

B-90-326

Meting van de demping van een zestal beweegbare bruggen

April 1990
PVS/LM

Aan: Bouwdienst Rijkswaterstaat
t.a.v. Dhr. D. Stroosma
Postbus 285
2270 AG VOORBURG

Bladzijden: 17
Tabellen : 3
Figuren : 9
Bijlagen : -

Projectnummer: 64.3.1242
Auteur(s) : ir. P.H. Waarts
ir. P.C. van Staalduinen

Trefwoord(en): trillingsmeting, demping, bruggen

IBBC B-90-326

April
1990Pagina
iINHOUDSOPGAVE

	<u>Pagina</u>
1. INLEIDING	1
2. DEMPING VAN BRUGGEN	2
3. METINGEN	3
4. UITWERKING	5
5. SAMENVATTING EN CONCLUSIES	7
FIGUREN	8

1. INLEIDING

In opdracht van Rijkswaterstaat zijn metingen uitgevoerd ter bepaling van de demping van trillingen in beweegbare bruggen tijdens openen en sluiten van de brug. Aanleiding tot de bepaling van de demping door middel van meting vormt het project Brugwind van Rijkswaterstaat. Dit project is bedoeld om een voorschrift voor windbelasting op beweegbare bruggen op te stellen en te onderbouwen. In verband met trillingen welke ten gevolge van de dynamische belasting door de wind kunnen ontstaan dient hierbij ook de demping van de beweegbare brug bekend te zijn.

Ten einde aannamen hieromtrent te toetsen zijn in december 1989 en januari 1990 metingen verricht aan de bascule bruggen over het Keteldiep, bij de Rozenburgsesluis te Rotterdam, over de voorhaven te Schiedam en bij de Bergse Diepsluis, alsmede aan de ophaalbruggen te Schoorlham en Arkel. Dit rapport doet verslag van de uitgevoerde metingen en de daarbij verkregen resultaten

2. DEMPING VAN BRUGGEN

Het uitdempen van trillingen in constructies kan verscheidene oorzaken hebben. Er bestaat structurele, geometrische en aerodynamische demping.

a) structurele demping. Bij beweegbare bruggen zal de structurele demping de hoofdmoot van de demping voor zijn rekening nemen. Deze demping betreft materiaaldemping en wrijving in overbrenging en scharnier.

b) geometrische demping heeft oorzaak in het afvoeren van energie van het meetpunt naar andere constructiedelen en opleggingen. Bij de beweegbare brug kunnen trillingen in de val overgebracht worden naar de ballast, de overbrenging, het scharnier, de kelderwand en de grond.

c) aerodynamische demping betreft het energieafvoer door het in trilling brengen van de lucht. De aerodynamische demping zal slechts een geringe bijdrage leveren aan de totale demping van het systeem

De te bepalen demping van beweegbare bruggen zal voornamelijk zijn oorzaak hebben in de structurele en geometrische demping. De bijdrage van de beide dempingscomponenten is niet onderzocht.

3 METINGEN

Om praktische redenen zijn de metingen verricht op de val van de brug. De hoekverdraaiing van de val en de trillingen die de val tijdens openen en sluiten van de brug vertoont, laten zich relatief eenvoudig meten met behulp van versnellingsopnemers.

Hiertoe zijn aan de val van de brug, op de vier hoekpunten van het rijdek versnellingsopnemers bevestigd. De bevestiging van de opnemers heeft plaatsgevonden met een lijmtang. Figuur 3.1 geeft aan op welke posities de versnellingsopnemers zijn aangebracht. In gesloten stand van de brug is de meetrichting van de opnemers vertikaal. Bij het openen van de brug zal de hoek ten opzichte van de vertikaal veranderen, zodat de versnellingsopnemer dan een steeds kleiner aandeel van de zwaartekrachtsversnelling zal waarnemen. Deze hoekverdraaiing verandert met het openen en sluiten van de brug relatief langzaam en heeft voor alle opnemers hetzelfde effect.

Op deze langzame wijziging van de gemeten zwaartekrachtsversnelling zijn de versnellingen gesuperponeerd, die optreden ten gevolge van trillingen loodrecht op de val. Deze versnellingen zullen het sterkst zijn aan de top van de val.

Bij elke brug heeft een meting plaatsgevonden bij een gebruikelijke cyclus van openen en sluiten van de brug. Voorts is een meting uitgevoerd, waarbij tijdens openen van de brug ongeveer halverwege een stop is gemaakt en waarbij - na volledig openen - tijdens het sluiten wederom ongeveer halverweg een stop is gemaakt. Figuur 3.2 geeft een voorbeeld van een cyclus waarin een noodstop is gemaakt.

De gebruikte opnemers zijn servo-versnellingsopnemers van het fabrikaat Sundstrand, type QA 700. Na conditionering en een passende versterking zijn de versnellingsignalen geregistreerd op een 8 kanaals analoge instrumentatie taperecorder HP 3968 A.

De 4 meetsignalen zijn in ruwe vorm geregistreerd op de kanalen 1 tot en met 4. Voorts zijn de 4 meetsignalen na high pass filtering en na een aanvullende versterking van 10 maal op de kanalen 5 tot en met 8 geregistreerd.

De metingen hebben plaatsgevonden aan een zestal bruggen, zoals aangegeven in tabel 1. Enige karakteristieke grootheden zijn weergegeven in tabel 2.

Tabel 1:

Datum	Locatie	Aanduiding
20-12-1989	Ketelmeer, RW10 Brug Zwolsehoek	Ketelmeer
21-12-1989	Schoorldam ophaalbrug o/h Noord-Hollandschkanaal	Schoorldam
22-12-1989	Bascule bruggen over de Rozenburgse sluis	Rozenburg
22-12-1989	Bascule brug o/d schutsluis te Schiedam	Schiedam
03-02-1990	Bascule brug o/d Bergsediepsluis in de Oesterdam	Bergsediep
04-02-1990	Ophaalbrug o/h Merwedekanaal te Arkel	Arkel

Tabel 2: Karakteristieken van de bemeten bruggen

	Ketelmeer	Schoorldam	Rozenburg	Schiedam	Bergsediep	Arkel
type	bascul	ophaal	bascul	bascul	bascul	ophaal
motor	ongeregeld	geregeld	ongeregeld	geregeld	geregeld	geregeld
lengte (m)	23.6	19.0	29.1	11.6	9.2	16.5
breedte (m)	14.1	14.0	19.7	17.0	16.15	10.0
heugel	tandbaan	recht	tandbaan	recht	recht	recht
openingstijd	100 s	76 s	110 s	60 s	75 s	73 s
buffer	nee	ja	nee	ja	ja	ja

4. UITWERKING

De uitwerking van de metingen omvat het digitaliseren van de meetsignalen en het selecteren van de delen van het meetsignaal voor verdere verwerking. Voor het berekenen van de demping zijn de gedeelten van het meetsignaal geselecteerd op het moment van de stop tijdens openen. De figuren 4.1 t/m 4.6 geven het geselecteerde signaal weer.

De geselecteerde registraties zijn vervolgens Fourier-getransformeerd via een FFT routine. Als we het tijdsignaal aanduiden met $a(t)$ en de fourier getransformeerde met $A(\omega)$, dan wordt het spectrum van de versnellingen gedefinieerd door $A(\omega)A^*(\omega)$. Hierin is $A^*(\omega)$ de complex toegevoegde van $A(\omega)$.

Figuur 4.7 geeft het spectrum van het signaal gegeven in figuur 4.4.

De val van de brug vertoont hoofdzakelijk trillingen in de laagste eigenfrequentie. Deze trillingen bij een vaste frequentie verschijnen in het spectrum in de vorm van een piek. De breedte van deze resonantiepiek is afhankelijk van de demping van het systeem. Voor een een-massa-veer-dempersysteem geldt:

$$\xi = \Delta f / (2f_e)$$

Hierin is:

ξ de demping als percentage van de kritische demping

Δf de breedte van de resonantiepiek op halve hoogte van de piek

f_e de eigenfrequentie

De resultaten van deze bepaling zijn verzameld in tabel 3:

Tabel 3: Overzicht meetresultaten

Locatie	frequentie	dempingsmaat (%)
Ketelmeer OZ	2,3	0,7
WZ	2,3	0,5
Schoorlдам	0,4	>10
	1,6	2
Rozenburg	1,7	0,4
Schiedam	1,6	2,5
Bergsediep	1,4	3 à 6
Arkel	0,5	>10
	3,6	2

Bij de eerste eigenfrequentie van de ophaalbruggen bestaat een vrij hoge demping (> 10%). Of het hier werkelijk een eigenfrequentie van het systeem betreft is onzeker. Het is ook mogelijk dat het systeem hier juist door de buffer gaat.

