

- Boer, G. de, 2009. *On the interaction between tides and stratification in the Rhine Region of Freshwater Influence*. Ph.D. thesis, TU Delft, Delft University of Technology. 24
- Bos, M. S., S. D. P. Williams, I. B. Araújo and L. Bastos, 2014. “The effect of temporal correlated noise on the sea level rate and acceleration uncertainty.” *Geophysical Journal International* 196 (3): 1423–1430. URL <http://dx.doi.org/10.1093/gji/ggt481>. 51
- Braakmann-Folgmann, A., R. Roscher, S. Wenzel, B. Uebbing and J. Kusche, 2017. “Sea Level Anomaly Prediction using Recurrent Neural Networks.” *arXiv preprint arXiv:1710.07099* . 47
- Brand, G., G. van Brussel, J. ten Damme and J. Gerritsen, 2004. “Herberekening van het primaire net van het NAP; Verbetering precisie en betrouwbaarheid ten behoeve van de nieuwe NAP publicatie.” *Adviesdienst Geo-informatie en ICT* . 44, 71
- Bray, D. and H. von Storch, 2009. ““Prediction” or “Projection”?: The Nomenclature of Climate Science.” *Science Communication* 30 (4): 534–543. URL <https://doi.org/10.1177/1075547009333698>. 58
- Breaker, L. C. and A. Ruzmaikin, 2011. “The 154-year record of sea level at San Francisco: extracting the long-term trend, recent changes, and other tidbits.” *Climate Dynamics* 36 (3): 545–559. URL <https://doi.org/10.1007/s00382-010-0865-4>. 47
- Bruijne, A. de and N. C. voor Geodesie, 2005. *De geodetische referentiestelsels van Nederland: definitie en vastlegging van ETRS89, RD en NAP en hun onderlinge relaties*. NCG Nederlandse Commissie voor Geodesie. 43, 71
- Buisman, J. and A. v. Engelen, 2006. *Duizend jaar weer, wind en water in de Lage Landen. Dl. 5. 1675-1750*. Van Wijnen, Franeker. In Dutch. 18
- Caldwell, D. R., 1978. “The maximum density points of pure and saline water.” *Deep Sea Research* 25 (2): 175–181. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/014662917890005X>. 18
- Camuffo, D., C. Bertolin and P. Schenal, 2017. “A novel proxy and the sea level rise in Venice, Italy, from 1350 to 2014.” *Climatic Change* 143 (1): 73–86. URL <https://doi.org/10.1007/s10584-017-1991-3>. 18
- Cazenave, A., B. Meyssignac, M. Ablain, M. Balmaseda, J. Bamber, V. Barletta, B. Beckley, J. Benveniste, E. Berthier, A. Blazquez *et al.*, 2018. “Global sea-level budget 1993-present.” *Earth System Science Data* 10 (3): 1551–1590. 17, 48, 68
- CBS, P. and U. Wageningen, 2018. “Compendium voor de Leefomgeving.” *Diverse indicatoren. Centraal Bureau voor de Statistiek, Planbureau voor de Leefomgeving & Wageningen UR, Den Haag/Bilthoven/Wageningen* . 47
- Chamberlin, T. C. and F. R. Moulton, 1909. “The Development of the Planetesimal Hypothesis.” *Science* 30 (775): 642–645. URL <http://www.jstor.org/stable/1635742>. 22
- Chambers, D. P., A. Cazenave, N. Champollion, H. Dieng, W. Llovel, R. Forsberg, K. von Schuckmann and Y. Wada, 2017. “Evaluation of the Global Mean Sea Level Budget between 1993 and 2014.” *Surveys in Geophysics* 38 (1): 309–327. URL <https://doi.org/10.1007/s10712-016-9381-3>. 16
- Chen, J., J. S. Famiglietti, B. R. Scanlon and M. Rodell, 2016. *Groundwater Storage Changes: Present Status from GRACE Observations*, pages 207–227. Springer International Publishing, Cham. URL https://doi.org/10.1007/978-3-319-32449-4_9. 20

