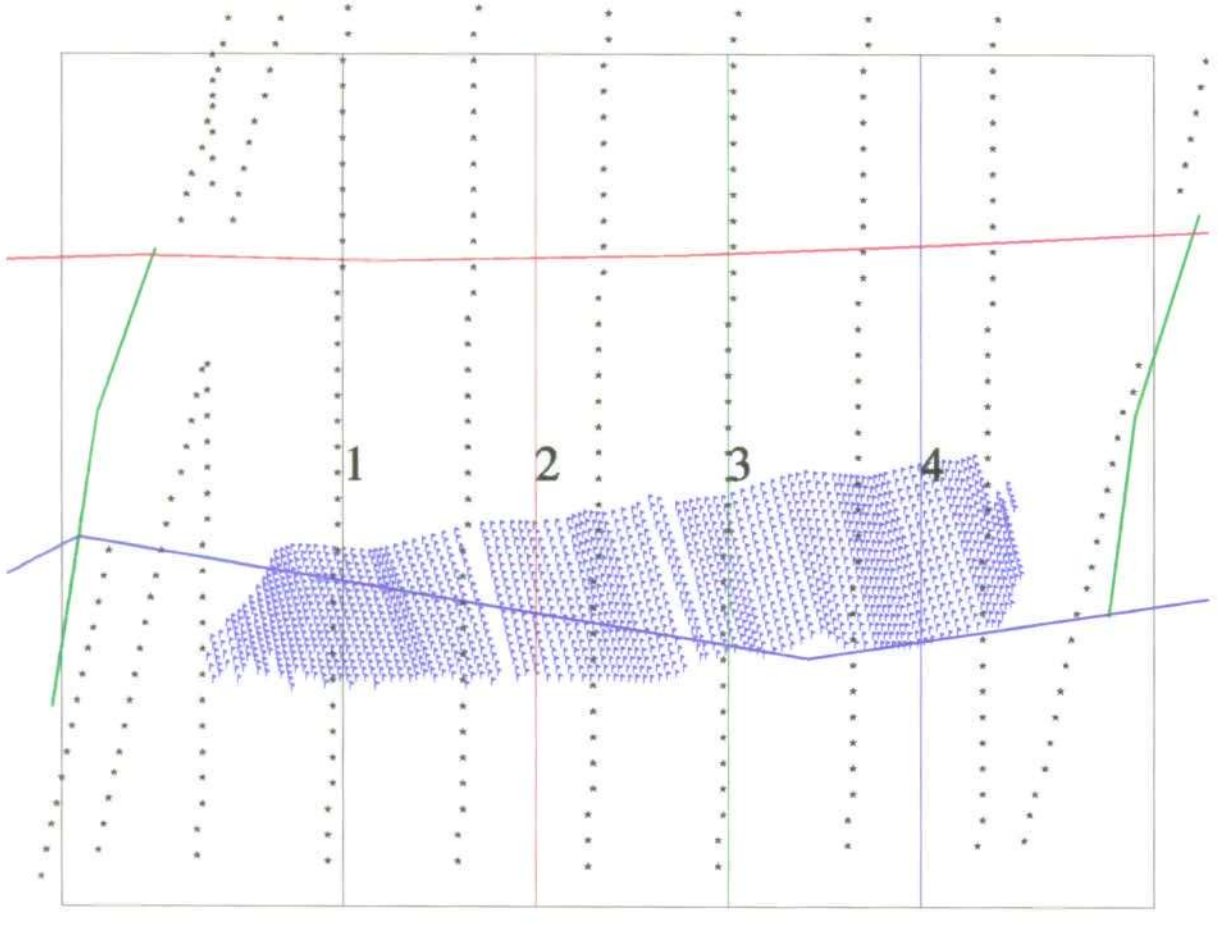
bijlage 5: Meetresultaten Druten

5a: profielen 1990 t/m 1995

5b: overzicht figging van de profielen en meetpunten, 9106, 9311 en 9505.

5c: verschilkaarten 1991, 1993 en 1995

56



Legenda

- drwlgraai1
- drwlgraai2
- drwlgraai3
- drwlgraai4
- oeverlijn
- kribben
- normaallijn

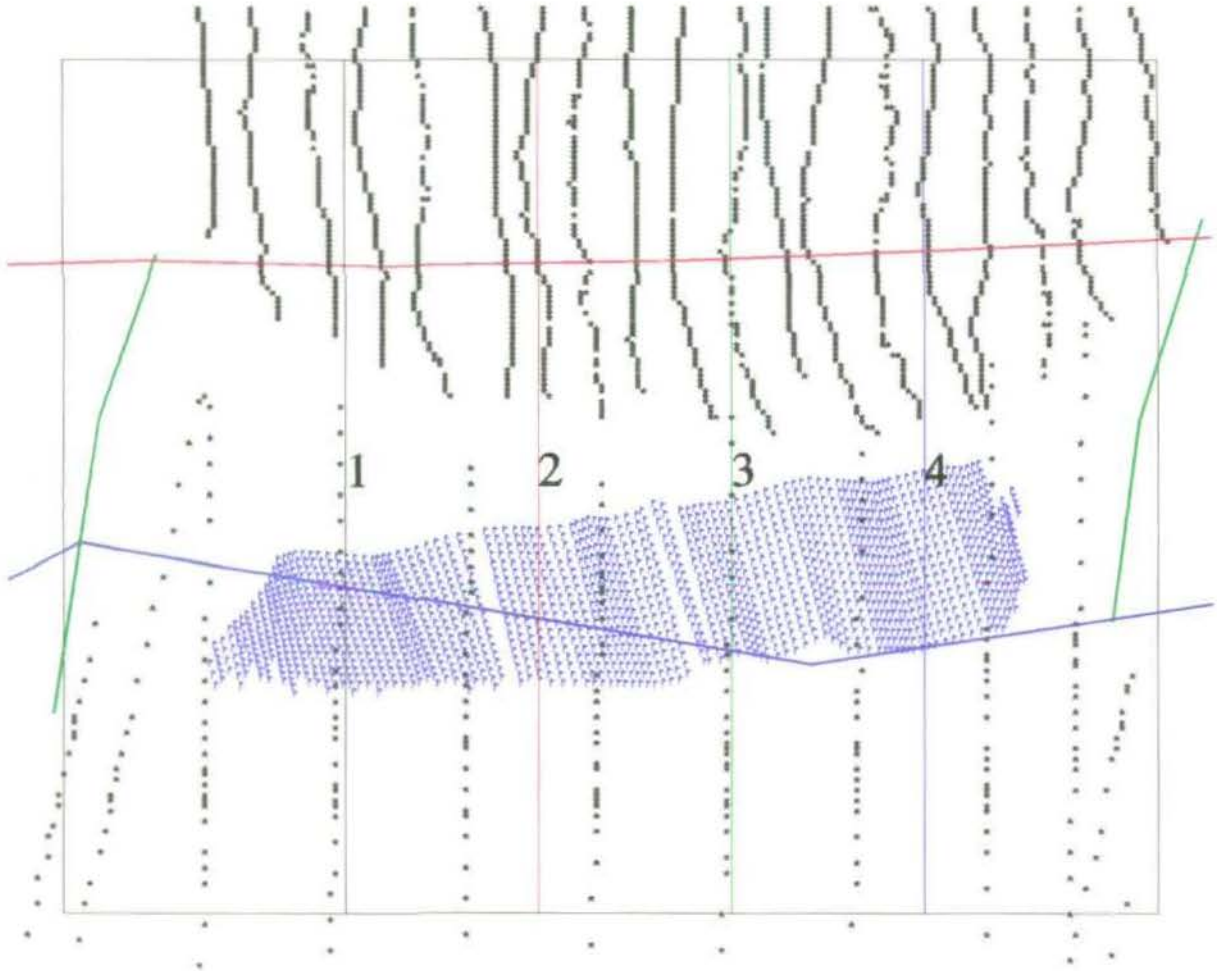
Overzicht kribvak Druten (met wilgen)

Dwarsprofiel-raaien in metingen van 9106

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



Legenda

- drwlgraai1
- drwlgraai2
- drwlgraai3
- drwlgraai4
- oeverlijn
- kribben
- normaallijn

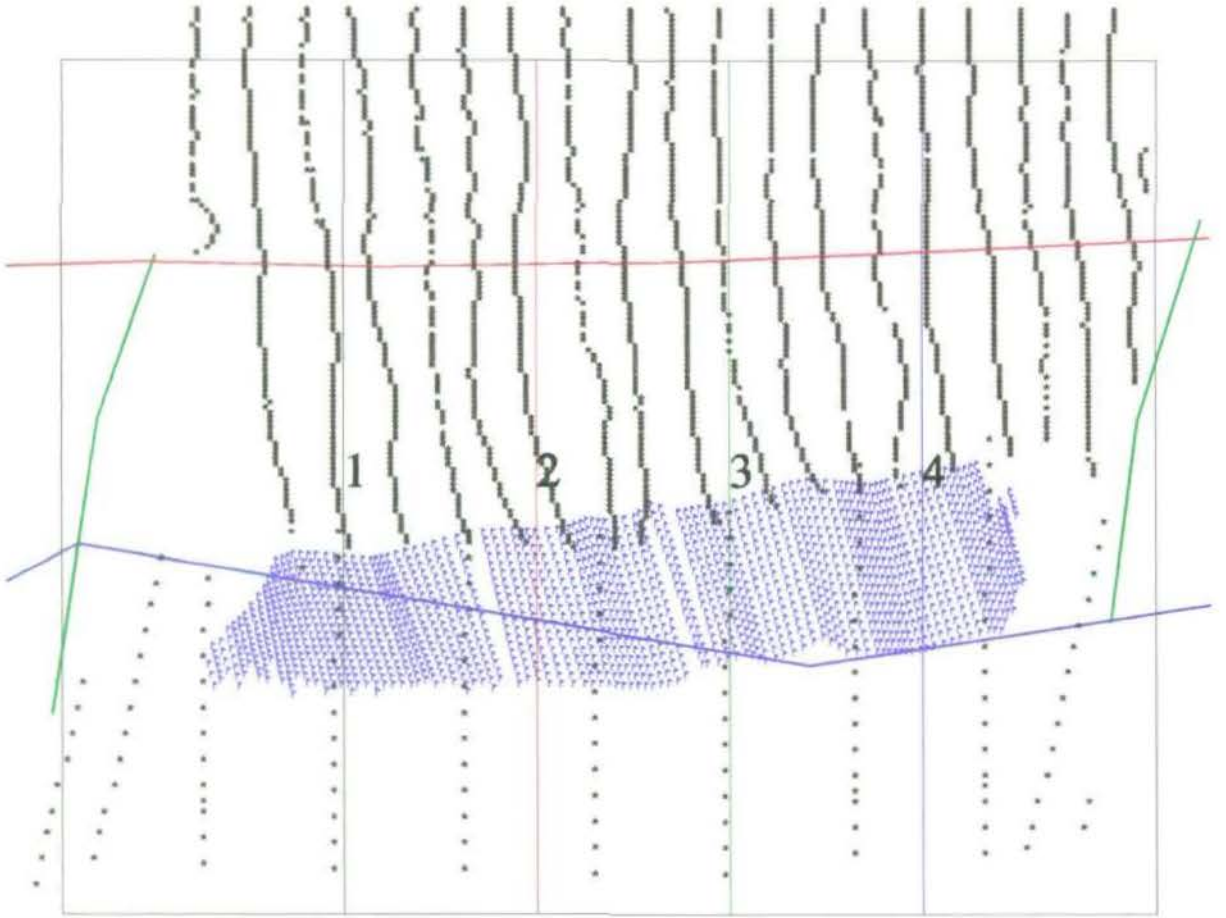
Overzicht kribvak Druten (met wilgen)

Dwarsprofiel-raaien in meetjaren van 9311

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



Legenda

- graai1
- graai2
- graai3
- graai4
- oevellijn
- kribben
- rmaallijn

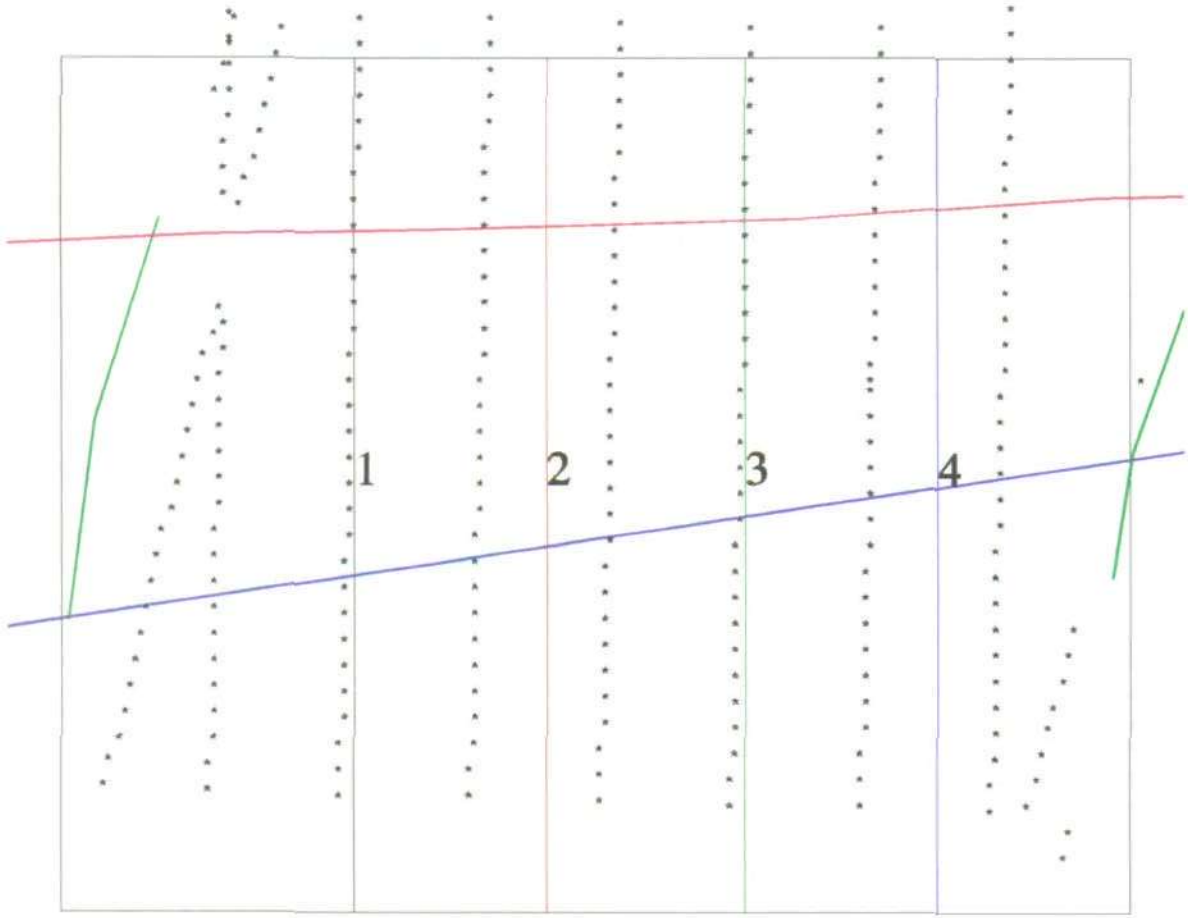
Overzicht kribvak Druten (met wilgen)

Dwarsprofiel-raaien in metingen van 9505

14 Mei 96

Rijkswaterstaat

RIZA



Legenda

- dropwraai1
- dropwraai2
- dropwraai3
- dropwraai4
- oeverlijn
- kribben
- normaallijn

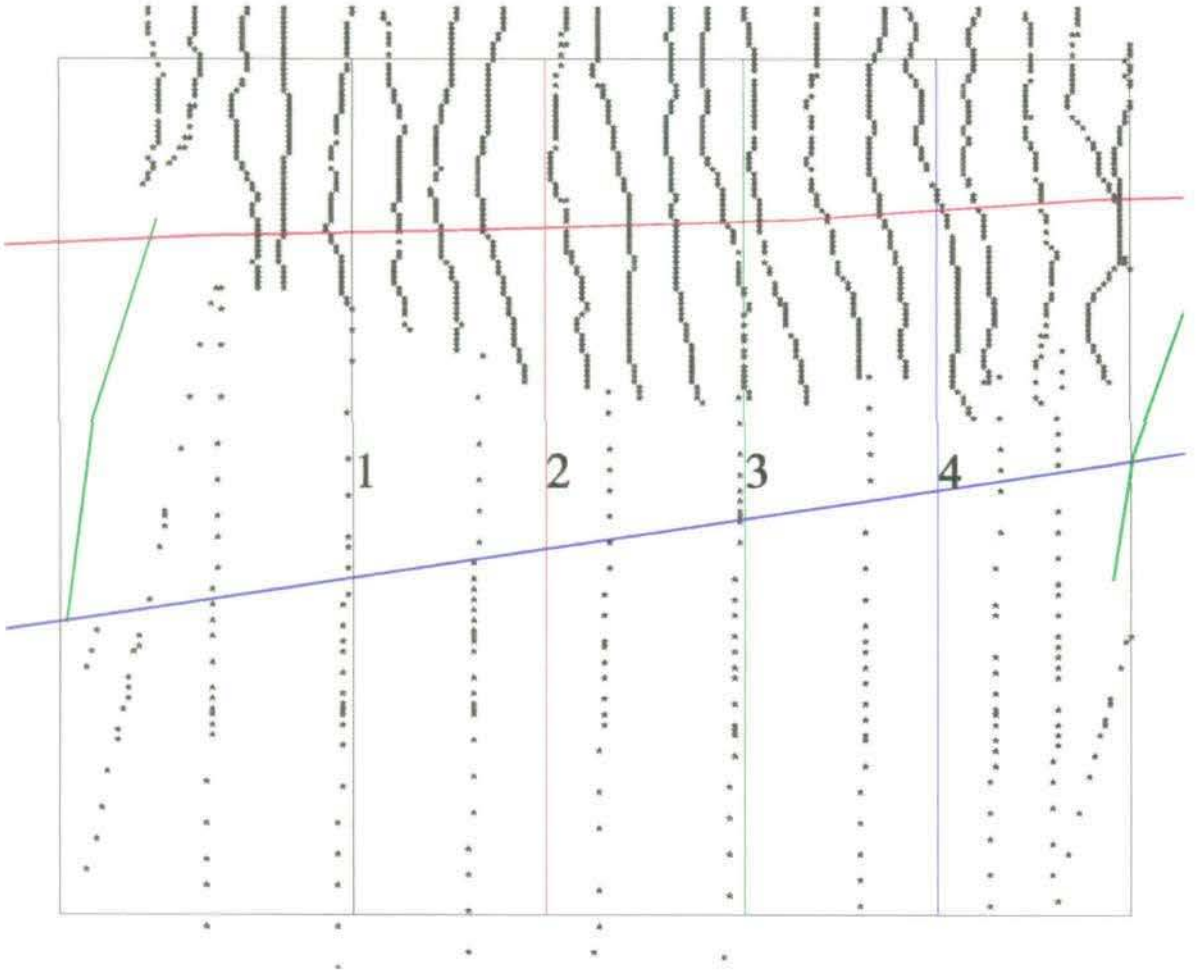
Overzicht kribvak Druten (stroomopwaarts)