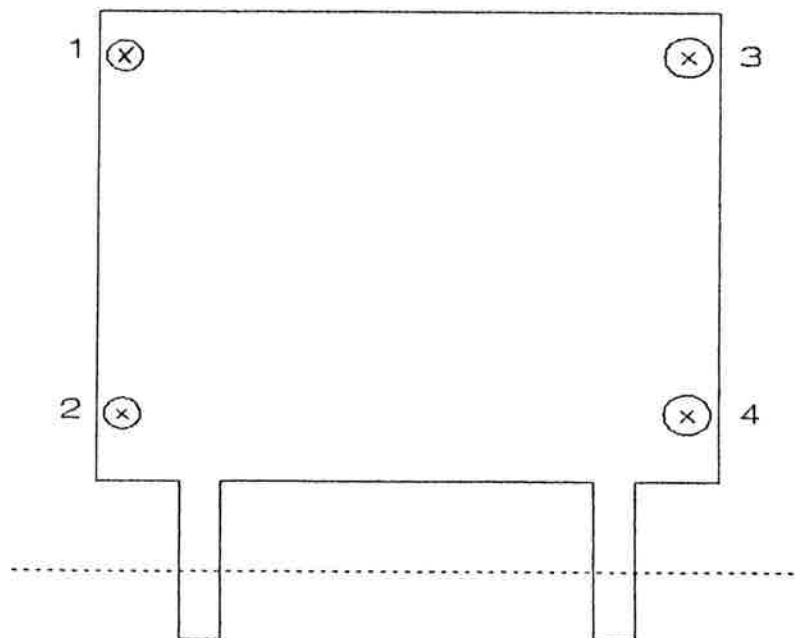
5. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Een trillingsmeting is uitgevoerd aan een zestal beweegbare bruggen (vier basculebruggen en twee ophaalbruggen). De metingen zijn uitgevoerd ter bepaling van de demping van trillingen tijdens bewegen.

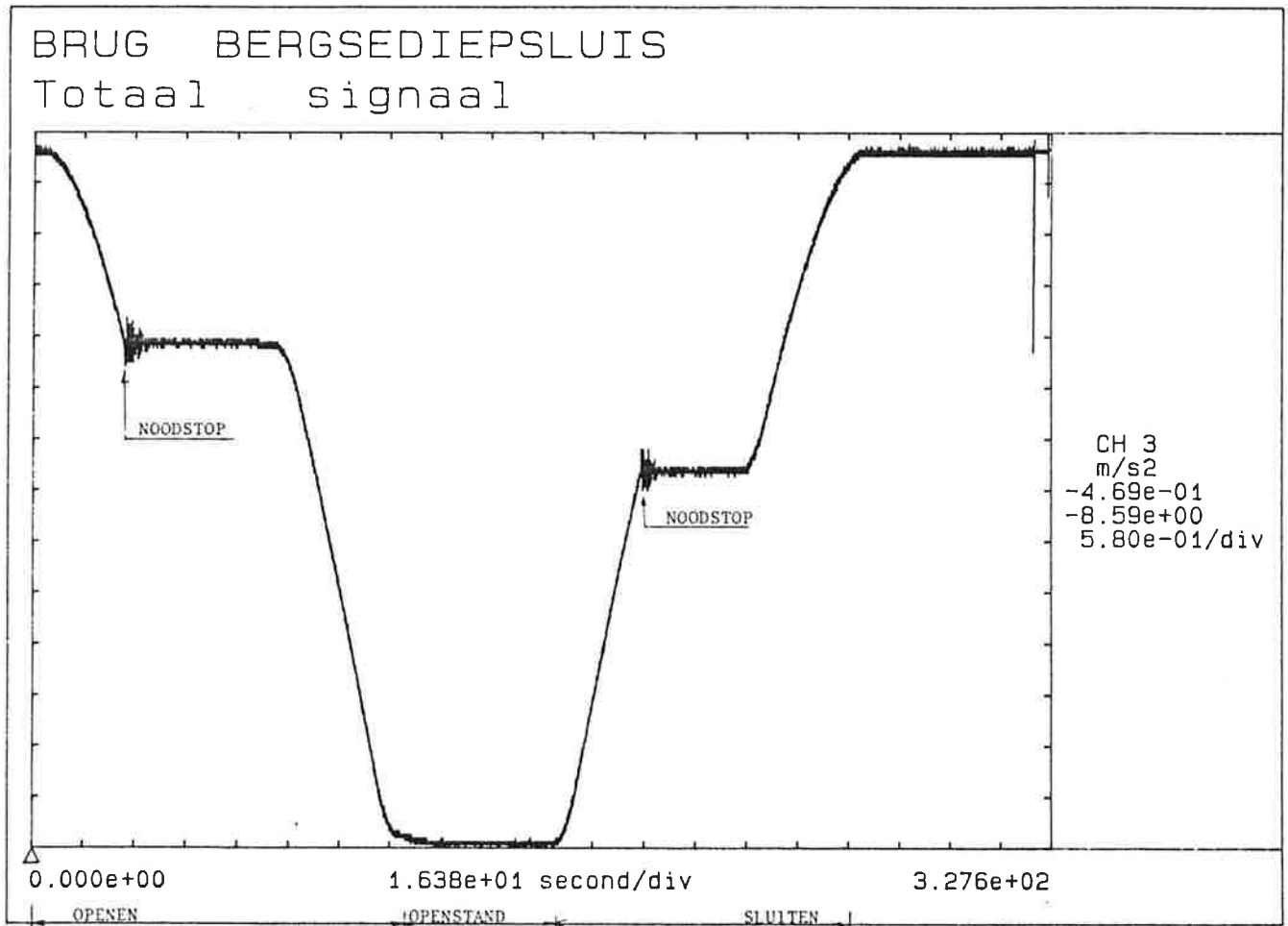
Aan de hand van de trillingsmetingen kan geconcludeerd worden dat basculebruggen, waar geen buffer aanwezig is een dempingsmaat hebben van 0,4 tot 0,7%. De bemeten basculebruggen met buffer hebben een dempingsmaat van 2,5 tot 6%. De bemeten ophaalbruggen met buffer hebben bij de 2e eigenfrequentie ongeveer 2% demping.

FIGUREN

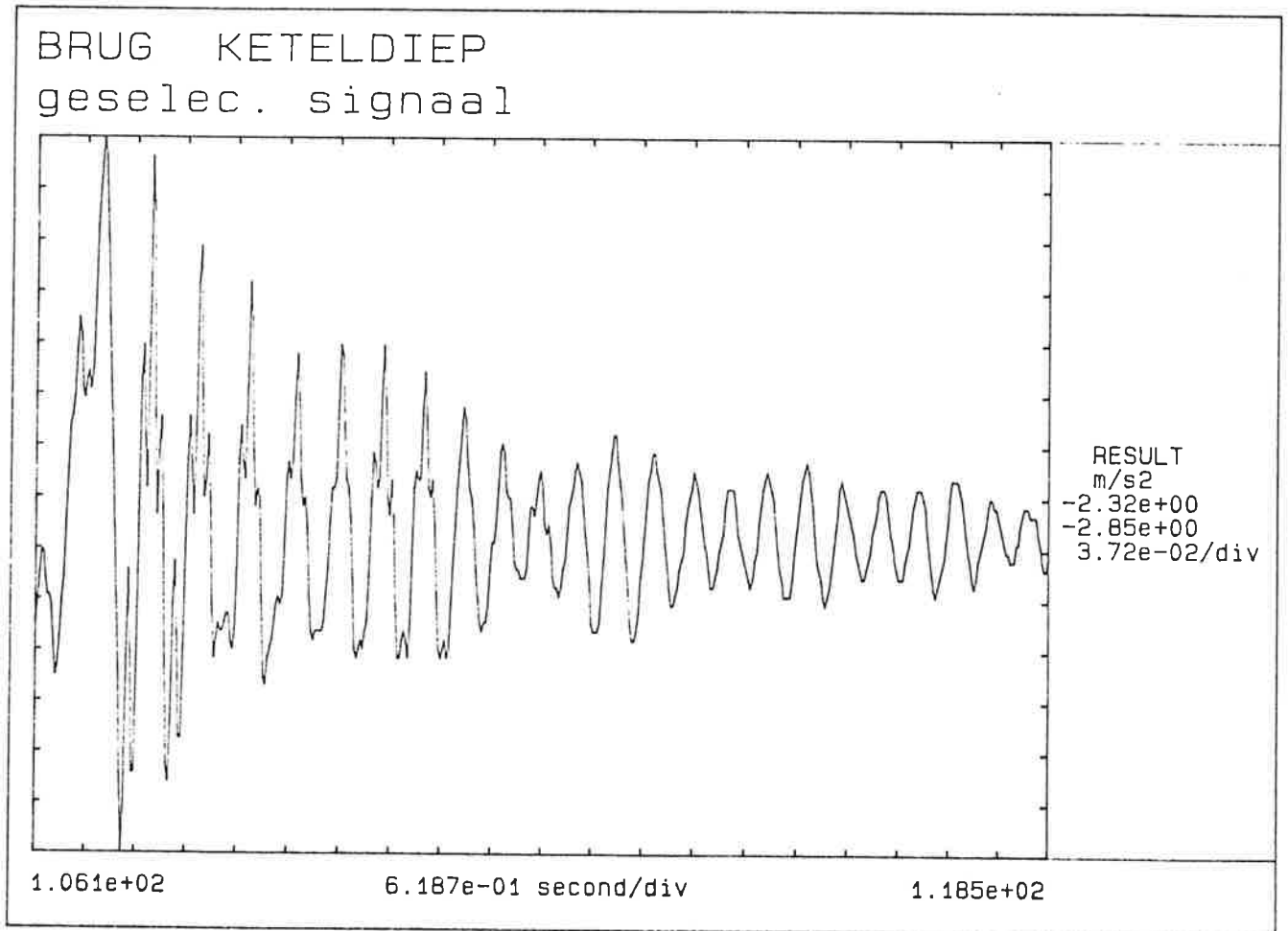
Figuur 3.1: Locatie versnellingsopnemers aan de val van de brug



