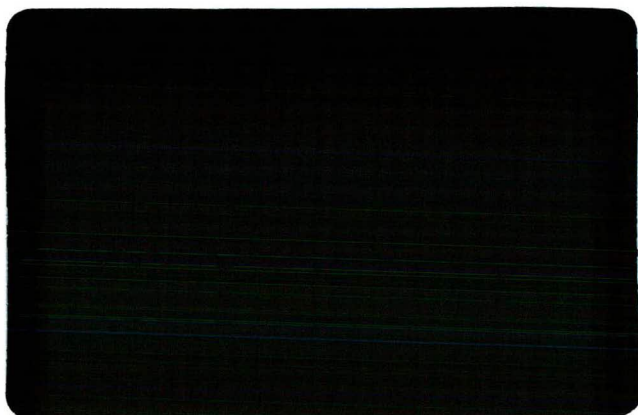


1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100. 101. 102. 103. 104. 105. 106. 107. 108. 109. 110. 111. 112. 113. 114. 115. 116. 117. 118. 119. 120. 121. 122. 123. 124. 125. 126. 127. 128. 129. 130. 131. 132. 133. 134. 135. 136. 137. 138. 139. 140. 141. 142. 143. 144. 145. 146. 147. 148. 149. 150. 151. 152. 153. 154. 155. 156. 157. 158. 159. 160. 161. 162. 163. 164. 165. 166. 167. 168. 169. 170. 171. 172. 173. 174. 175. 176. 177. 178. 179. 180. 181. 182. 183. 184. 185. 186. 187. 188. 189. 190. 191. 192. 193. 194. 195. 196. 197. 198. 199. 200. 201. 202. 203. 204. 205. 206. 207. 208. 209. 210. 211. 212. 213. 214. 215. 216. 217. 218. 219. 220. 221. 222. 223. 224. 225. 226. 227. 228. 229. 230. 231. 232. 233. 234. 235. 236. 237. 238. 239. 240. 241. 242. 243. 244. 245. 246. 247. 248. 249. 250. 251. 252. 253. 254. 255. 256. 257. 258. 259. 260. 261. 262. 263. 264. 265. 266. 267. 268. 269. 270. 271. 272. 273. 274. 275. 276. 277. 278. 279. 280. 281. 282. 283. 284. 285. 286. 287. 288. 289. 290. 291. 292. 293. 294. 295. 296. 297. 298. 299. 300. 301. 302. 303. 304. 305. 306. 307. 308. 309. 310. 311. 312. 313. 314. 315. 316. 317. 318. 319. 320. 321. 322. 323. 324. 325. 326. 327. 328. 329. 330. 331. 332. 333. 334. 335. 336. 337. 338. 339. 340. 341. 342. 343. 344. 345. 346. 347. 348. 349. 350. 351. 352. 353. 354. 355. 356. 357. 358. 359. 360. 361. 362. 363. 364. 365. 366. 367. 368. 369. 370. 371. 372. 373. 374. 375. 376. 377. 378. 379. 380. 381. 382. 383. 384. 385. 386. 387. 388. 389. 390. 391. 392. 393. 394. 395. 396. 397. 398. 399. 400. 401. 402. 403. 404. 405. 406. 407. 408. 409. 410. 411. 412. 413. 414. 415. 416. 417. 418. 419. 420. 421. 422. 423. 424. 425. 426. 427. 428. 429. 430. 431. 432. 433. 434. 435. 436. 437. 438. 439. 440. 441. 442. 443. 444. 445. 446. 447. 448. 449. 450. 451. 452. 453. 454. 455. 456. 457. 458. 459. 460. 461. 462. 463. 464. 465. 466. 467. 468. 469. 470. 471. 472. 473. 474. 475. 476. 477. 478. 479. 480. 481. 482. 483. 484. 485. 486. 487. 488. 489. 490. 491. 492. 493. 494. 495. 496. 497. 498. 499. 500. 501. 502. 503. 504. 505. 506. 507. 508. 509. 510. 511. 512. 513. 514. 515. 516. 517. 518. 519. 520. 521. 522. 523. 524. 525. 526. 527. 528. 529. 530. 531. 532. 533. 534. 535. 536. 537. 538. 539. 540. 541. 542. 543. 544. 545. 546. 547. 548. 549. 550. 551. 552. 553. 554. 555. 556. 557. 558. 559. 560. 561. 562. 563. 564. 565. 566. 567. 568. 569. 570. 571. 572. 573. 574. 575. 576. 577. 578. 579. 580. 581. 582. 583. 584. 585. 586. 587. 588. 589. 590. 591. 592. 593. 594. 595. 596. 597. 598. 599. 600. 601. 602. 603. 604. 605. 606. 607. 608. 609. 610. 611. 612. 613. 614. 615. 616. 617. 618. 619. 620. 621. 622. 623. 624. 625. 626. 627. 628. 629. 630. 631. 632. 633. 634. 635. 636. 637. 638. 639. 640. 641. 642. 643. 644. 645. 646. 647. 648. 649. 650. 651. 652. 653. 654. 655. 656. 657. 658. 659. 660. 661. 662. 663. 664. 665. 666. 667. 668. 669. 670. 671. 672. 673. 674. 675. 676. 677. 678. 679. 680. 681. 682. 683. 684. 685. 686. 687. 688. 689. 690. 691. 692. 693. 694. 695. 696. 697. 698. 699. 700. 701. 702. 703. 704. 705. 706. 707. 708. 709. 710. 711. 712. 713. 714. 715. 716. 717. 718. 719. 720. 721. 722. 723. 724. 725. 726. 727. 728. 729. 730. 731. 732. 733. 734. 735. 736. 737. 738. 739. 740. 741. 742. 743. 744. 745. 746. 747. 748. 749. 750. 751. 752. 753. 754. 755. 756. 757. 758. 759. 760. 761. 762. 763. 764. 765. 766. 767. 768. 769. 770. 771. 772. 773. 774. 775. 776. 777. 778. 779. 780. 781. 782. 783. 784. 785. 786. 787. 788. 789. 790. 791. 792. 793. 794. 795. 796. 797. 798. 799. 800. 801. 802. 803. 804. 805. 806. 807. 808. 809. 810. 811. 812. 813. 814. 815. 816. 817. 818. 819. 820. 821. 822. 823. 824. 825. 826. 827. 828. 829. 830. 831. 832. 833. 834. 835. 836. 837. 838. 839. 840. 84





Referred to separate 1917
United States Department of
the following statement
Attending as Data

ONDERZOEK NAAR DE ZOUT-
INDRINGING OP DE ANTWERPSE
HAVENDOKKEN EN HET ALBERT-
KANAAL BIJ LAGE DEBIETEN

Nota 86.27



Dordrecht, september 1986
Dienst Binnenwateren/RIZA
Hoofdafdeling Watersystemen
Afdeling WS Delta

1. The first part of the report is a general introduction to the subject of the study. It discusses the importance of the study and the objectives of the research.

2. The second part of the report is a detailed description of the methodology used in the study. It includes a description of the data sources, the sampling method, and the statistical methods used.

3. The third part of the report is a description of the results of the study. It includes a description of the data and the statistical analysis of the data.

4. The fourth part of the report is a discussion of the results of the study. It includes a discussion of the implications of the results and the limitations of the study.

5. The fifth part of the report is a conclusion. It includes a summary of the findings of the study and a statement of the author's conclusions.

6. The sixth part of the report is a list of references. It includes a list of the books, articles, and other sources used in the study.

7. The seventh part of the report is an appendix. It includes a list of the tables, figures, and other material that are included in the report.

8. The eighth part of the report is a glossary. It includes a list of the terms and abbreviations used in the report.

9. The ninth part of the report is a list of figures. It includes a list of the figures that are included in the report.

10. The tenth part of the report is a list of tables. It includes a list of the tables that are included in the report.

11. The eleventh part of the report is a list of appendices. It includes a list of the appendices that are included in the report.

12. The twelfth part of the report is a list of references. It includes a list of the books, articles, and other sources used in the study.

I N H O U D

=====

blz.

Lijst van bijlagen

Literatuurlijst

| | | |
|----|--|----|
| 1. | SAMENVATTING | 1 |
| 2. | INLEIDING | 2 |
| 3. | SITUATIE VÓÓR 1987 | 3 |
| | 3.1. Beschrijving onderzoeksgebied | 3 |
| | 3.2. Waterbalans | 8 |
| | 3.3. Verziltingssituatie | 10 |
| | 3.4. Berekende chloridekoncentraties | 13 |
| | 3.5. Chloridegradiënt van het Albertkanaal | 16 |
| 4. | SITUATIE NA 1987 | 20 |
| | 4.1. Verandering na 1987 | 20 |
| | 4.2. Bepaling vereist aanvoerdebiet | 22 |
| 5. | KONKLUSIES | 24 |

LIJST VAN BIJLAGEN

=====

1. Situatie Antwerpse haven.
2. Beginvoorwaarden.

LITERATUURLIJST

=====

1. Waterbeheer en dispersie in het Albertkanaal en in de Kempense kanalen.
W. van Craenenbroeck, J. Marivoet en P. Stas.
2. Relatie tussen de wateruitwisseling in de dokken van de haven van Antwerpen en de geografische verspreiding van chloriden en metalen in water en slib.
Proefschrift van J. Senten (1981).
3. Waterkwaliteit van de dokken.
J. van Loon - april 1983.
Provinciaal Instituut voor Hygiëne,
Kronenburgstraat 45 - 2000 Antwerpen.
4. Haven van Antwerpen - chloridegehalte.
Ministerie van Openbare Werken,
Bestuur der Waterwegen,
Antwerpse Zeediensten.
December 1981.
5. Zoutmetingen in de dokken van de Antwerpse haven, periode 1966-1970.
Ir. I. Coen.
Ministerie van Openbare Werken,
Bestuur der Waterwegen,
Antwerpse Zeediensten.
Januari 1971.
6. De berekening van het chloridegehalte van meren.
Rijkswaterstaat,
Direktie Waterhuishouding en Waterbeweging,
Distrikt Zuidwest.
Nota 11.003.01.
November 1976 en
Dienst der Zuiderzeewerken.
Nota ZZW B-N-750010.