Dwarsprofiel-raaien in metingen van 9106

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



Legenda

- dropwraai1
- dropwraai2
- dropwraai3
- dropwraai4
- oeverlijn
- kribben
- normaallijn

Overzicht kribvak Druten (stroomopwaarts)

Dwarsprofiel-raaien in metingen van 9311

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



Legenda

- dropwraai1
- dropwraai2
- dropwraai3
- dropwraai4
- oeverlijn
- kribben
- normaallijn

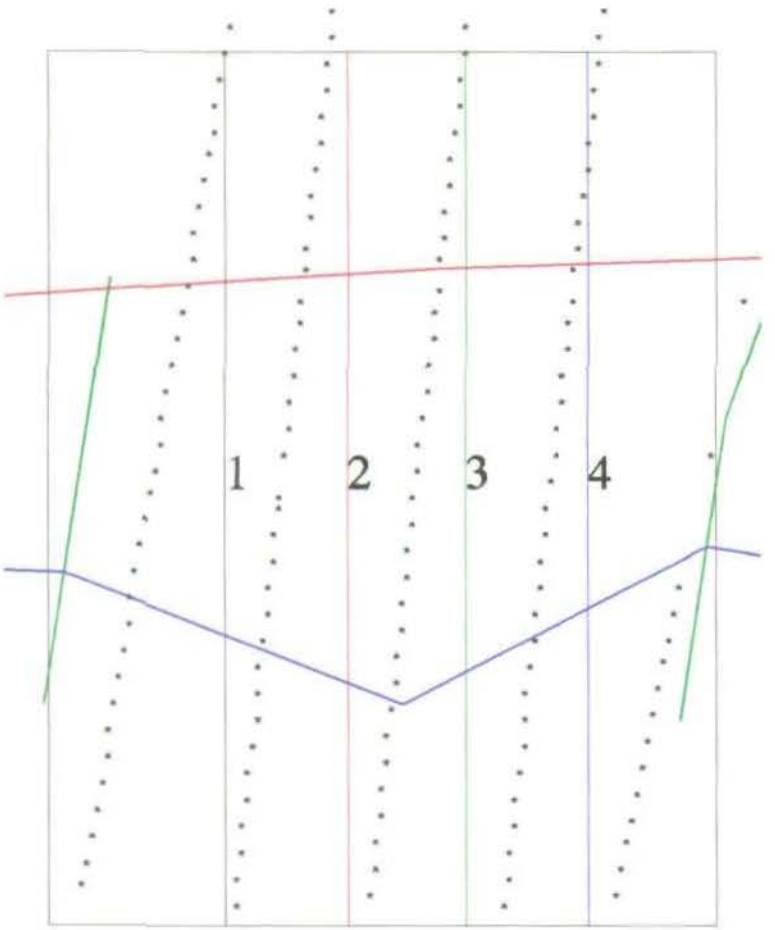
Overzicht kribvak Druten (stroomopwaarts)

Dwarsprofiel-raaien in metingen van 9505

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



Legenda

- drafwraai1
- drafwraai2
- drafwraai3
- drafwraai4
- overlijn
- kribben
- normaallijn

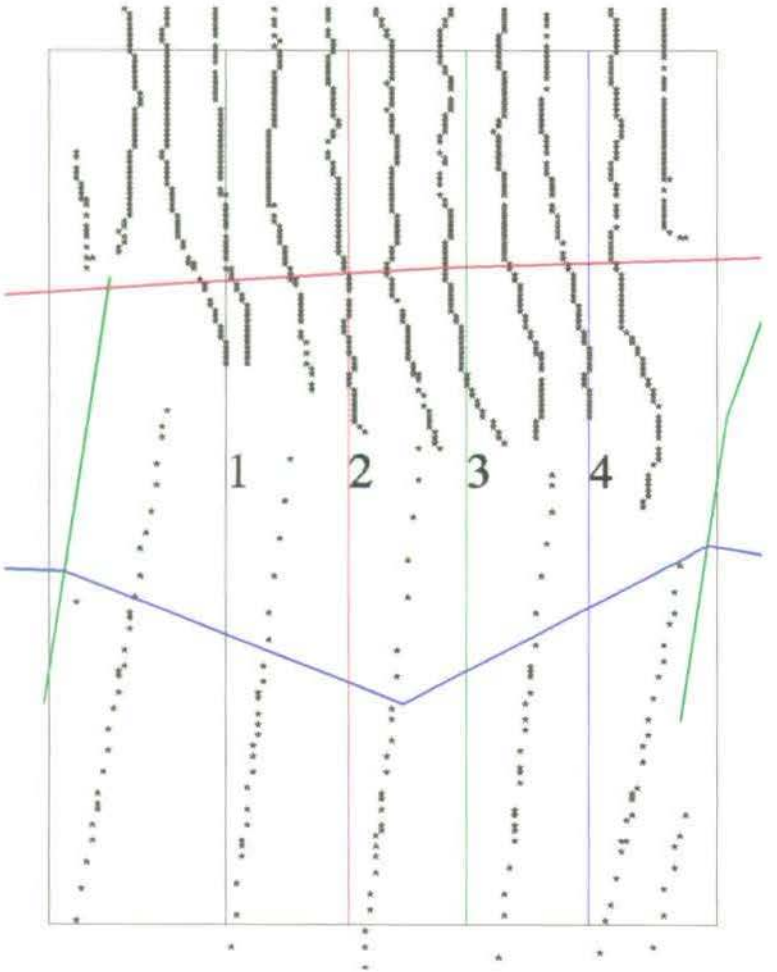
Overzicht kribvak Druten (stroomafwaarts)

Dwarsprofiel-raaien in metingen van 9106

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



Legenda

drafwraaill

drafwraai2

drafwraai3

drafwraai4

oe[illegible]

kr[illegible]

no[illegible]llijn

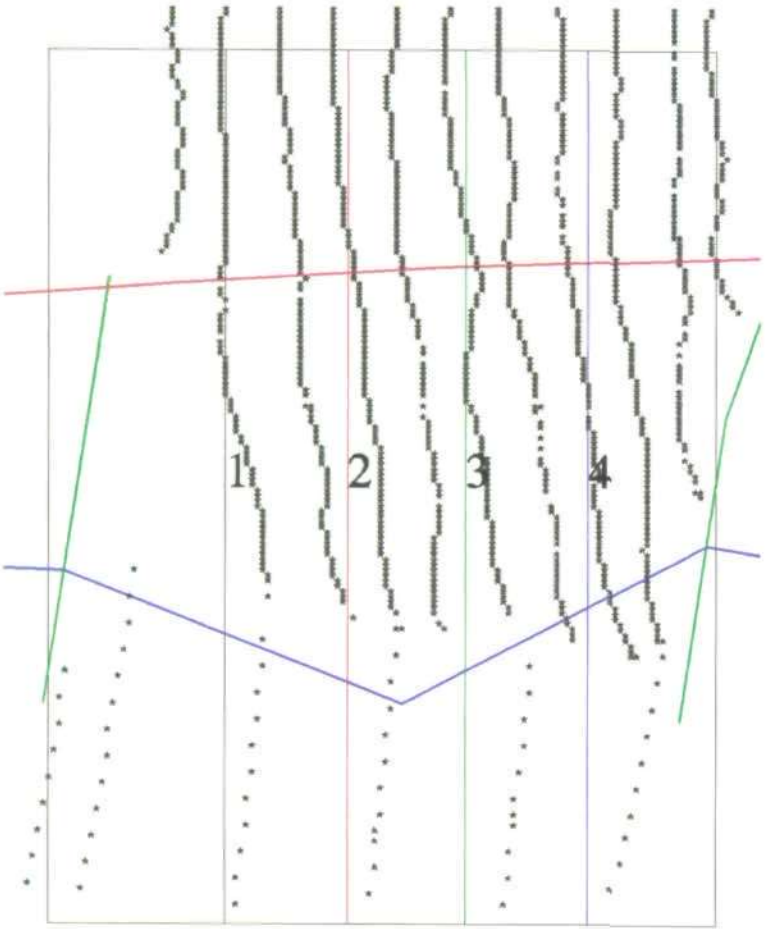
Overzicht [illegible]vak Druten (stroomafwaarts)

Dwarsprofiel-raaien [illegible]n metingen van 9311

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



Legenda

- drafwraai1
- drafwraai2
- drafwraai3
- drafwraai4
- oeverlijn
- kribben
- normaallijn

Overzicht kribvak Druten (stroomafwaarts)

Dwarsprofiel-raaien in metingen van 9505

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA

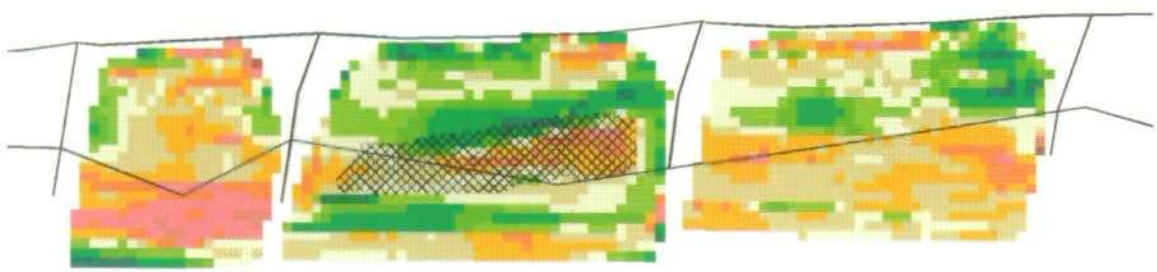
bijlage 5: Meetresultaten Druten

5a: profielen 1990 t/m 1995

5b: overzicht figging van de profielen en meetpunten, 9106, 9311 en 9505.

5c: verschilkaarten 1991, 1993 en 1995





kribvak afwaarts kribvak met wilgen kribvak opwaarts

N

Legenda

VERLAGING in cm :

- < -200
- -200 - -150
- -150 - -100
- -100 - -70
- -70 - -50
- -50 - -30
- -30 - -20
- -20 - -10
- -10 - 0

VERHOGING in cm :

- 0 - 10
- 10 - 20
- 20 - 30
- 30 - 50
- 50 - 70
- 70 - 100
- 100 - 150
- 150 - 200
- > 200
- wilgenlocatie

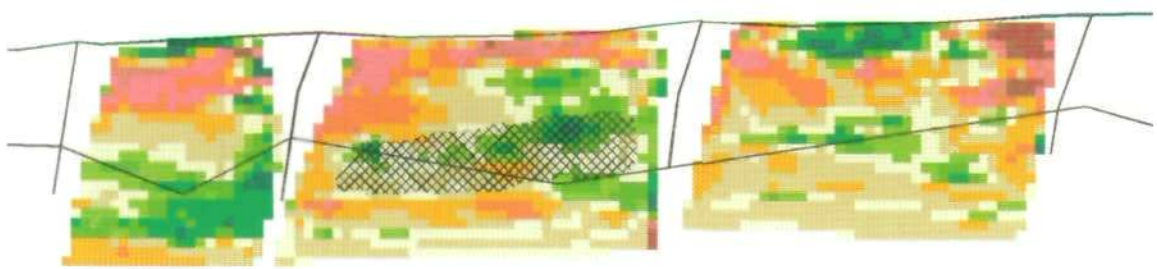
Waal bij Druten

Verschilkaart bodemligging : 9311 - 9106

Gemiddelde verandering : 10 -9 0 cm

Rijkswaterstaat

RIZA



kribvak afwaarts kribvak met wilgen kribvak opwaarts

N

Legenda

VERLAGING in cm :

- < -200
- -200 - -150
- -150 - -100
- -100 - -70
- -70 - -50
- -50 - -30
- -30 - -20
- -20 - -10
- -10 - 0

VERHOGING in cm :

- 0 - 10
- 10 - 20
- 20 - 30
- 30 - 50
- 50 - 70
- 70 - 100
- 100 - 150
- 150 - 200
- > 200
- wilgenlocatie

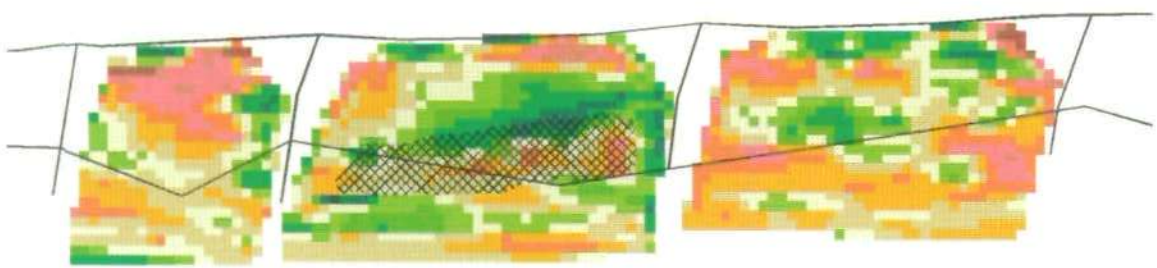
Waal bij Druten

Verschilkaart bodemligging : 9505 - 9311

Gemiddelde verandering : -4 4 6 cm

Rijkswaterstaat

RIZA



kribvak afwaarts kribvak met wilgen kribvak opwaarts

N

Legenda

VERLAGING in cm :

- < -200
- -200 - -150
- -150 - -100
- -100 - -70
- -70 - -50
- -50 - -30
- -30 - -20
- -20 - -10
- -10 - 0

VERHOGING in cm :

- 0 - 10
- 10 - 20
- 20 - 30
- 30 - 50
- 50 - 70
- 70 - 100
- 100 - 150
- 150 - 200
- > 200
- wilgenlocatie

Waal bij Druten

Verschilkaart bodemligging : 9505 - 9106

Gemiddelde verandering : 8 -6 6 cm

Rijkswaterstaat

RIZA

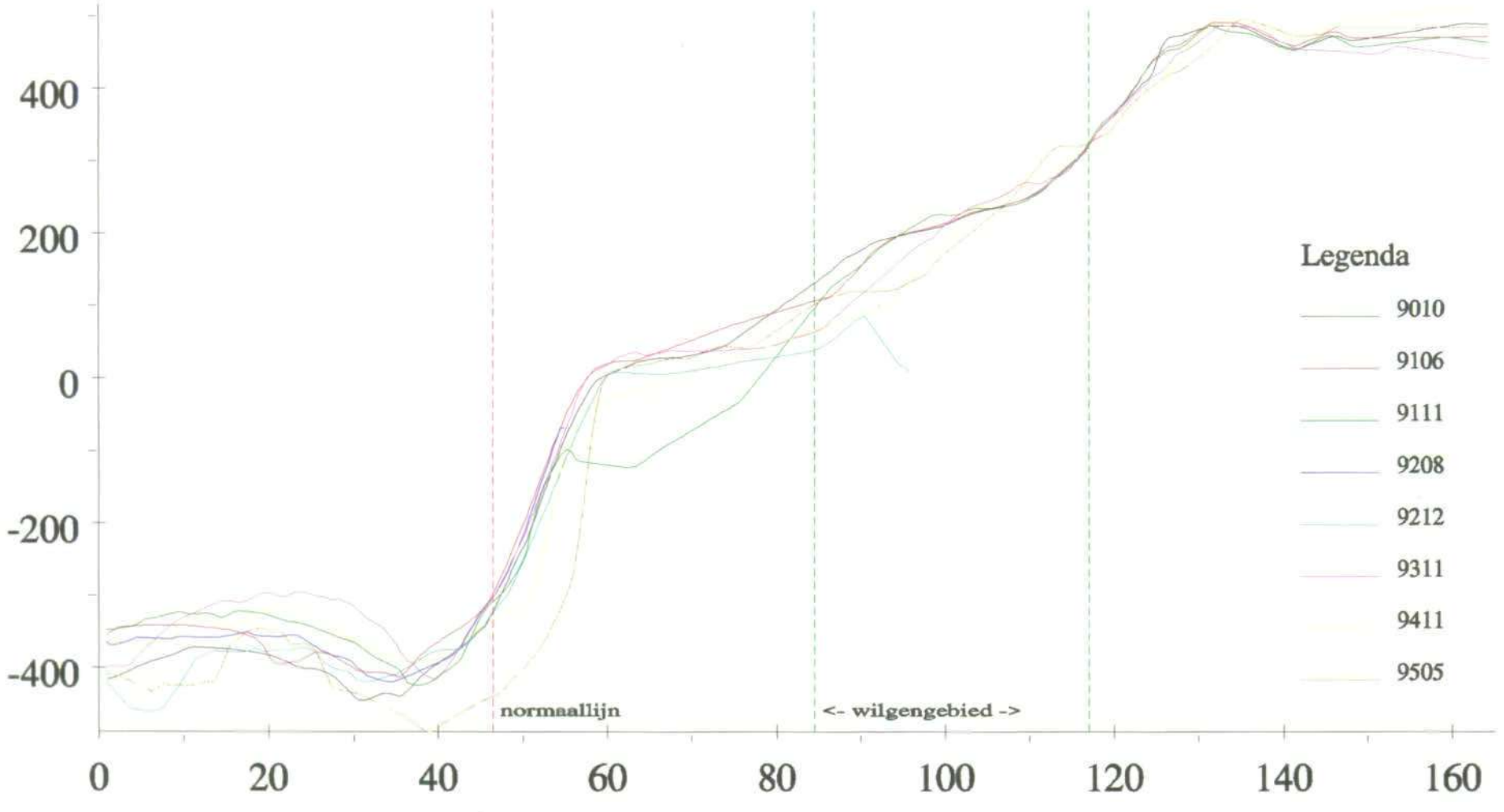
bijlage 6: Meetresultaten Gameren

6a: profielen 1990 t/m 1995

6b: overzicht figging van de profielen en meetpunten, 9106, 9311 en 9505.