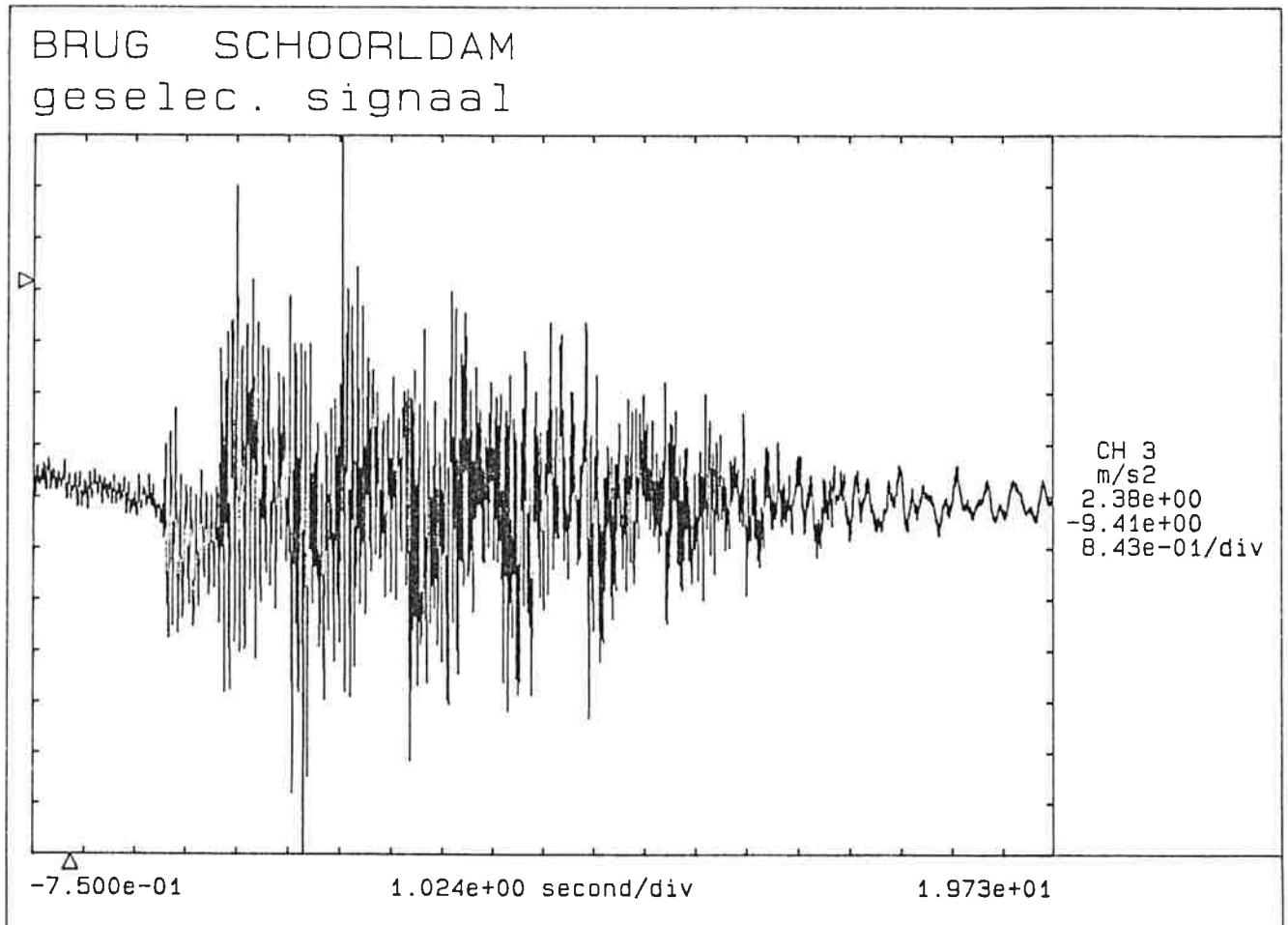
Figuur 3.2: Signaal bij een openingscyclus met noodstop tijdens openen en sluiten



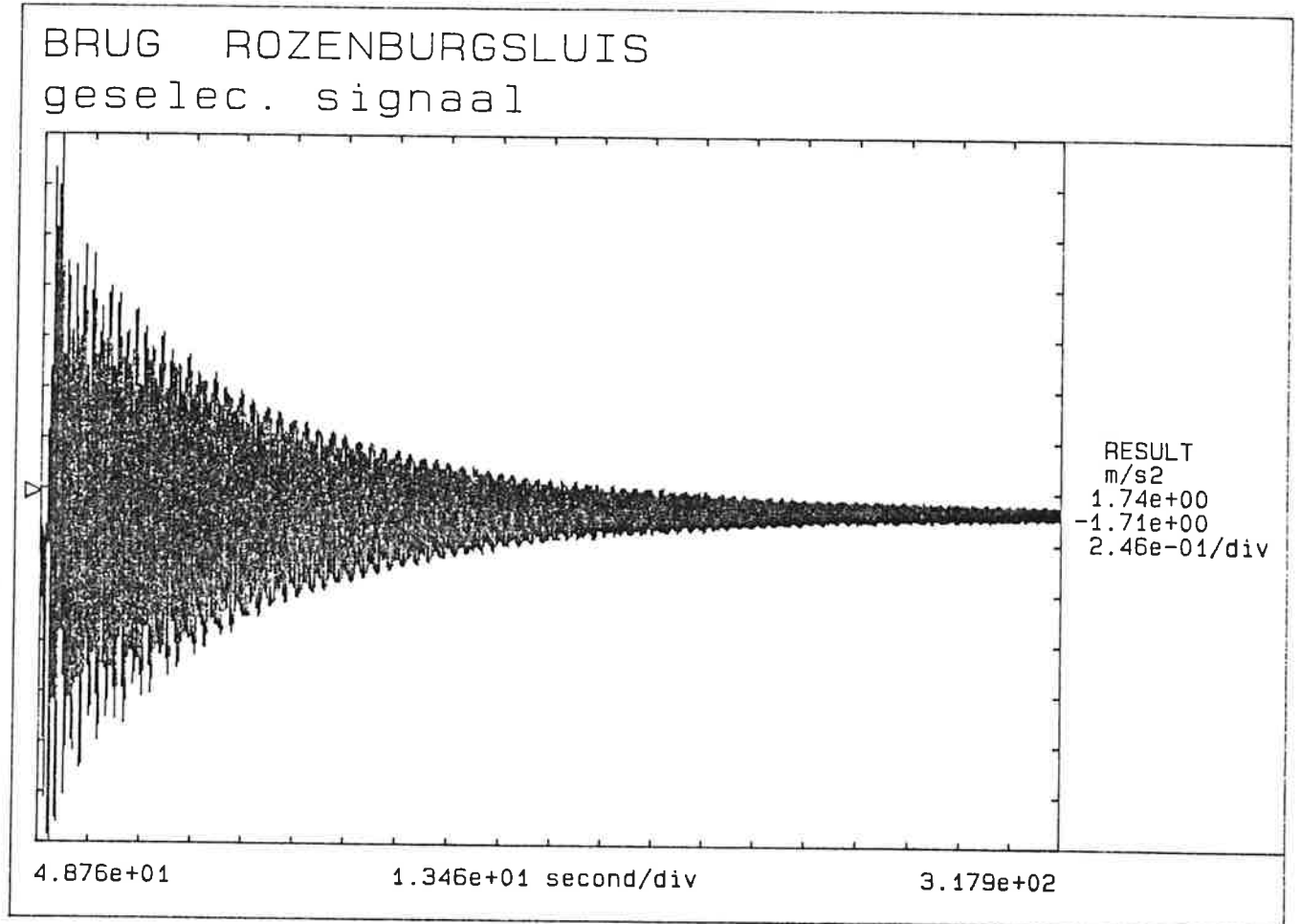
Figuur 4.1: Geselecteerd signaal brug Ketelmeer