1. SAMENVATTING

=====

Deze nota omvat een onderzoek naar de zoutindringing op de Antwerpse havendokken en met name het Albertkanaal.

Het Albertkanaal vormt de scheepvaartverbinding tussen de Maas en de havendokken. Als gevolg van het schutproces is er een resulterende waterstroom in de richting van deze dokken, waardoor de verzilting op het Albertkanaal wordt tegengegaan.

In deze nota wordt de vraag beantwoord, wat het minimale debiet is om te voorkomen dat de verzilting reikt tot aan de schutsluizen te Wijnegem. Dit is gedaan voor de situatie na 1987, wanneer het Zoommeer gereed is.

Uit het onderzoek volgt, dat een belangrijke bron van verzilten het inlaten van water uit de Schelde is (in 1980 circa $6 \text{ m}^3/\text{s}$). Dit inlaten is nodig om de havendokken op peil te houden.

In de situatie na 1987 wordt vanuit het Zoommeer zoet water naar de havendokken gevoerd, waarmee deze bron van verzilten vervalst. Hierdoor bereiken de chlorideconcentraties op de havendokken lagere waarden.

In het droge jaar 1976 wordt in de nieuwe situatie een maximum berekend van $1,5 \text{ kg/s}$ tegen $8 \text{ à } 9 \text{ kg/s}$ in de huidige situatie, indien vanuit het Zoommeer een hoeveelheid water van $10 \text{ m}^3/\text{s}$ naar de havendokken wordt gevoerd.

Uit berekeningen volgt, dat in dat geval een aanvoerdebiet van $2 \text{ m}^3/\text{s}$ voldoende is om de verzilting op het Albertkanaal op enige afstand van de schutsluizen te Wijnegem te houden.

2. INLEIDING

=====

In het kader van de activiteiten van de Technische Maascommissie (TMC) heeft de werkgroep Kwantiteit-TMC aan de Dienst Binnenwateren/RIZA, hoofdafdeling Watersystemen, verzocht om advies met betrekking tot de zoutindringing bij lage debieten op de Antwerpse havendokken annex het Albertkanaal.

De vraag is:

Tot welke waarde kan het aanvoerdebiet via het Albertkanaal worden verminderd om te voorkomen dat de verziltende invloed vanuit de havendokken reikt tot aan de schutsluizen te Wijnegem?

In deze nota wordt eerst het onderzoeksgebied beschreven en worden aan de hand van meetgegevens waarden voor de in de formules voorkomende coëfficiënten afgeleid (hoofdstuk 3).

Vervolgens wordt ingegaan op de situatie na 1987 (Zoommeer gereed) en worden de berekeningsresultaten voor deze nieuwe situatie gepresenteerd (hoofdstuk 4).

3. SITUATIE VOÓR 1987

=====

In dit hoofdstuk wordt een korte beschrijving gegeven van het onderzoeksgebied en worden afmetingen vermeld die voor de berekeningen van belang zijn.

Verder worden gegevens gepresenteerd van de water- en chloridebalans. Deze gegevens dienen voor het afregelen van rekenmodellen.

3.1. Beschrijving onderzoeksgebied

Het onderzoeksgebied omvat:

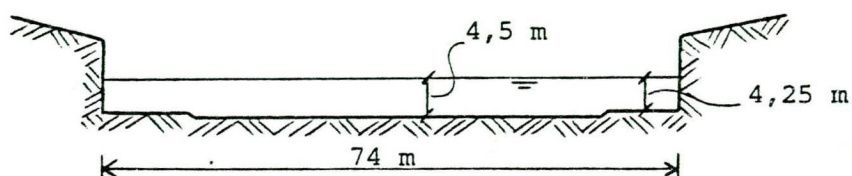
- a) het Albertkanaal tot de schutsluizen te Wijnegem,
- b) de Antwerpse havendokken en
- c) het Schelde-Rijnkanaal tot aan de Kreekraksluizen.

Zie voor de situatie bijlage 1.

a) Het Albertkanaal

De lengte van het Albertkanaal van de schutsluizen te Wijnegem tot de spoorbrug nabij het Lefebvredok bedraagt circa 9,75 km. Op een afstand van circa 3 km vanaf de schutsluizen te Wijnegem mondt het Kanaal van Schoten naar Turnhout uit op het Albertkanaal.

In figuur 1 is een veel voorkomend dwarsprofiel getekend (schematisch).



figuur 1 : Dwarsprofiel Albertkanaal.

Uit de figuur volgt:

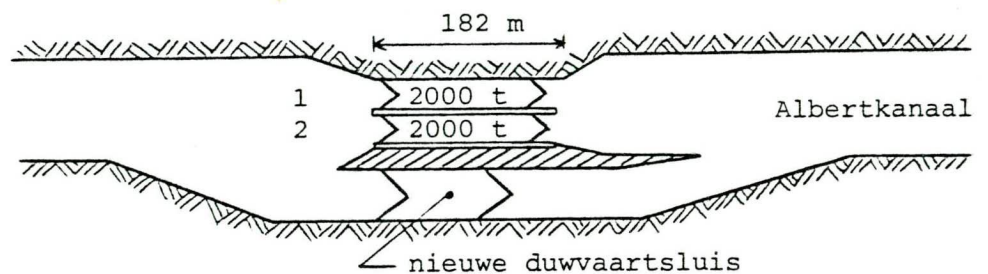
| | | |
|---|--------------------------|--------------------|
| - | waterdiepte | 4,5 m |
| - | breedte | 74 m |
| - | oppervlakte dwarsprofiel | 330 m ² |

Plaatselijk is het kanaal breder en soms smaller zoals ter plaatse van bruggen.

Voor de berekening van de zoutindringing wordt van bovenstaande maten uitgegaan.

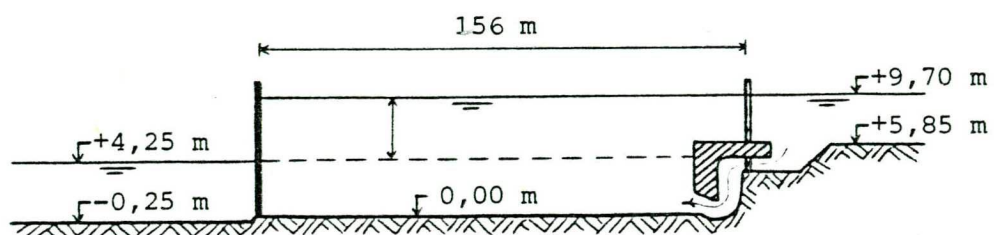
Konfiguratie schutsluizen te Wijnegem

Te Wijnegem bevinden zich een tweetal schutsluizen geschikt voor het schutten van schepen tot 2.000 ton en is een duwvaartsluis in aanbouw. Figuur 2 toont een schematische voorstelling van de situering van deze sluizen.



figuur 2 : Situering schutsluizen te Wijnegem.

Figuur 3 toont een lengtedoorsnede van de 2.000 ton-schutsluizen.



(niveaus t.o.v. NKD)

figuur 3 : Schematische lengtedoorsnede 2.000 ton-schutsluizen te Wijnegem.

De afmetingen zijn:

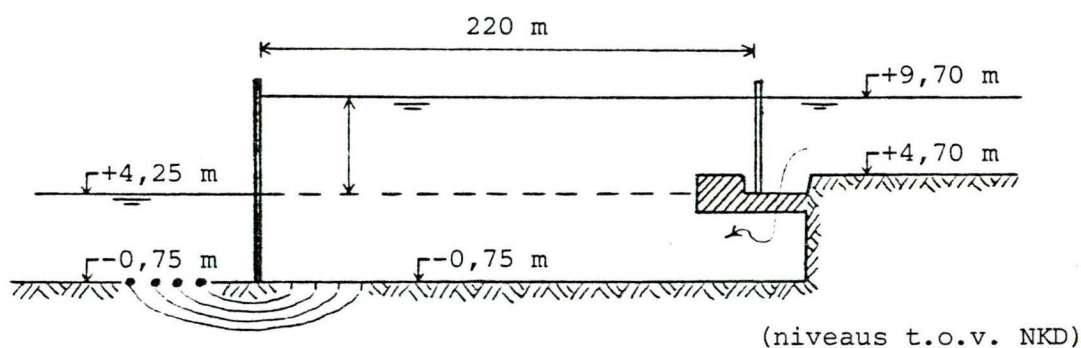
- lengte 156 m
- breedte 16 m
- hoogte schuttschijf 5,45 m (= 9,70 m - 4,25 m)

Bij elke schutcyclus transporteert een hoeveelheid water van het hoge pand naar het lage pand van:

$$156 \times 16 \times 5,45 = 13.600 \text{ m}^3$$

(per schutcyclus per etmaal 0,16 m³/s).