6c: verschilkaarten 1991, 1993 en 1995

6A



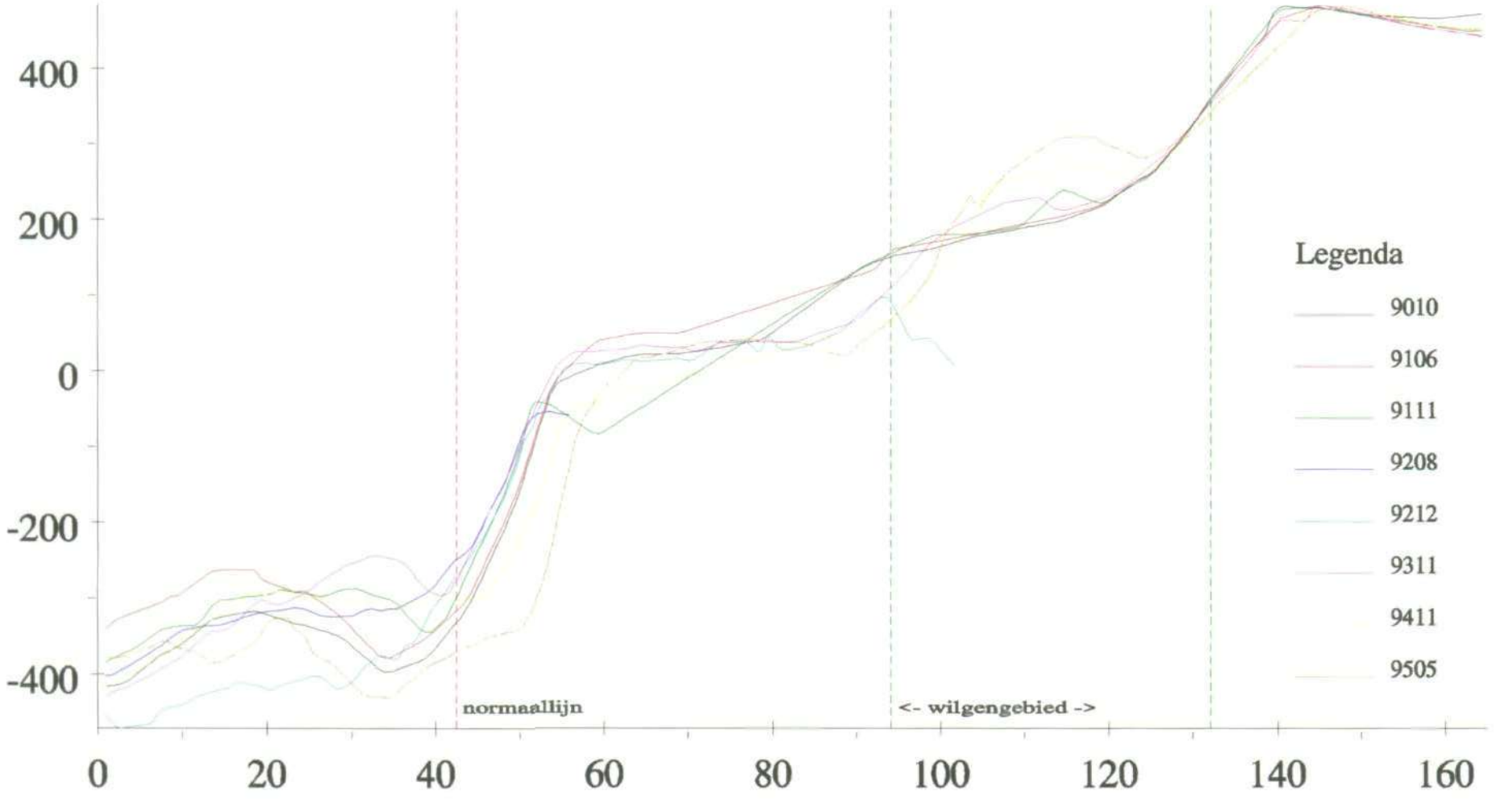
Hoogte-profielen kribvak Gameren (met wilgen)

Hoogte-metingen in raai 1 volgens data in legenda

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



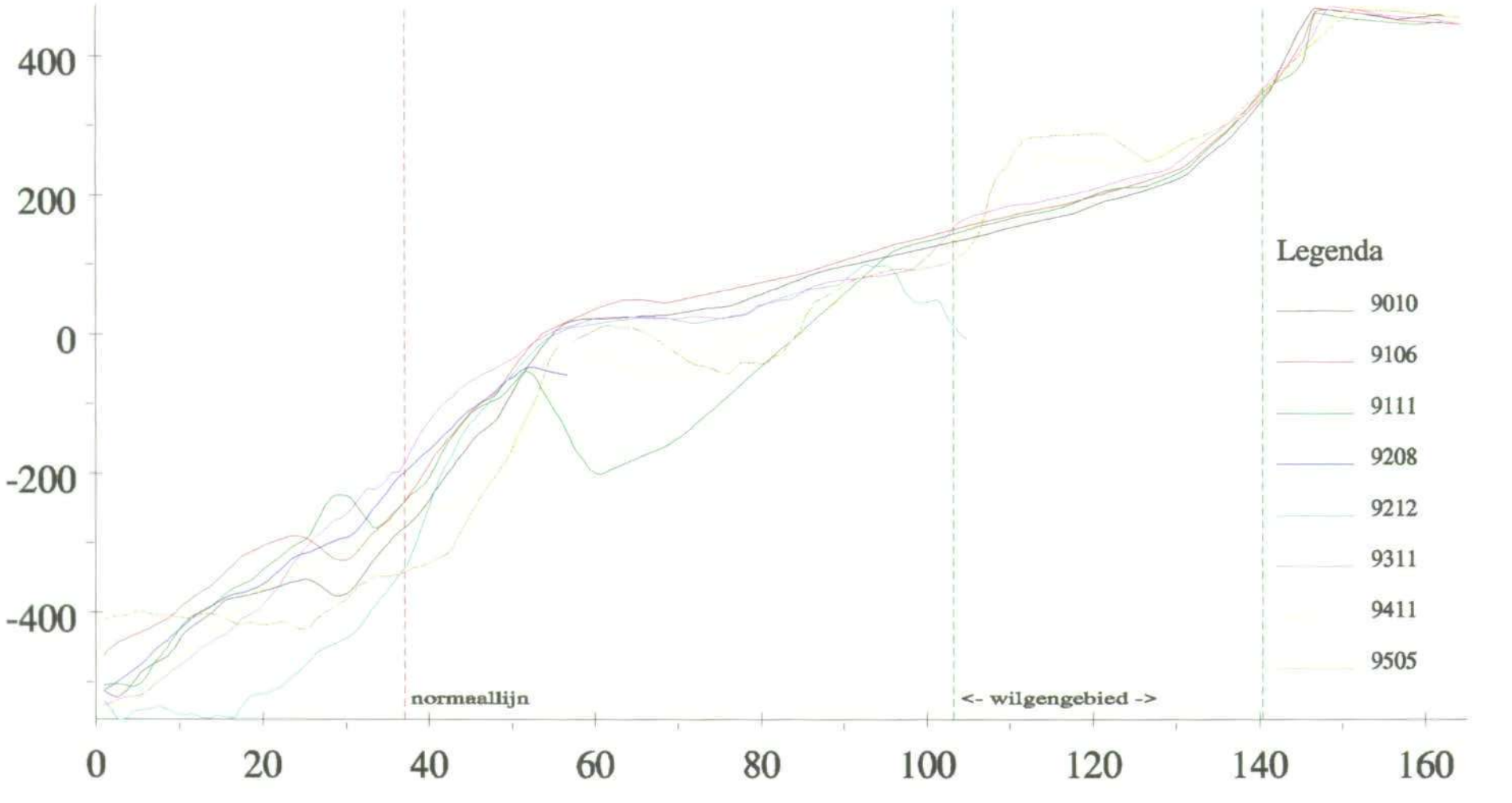
Hoogte-profielen kribvak Gameren (met wilgen)

Hoogte-metingen in raai 2 volgens data in legenda

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



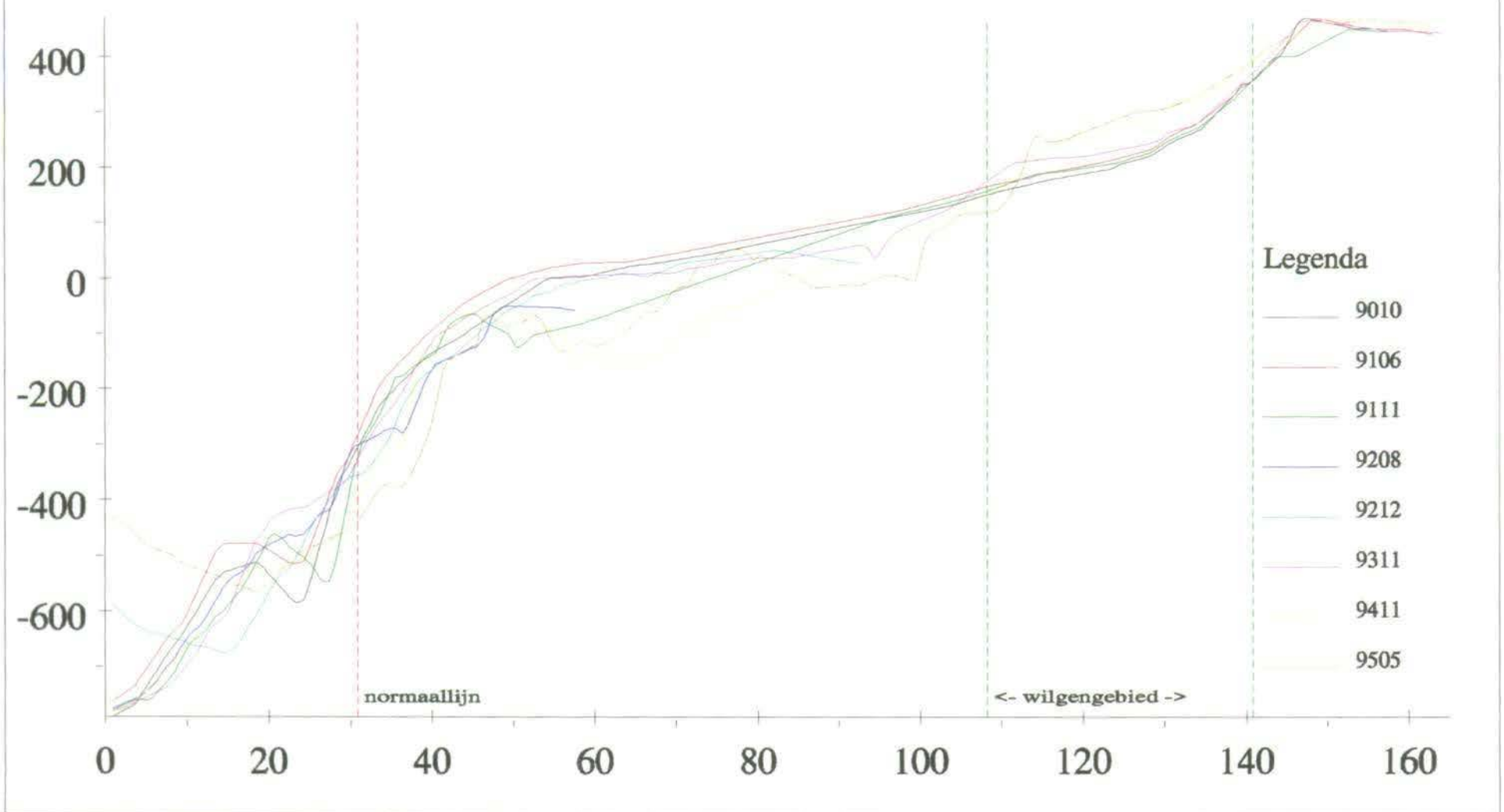
Hoogte-profielen kribvak Gameren (met wilgen)

Hoogte-metingen in raai 3 volgens data in legenda

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



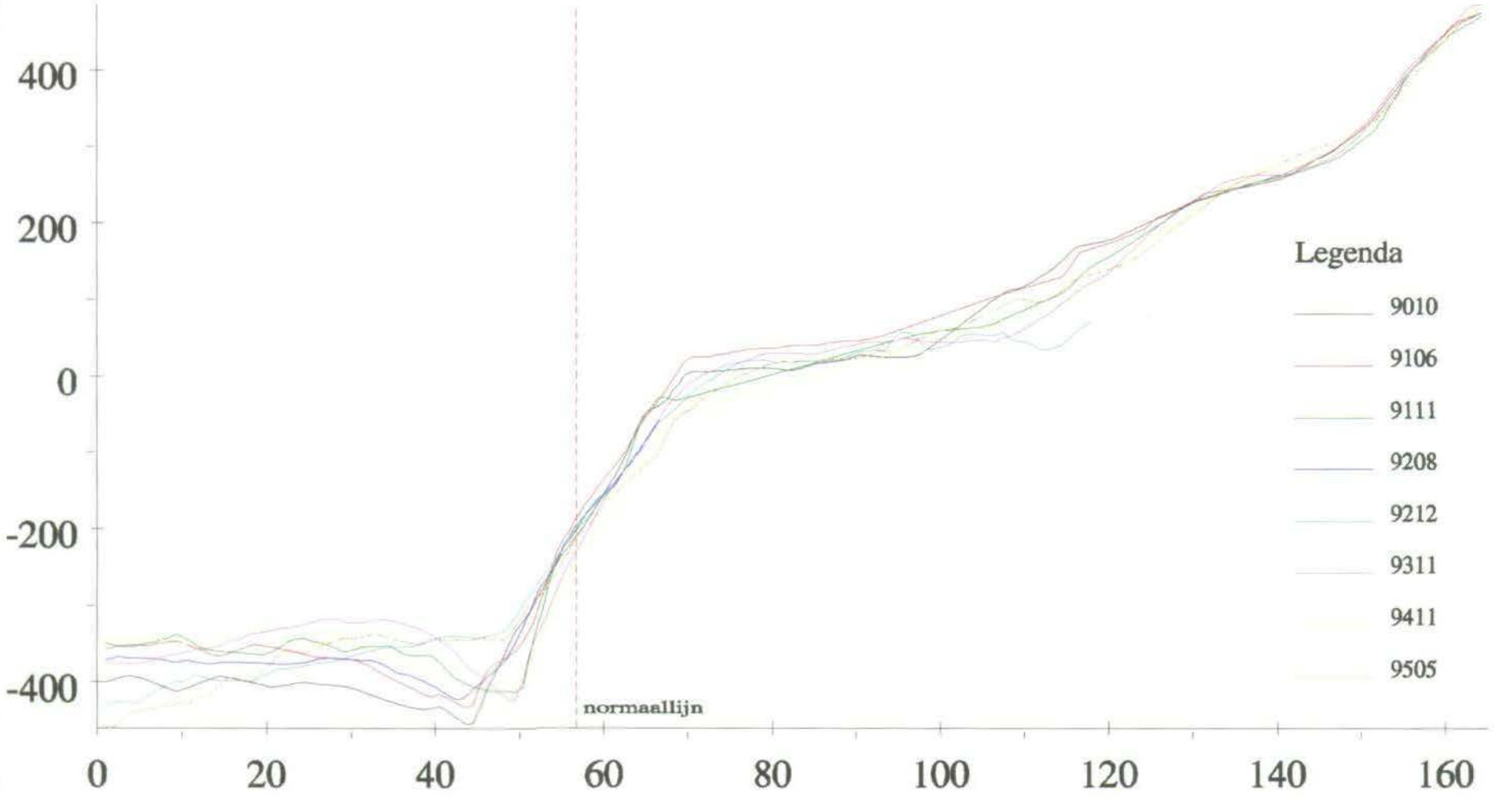
Hoogte-profielen kribvak Gameren (met wilgen)