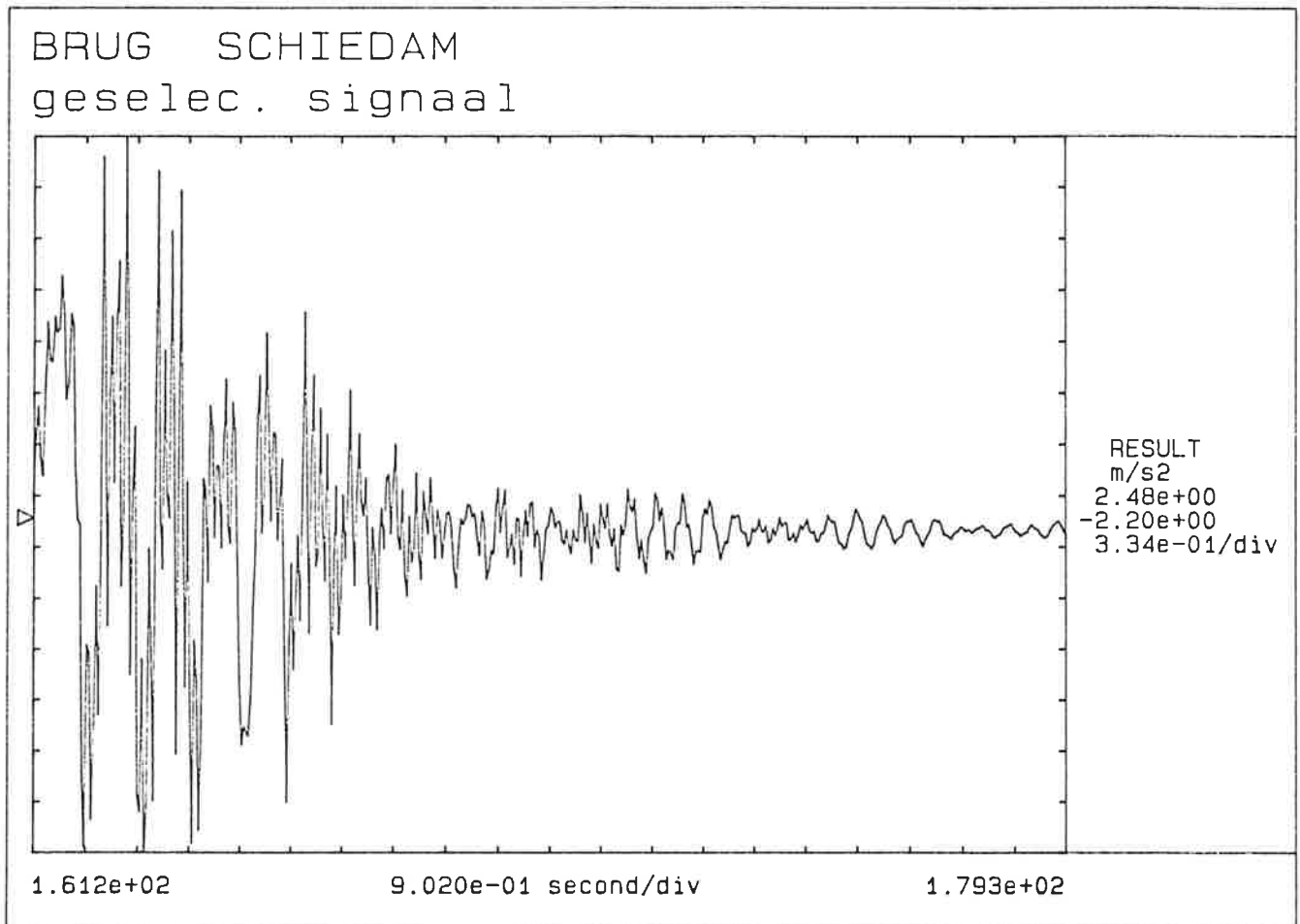
Figuur 4.2: Geselecteerd signaal brug Schoorldam



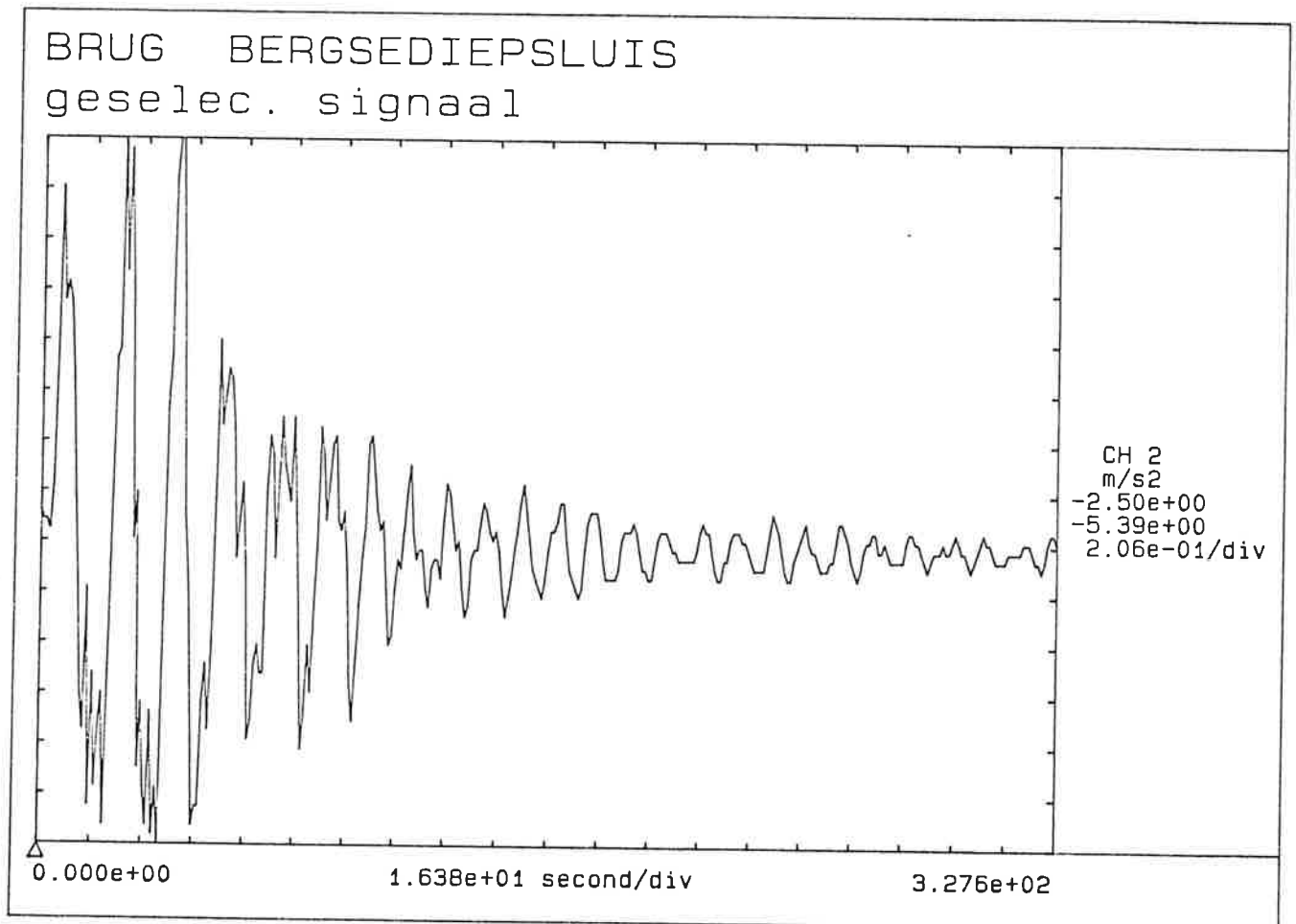
Figuur 4.3: Geselecteerd signaal brug Rozenburgsluis