- Cherniawsky, J. Y., M. G. Foreman, S. K. Kang, R. Scharroo and A. J. Eert, 2010. “18.6-year lunar nodal tides from altimeter data.” *Continental Shelf Research* 30 (6): 575 – 587. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278434309002921>. 50
- Church, J. A. and N. J. White, 2011. “Sea-Level Rise from the Late 19th to the Early 21st Century.” *Surveys in Geophysics* 32: 585–602. URL <http://dx.doi.org/10.1007/s10712-011-9119-1>. 49
- Clark, J. A. and C. S. Lingle, 1977. “Future sea-level changes due to West Antarctic ice sheet fluctuations.” *Nature* 269 (5625): 206–209. URL <http://dx.doi.org/10.1038/269206a0>. 22
- Clark, P. U., J. X. Mitrovica, G. A. Milne and M. E. Tamisiea, 2002. “Sea-Level Fingerprinting as a Direct Test for the Source of Global Meltwater Pulse 1A.” *Science* 295 (5564): 2438–2441. URL <http://science.sciencemag.org/content/295/5564/2438>. 22
- Cleveland, W. S., 1979. “Robust Locally Weighted Regression and Smoothing Scatterplots.” *Journal of the American Statistical Association* 74 (368): pp. 829–836. URL <http://www.jstor.org/stable/2286407>. 13
- Cohen, J., 1988. “Statistical power for the behavioral sciences . Hillside.” 54
- Dam, P. J. van, 2018. *Van Amsterdams Peil naar Europees referentievlak: de geschiedenis van het NAP tot 2018*. Uitgeverij Verloren. 43, 70
- Dangendorf, S., M. Marcos, G. Wöppelmann, C. P. Conrad, T. Frederikse and R. Riva, 2017. “Re-assessment of 20th century global mean sea level rise.” *Proceedings of the National Academy of Sciences* URL <http://www.pnas.org/content/early/2017/05/16/1616007114>. 63
- Dantzig, D. van, 1956. “Economic decision problems for flood prevention.” *Econometrica* 24 (3): 276–287. 67
- Deltacommissie, 1960. *Rapport Deltacommissie. Dl. 1. Eindverslag en interimadviezen*. Staatsdrukkerij- en Uitgeverijbedrijf, 's-Gravenhage. URL <http://repository.tudelft.nl/file/1219694/382018>, in Dutch. 33
- , 2008. *Samen werken met water: een land dat leeft, bouwt aan zijn toekomst; bevindingen van de Deltacommissie 2008*. S.n, S.I. URL <http://www.deltacommissie.com/doc/2008-09-03%20Advies%20Deltacommissie.pdf>. 33
- Deschamps, P., N. Durand, E. Bard, B. Hamelin, G. Camoin, A. L. Thomas, G. M. Henderson, J. Okuno and Y. Yokoyama, 2012. “Ice-sheet collapse and sea-level rise at the Bølling warming 14,600 years ago.” *Nature* 483 (7391): 559. 18
- Dickman, S., 1988. “Theoretical investigation of the oceanic inverted barometer response.” *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 93 (B12): 14941–14946. 25
- Dillingh, D., 2013. *Kenmerkende waarden kustwateren en grote rivieren*. Tech. Rep. 1207509-000, Deltares. 12
- Dillingh, D., B. Fedor and J. de Ronde, 2010. *Definitie zeespiegelstijging voor bepaling supplementiebehoefte*. Tech. Rep. 1201993–002, Deltares. 11, 12, 32, 42, 44
- Domingues, R., G. Goni, M. Baringer and D. Volkov, 2018. “What Caused the Accelerated Sea Level Changes Along the U.S. East Coast During 2010–2015?” *Geophysical Research Letters* 45 (24): 13,367–13,376. URL <https://doi.org/10.1029/2018GL081183>. 71

- Donchyts, G., F. Baart, H. Winsemius, N. Gorelick, J. Kwadijk and N. van de Giesen, 2016. "Earth's surface water change over the past 30 years." *Nature Climate Change* 6: 810 EP –. URL <http://dx.doi.org/10.1038/nclimate3111>. 20
- Doodson, A. T., 1921. "The harmonic development of the tide-generating potential." *Proceedings of the Royal Society of London Series A-Containing Papers of a Mathematical and Physical Character* 100 (704): 305–329. URL <http://www.jstor.org/stable/93989>. 25