Hoogte-metingen in raai 4 volgens data in legenda

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



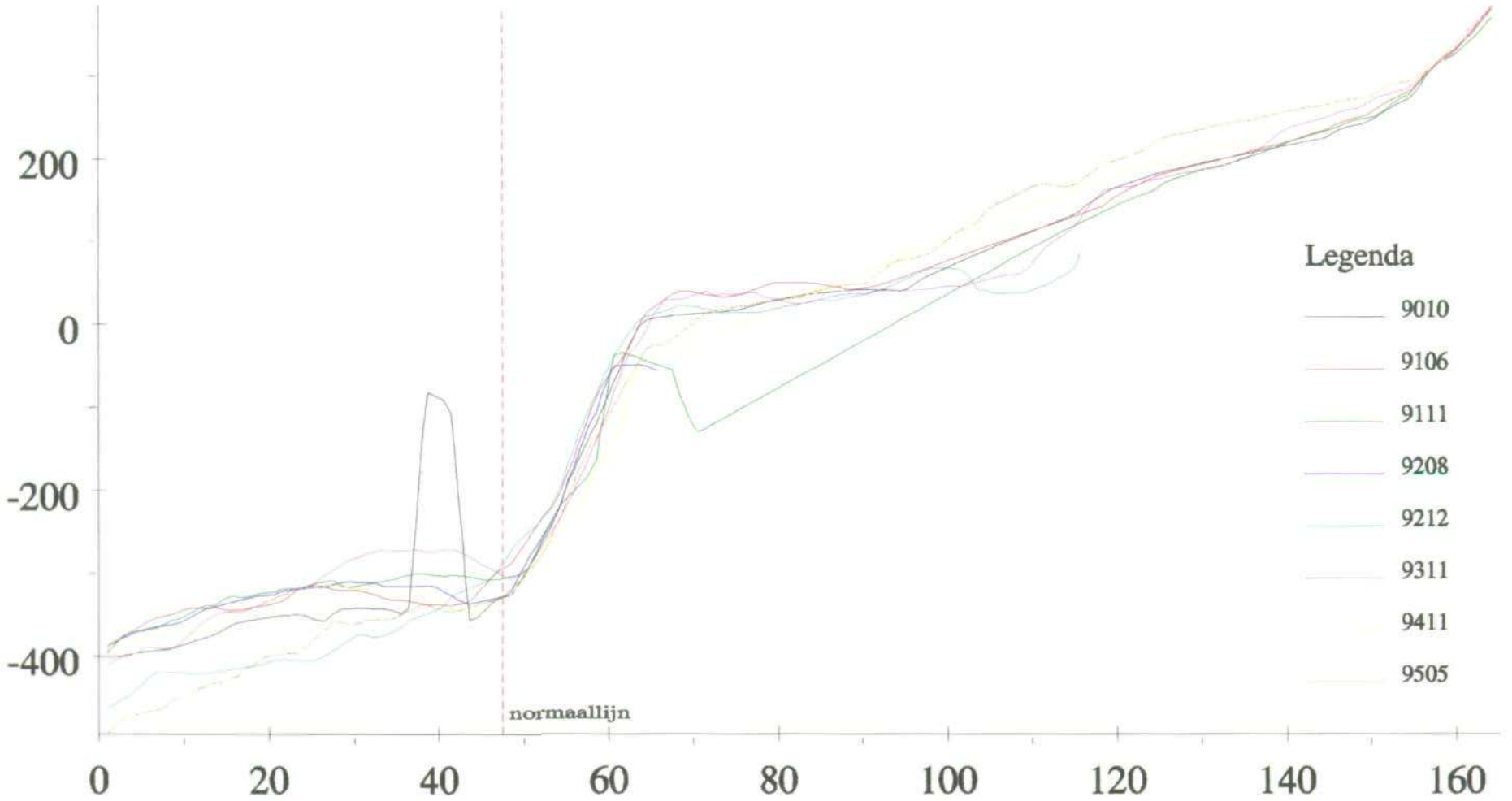
Hoogte-profielen kribvak Gameren (stroomopwaarts)

Hoogte-metingen in raai 1 volgens data in legenda

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



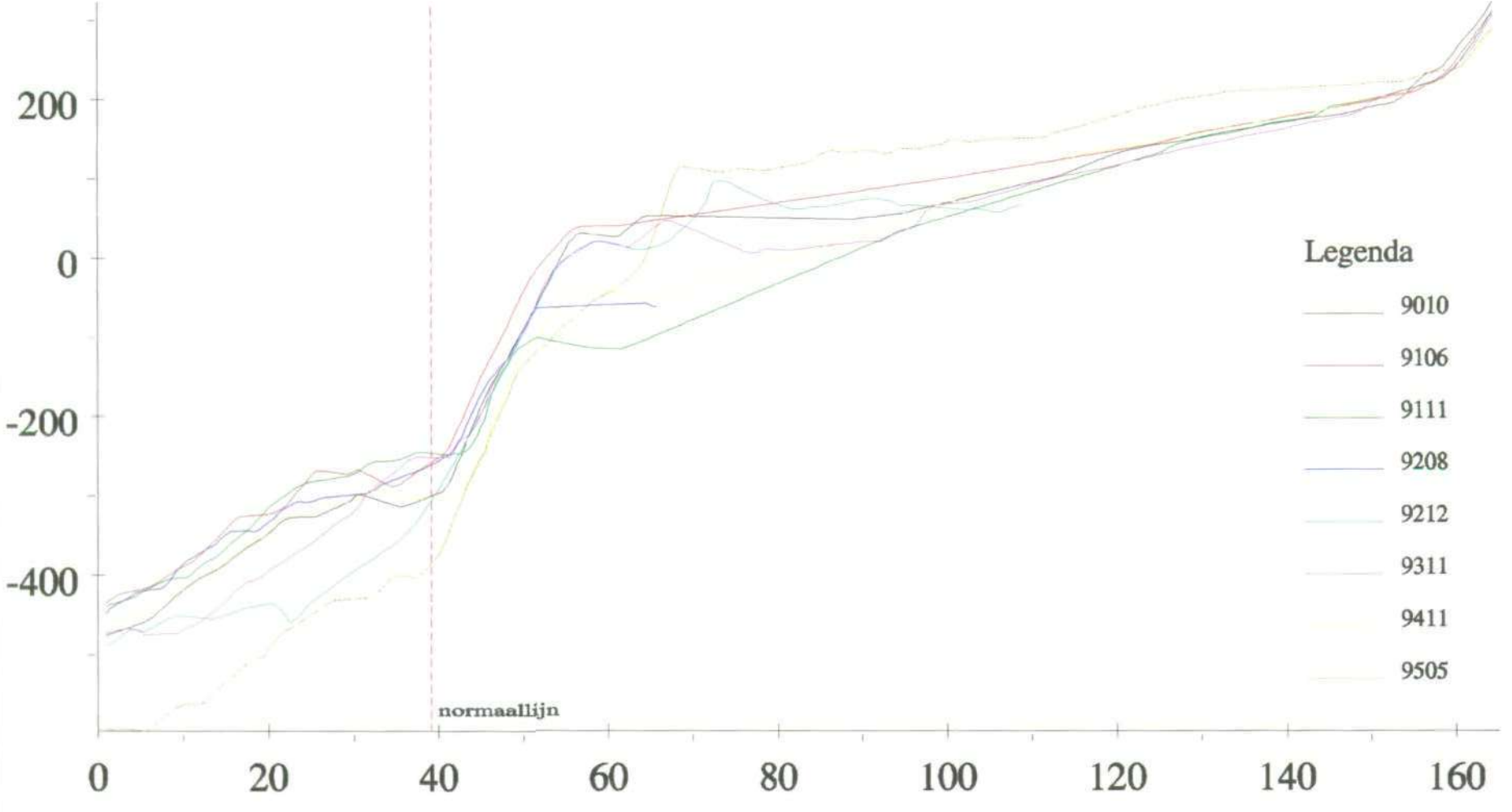
Hoogte-profielen kribvak Gameren (stroomopwaarts)

Hoogte-metingen in raai 2 volgens data in legenda

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



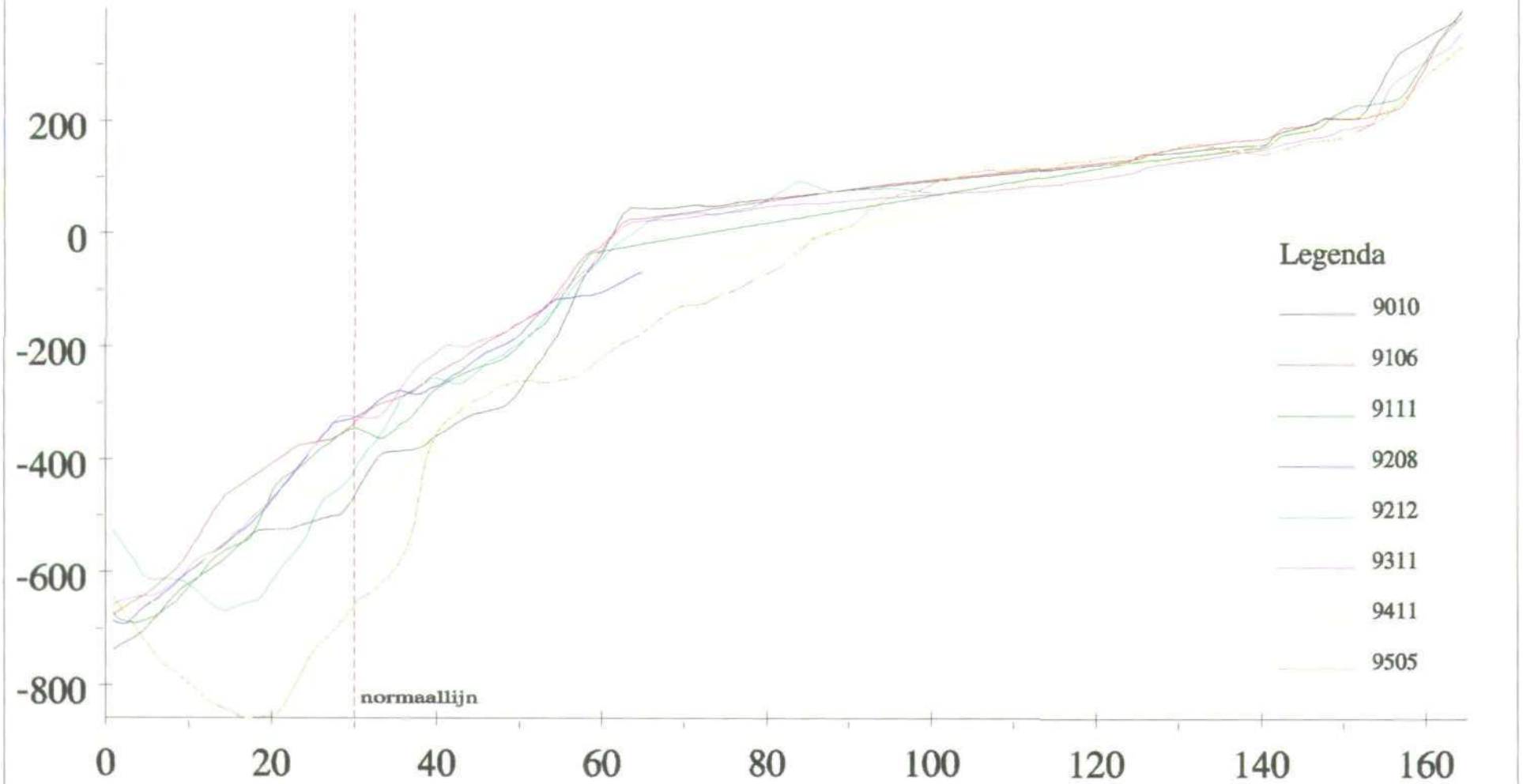
Hoogte-profielen kribvak Gameren (stroomopwaarts)

Hoogte-metingen in raai 3 volgens data in legenda

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



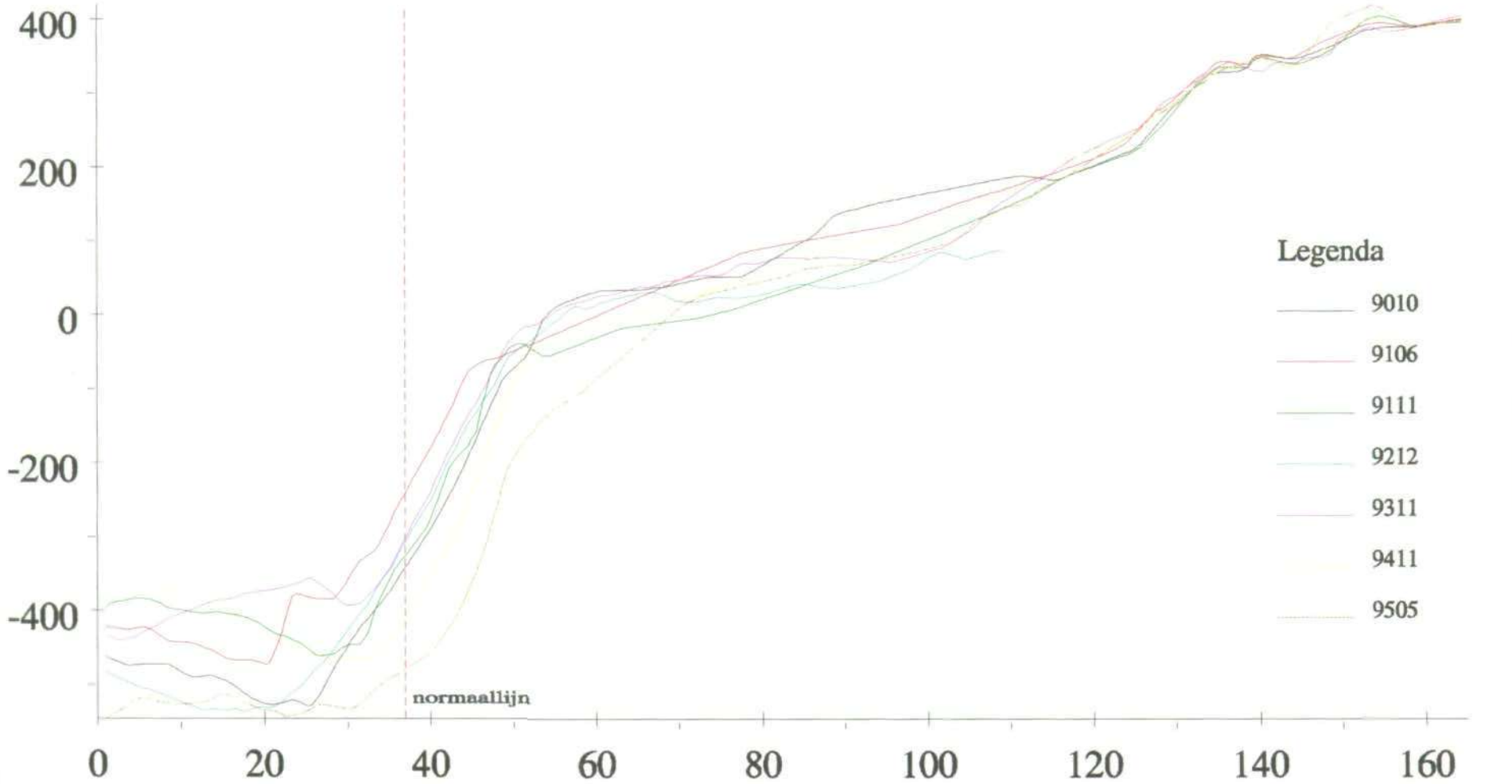
Hoogte-profielen kribvak Gameren (stroomopwaarts)

Hoogte-metingen in raai 4 volgens data in legenda

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



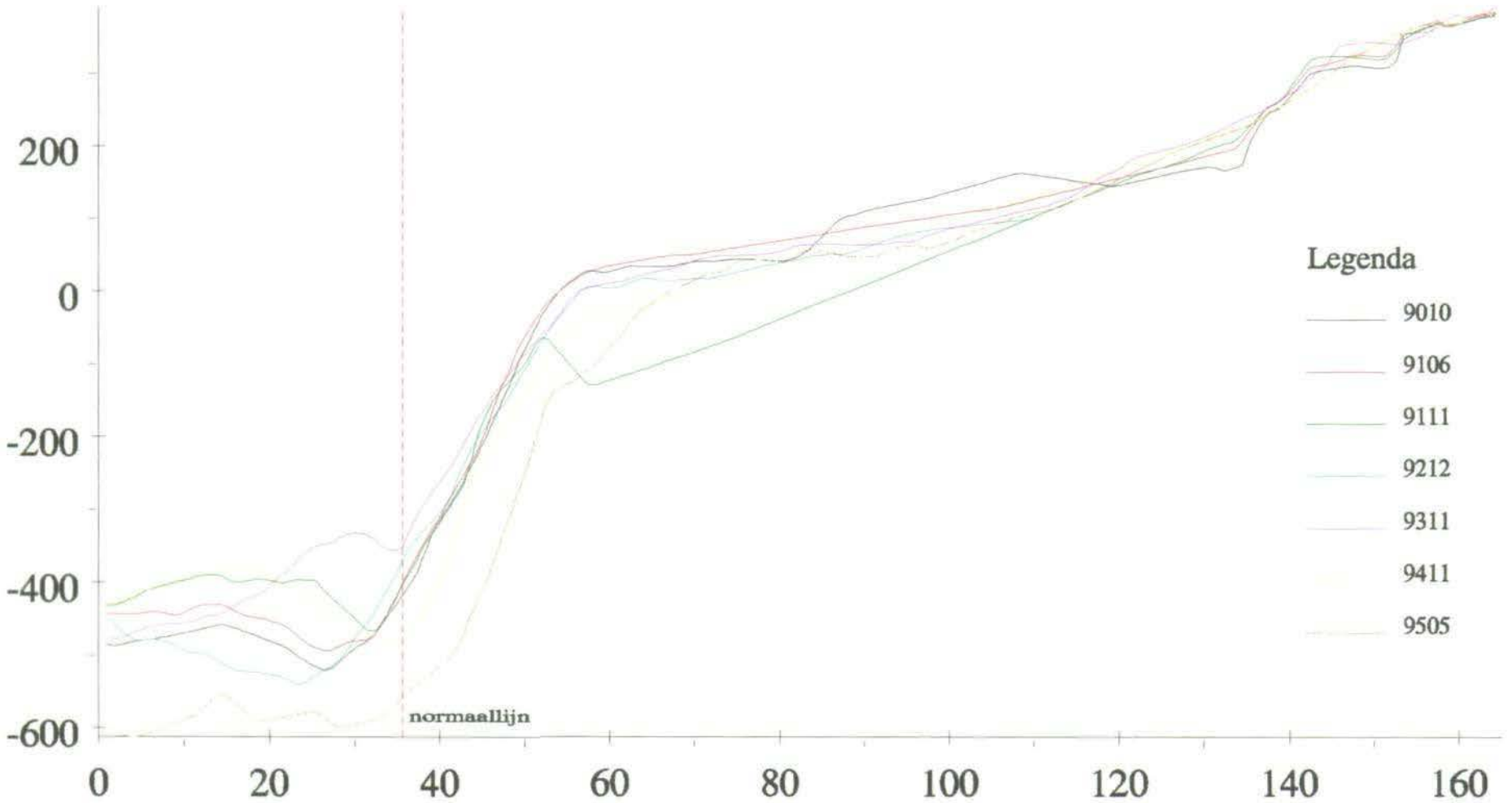
Hoogte-profielen kribvak Gameren (stroomafwaarts)