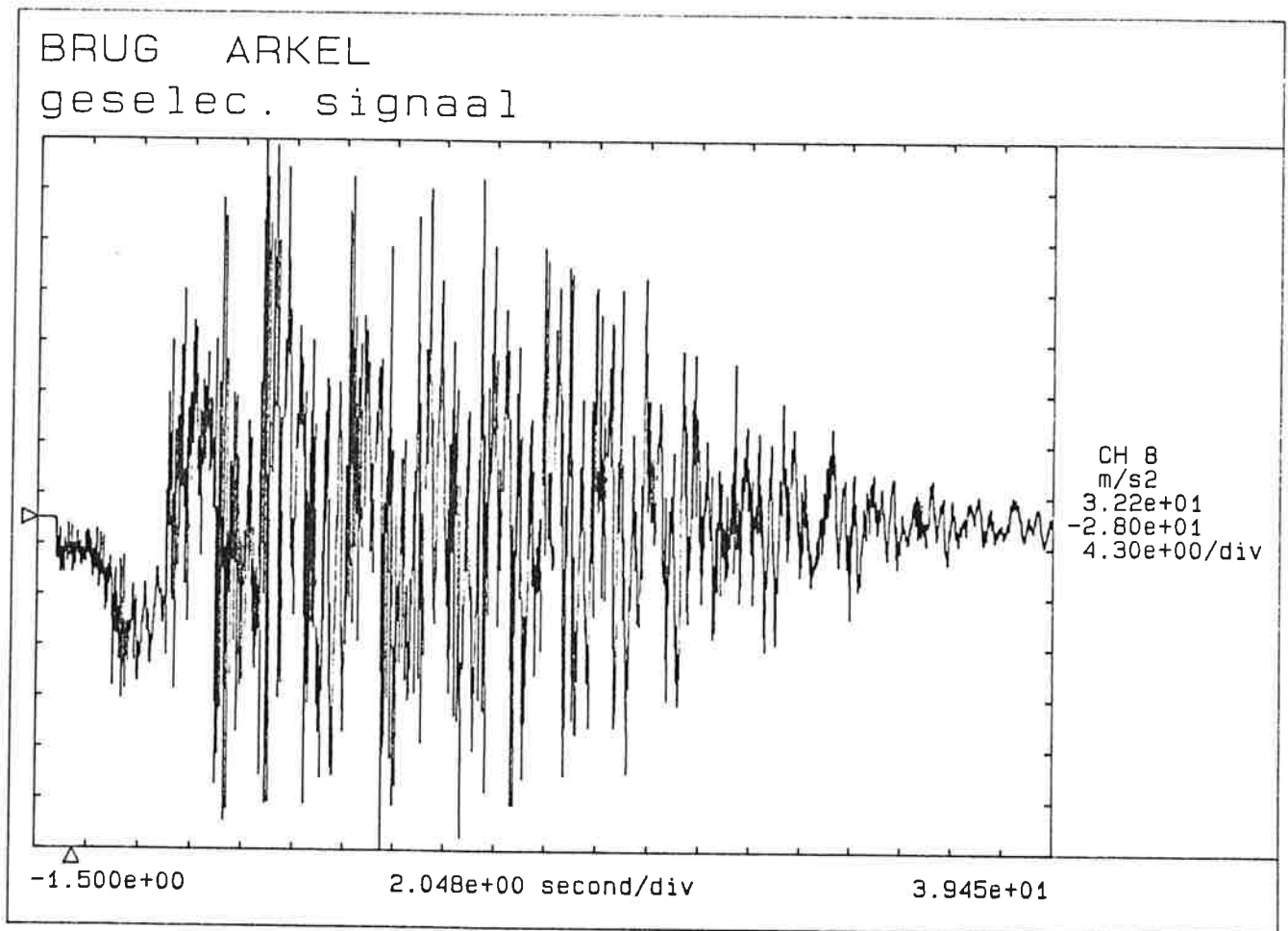
Figuur 4.4: Geselecteerd signaal brug Schiedam



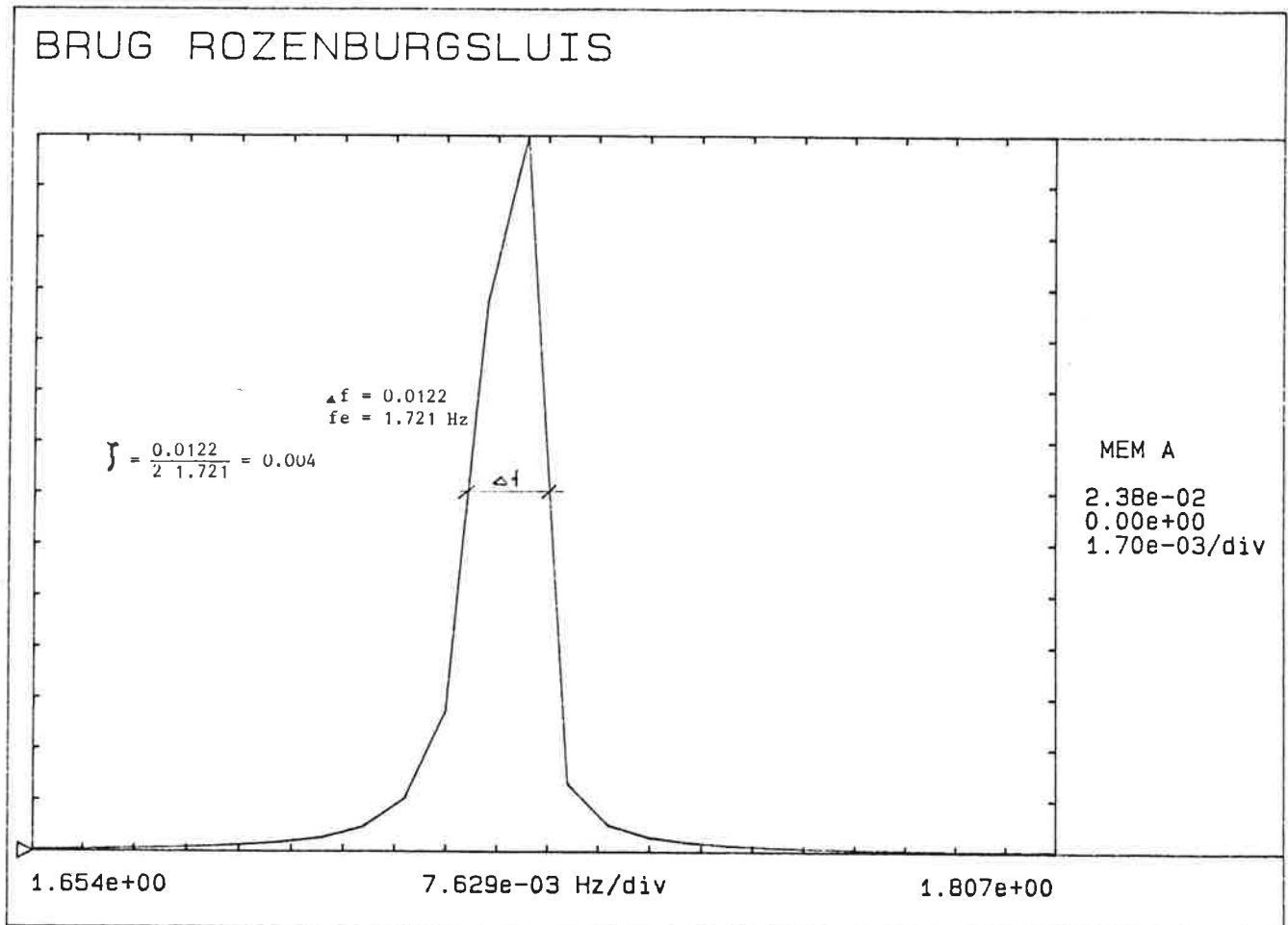
Figuur 4.5: Geselecteerd signaal brug Bergsediep



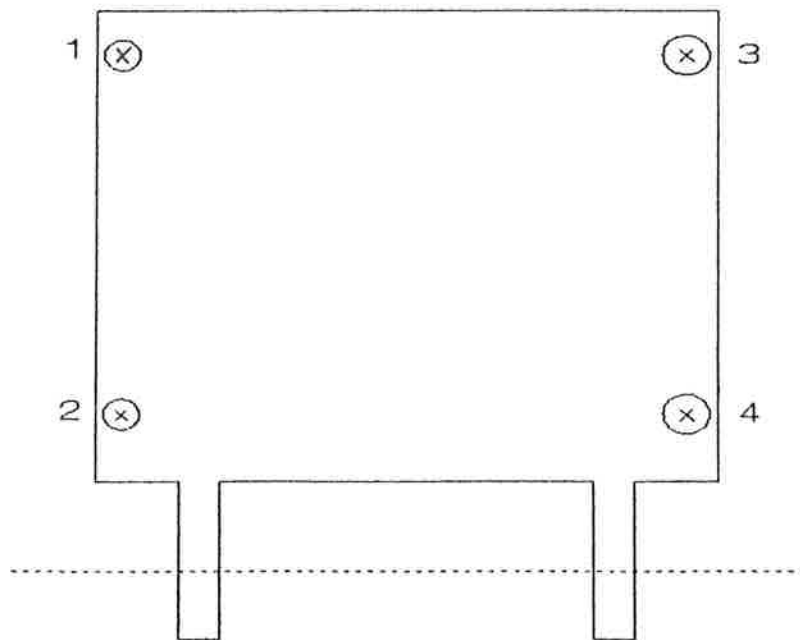
Figuur 4.6: Geselecteerd signaal brug Arkel