- Douglas, B. C., 2001. "Sea level change in the era of the recording tide gauge." *Sea level rise: history and consequences* 75: 37–64. 48
- Dutton, A., A. E. Carlson, A. J. Long, G. A. Milne, P. U. Clark, R. DeConto, B. P. Horton, S. Rahmstorf and M. E. Raymo, 2015. "Sea-level rise due to polar ice-sheet mass loss during past warm periods." *Science* 349 (6244). URL <http://science.sciencemag.org/content/349/6244/aaa4019>. 18
- Eilers, P. H., 2003. "A perfect smoother." *Analytical chemistry* 75 (14): 3631–3636. 13
- Emeis, K.-C., J. van Beusekom, U. Callies, R. Ebinghaus, A. Kannen, G. Kraus, I. Kröncke, H. Lenhart, I. Lorkowski, V. Matthias, C. Möllmann, J. Pätsch, M. Scharfe, H. Thomas, R. Weisse and E. Zorita, 2015. "The North Sea — A shelf sea in the Anthropocene." *Journal of Marine Systems* 141: 18 – 33. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924796314000724>, biogeochemistry-ecosystem interaction on changing continental margins in the Anthropocene. 18
- Ericson, J. P., C. J. Vörösmarty, S. L. Dingman, L. G. Ward and M. Meybeck, 2006. "Effective sea-level rise and deltas: Causes of change and human dimension implications." *Global and Planetary Change* 50 (1): 63–82. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921818105001827>. 26
- Fetterer, F., K. Knowles, W. Meier and M. Savoie, 2017. "Sea ice index version 3." URL <https://doi.org/10.7265/N5K072F8>. 21
- Frederikse, T., S. Jevrejeva, R. E. Riva and S. Dangendorf, 2018. "A consistent sea-level reconstruction and its budget on basin and global scales over 1958–2014." *Journal of Climate* 31 (3): 1267–1280. 61
- Frederikse, T., R. Riva, C. Slobbe, T. Broerse and M. Verlaan, 2016. "Estimating decadal variability in sea level from tide gauge records: An application to the North Sea." *Journal of Geophysical Research: Oceans* pages n/a–n/a. URL <http://dx.doi.org/10.1002/2015JC011174>. 47, 71
- Fretwell, P., H. D. Pritchard, D. G. Vaughan, J. L. Bamber, N. E. Barrand, R. Bell, C. Bianchi, R. G. Bingham, D. D. Blankenship, G. Casassa, G. Catania, D. Callens, H. Conway, A. J. Cook, H. F. J. Corr, D. Damaske, V. Damm, F. Ferraccioli, R. Forsberg, S. Fujita, Y. Gim, P. Gogineni, J. A. Griggs, R. C. A. Hindmarsh, P. Holmlund, J. W. Holt, R. W. Jacobel, A. Jenkins, W. Jokat, T. Jordan, E. C. King, J. Kohler, W. Krabill, M. Riger-Kusk, K. A. Langlely, G. Leitchenkov, C. Leuschen, B. P. Luyendyk, K. Matsuoka, J. Mouginot, F. O. Nitsche, Y. Nogi, O. A. Nost, S. V. Popov, E. Rignot, D. M. Rippin, A. Rivera, J. Roberts, N. Ross, M. J. Siegert, A. M. Smith, D. Steinhage, M. Studinger, B. Sun, B. K. Tinto, B. C. Welch, D. Wilson, D. A. Young, C. Xiangbin and A. Zirizzotti, 2013. "Bedmap2: improved ice bed, surface and thickness datasets for Antarctica." *The Cryosphere* 7 (1): 375–393. URL <https://www.the-cryosphere.net/7/375/2013/>. 20

- Gardner, A. S., G. Moholdt, J. G. Cogley, B. Wouters, A. A. Arendt, J. Wahr, E. Berthier, R. Hock, W. T. Pfeffer, G. Kaser, S. R. M. Ligtenberg, T. Bolch, M. J. Sharp, J. O. Hagen, M. R. van den Broeke and F. Paul, 2013. “A Reconciled Estimate of Glacier Contributions to Sea Level Rise: 2003 to 2009.” *Science* 340 (6134): 852–857. URL <http://science.sciencemag.org/content/340/6134/852>. 20