Hoogte-metingen in raai 1 volgens data in legenda

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



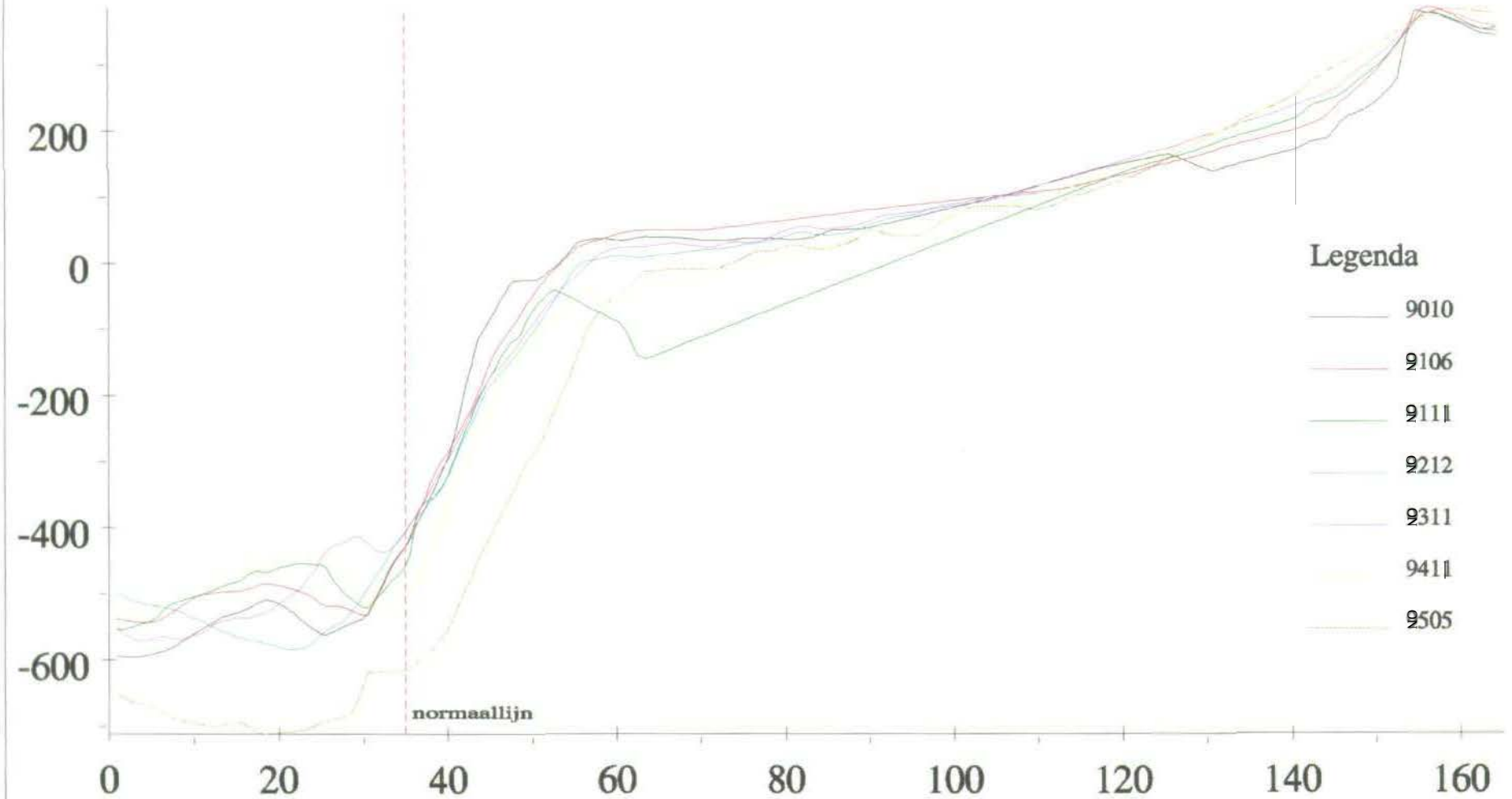
Hoogte-profielen kribvak Gameren (stroomafwaarts)

Hoogte-metingen in raai 2 volgens data in legenda

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



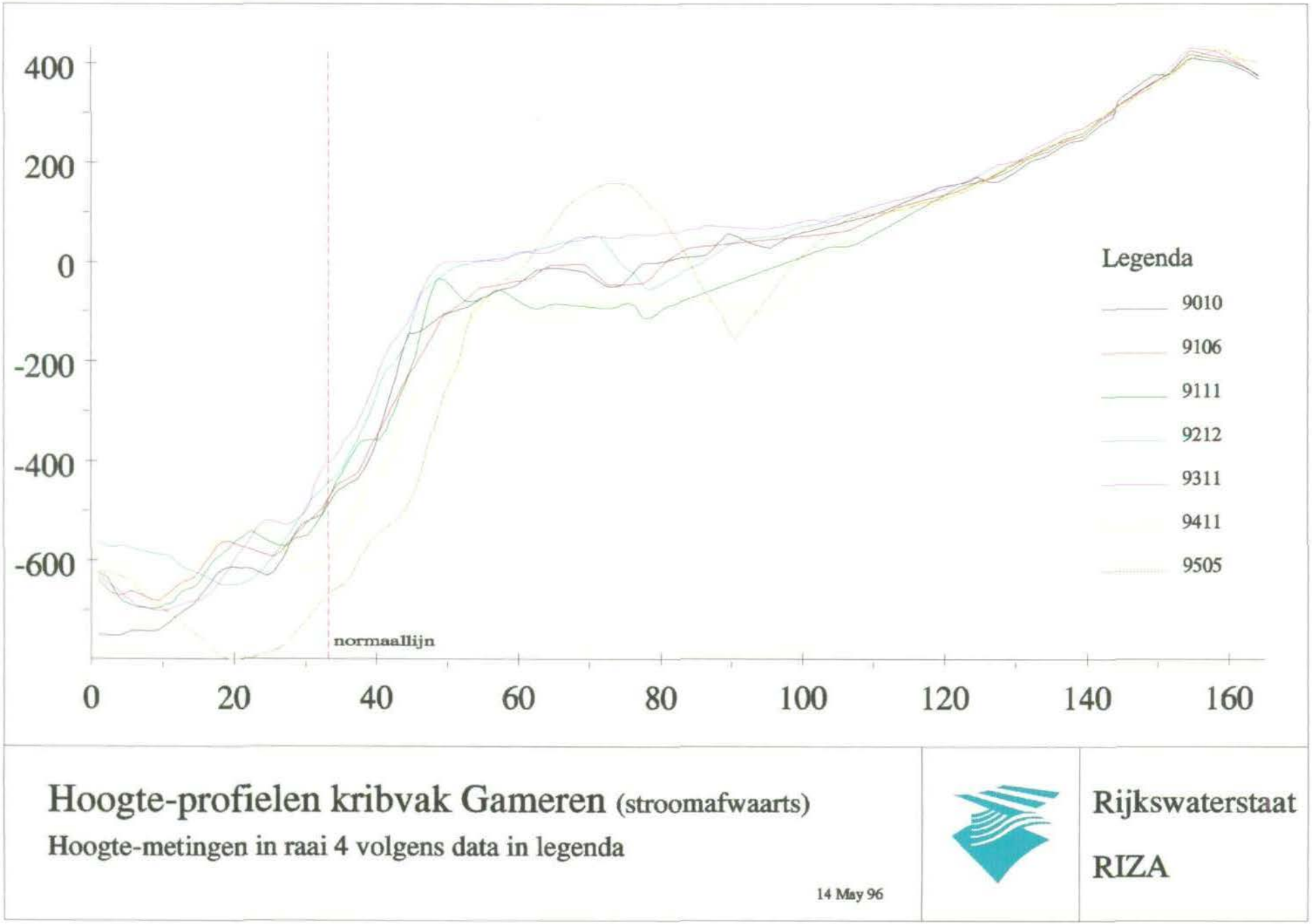
Hoogte-profielen kribvak Gameren (stroomafwaarts)

Hoogte-metingen in raai 3 volgens data in legenda

14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



Hoogte-profielen kribvak Gameren (stroomafwaarts)

Hoogte-metingen in raai 4 volgens data in legenda

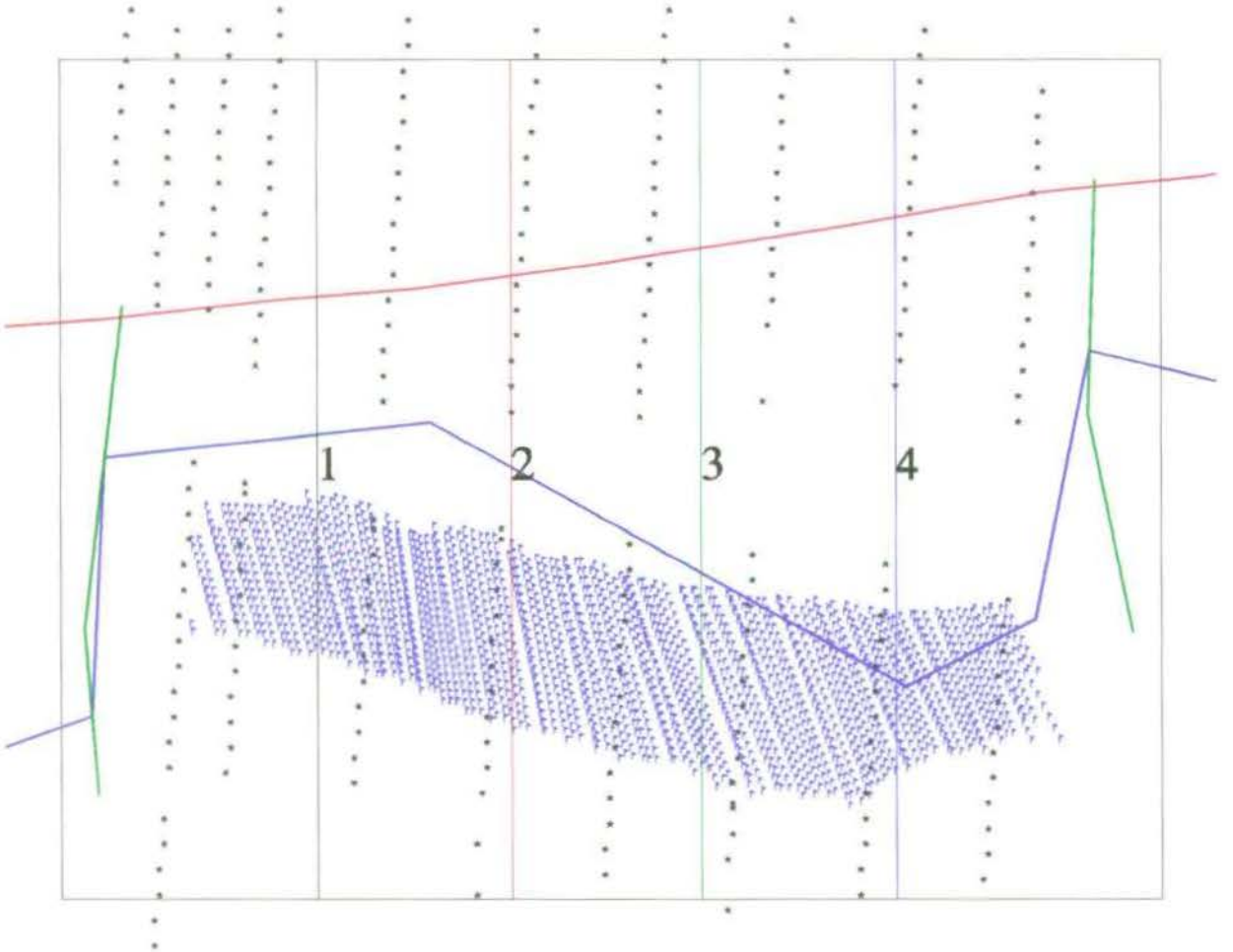
14 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA

bijlage 6: Meetresultaten Gameren
- 6a: profielen 1990 t/m 1995
- **6b: overzicht figging van de profielen en meetpunten, 9106, 9311 en 9505.**
- 6c: verschilkaarten 1991, 1993 en 1995

79



Legenda

- gawlgraai1
- gawlgraai2
- gawlgraai3
- gawlgraai4
- oeverlijn
- kribben
- normaallijn

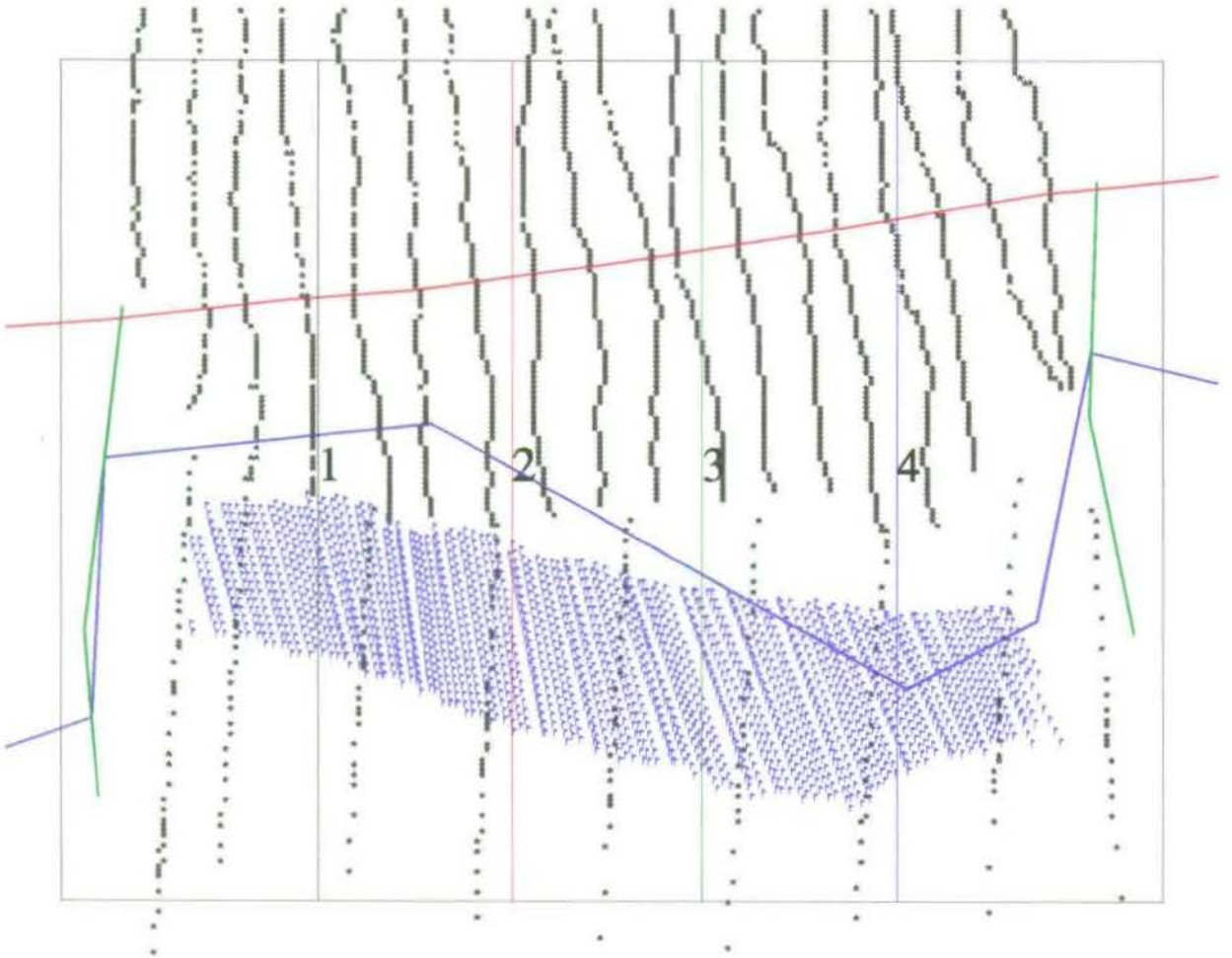
Overzicht kribvak Gameren (met wilgen)

Dwarsprofiel-raaien in metingen van 9106

13 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



Legenda

- gawlgraai1
- gawlgraai2
- gawlgraai3
- gawlgraai4
- overlijn
- kribben
- normaallijn