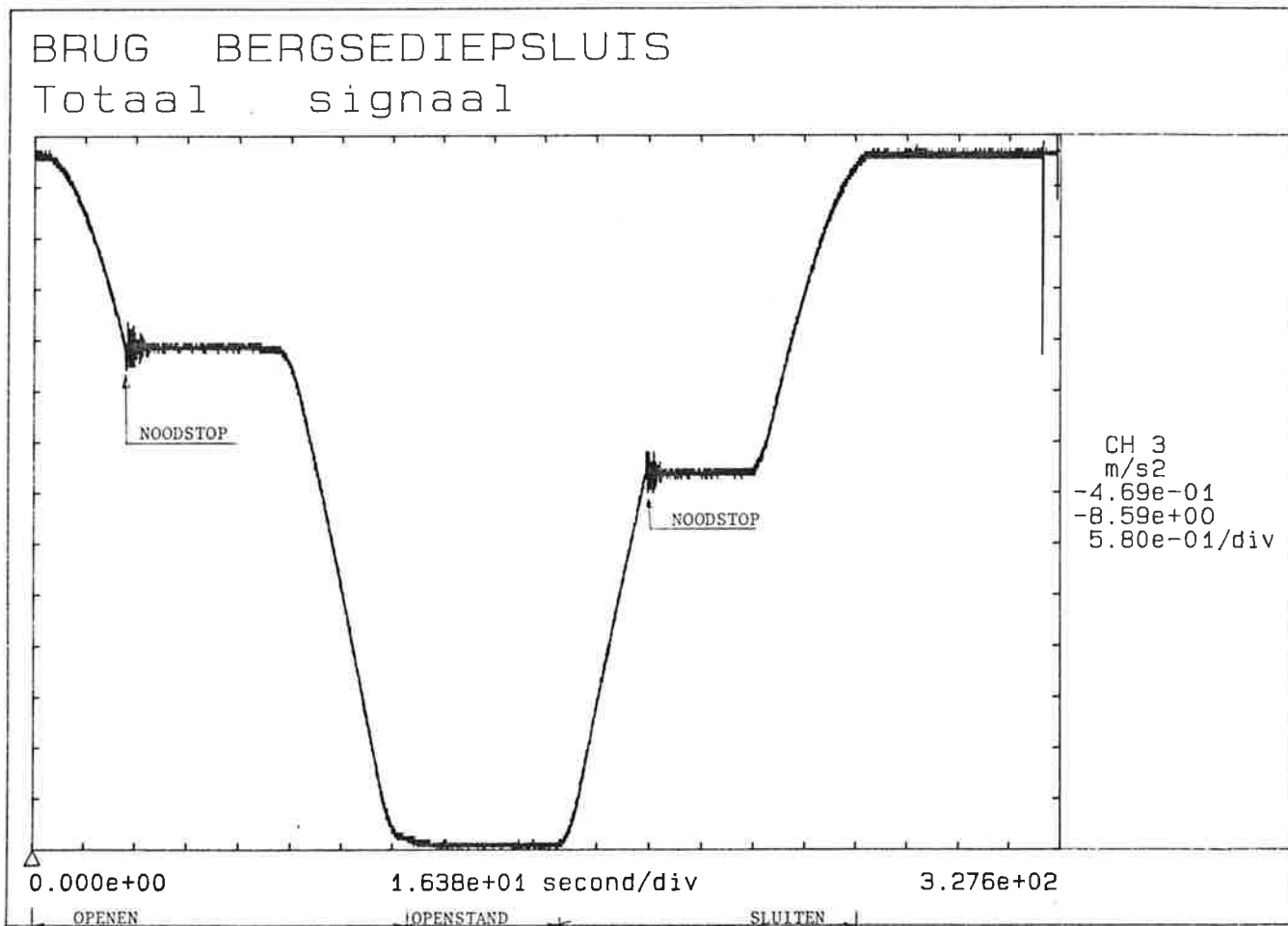
Figuur 4.7: Spectrum brug Rozenburgsluis



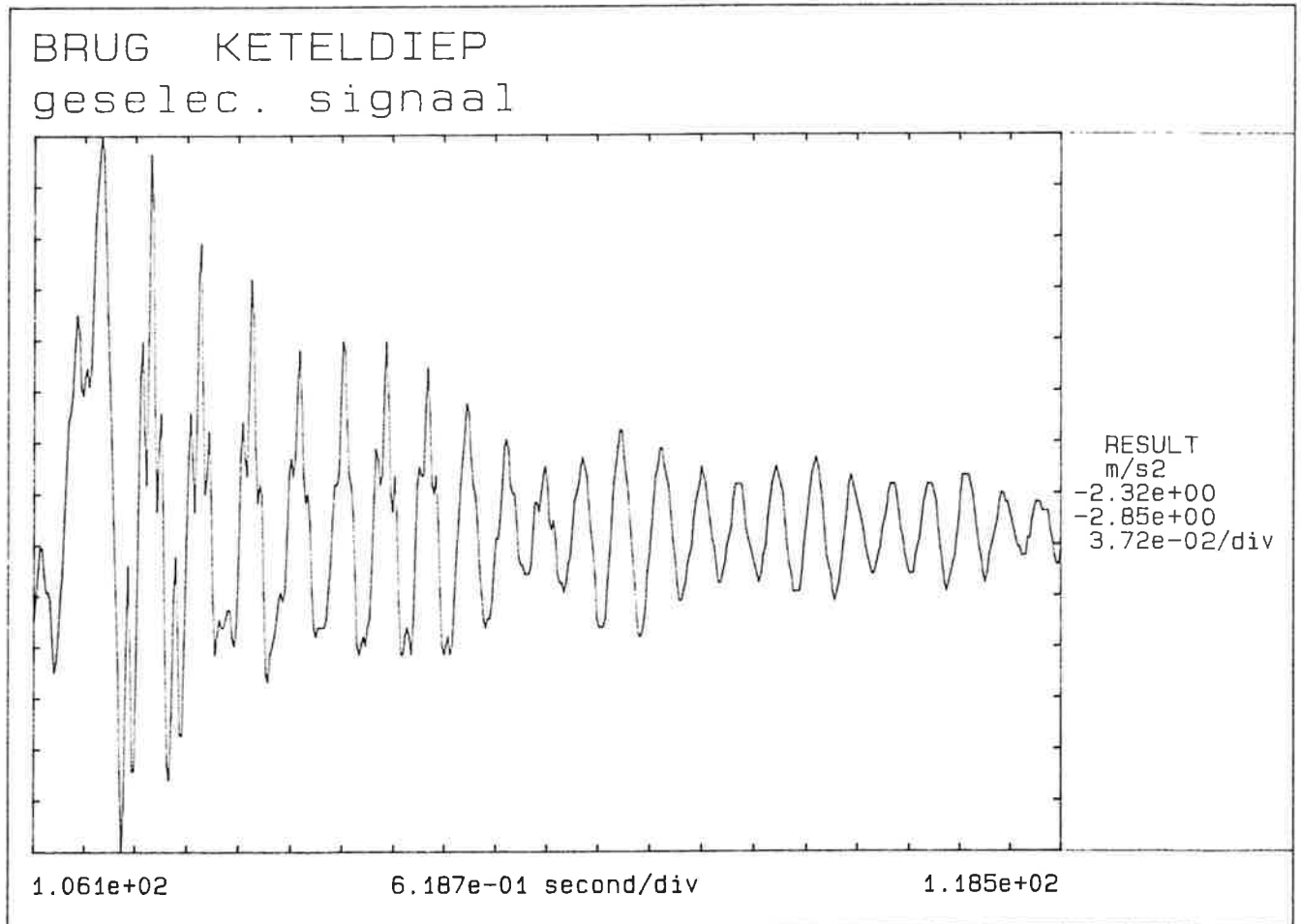
Figuur 3.1: Locatie versnellingsopnemers aan de val van de brug