Figuur 4 toont een lengtedoorsnede van de duwvaartsluis.



figuur 4 : Schematische lengtedoorsnede duwvaartsluis te Wijnegem.

De afmetingen zijn:

- lengte 220 m
- breedte 24 m
- hoogte schuttschijf 5,45 m

Het watervolume van de nivelleerschijf bedraagt:

$$220 \times 24 \times 5,45 = 28.780 \text{ m}^3$$

(per schutcyclus per etmaal 0,33 m³/s).

De figuren 3 en 4 tonen, dat het niveau van de bodem van het bovenpand ligt boven het niveau van de waterspiegel van het benedenpand. Bij een eventuele verzilting tot aan de schutsluizen is dit een gunstige situatie voor het bovenpand.

b) De Antwerpse havendokken

De haven van Antwerpen bestaat uit een groot aantal dokken en insteekehavens met een streefpeil van NKD + 4,25 m tot NKD + 4,35 m (= NAP + 1,85 m tot NAP + 1,95 m) met een maximum van NKD + 4,40 m (= NAP + 2,00 m) en een minimum van NKD + 3,50 m (= NAP + 1,10 m) (lit. 2). *)

De totale wateroppervlakte tot de Belgische grens = 1.325 ha;
het volume = $194,6 \times 10^6 \text{ m}^3$; de waterdiepte = 15 m.

Via schutsluizen staat de haven in verbinding met de Schelde en via het Schelde-Rijnkanaal en de Kreekraksluizen met de Oosterschelde. In 1987 is dit het Zoommeer.

Als gevolg van het hoge streefpeil ten opzichte van het omringen-
de water wordt door het nivelleren tijdens het schutproces via
deze schutsluizen veel water getransporteerd in de richting van
de Westerschelde. Tabel 1 geeft een overzicht van de betreffende
schutsluizen. Tevens zijn in deze tabel - voor zover bekend -
de afmetingen vermeld.

In bijlage 1 is de plaats van de schutsluizen te vinden.

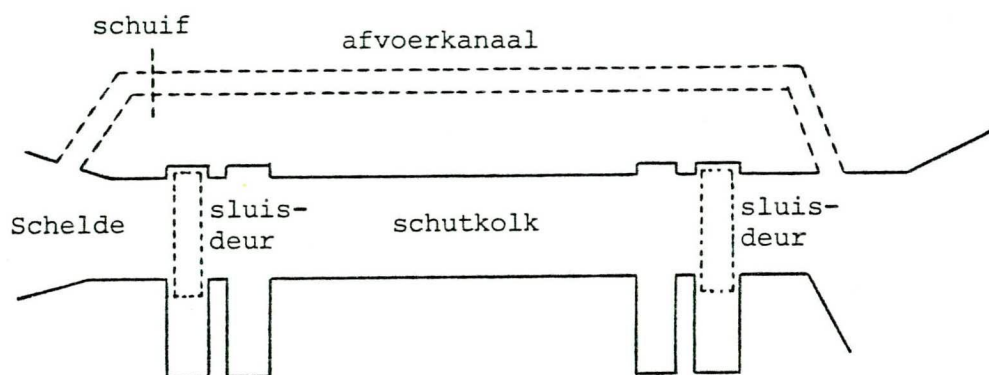
tabel 1 : Overzicht schutsluizen en hun afmetingen.

| naam van de sluis | l
(in m) | b
(in m) | d
(in m
t.o.v. NAP) | aantal
schutcycli
per etmaal |
|---------------------|-----------------------------|-------------|---------------------------|------------------------------------|
| Zandvlietsluis | 500 | 57,1 | - 15,9 | 7,5 |
| Boudewijnsluis | 360 | 45 | - 12,7 | 7,5 |
| Van Cauwelaertsluis | 270 | 35 | - 12,2 | 8 |
| Royerssluis | opp. : 4.081 m ² | | - 8,7 | 8 |
| Kattendijksluis | opp. : 3.000 m ² | | - 5,4 | 10 |
| Bonapartesluis | | | | |

*) In Antwerpen neemt de Topografische Dienst van het Ministerie van Openbare Werken als nulvlak het NKD, d.w.z. het Nulvlak Krijgsdepot (destijds gelegen aan het Kattendijkdok). Het NKD is plaatsgebonden. Zo neemt men in Nederland het NAP (Normaal Amsterdams Peil), dat 2,40 m lager ligt dan het NKD-nulvlak.

Via afvoerkanalen c.q. via sluisdeurkleppen kan Scheldewater in de hoogwaterfase getransporteerd worden in de richting van de havens en in de laagwaterfase in de richting van de Schelde. Sluisdeurkleppen komen voor bij de Van Cauwelaertsluis en bij de Boudewijnsluis.

Afvoerkanalen komen voor bij de Boudewijnsluis en de Zandvliet-sluis. (Zie figuur 5).



figuur 5 : Schematisch overzicht afvoerkanaal.

c) Het Schelde-Rijnkanaal

Het Schelde-Rijnkanaal vormt de scheepvaartverbinding tussen de Kreekraksluizen en de Antwerpse havendokken nabij Zandvliet.

De afmetingen zijn (globaal):

| | | | | |
|---|--------------------------|-----|----------------|---------------------|
| - | lengte | 13 | km | |
| - | breedte (gemiddeld) | 135 | m | |
| - | waterdiepte | 5,5 | m | |
| - | oppervlakte dwarsprofiel | 740 | m ² | (kmr 0 t/m kmr 11) |
| - | oppervlakte dwarsprofiel | 975 | m ² | (kmr 11 t/m kmr 13) |

3.2. Waterbalans

Voor het bestuderen van de verzilting zijn, naast de konfiguratie van het onderzoeksgebied, gegevens van de watertransporten noodzakelijk.

Het onderzoeksgebied kan worden beschouwd als een bak met een aantal inkomende en uitgaande posten.

Inkomende posten op de waterbalans zijn:

| | |
|--------------------------------|-----------------------------|
| - het Albertkanaal | 7,4 m ³ /s |
| - Zandvlietsluis (inlaat) | 3,2 m ³ /s |
| - Boudewijnsluis (inlaat) | 2,8 m ³ /s |
| - Van Cauwelaertsluis (inlaat) | 0,0 m ³ /s |
| - poldergemalen | 1,5 m ³ /s |
| - rioolwaterzuiveringen | <u>0,7 m³/s</u> |
| | <u>15,6 m³/s</u> |

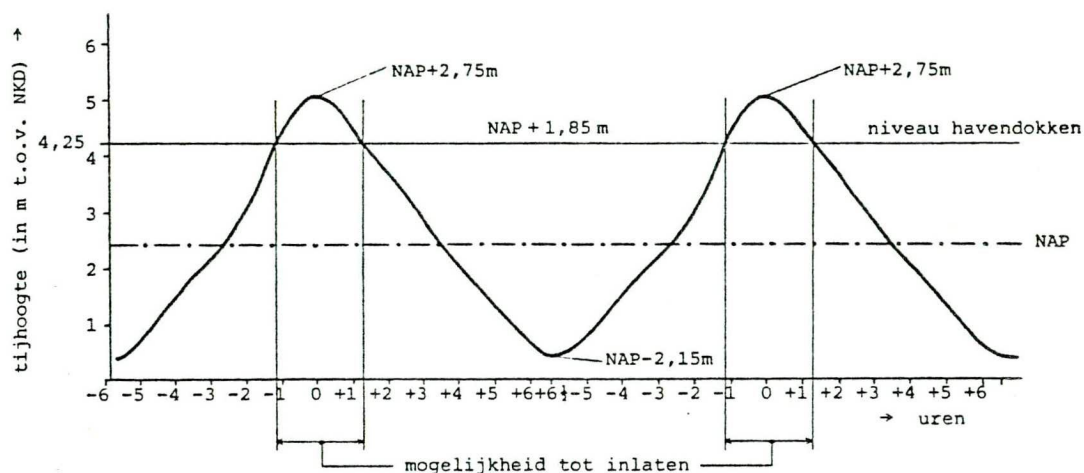
Uitgaande posten op de waterbalans zijn:

| | |
|--|-----------------------------|
| - Zandvlietsluis (schutverlies) | 4,0 m ³ /s |
| - Zandvlietsluis (spuien) | 0,9 m ³ /s |
| - Boudewijnsluis (schutverlies) | 2,0 m ³ /s |
| - Van Cauwelaertsluis (schutverlies) | 1,3 m ³ /s |
| - Royerssluis (schutverlies) | 0,6 m ³ /s |
| - Kattendijksluis (schutverlies) | 0,7 m ³ /s |
| - Kreekraksluizen (schutverlies) (tot 1987) | 3,4 m ³ /s |
| - watermaatschappij,
industrie, lek (sluitpost) | <u>2,7 m³/s</u> |
| | <u>15,6 m³/s</u> |

Voor een indruk van de grootte van de posten is het jaargemiddelde van 1980 vermeld.

De balans toont, dat voor het op peil houden van de waterstand in de havendokken via de Zandvlietsluis en de Boudewijnsluis $6 \text{ m}^3/\text{s}$ moest worden ingelaten.

Vanwege het hoge niveau van de havendokken kan dit inlaten slechts plaatsvinden in de hoogwaterperiode van het getij. Zie figuur 6.



figuur 6 : Gemiddelde getijkromme van de Schelde in relatie tot het niveau van de havendokken.