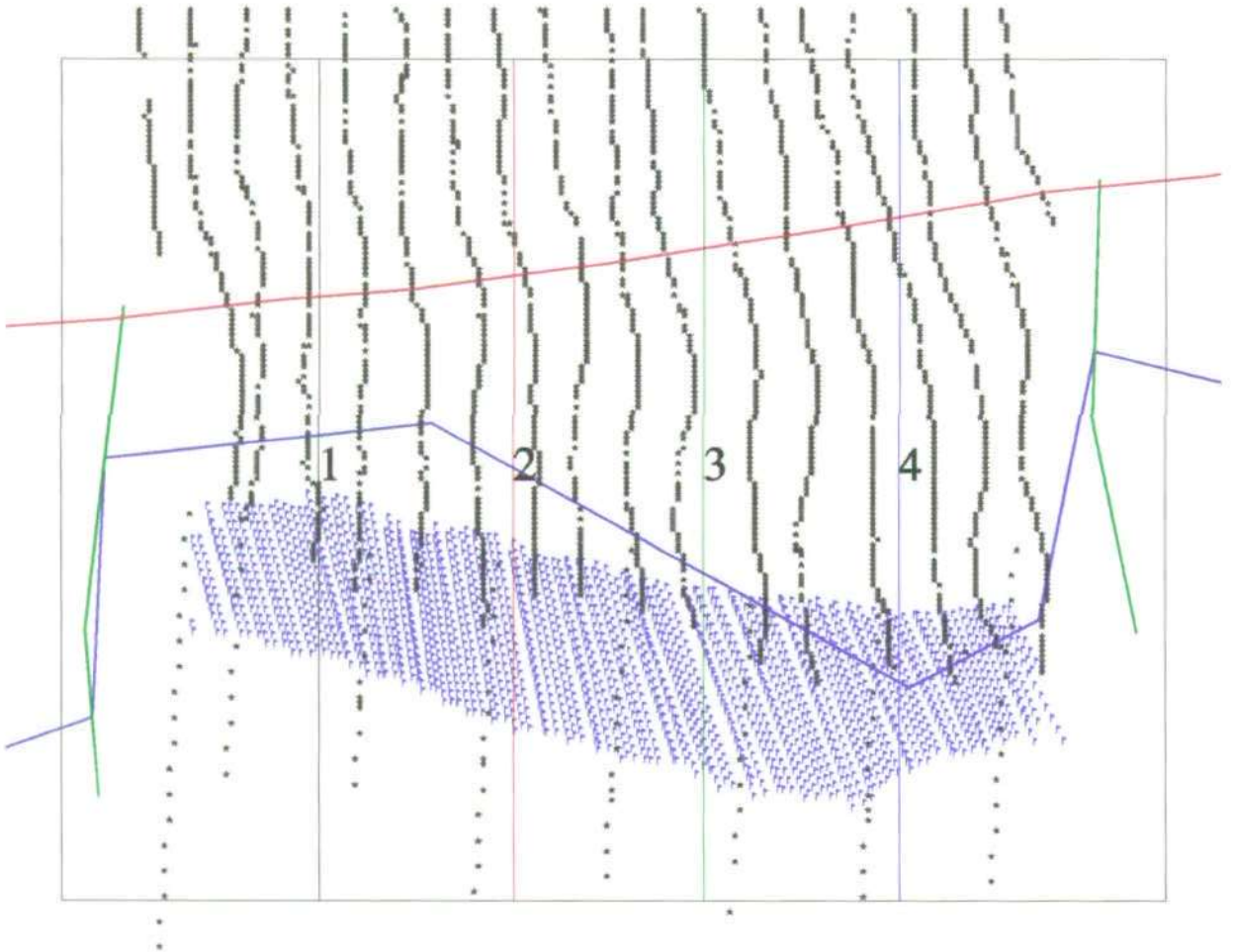
Overzicht kribvak Gameren (met wilgen)

Dwarsprofiel-raaien in metingen van 9311

13 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



Legenda

- gawlgraai1
- gawlgraai2
- gawlgraai3
- gawlgraai4
- oeverlijn
- kribben
- normaallijn

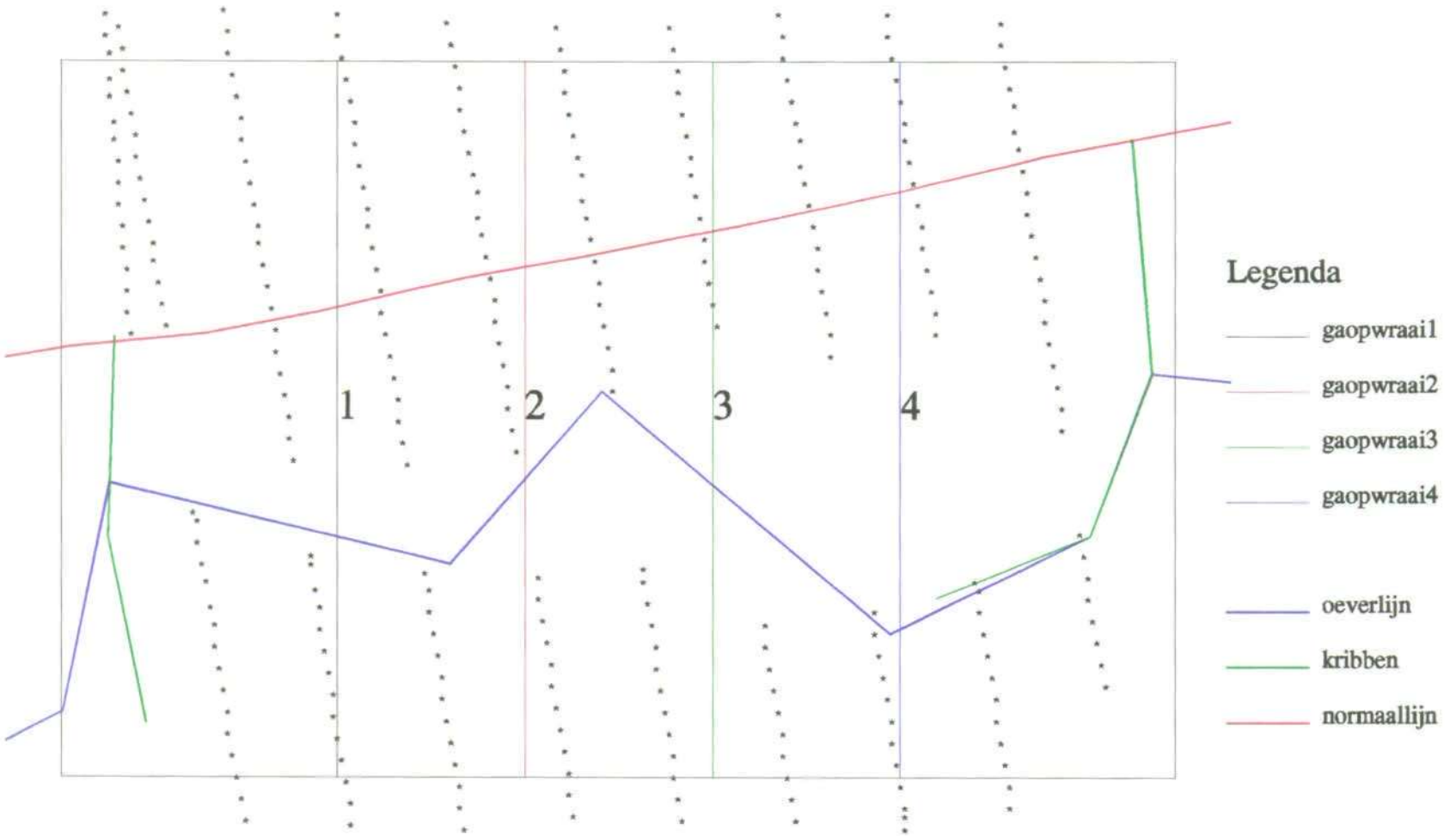
Overzicht kribvak Gameren (met wilgen)

Dwarsprofiel-raaien in metingen van 9505

13 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



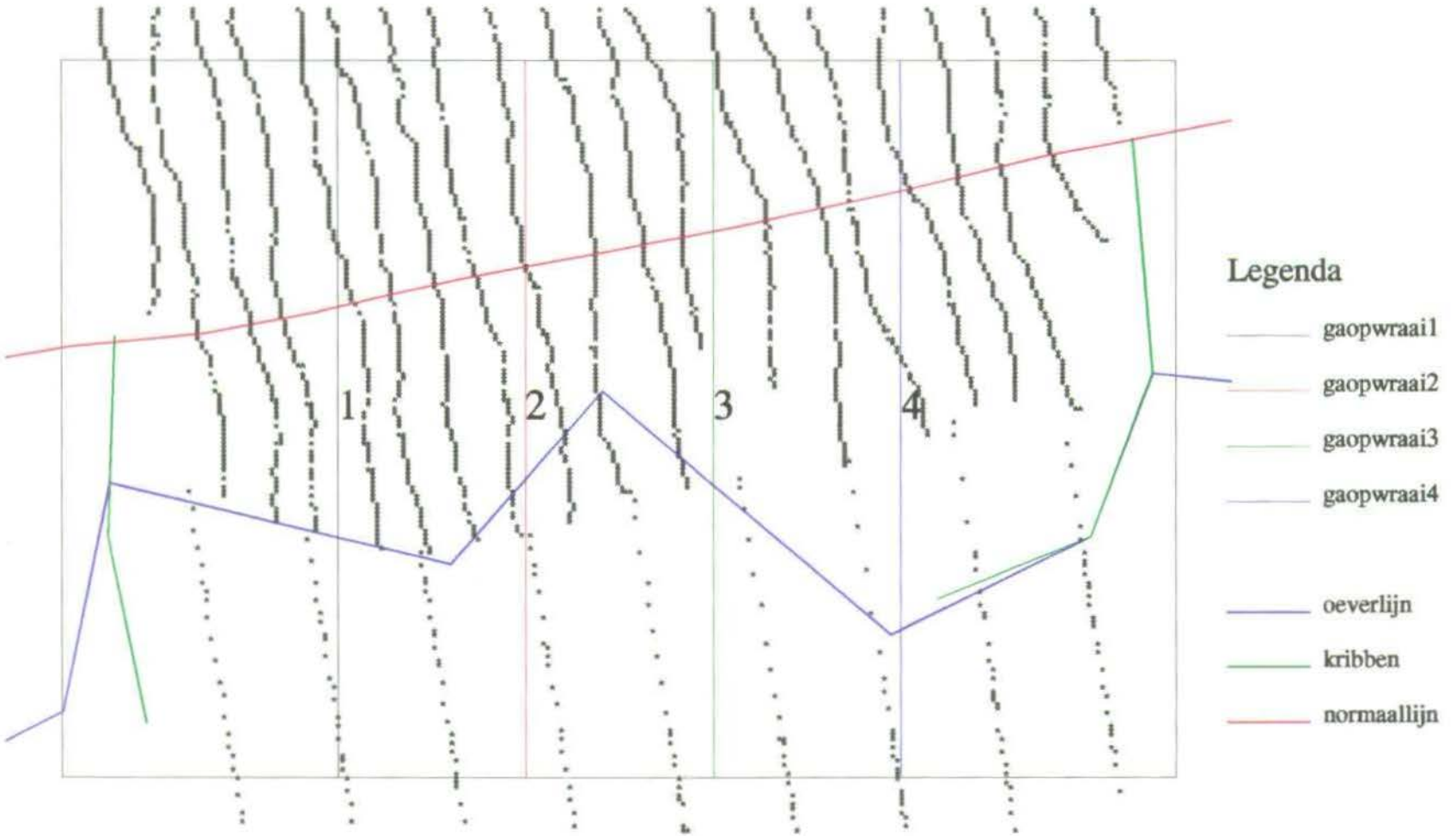
Overzicht kribvak Gameren (stroomopwaarts)

Dwarsprofiel-raaien in metingen van 9106

13 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



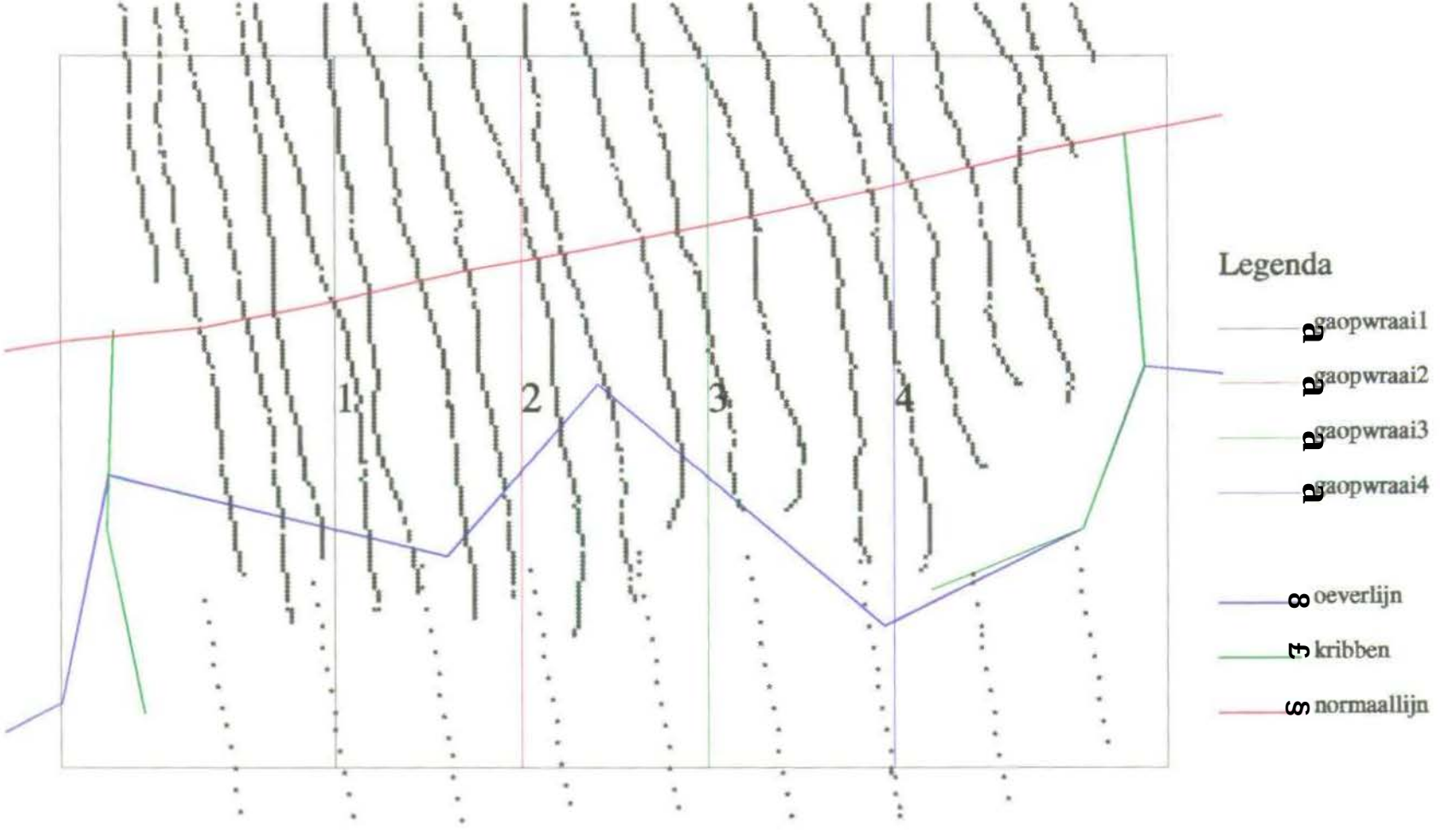
Overzicht kribvak Gameren (stroomopwaarts)

Dwarsprofiel-raaien in metingen van 9311

13 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



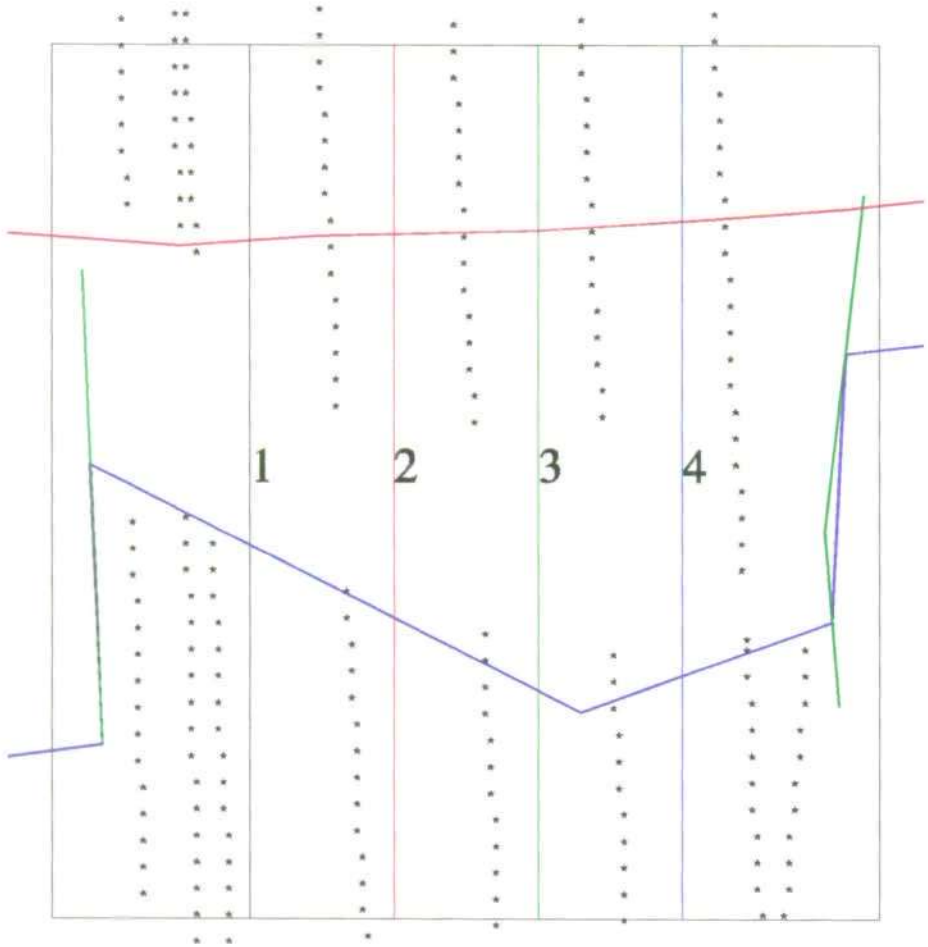
Overzicht kribvak Gameren (stroomopwaarts)

Dwarsprofiel-raaien in metingen van 9505

13 Ma[illegible]6

Rijkswaterstaat

RIZA



Legenda

- gaafwraai1
- gaafwraai2
- gaafwraai3
- gaafwraai4
- oeverlijn
- kribben
- normaallijn