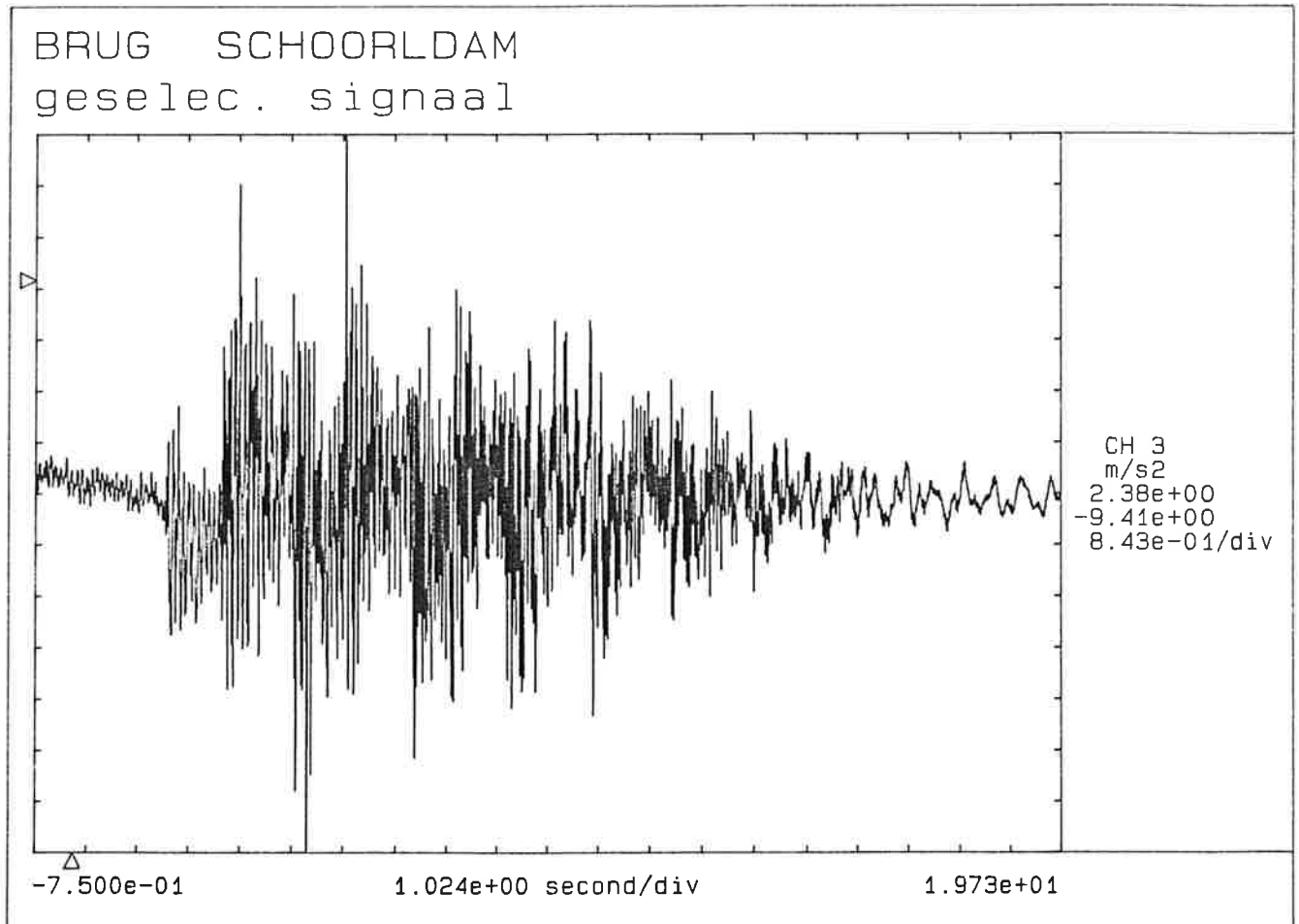
Figuur 3.2 : Signaal bij een openingscyclus met noodstop tijdens openen en sluiten



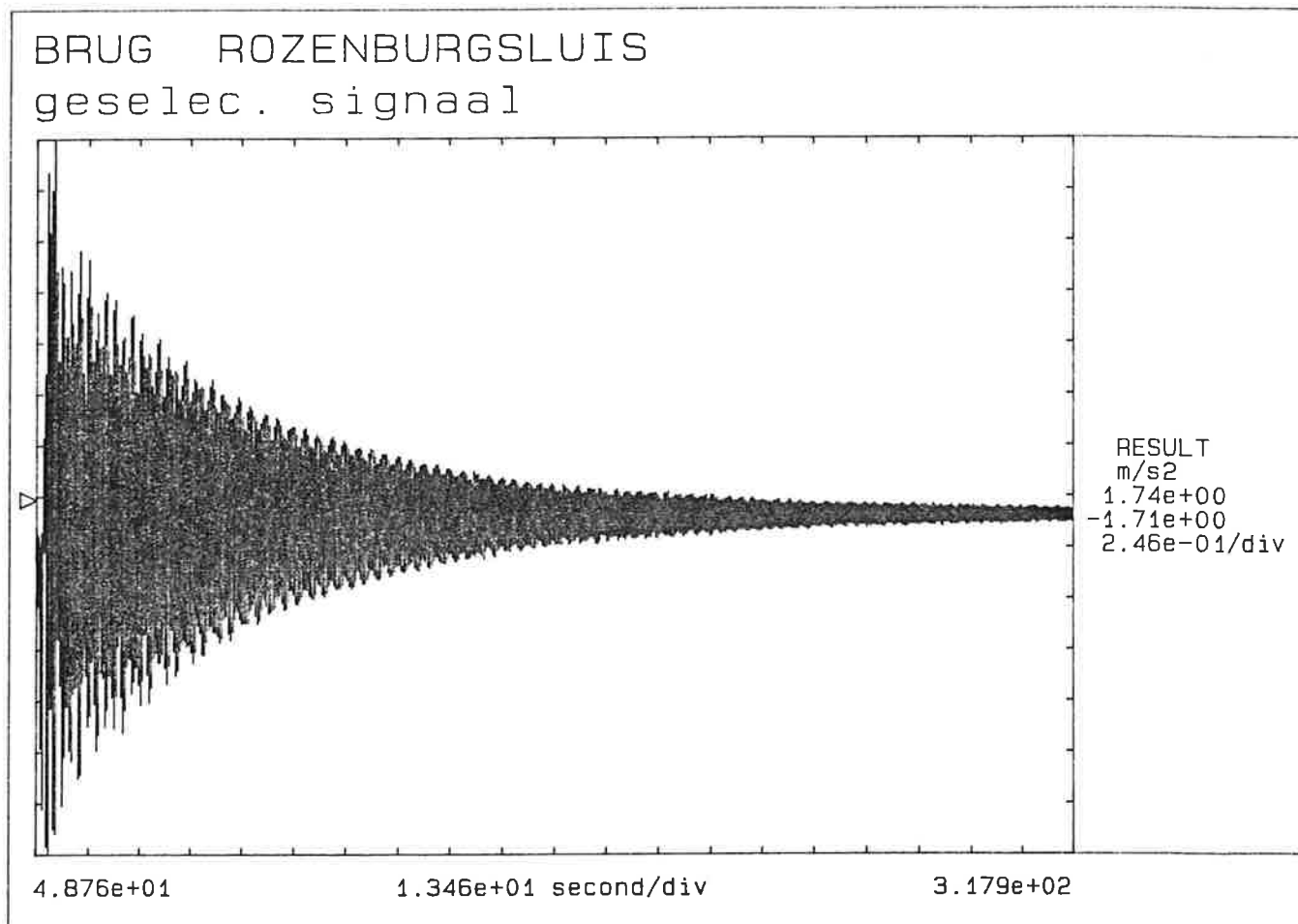
Figuur 4.1: Geselecteerd signaal brug Ketelmeer



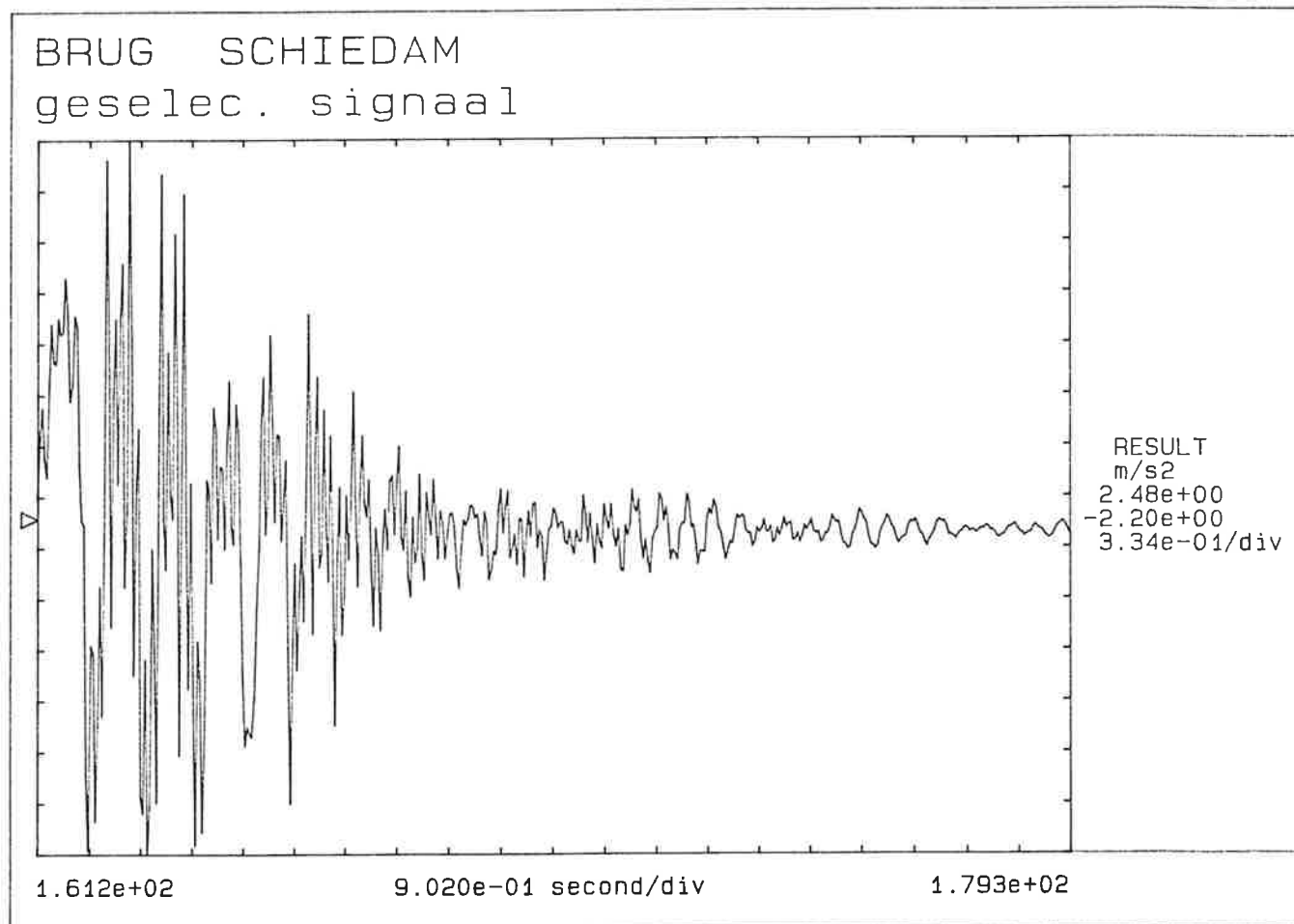
Figuur 4.2: Geselecteerd signaal brug Schoorldam