Veelal reikt de zoutindringing uit zee tot voorbij de Zandvlietsluis en de Boudewijnsluis met een maximum tijdens de hoogwaterperiode.

Dit betekent dat het in te laten water een hoge chlorideconcentratie vertoont. Zie ook § 3.3.

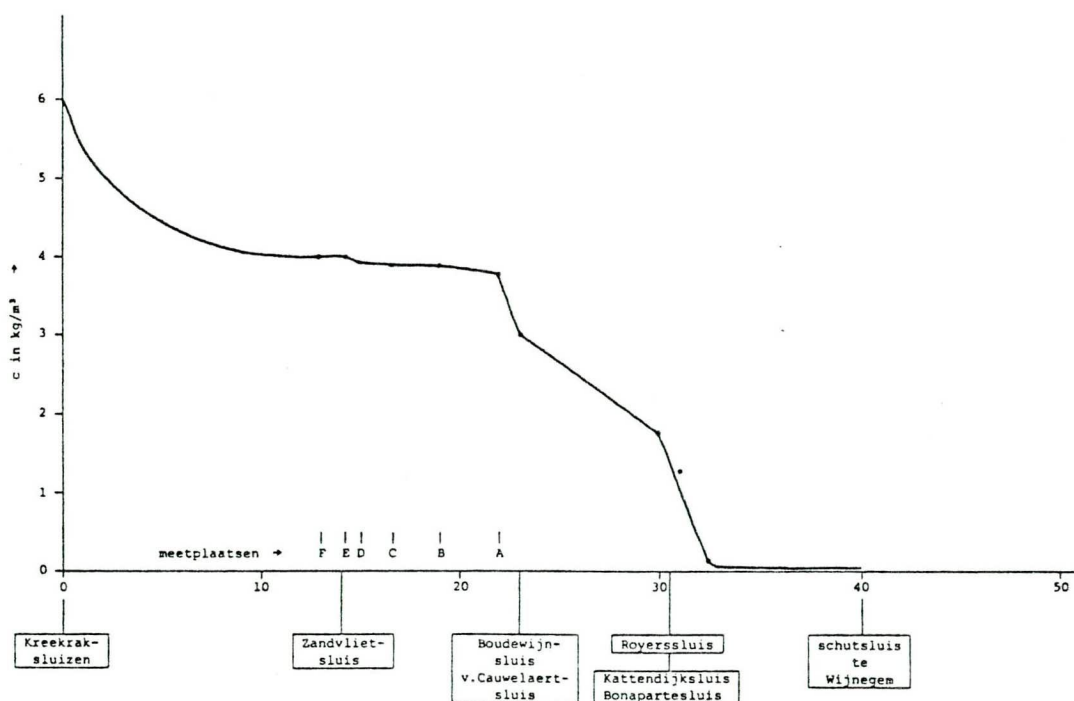
Verder toont de waterbalans, dat bij het gegeven aantal schutcycli in 1980 het schutverlies van de schutsluizen, die de verbinding vormen tussen de Schelde en de havendokken, totaal: $8,6 \text{ m}^3/\text{s}$ ($= 4,0 + 2,0 + 1,3 + 0,6 + 0,7 \text{ m}^3/\text{s}$) bedraagt. In hoofdstuk 4 wordt hier nader op ingegaan.

3.3. Verziltings situatie

In de situatie vóór 1987 wordt de verziltings situatie van de havendokken voornamelijk bepaald door:

- inlaat van Scheldewater;
- uitwisselingsproces tijdens het schutten van schepen;
- aanvoer van zoet water via het Albertkanaal.

Zie figuur 7 voor een gemiddeld beeld van het chloridekoncentratieverloop.



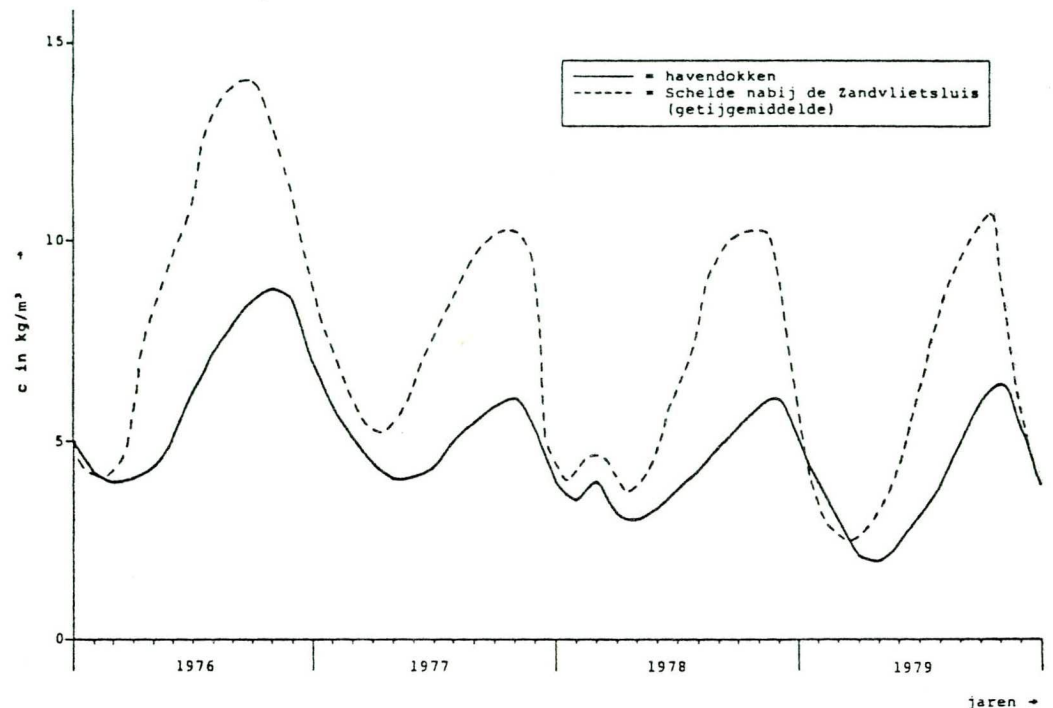
figuur 7 : Chlorideconcentratie op de havendokken, het Albertkanaal en het Schelde-Rijnkanaal gemiddeld over de periode 1967-1976 (lit. 2).

Uit de figuur valt af te lezen:

- een zoutgradiënt op het Schelde-Rijnkanaal;
- een nagenoeg konstant verloop tussen de Zandvliet-sluiz en meetplaats A nabij de Boudewijnsluis;
- een sterke zoutgradiënt tussen meetplaats A en de mond van het Albertkanaal.

De genoemde gradiënten zijn het gevolg van verschil in dichtheden, waarop in § 3.4 nader wordt ingegaan.

De mate waarin de chlorideconcentratie van de havendokken in de tijd fluktueert toont figuur 8.

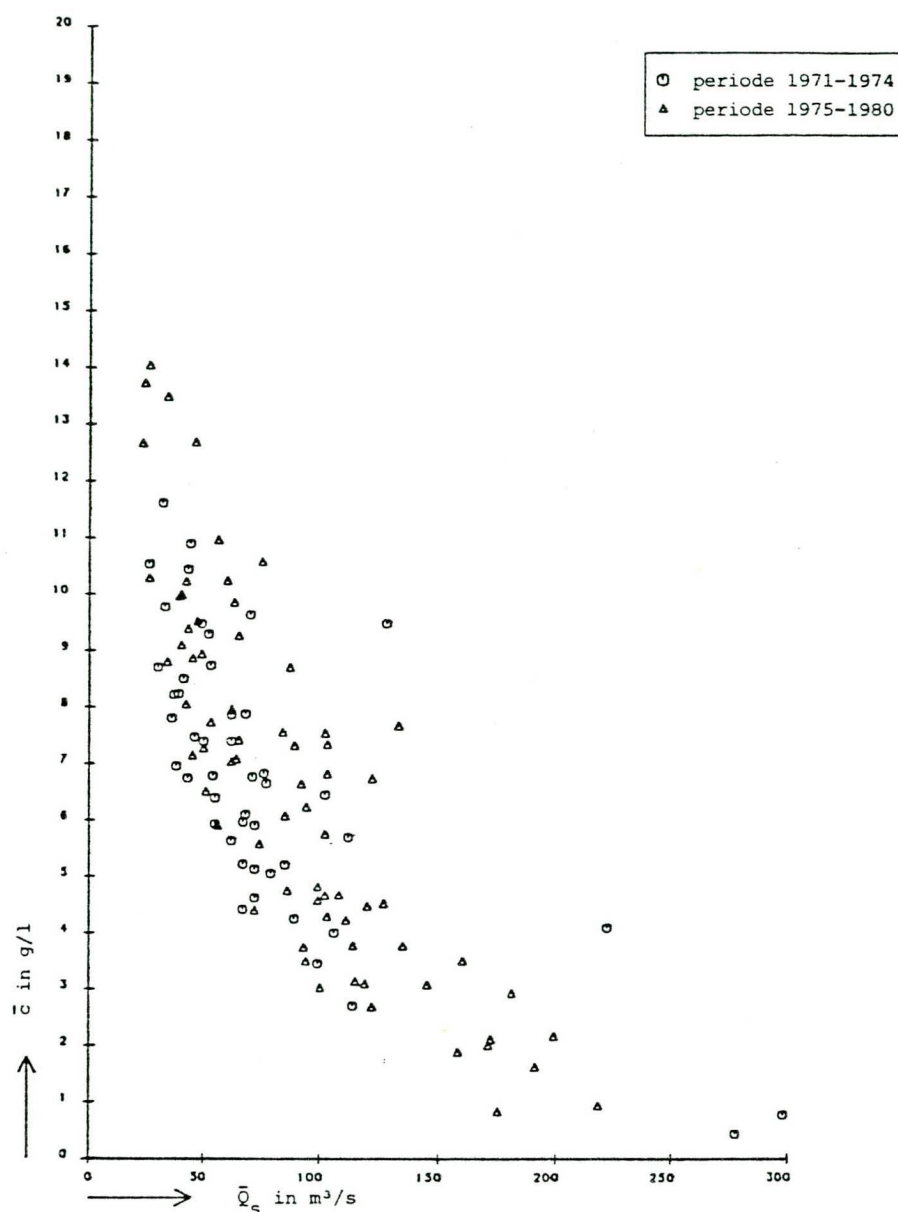


figuur 8 : Verloop chlorideconcentratie als gemiddelde van de meetplaatsen A t/m F (= havendokken).