- Garner, A. J., J. L. Weiss, A. Parris, R. E. Kopp, R. M. Horton, J. T. Overpeck and B. P. Horton, 2018. “Evolution of 21st Century Sea Level Rise Projections.” *Earth’s Future* 0 (0). URL <https://doi.org/10.1029/2018EF000991>. 67, 74
- Gebraad, A. W. and M. E. Philippart, 1998. *The Dutch Continental Shelf Model, DCSM98: calibration using altimeter data*. Werkdocument RIKZ/OS- 98.121x, RIKZ. In Dutch. 71
- Gehrels, W. R. and P. L. Woodworth, 2013. “When did modern rates of sea-level rise start?” *Global and Planetary Change* 100: 263 – 277. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921818112002093>. 18
- Haasnoot, M., S. van ’t Klooster and J. van Alphen, 2018. “Designing a monitoring system to detect signals to adapt to uncertain climate change.” *Global Environmental Change* 52: 273–285. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095937801830445X>. 67
- Hansen, J. M., T. Aagaard and A. Kuijpers, 2016. “Reply to Schmith, T.; Thejll, P., and Nielsen, J.W., 2016. Discussion of Hansen, J.M.; Aagaard, T., and Kuijpers, A., 2015. Sea-Level Forcing by Synchronization of 56- and 74-Year Oscillations with the Moon’s Nodal Tide on the Northwest European Shelf (Eastern North Sea to Central Baltic Sea). *Journal of Coastal Research*, 31(5), 1041–1056. *Journal of Coastal Research*, 32(2), 452–455.” *Journal of Coastal Research* pages 456–459. URL <http://www.jcronline.org/doi/abs/10.2112/JCOASTRES-D-15A-00004.1>. 25
- Hay, C. C., E. Morrow, R. E. Kopp and J. X. Mitrovica, 2015. “Probabilistic reanalysis of twentieth-century sea-level rise.” *Nature* advance online publication: –. URL <http://dx.doi.org/10.1038/nature14093>. 61
- Hijma, M. and H. Kooi, 2017. *Bodemdaling in het kustfundament en de getijdenbekkens*. Tech. Rep. 11200538-008, Deltares. 26, 28
- , 2018. *Bodemdaling in het kustfundament en de getijdenbekkens (deel 2)*. Tech. Rep. 11202190-001-ZKS-0001, Deltares. 26, 29, 41, 42, 58
- Hollebrandse, F. A., 2005. *Temporal development of the tidal range in the southern North Sea*. Master’s thesis, Delft University of Technology. 71
- Houston, J. R. and R. G. Dean, 2011. “Sea-Level Acceleration Based on U.S. Tide Gauges and Extensions of Previous Global-Gauge Analyses.” *Journal of Coastal Research* pages 409–417. URL <http://www.jcronline.org/doi/abs/10.2112/JCOASTRES-D-10-00157.1>. 63
- Hsu, C.-W. and I. Velicogna, 2017. “Detection of sea level fingerprints derived from GRACE gravity data.” *Geophysical Research Letters* 44 (17): 8953–8961. URL <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/2017GL074070>. 23
- Huang, B., P. W. Thorne, V. F. Banzon, T. Boyer, G. Chepurin, J. H. Lawrimore, M. J. Menne, T. M. Smith, R. S. Vose and H.-M. Zhang, 2017. “Extended reconstructed sea surface temperature, version 5 (ERSSTv5): upgrades, validations, and intercomparisons.” *Journal of Climate* 30 (20): 8179–8205. 18

- Hurk, B. van den, P. Siegmund, A. K. Tank, J. Attema, A. Bakker, J. Beersma, J. Bessembinder, R. Boers, T. Brandsma, H. van den Brink, S. Drijfhout, H. Eskes, R. Haarsma *et al.*, 2014. *KNMI'14: Climate Change scenarios for the 21st Century—A Netherlands perspective*. Scientific Report WR2014-01, KNMI, De Bilt, The Netherlands. 22, 59, 60, 61, 67
- Jayne, S. R., D. Roemmich, N. Zilberman, S. C. Riser, K. S. Johnson, G. C. Johnson and S. R. Piotrowicz, 2017. “The Argo Program: Present and Future.” *Oceanography* 30. URL <https://doi.org/10.5670/oceanog.2017.213>. 20