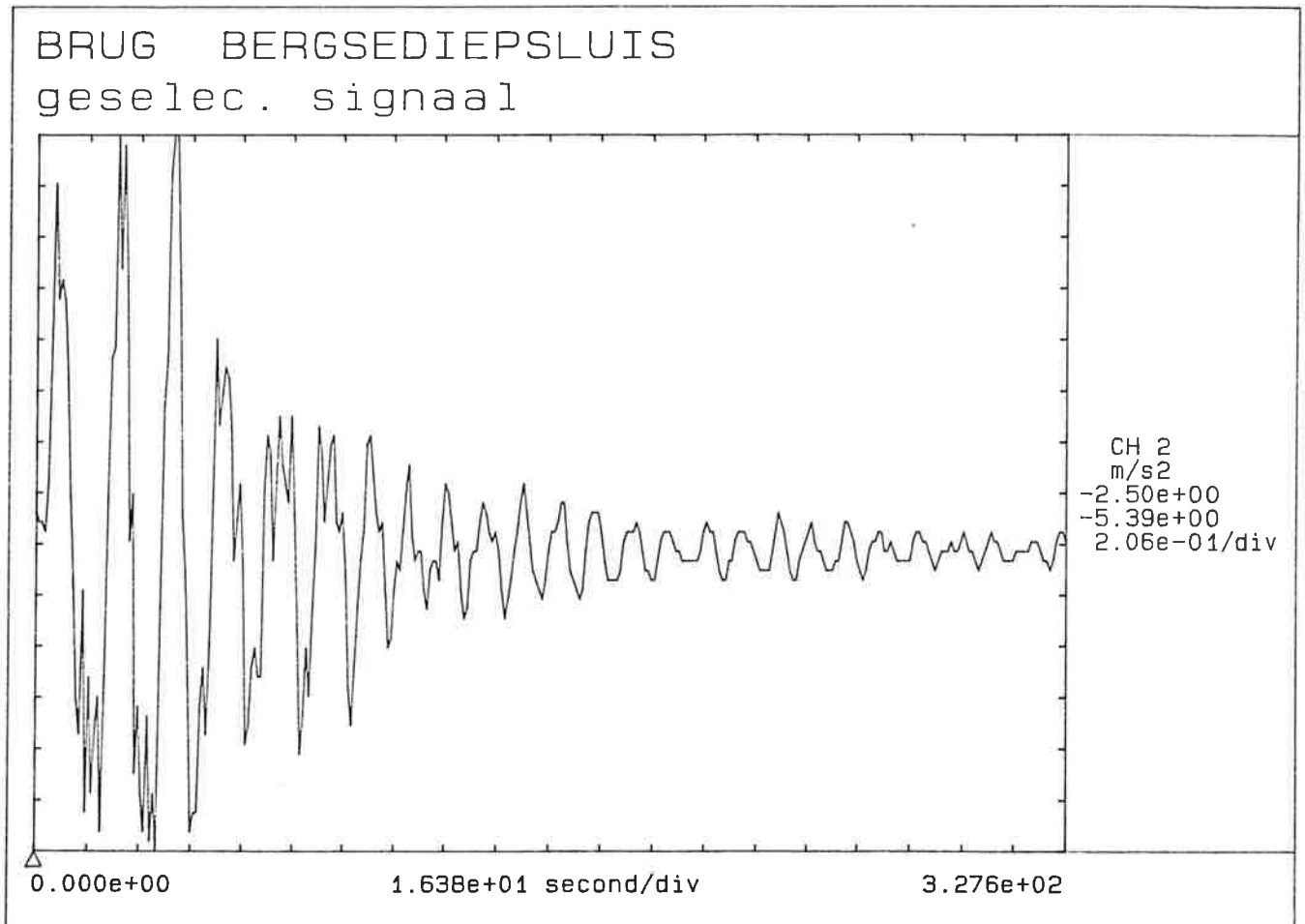
Figuur 4.3: Geselecteerd signaal brug Rozenburgsluis



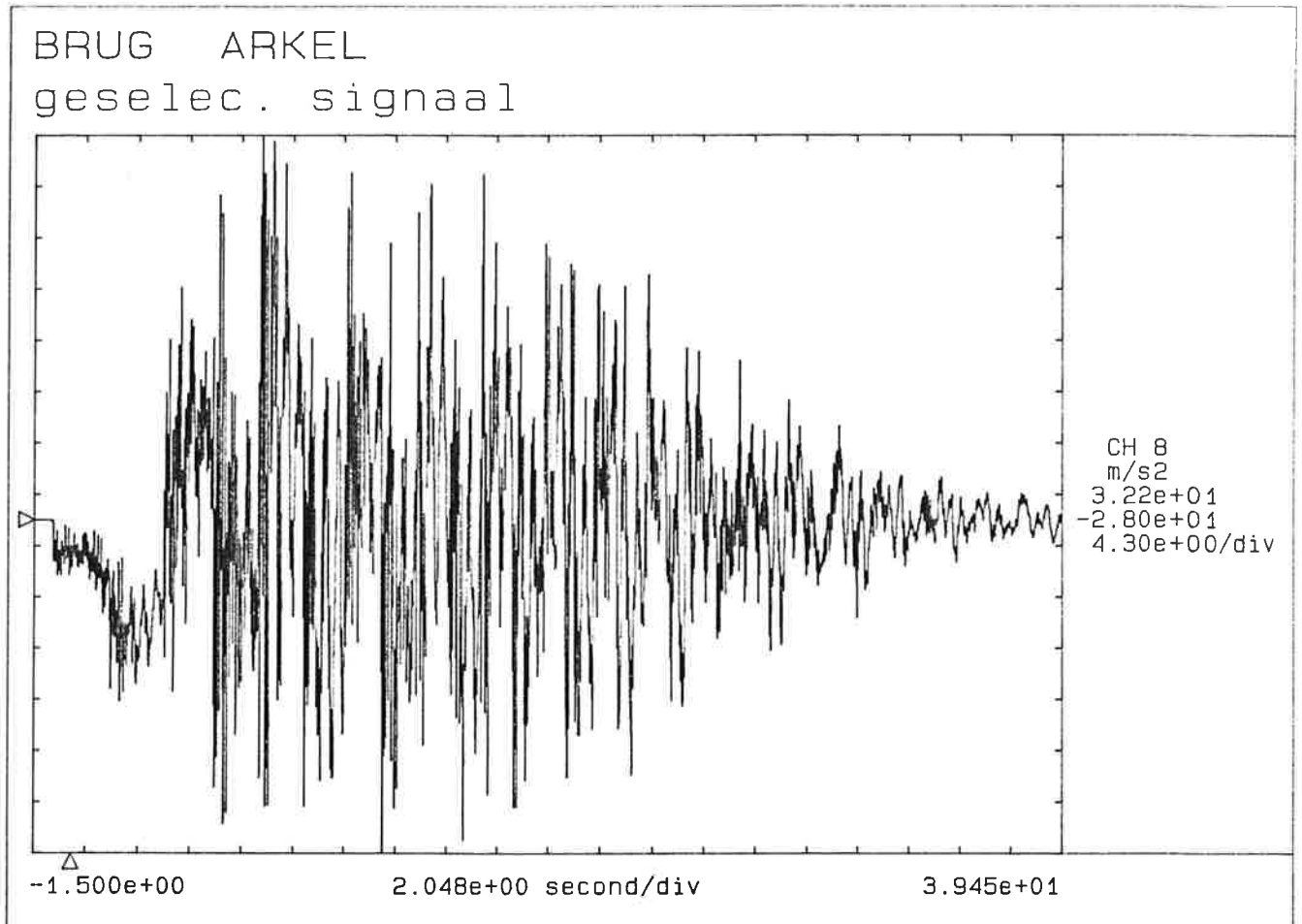
Figuur 4.4: Geselecteerd signaal brug Schiedam



Figuur 4.5: Geselecteerd signaal brug Bergsediep



Figuur 4.6: Geselecteerd signaal brug Arkel



Figuur 4.7: Spectrum brug Rozenburgsluis