In de figuur is tevens de chlorideconcentratie van de Schelde nabij de Zandvlietsluis getekend.

De figuur toont een jaarcyclus in de chlorideconcentratie die - met enige naijling en demping - de chlorideconcentratie van de Schelde volgt.

De chlorideconcentratie van de Schelde is op haar beurt weer afhankelijk van de afvoer van de Schelde. Zie figuur 9.



figuur 9 : Relatie chlorideconcentratie-afvoer

$\bar{c}$ = maandgemiddelde chlorideconcentratie nabij de Zandvlietsluis gemiddeld over de periode 1971 t/m 1980

$\bar{Q}_S$ = afvoer van de Schelde (3 maandelijks gemiddelde)

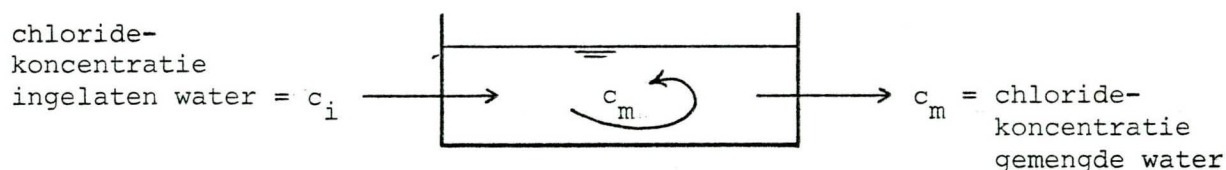
Uit het voorgaande blijkt, dat de verziltingssituatie als volgt is te schematiseren:

- een volledig gemengd zout havendokken vanaf de Zandvlietsluis tot aan de Boudewijnsdijk;
- een zoutverloop als functie van de afstand vanaf de Boudewijnsdijk richting Albertkanaal en idem op het Schelde-Rijnkanaal.

In de twee volgende paragrafen worden berekeningen uitgevoerd en koëfficiënten afgeleid. Dit is nodig om voorspellingen te kunnen maken voor de situatie na 1987.

3.4. Berekenende chlorideconcentraties

In deze paragraaf worden berekeningsresultaten gepresenteerd van de chlorideconcentraties in de havendokken. Deze is geschematiseerd tot één bak met inkomende en uitgaande posten. Verder wordt aangenomen dat het inkomende water volledig mengt met het ontvangende water (figuur 10).



figuur 10 : Schematische voorstelling volledige menging.

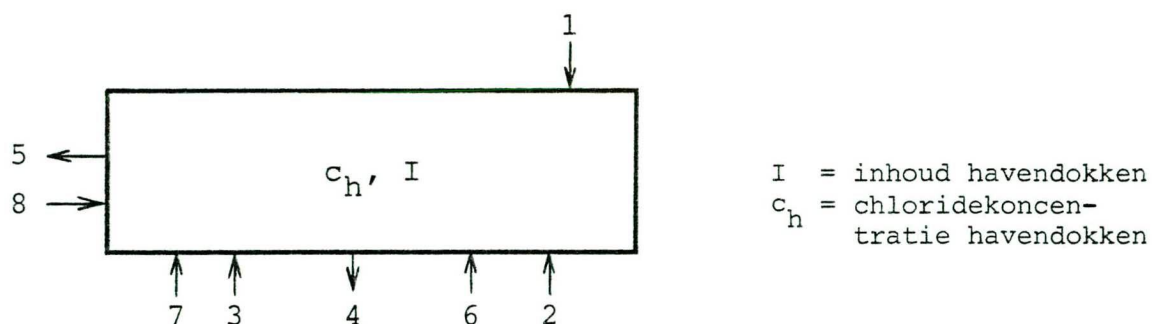
Op een bepaald tijdstip is het gehalte in elk punt in het reservoir hetzelfde. Het uitgaande water heeft een concentratie gelijk aan dat van het reservoir.

Voor een bepaald gekozen tijdsinterval kan voor het reservoir de water- en chloridebalans worden opgesteld.

Als tijdsinterval is gekozen één maand. De gegevens zijn namelijk per maand beschikbaar.

Gerekend wordt met een vereenvoudigd rekenmodel met de veronderstelling, dat de concentratie van het water dat het reservoir in het tijdsinterval van één maand verlaat gelijk is aan de concentratie aan het begin van de maand (= eind vorige maand).

In figuur 11 zijn schematisch de inkomende en uitgaande posten getekend.



figuur 11 : Inkomende en uitgaande posten.

De posten als zoutlasten zijn:

| | |
|-------------------------------------|----------------|
| 1 = het Albertkanaal | $= Q_A c_A$ |
| 2 = inlaatdebiet Boudewijnsluishuis | $= Q_B c_{SB}$ |
| 3 = inlaatdebiet Zandvlietsluishuis | $= Q_Z c_{SZ}$ |
| 4 = spuidebiet en nivelleerschijven | $= Q_S c_h$ |
| 5 = nivelleerdebiet Kreekraksluizen | $= Q_K c_h$ |
| 6 = uitwisseling Boudewijnsluishuis | $= k_B$ |
| 7 = uitwisseling Zandvlietsluishuis | $= k_Z$ |
| 8 = uitwisseling Kreekraksluizen | $= k_K$ |

De gehanteerde formule luidt:

$$c_h(t=t_t) = c_h(t=t_o) + \frac{(Q_A c_A + Q_B c_{SB} + Q_Z c_{SZ} - Q_S c_h - Q_K c_h + k_B + k_Z + k_K) t}{I}$$

waarin:

c = chloridekoncentratie in kg/m^3

c_h = c van de havendokken

c_A = c van het Albertkanaal

c_{SB} = c van de Schelde ter plaatse van de Boudewijnsluishuis

c_{SZ} = c van de Schelde ter plaatse van de Zandvlietsluishuis

Q = debiet in m^3/s

Q_A = Q van het Albertkanaal

Q_B = Q van de Boudewijnsluishuis en de Van Cauwelaertsluishuis

Q_Z = Q van de Zandvlietsluishuis

Q_S = spuidebiet en schutverliezen diverse sluizen

Q_K = schutverlies Kreekraksluizen

k = chloridelast schutsluis in kg/s

k_B = k van de Boudewijnsdijk, de Van Cauwelaertsdijk,
de Royersdijk en de Kattendijksdijk

k_Z = k van de Zandvlietsdijk

k_K = k van de Kreekraksluizen

t = tijd in seconden

t_0 = t begin van de periode (= één maand)

t_t = t einde van de periode

De chloridelast van de schutsluizen is berekend met:

$$k_B = \frac{n_B}{t} \times u \times V_B (c_{SB} - c_h)$$

$$k_Z = \frac{n_Z}{t} \times u \times V_Z (c_{SZ} - c_h)$$

$$k_K = \frac{n_K}{t} \times u \times V_K (c_O - c_h)$$

waarin:

n = aantal schutcycli

V = kolkvolume in m³

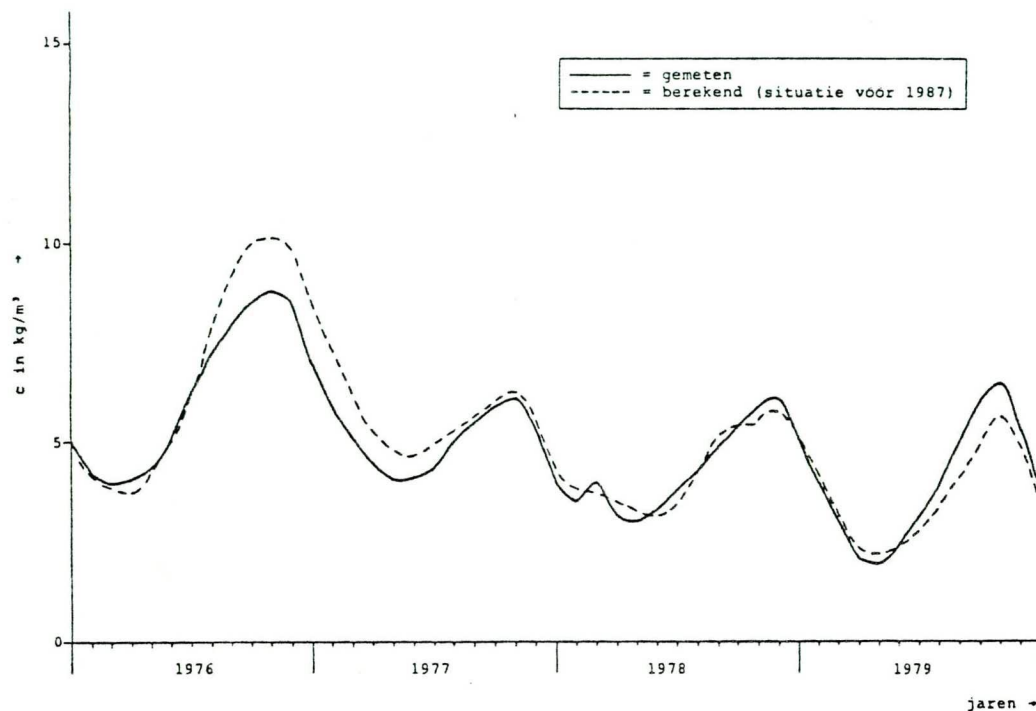
c_O = chlorideconcentratie van de Oosterschelde
nabij de Kreekraksluizen

u = uitwisselingscoëfficiënt

Bijlage 2 geeft de beginvoorwaarden voor de berekening.