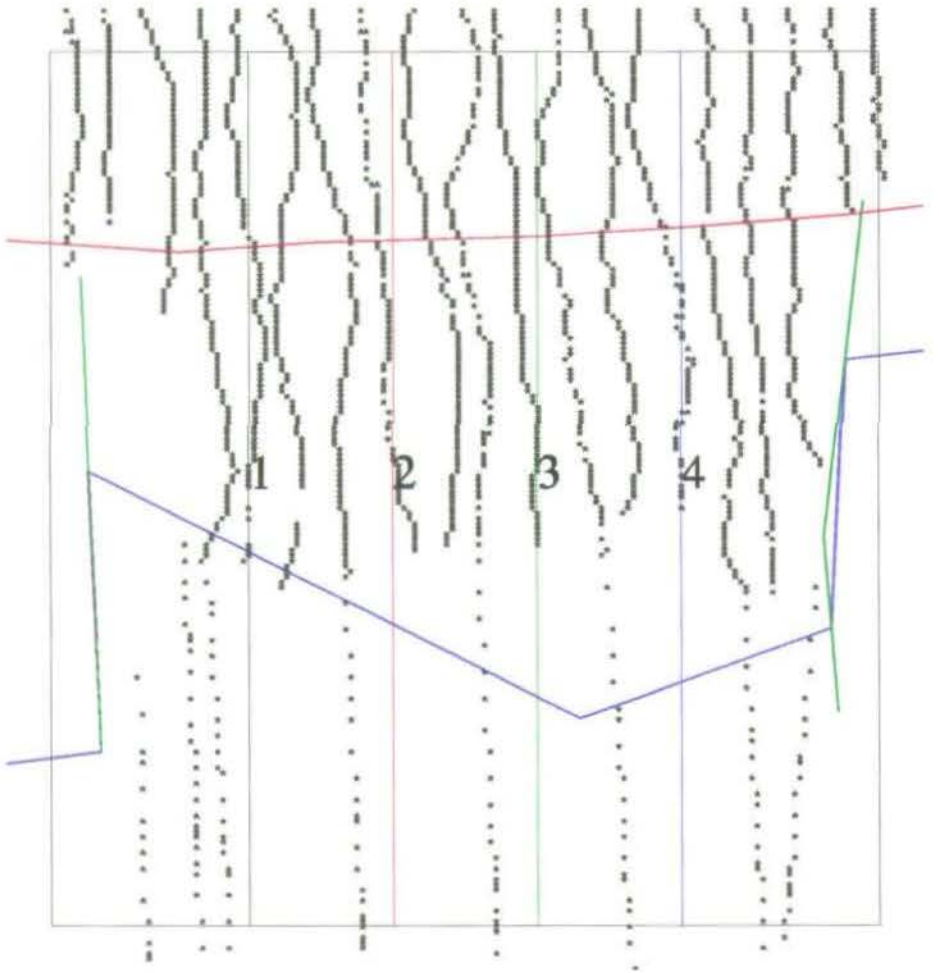
Overzicht kribvak Gameren (stroomafwaarts)

Dwarsprofiel-raaien in metingen van 9106

13 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



Legenda

- gaafwraai1
- gaafwraai2
- gaafwraai3
- gaafwraai4
- oeverlijn
- kribben
- normaallijn

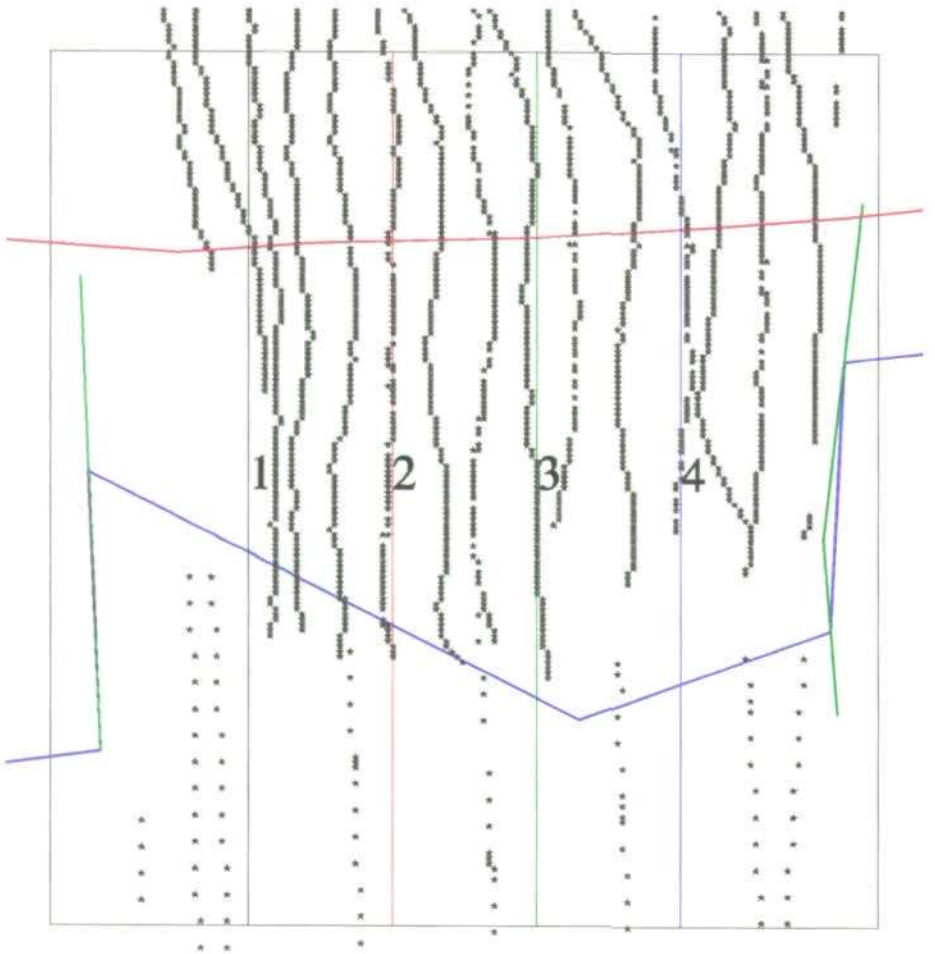
Overzicht kribvak Ganeren (stroomafwaarts)

Dwarsprofiel-raaien in metingen van 9311

13 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA



Legenda

- gaafwraai1
- gaafwraai2
- gaafwraai3
- gaafwraai4
- oeverlijn
- kribben
- normaallijn

Overzicht kribvak Gameren (stroomafwaarts)

Dwarsprofiel-raaien in metingen van 9505

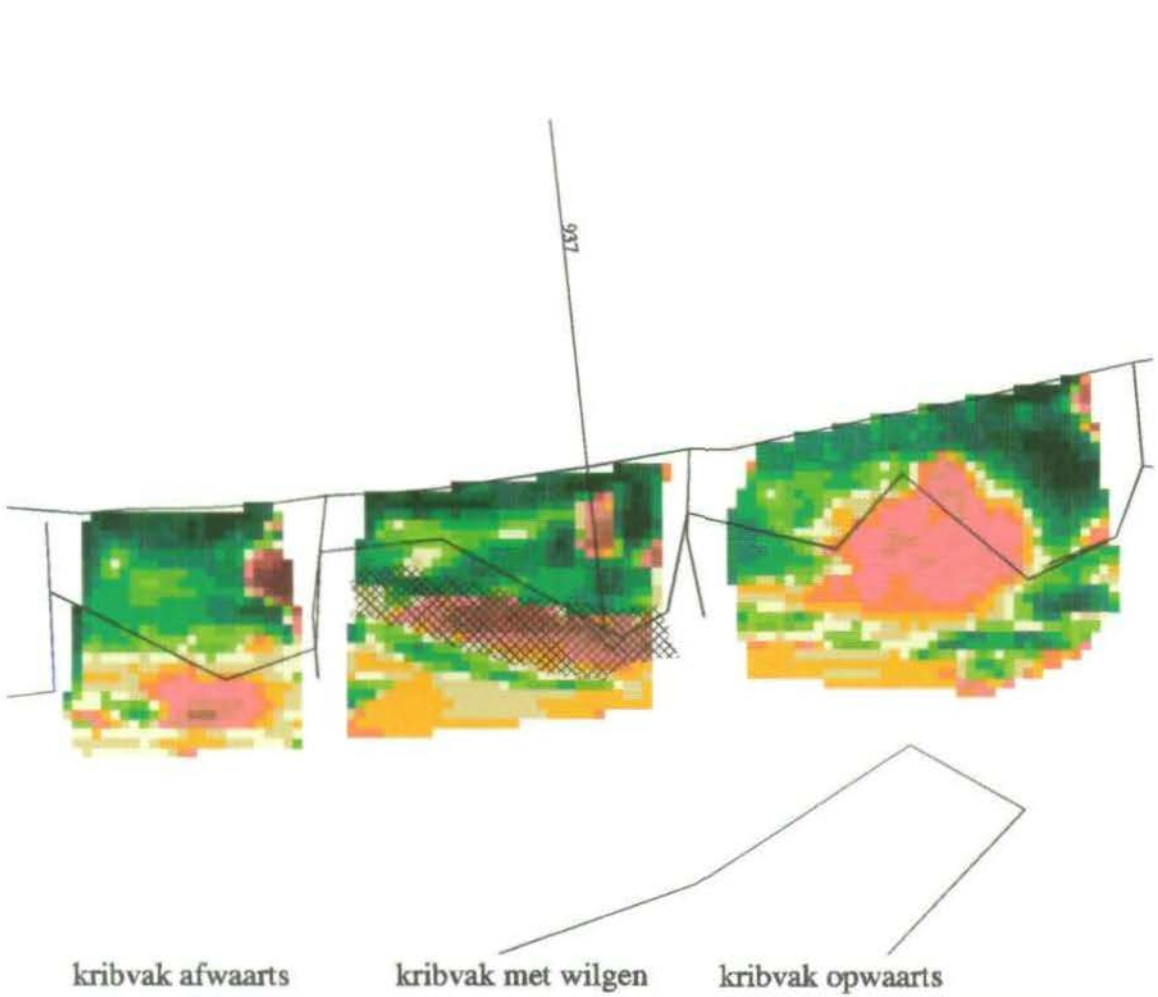
13 May 96

Rijkswaterstaat

RIZA

bijlage 6: Meetresultaten Gameren
- 6a: profielen 1990 t/m 1995
- 6b: overzicht figging van de profielen en meetpunten, 9106, 9311 en 9505.
- **6c: verschilkaarten 1991, 1993 en 1995**





N

Legenda

VERLAGING in cm :

- < -200
- -200 - -150
- -150 - -100
- -100 - -70
- -70 - -50
- -50 - -30
- -30 - -20
- -20 - -10
- -10 - 0

VERHOGING in cm :

- 0 - 10
- 10 - 20
- 20 - 30
- 30 - 50
- 50 - 70
- 70 - 100
- 100 - 150
- 150 - 200
- > 200
- wilgenlocatie

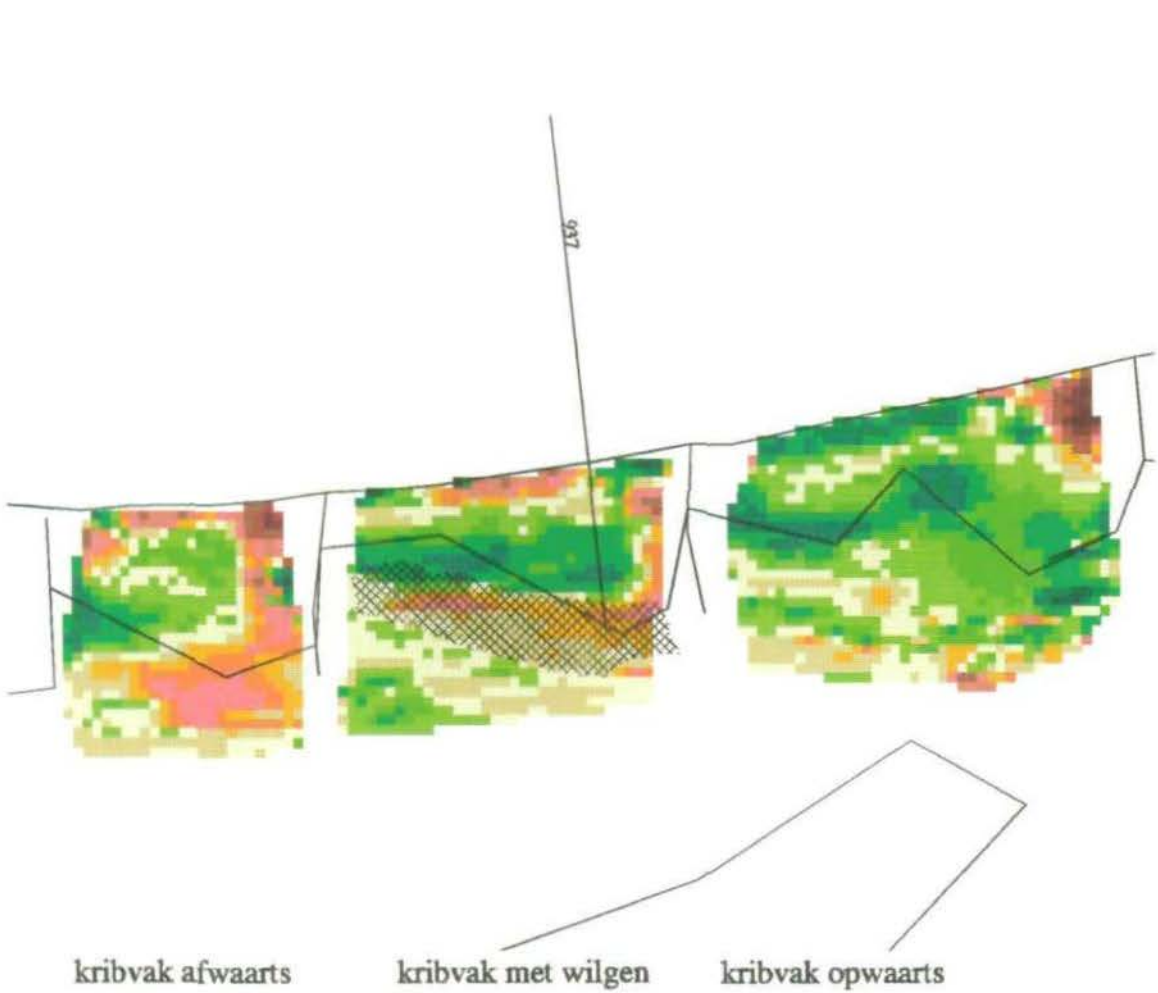
Waal bij Gameren

Verschilkaart bodemligging : 9005 - 9106

Gemiddelde verandering : -27 -30 -26 cm

Rijkswaterstaat

RIZA



N

Legenda

VERLAGING in cm :

- < -200
- -200 - -150
- -150 - -100
- -100 - -70
- -70 - -50
- -50 - -30
- -30 - -20
- -20 - -10
- -10 - 0

VERHOGING in cm :

- 0 - 10
- 10 - 20
- 20 - 30
- 30 - 50
- 50 - 70
- 70 - 100
- 100 - 150
- 150 - 200
- > 200
- wilgenlocaties

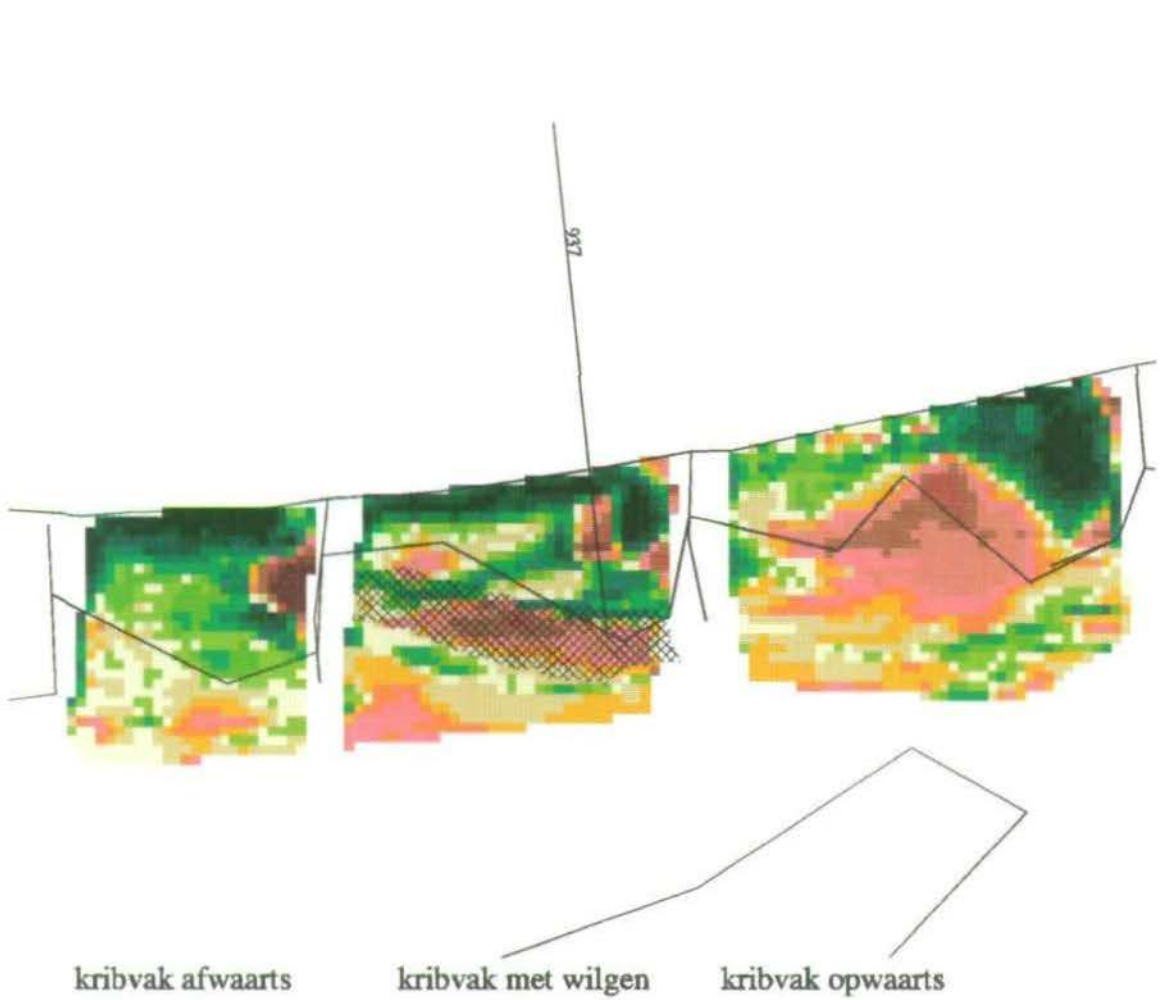
Waal bij Gameren

Verschilkaart bodemligging : 9311 - 9106

Gemiddelde verandering : 6 -8 -15 cm

Rijkswaterstaat

RIZA



Legenda

VERLAGING in cm :