- Jevrejeva, S., J. Moore, A. Grinsted, A. Matthews and G. Spada, 2014. “Trends and acceleration in global and regional sea levels since 1807.” *Global and Planetary Change* 113 (0): 11 – 22. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921818113002750>. 49, 63, 64
- Jong, H. de, 1973. *Bodemdaling veroorzaakt door aardgaswinningen in de provincie Groningen*. Tech. rep., Rijkswaterstaat. 42, 44, 58
- Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen *et al.*, 1996. “The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project.” *Bulletin of the American meteorological Society* 77 (3): 437–472. 50
- Kemp, A. C., B. P. Horton, J. P. Donnelly, M. E. Mann, M. Vermeer and S. Rahmstorf, 2011. “Climate related sea-level variations over the past two millennia.” *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108 (27): 11017–11022. URL <http://www.pnas.org/content/108/27/11017>. 18
- Koningsveld, M. van, M. A. Davidson and D. A. Huntley, 2005. “Matching Science with Coastal Management Needs: The Search for Appropriate Coastal State Indicators.” *Journal of Coastal Research* pages 399–411. URL <http://www.jcronline.org/doi/abs/10.2112/03-0076.1>. 11
- Koningsveld, M. van and J. P. M. Mulder, 2004. “Sustainable Coastal Policy Developments in The Netherlands. A Systematic Approach Revealed.” *Journal of Coastal Research* pages 375–385. URL [http://dx.doi.org/10.2112/1551-5036\(2004\)020\[0375:SCPDIT\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.2112/1551-5036(2004)020[0375:SCPDIT]2.0.CO;2). 12, 67
- Kopp, R. E., F. J. Simons, J. X. Mitrovica, A. C. Maloof and M. Oppenheimer, 2009. “Probabilistic assessment of sea level during the last interglacial stage.” *Nature* 462: 863 EP –. URL <http://dx.doi.org/10.1038/nature08686>. 18
- Kroon, I., 2016. *Actualisering beleidsscenario zeespiegelstijging voor delfstofwinning onder de Waddenzee*. Advies AGE 16-10.066, TNO. 32, 33
- Lambeck, K., H. Rouby, A. Purcell, Y. Sun and M. Sambridge, 2014. “Sea level and global ice volumes from the Last Glacial Maximum to the Holocene.” *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111 (43): 15296–15303. URL <https://www.pnas.org/content/111/43/15296>. 19
- Libby, W. F., 1946. “Atmospheric Helium Three and Radiocarbon from Cosmic Radiation.” *Phys. Rev.* 69: 671–672. URL <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRev.69.671.2>. 18
- Liu, Y., A. H. Weerts, M. Clark, H.-J. Hendricks Franssen, S. Kumar, H. Moradkhani, D.-J. Seo, D. Schwanenberg, P. Smith, A. I. J. M. van Dijk, N. van Velzen, M. He, H. Lee, S. J. Noh, O. Rakovec and P. Restrepo, 2012. “Advancing data assimilation in operational hydrologic forecasting: progresses, challenges, and emerging opportunities.” *Hydrology and Earth System Sciences*

- 16 (10): 3863–3887. URL <https://www.hydrol-earth-syst-sci.net/16/3863/2012/>. 75
- Llovel, W., J. K. Willis, F. W. Landerer and I. Fukumori, 2014. “Deep-ocean contribution to sea level and energy budget not detectable over the past decade.” *Nature Climate Change* 4: 1031 EP –. URL <http://dx.doi.org/10.1038/nclimate2387>. 16, 20
- McCarthy, G. D., I. D. Haigh, J. J. M. Hirschi, J. P. Grist and D. A. Smeed, 2015. “Ocean impact on decadal Atlantic climate variability revealed by sea-level observations.” *Nature* 521: 508 EP –. URL <http://dx.doi.org/10.1038/nature14491>. 24