Figuur 12 toont de resultaten van de berekening.

Een vergelijking van de rekenresultaten met de meetresultaten toont een goede overeenstemming, met voor 1976 iets te hoge en voor 1979 iets te lage concentraties.



figuur 12 : Chlorideconcentratieverloop gemiddeld over de periode 1976 t/m 1979, voor de situatie vóór 1987.

3.5. Chloridegradiënt van het Albertkanaal

Figuur 7 toont op de havendokken vanaf de Boudewijnsluis in de richting van het Albertkanaal een gradiënt in de chlorideconcentratie.

Een globale analyse van de meetgegevens van 1979 levert over het traject Boudewijnsluis-mond Albertkanaal de volgende resultaten: (tabel 1)

Tabel 1

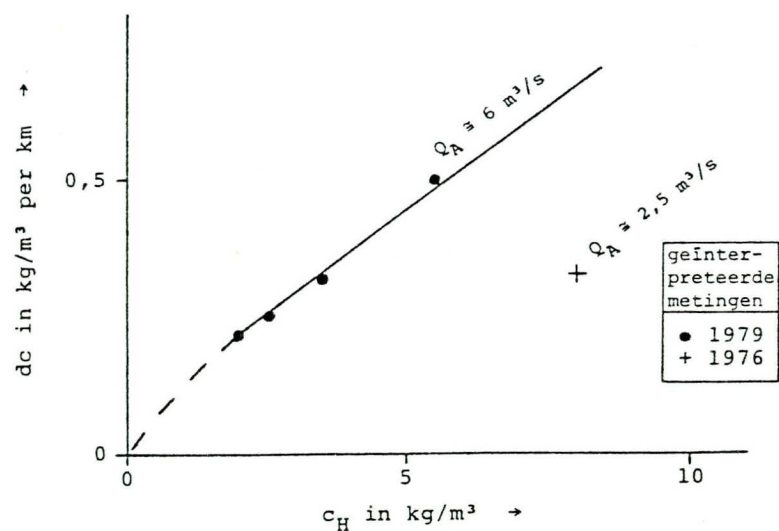
| chlorideconcentratie in kg/m ³ | | | | |
|---|---------------------|----------|-----------------|---------------|
| mond
Hansadok | Straats-
burgdok | verschil | dc *)
per km | $\bar{c}$ **) |
| 5,50 | 2,00 | 3,50 | 0,500 | 3,75 |
| 3,50 | 1,25 | 2,25 | 0,320 | 2,37 |
| 2,50 | 0,75 | 1,75 | 0,250 | 1,62 |
| 2,00 | 0,50 | 1,50 | 0,214 | 1,25 |

*) dc = chloridegradiënt

**) $\bar{c}$ = gemiddelde chlorideconcentratie
van mond Hansadok en Straatsburgdok

Uit de tabel valt op, dat de grootste gradiënt optreedt bij de hoogste chlorideconcentratie "mond Hansadok".

In figuur 13 zijn de gegevens geplott.



figuur 13 : Chlorideconcentratie nabij de mond van het Hansadok ($= c_H$) versus de chloridegradiënt ($= dc$).

In de figuur is tevens het enige bekende gegeven van het Albertkanaal ingeplot. Zie onderstaande staat:

| | | |
|----------------------------------|-------|-------------------|
| - mond van het Albertkanaal | 5 | kg/m ³ |
| - 1 km voor de sluis te Wijnegem | 1 | kg/m ³ |
| - verschil | 4 | kg/m ³ |
| - afstand | 12,2 | km |
| - dc per km | 0,328 | kg/m ³ |

Zie het + teken in figuur 13: Dit punt ligt onder de gegevens van 1976. Mogelijk is dit het gevolg van een lagere Q_A .

Met de onderstaande formule is D berekend uitgaande van de hiervoor bepaalde waarden van $\frac{dc}{dx}$ en $\bar{c}$:

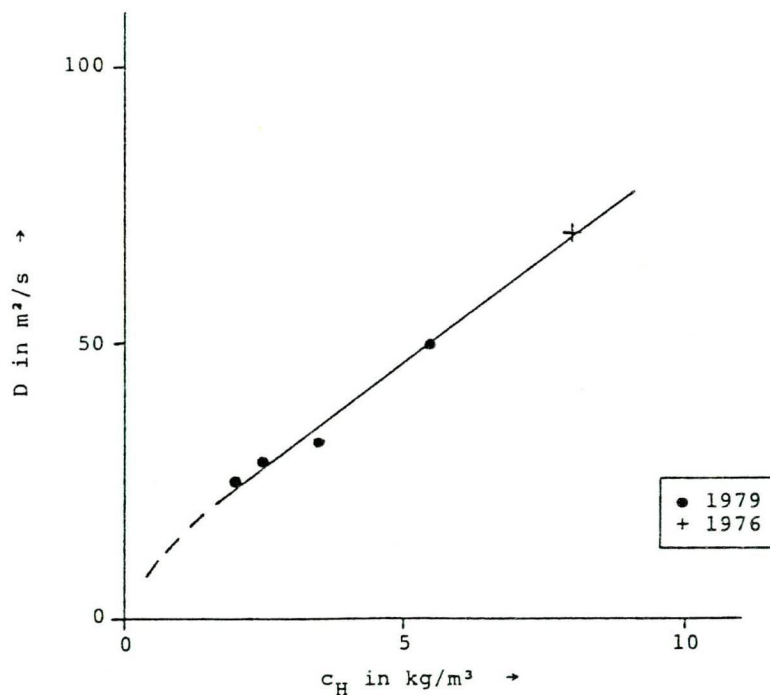
$$\frac{dc}{dx} D = \frac{Q}{A} \bar{c} \quad (1)$$

waarin: D = dispersiecoëfficiënt in m^2/s

A = oppervlakte doorstroomprofiel in m^2

Q = debiet in m^3/s

Zie figuur 14 voor de resultaten van de berekening.

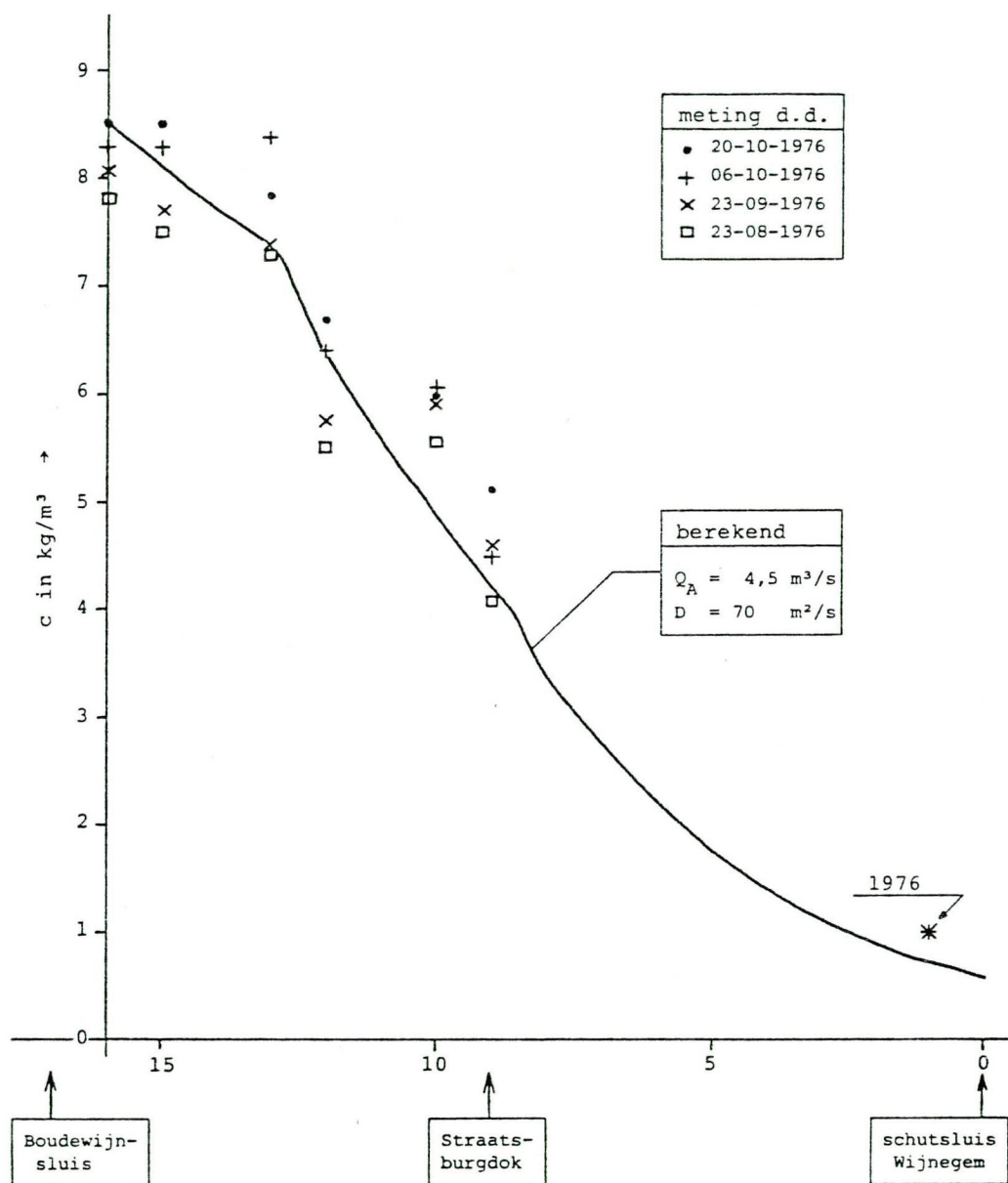


figuur 14 : D versus c_H .