- < -200
- -200 - -150
- -150 - -100
- -100 - -70
- -70 - -50
- -50 - -30
- -30 - -20
- -20 - -10
- -10 - 0

VERHOGING in cm :

- 0 - 10
- 10 - 20
- 20 - 30
- 30 - 50
- 50 - 70
- 70 - 100
- 100 - 150
- 150 - 200
- > 200
- wilgenlocatie

Waal bij Lameren

Verschilkaart bodemligging : 9505 - 9311

Gemiddelde verandering : -33 -21 -11 cm

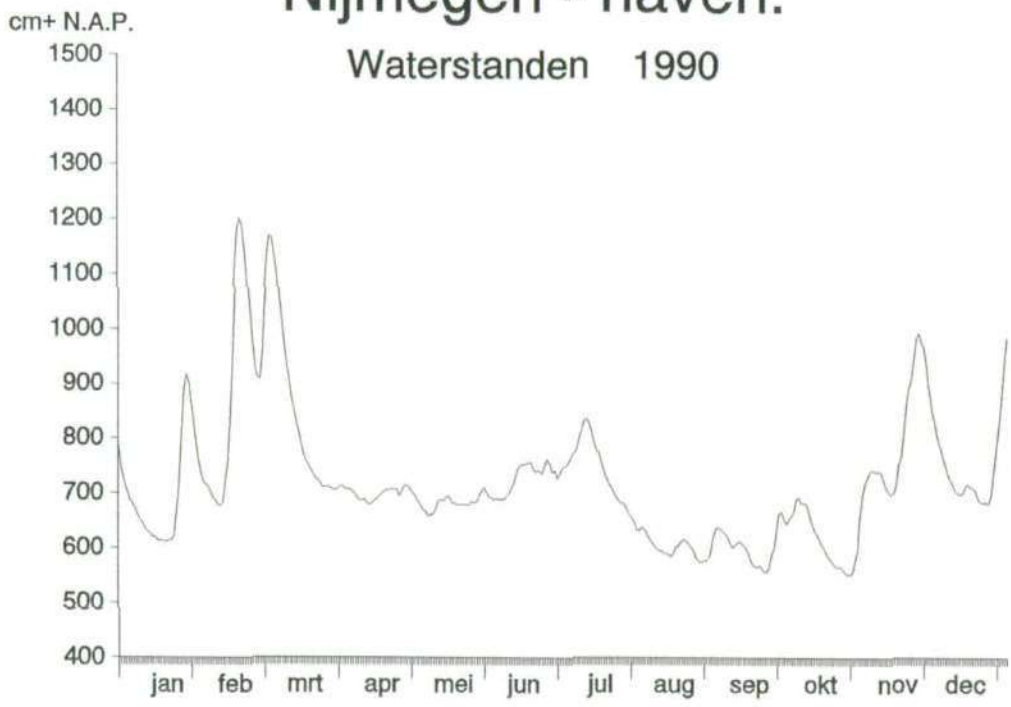
Rijkswaterstaat

RIZA

bijlage 7: Waterstanden 1990 t/m 1995

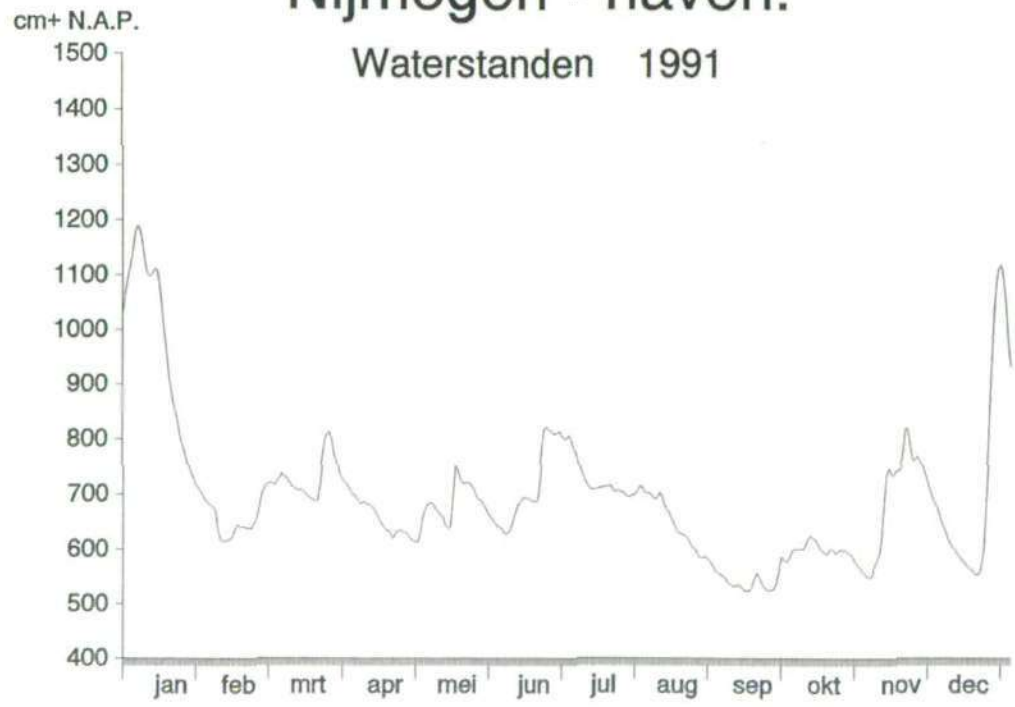
Nijmegen - haven.

Waterstanden 1990



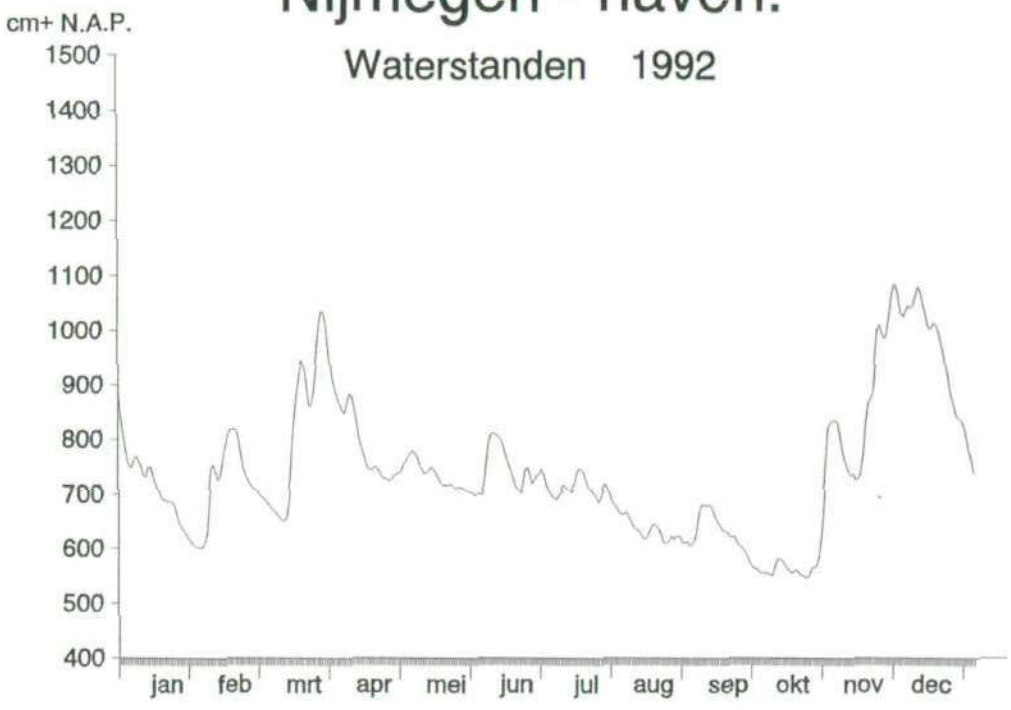
Nijmegen - haven.

Waterstanden 1991



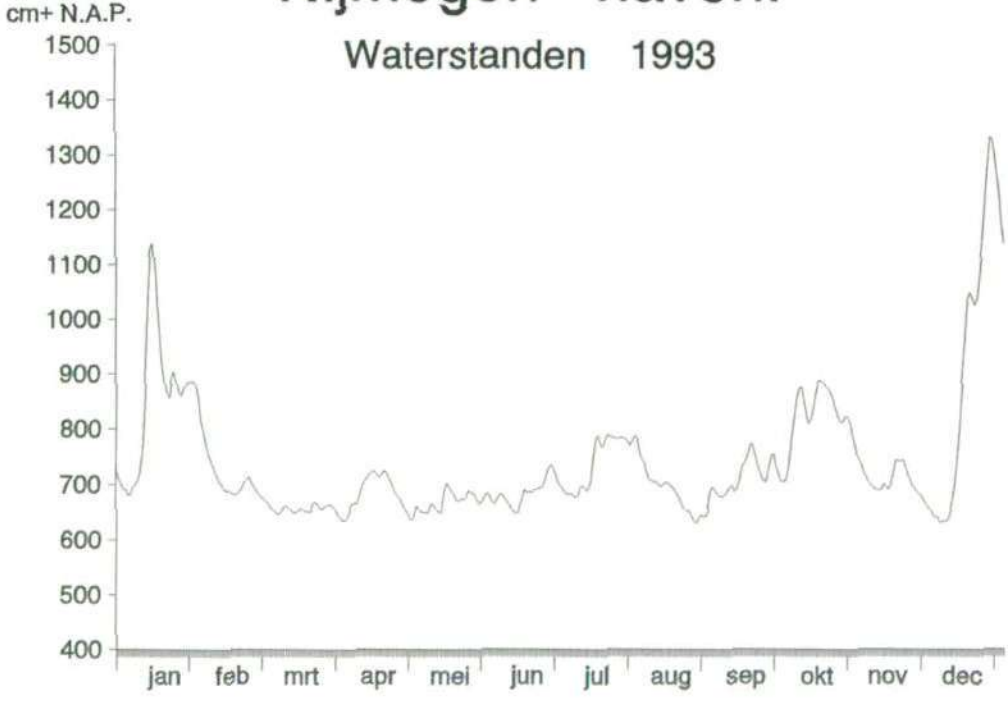
Nijmegen - haven.

Waterstanden 1992



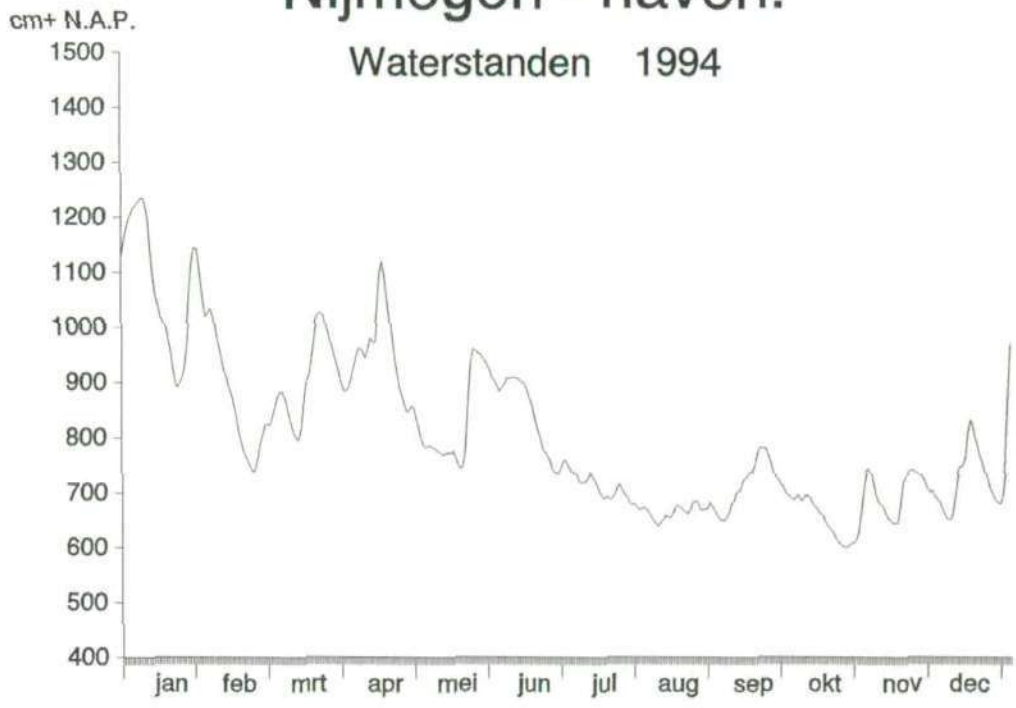
Nijmegen - haven.

Waterstanden 1993



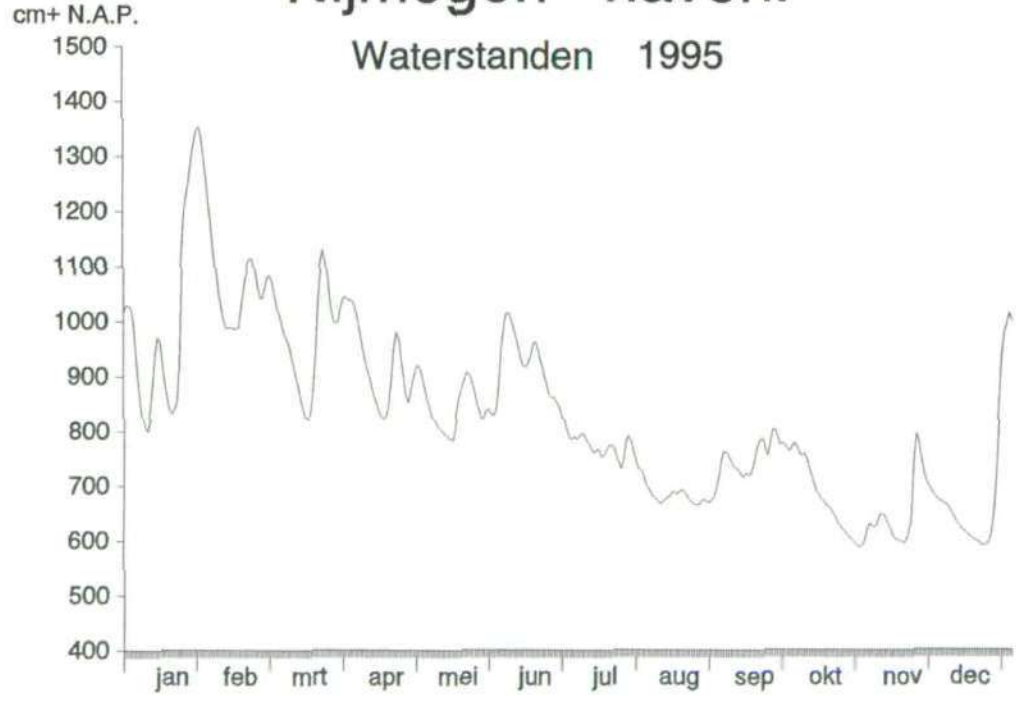
Nijmegen - haven.

Waterstanden 1994



Nijmegen - haven.

Waterstanden 1995







bijlage 8: Luchtfoto' maart 1995

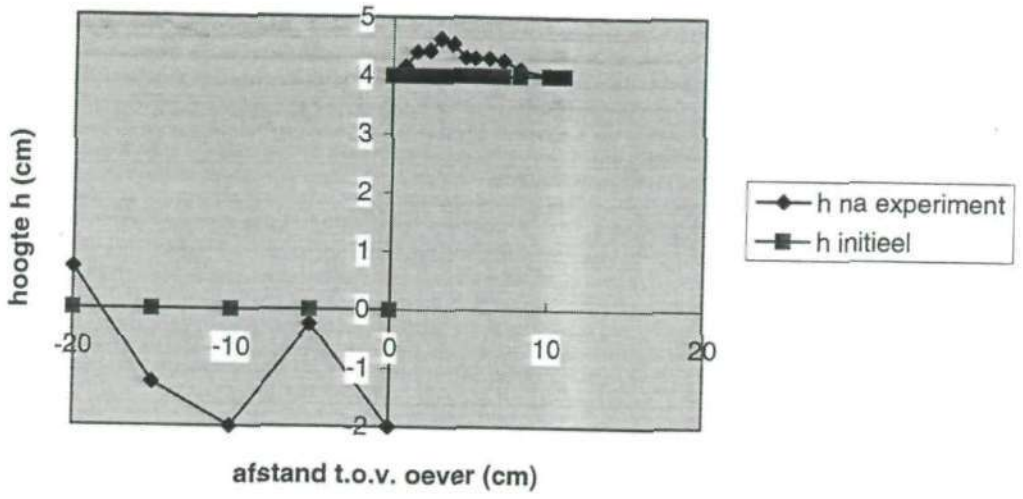
Druten, 20 maart 1995



Bijlage 9: Laboratorium experiment van Murakami *et al*,, 1994.

Bijlage 9: Laboratorium experiment van Murakami *et al.*, 1994.

Resultaten van een experiment in een zandgoot (geul met uiterwaard) met vegetatie langs de geul.



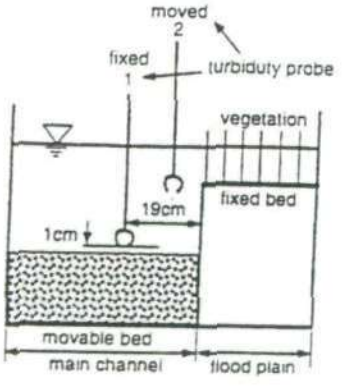


Fig.10 Meausrements of spatial distribution of sediemnt concentration