- McKay, N. P., J. T. Overpeck and B. L. Otto-Bliesner, 2011. “The role of ocean thermal expansion in Last Interglacial sea level rise.” *Geophysical Research Letters* 38 (14). URL <https://doi.org/10.1029/2011GL048280>. 18
- Mercer, J., 1978. “West Antarctic ice sheet and CO₂ greenhouse effect: A threat of disaster.” *Nature* 271 (5643): 321–325. 22
- Milieu, M. v. Infrastructuur en, 2016. “Regeling van de Minister van Infrastructuur en Milieu, van 2 december 2016, nr. IENM/BSK-2016/283517, ter uitvoering van de artikelen 2.3, eerste lid, en 2.12, vierde lid, van de Waterwet, houdende regels voor het bepalen van de hydraulische belasting en de sterkte en procedurele regels voor de beoordeling van de veiligheid van primaire waterkeringen (Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017).” Regeling. 34
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Ministerie van Economische Zaken, 2013. *Deltaprogramma 2014: Werk aan de delta*. Tech. rep., Deltaprogramma Kust. 11
- , 2014. *Deltaprogramma 2015: Werk aan de delta*. Tech. rep., Deltaprogramma Kust. 11
- Mooij, R. de and P. Tang, 2003. *Four futures of Europe*. CPB The Hague. 59
- Moss, R. H., J. A. Edmonds, K. A. Hibbard, M. R. Manning, S. K. Rose, D. P. van Vuuren, T. R. Carter, S. Emori, M. Kainuma, T. Kram, G. A. Meehl, J. F. B. Mitchell, N. Nakicenovic, K. Riahi, S. J. Smith, R. J. Stouffer, A. M. Thomson, J. P. Weyant and T. J. Wilbanks, 2010. “The next generation of scenarios for climate change research and assessment.” *Nature* 463 (7282): 747–756. URL <http://dx.doi.org/10.1038/nature08823>. 59
- Munk, W., M. Dzieciuch and S. Jayne, 2002. “Millennial Climate Variability: Is There a Tidal Connection?” *Journal of Climate* 15 (4): 370–385. URL [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2002\)015<0370:MCVITA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015<0370:MCVITA>2.0.CO;2). 25
- Nerem, R. S., B. D. Beckley, J. T. Fasullo, B. D. Hamlington, D. Masters and G. T. Mitchum, 2018. “Climate-change-driven accelerated sea-level rise detected in the altimeter era.” *Proceedings of the National Academy of Sciences* URL <http://www.pnas.org/content/early/2018/02/06/1717312115>. 68
- Nutley, S. M., P. C. Smith and H. T. Davies, 2000. *What works?: Evidence-based policy and practice in public services*. Policy Press. 12
- Oppenheimer, M., B. C. O’Neill and M. Webster, 2008. “Negative learning.” *Climatic Change* 89 (1): 155–172. URL <https://doi.org/10.1007/s10584-008-9405-1>. 74
- Pickard, G. L. and W. J. Emery, 2016. *Descriptive physical oceanography: an introduction*. Elsevier. 15

- Pickering, M. D., K. J. Horsburgh, J. R. Blundell, J. J. M. Hirschi, R. J. Nicholls, M. Verlaan and N. C. Wells, 2017. "The impact of future sea-level rise on the global tides." *Continental Shelf Research* 142: 50–68. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278434316304824>. 25
- Popper, K., 2014. *Conjectures and refutations: The growth of scientific knowledge*. routledge. 69
- Portman, M. E., L. S. Esteves, X. Q. Le and A. Z. Khan, 2012. "Improving integration for integrated coastal zone management: An eight country study." *Science of The Total Environment* 439: 194–201. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969712012077>. 12