Figuur 14 toont, dat er een relatie is tussen de hoogte van de concentratie nabij de mond van het Hansadok en de dispersiecoëfficiënt.

Door de berekende punten is een lijn geschetst, waar in de verdere berekeningen van wordt uitgegaan.

In figuur 15 is het rekenresultaat getoetst aan meetgegevens van het extreem droge jaar 1976.



figuur 15 : Chlorideconcentratie langs de havendokken annex Albertkanaal in de situatie vóór 1987.

De figuur toont een redelijke overeenstemming tussen de meet- en rekenresultaten.

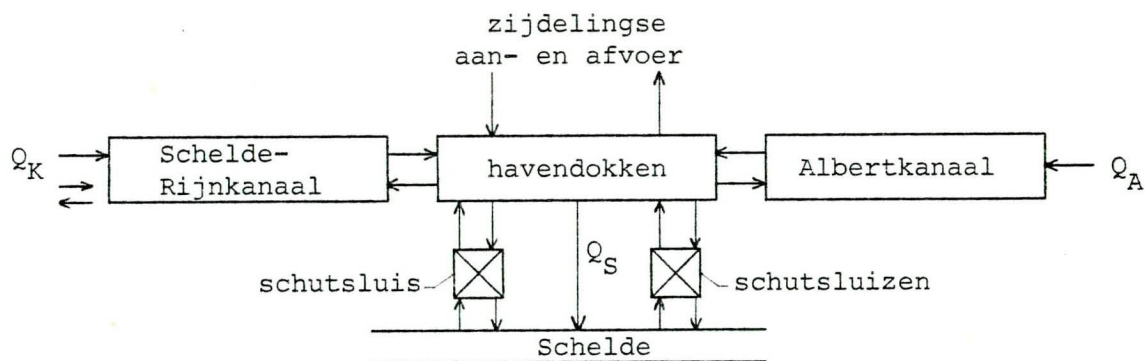
4. SITUATIE NA 1987

=====

Zoals in het vorige hoofdstuk is aangegeven, kan het onderzoeksgebied geschematiseerd worden tot een drietal trajekten:

- het Schelde-Rijnkanaal;
- de Antwerpse havendokken tot het Hansadok;
- de Antwerpse havendokken vanaf de mond van het Hansadok annex Albertkanaal.

In figuur 16 is één en ander schematisch weergegeven.



figuur 16 : Schematische voorstelling onderzoeksgebied.

4.1. Verandering na 1987

Na de aanleg van de kompartimenteringsdammen (Oesterdam (1986) en Philipsdam (april 1987)) ontstaat achter deze dammen een zoet stagnant meer, verder het Zoommeer genoemd.

De Kreekraksluizen vormen dan de scheepvaartverbinding tussen dit zoete meer en het - mogelijk - zoute Schelde-Rijnkanaal. De sluis is uitgerust met een zout/zoet-scheidingssysteem van het type "Systeem Duinkerken".

Berekend is, dat bij normaal schutbedrijf het watertransport richting Antwerpen 15 à 20 m³/s bedraagt. Bij terugwinnen kan dit verminderen tot 7,5 à 10 m³/s.

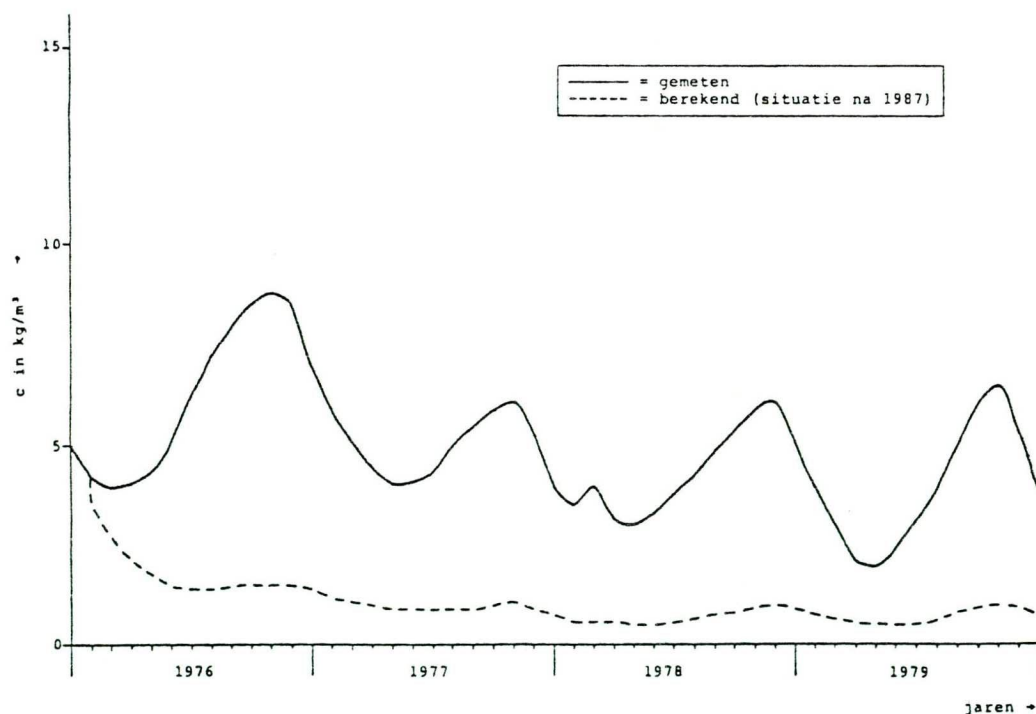
Deze veranderingen,

- een zoet Zoommeer in plaats van een zoute Oosterschelde,
- een watertransport van $7,5 \text{ à } 20 \text{ m}^3/\text{s}$ in de richting van Antwerpen in plaats van een watertransport van $3,4 \text{ m}^3/\text{s}$ richting Oosterschelde,

zijn van grote betekenis voor de verzilting van de Antwerpse havendokken.

Om het schutverlies van de schutsluizen ($\approx 8,6 \text{ m}^3/\text{s}$) te compenseren behoeft - bij de aangegeven debieten via de Kreekraksluizen - geen (zout) water vanuit de Schelde te worden ingelaten. In de verdere berekeningen wordt uitgegaan van een watertoevoer via de Kreekraksluizen van $10 \text{ m}^3/\text{s}$.

De konsekwenties van de nieuwe situatie op de chlorideconcentraties in de havendokken zijn zichtbaar gemaakt door de grafische voorstelling van de rekenresultaten uitgaande van de randvoorwaarden zoals die zich hebben voorgedaan in de jaren 1976 t/m 1979 (figuur 17).



figuur 17 : Chlorideconcentratieverloop gemiddeld over de periode 1976 t/m 1979, voor de situatie na 1987.

De grafiek toont een aanzienlijke reductie van de concentratie in de havendokken.

In het droge jaar 1976 wordt een maximum bereikt van $1,5 \text{ kg/m}^3$ tegen $8 \text{ à } 9 \text{ kg/m}^3$ in de situatie vóór 1987.

Alhoewel de totale zoutlast afneemt, nemen - als gevolg van de grotere verschillen tussen het Scheldewater en het water van de havendokken - de uitwisselingsstromen in de schutsluizen toe.

Een eventuele zoutbestrijdingsmaatregel nabij deze sluizen wordt zinvoller. Gedacht kan worden aan een kleine spuistroom door de kolk tijdens in- c.q. uitvaren van de schepen.

Een dergelijk systeem wordt momenteel toegepast bij de Volkerak-schutsluizen.

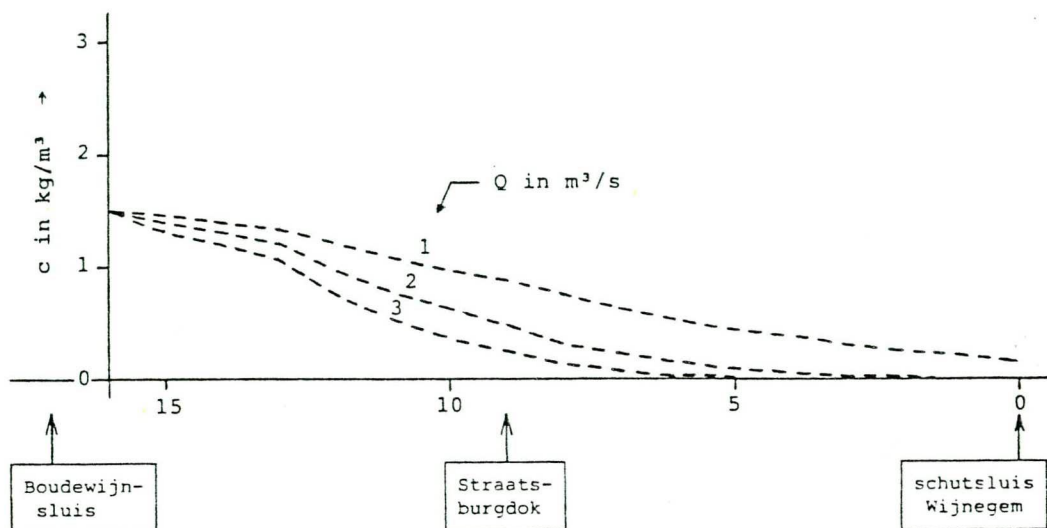
Terzijde wordt opgemerkt dat in deze nieuwe situatie ook de slibaanvoer wordt beperkt (geen directe inlaat meer) en door de hierboven genoemde maatregel wellicht nog verder beperkt kan worden.

4.2. Bepaling vereist aanvoerdebiet

Voor de bepaling van het vereiste aanvoerdebiet via het Albertkanaal wordt de maximale verziltingssituatie in het droge jaar 1976 beschouwd ($c_H = 1,5 \text{ kg/m}^3$).

Verder wordt gesteld dat de verziltende invloed niet mag reiken tot de schutsluizen te Wijnegem.

Voor een drietal arbitrair gekozen waarden van het aanvoerdebiet is de chlorideconcentratie berekend en als functie van de afstand uitgezet. Zie figuur 18.



figuur 18 : Berekende chlorideconcentratieverloop op het Albertkanaal.

De figuur toont bij een aanvoerdebiet van $1 \text{ m}^3/\text{s}$ ter plaatse van de schutsluis een verhoging van 200 mg/l . Bij $2 \text{ m}^3/\text{s}$ is van een verhoging geen sprake.

De berekende en in figuur 18 gepresenteerde chlorideconcentraties gelden voor evenwichtssituaties.

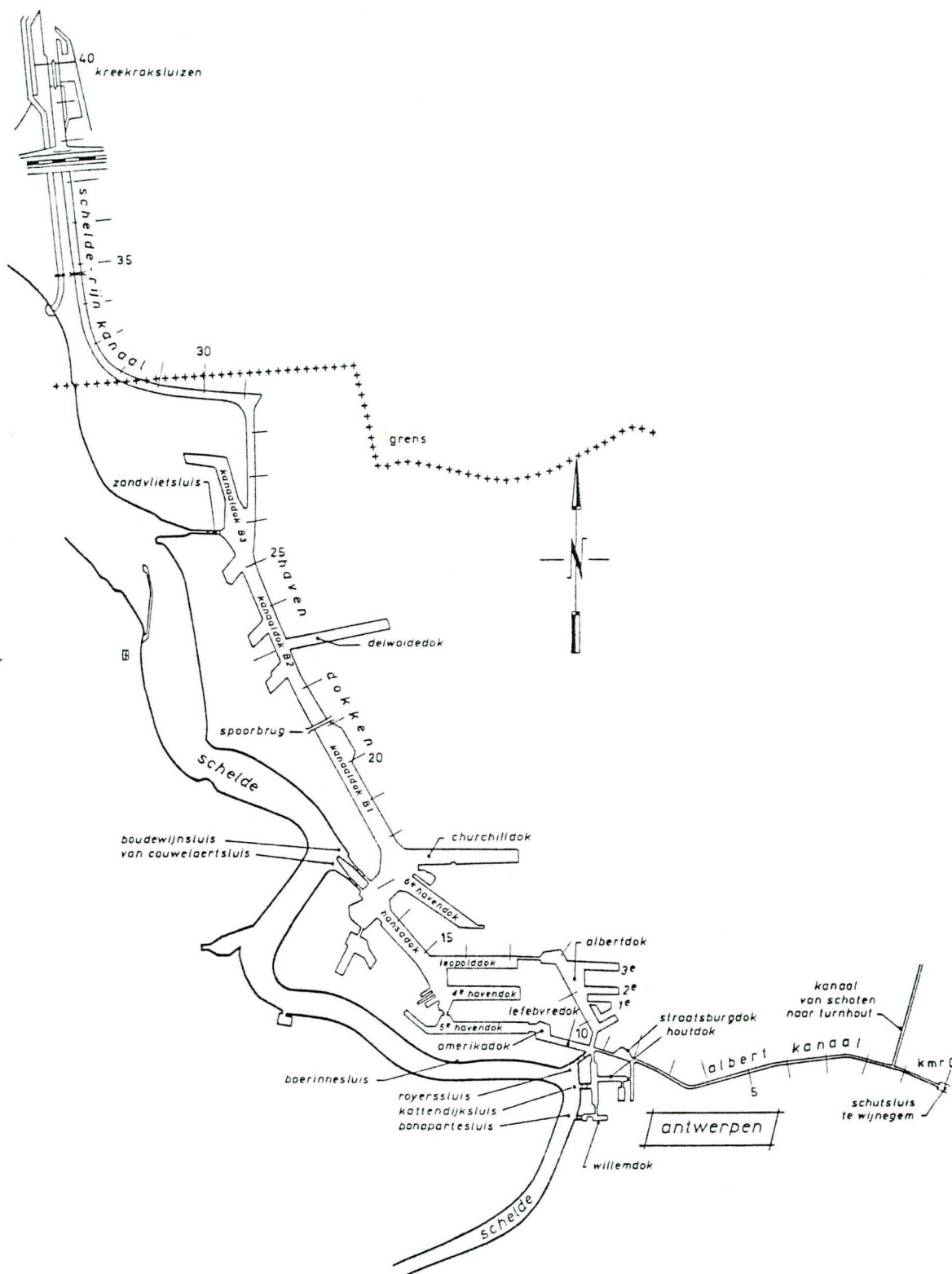
Door variaties in het debiet, bijvoorbeeld als gevolg van het niet schutten op zondag, kunnen variaties optreden in de concentraties ter plaatse van de schutsluizen te Wijnegem.

Wellicht verdient het aanbeveling om, zodra de nieuwe situatie is gerealiseerd, de rekenresultaten aan de hand van metingen te verifiëren.

5. KONKLUSIES

=====

1. Uitgaande van een aanvoerdebiet van $10 \text{ m}^3/\text{s}$ vanuit het Zoommeer - een verziltingssituatie op de Schelde zoals die is opgetreden in het extreem droge jaar 1976 - is een aanvoerdebiet van $2 \text{ m}^3/\text{s}$ nodig om de verziltende invloed van de Antwerpse havendokken op enige afstand van de schutsluizen te Wijnegem te houden.
2. De uitwisselingsstromen via de schutsluizen kunnen worden verminderd door het toepassen van zoutbestrijdingsmaatregelen.
Hiermee kan de zout- en sliblast nog verder worden vermindert en kan het vereiste aanvoerdebiet wellicht nog verder worden gereduceerd.



SITUATIE ANTWERPSE HAVEN

| GROOTHEID | situatie | | een-
heid | opm. |
|----------------------------|-------------|-------------|-------------------|-----------------------------|
| | vóór 1987 | na 1987 | | |
| * SCHELDE | | | | |
| - chlorideconcentratie | zie fig. 8 | zie fig. 8 | kg/m ³ | |
| * ZANDVLIETSLUIS | | | | |
| - volume | 453.000 | 453.000 | m ³ | |
| - aantal schutcycli | 8 | 8 | - | |
| - uitwisselingscoëfficiënt | 0,8 | 0,8 | - | |
| * BOUDEWIJNSLUIS | | | | |
| - volume | 321.000 | 321.000 | m ³ | incl.v.Cau-
welaertsluis |
| - aantal schutcycli | 8 | 8 | - | |
| - uitwisselingscoëfficiënt | 0,8 | 0,8 | - | |
| * KREEKRAKSLUIZEN | | | | |
| - volume | 48.000 | 48.000 | m ³ | |
| - aantal schutcycli | 14 | 14 | - | |
| - uitwisselingscoëfficiënt | 0,8 | - | - | |
| * OOSTERSCHELDE/ZOOMMEER | | | | |
| - chlorideconcentratie | 16 | 0,3 | kg/m ³ | |
| - aanvoerdebiet | - 3,4 | 10 | m ³ /s | |
| * ANTWERPSE HAVENDOKKEN | | | | |
| - volume | 155.600.000 | 155.600.000 | m ³ | |
| * WATERTRANSPORTEN | | | | |
| - Albertkanaal | 1976-1979 | 1976-1979 | m ³ /s | vlgs.opgave |
| - Boudewijnsluit | idem | idem *) | m ³ /s | |
| - Zandvlietsluit | idem | idem *) | m ³ /s | |

*) Rekening is gehouden met de 10 m³/s aanvoer via de Kreekraksluizen.

BEGINVOORWAARDEN

RIJKSWATERSTAAT
Dienst Binnenwateren/RIZA
Hoofdafdeling Watersystemen

nota 86.27

bijlage 2