- Purkey, S. G. and G. C. Johnson, 2010. "Warming of Global Abyssal and Deep Southern Ocean Waters between the 1990s and 2000s: Contributions to Global Heat and Sea Level Rise Budgets." *Journal of Climate* 23 (23): 6336–6351. URL <https://doi.org/10.1175/2010JCLI3682.1>. 20
- Rijkswaterstaat, D.-G., 2000. *3e Kustnota: Traditie, trends en toekomst*. Tech. rep., Ministerie van Verkeer and Rijkswaterstaat en Waterstaat. 11
- Roemmich, D. and J. Gilson, 2009. "The 2004–2008 mean and annual cycle of temperature, salinity, and steric height in the global ocean from the Argo Program." *Progress in Oceanography* 82 (2): 81 – 100. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079661109000160>. 20
- Ronde, J. de, 2008. *Toekomstige langjarige suppletiebehoefte*. Tech. Rep. Z4582.24, Deltares. 11
- Ronde, J. de, F. Baart, C. Katsman and V. Vuijk, 2014. *Zeespiegelmonitor*. Tech. Rep. 1208712–000, Deltares, HKV en KNMI. 12, 13, 32
- Rutte, M. P. M., 2016. "Toespraak minister-president Rutte tijdens het trade dinner in Seoul." URL <https://www.rijksoverheid.nl/regering/bewindspersonen/mark-rutte/documenten/toespraken/2016/09/27/toespraak-minister-president-rutte-tijdens-het-trade-dinner-in-seoul>. 35, 70
- , 2017. "Korte toespraak minister-president Rutte bij het High Level Panel on Water in New York." URL <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/toespraken/2017/09/21/korte-toespraak-minister-president-rutte-bij-het-high-level-panel-on-water-in-new-york>. 70
- Salvatier, J., T. V. Wiecki, C. Fonnesbeck and C. Elkan, 2016. "Probabilistic programming in Python using PyMC3." *PeerJ Computer Science* 2: e55. URL <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.55>. 50
- Samenwerkingsverband Maasvlakte 2, 1998. *Ontwerpnota Maasvlakte 2 : rapportage ontwerponderzoek fase 1B*. Samenwerkingsverband Maasvlakte 2 Varianten, Rotterdam. 33, 34
- Sanderson, I., 2002. "Evaluation, Policy Learning and Evidence-Based Policy Making." *Public Administration* 80 (1): 1–22. URL <https://doi.org/10.1111/1467-9299.00292>. 12
- Scharroo, R., J. L. Lillibridge, W. H. F. Smith and E. J. O. Schrama, 2004. "Cross-Calibration and Long-Term Monitoring of the Microwave Radiometers of ERS, TOPEX, GFO, Jason, and Envisat." *Marine Geodesy* 27 (1-2): 279–297. URL <https://doi.org/10.1080/01490410490465265>. 46

- Schlesinger, M. E. and N. Ramankutty, 1994. "An oscillation in the global climate system of period 65–70 years." *Nature* 367: 723 EP –. URL <http://dx.doi.org/10.1038/367723a0>. 23
- Shepard, F. P. and H. E. Suess, 1956. "Rate of Postglacial Rise of Sea Level." *Science* 123 (3207): 1082–1083. URL <http://science.sciencemag.org/content/123/3207/1082.2>. 18
- Slangen, A. B. A., C. A. Katsman, R. S. W. van de Wal, L. L. A. Vermeersen and R. E. M. Riva, 2012. "Towards regional projections of twenty-first century sea-level change based on IPCC SRES scenarios." *Climate Dynamics* 38 (5): 1191–1209. URL <https://doi.org/10.1007/s00382-011-1057-6>. 22
- Slobbe, D., R. Klees, M. Verlaan, L. Dorst and H. Gerritsen, 2013. "Lowest astronomical tide in the North Sea derived from a vertically referenced shallow water model, and an assessment of its suggested sense of safety." *Marine Geodesy* 36 (1): 31–71. 43
- Smeed, D., G. McCarthy, S. Cunningham, E. Frajka-Williams, D. Rayner, W. Johns, C. Meinen, M. Baringer, B. Moat, A. Duchez *et al.*, 2014. "Observed decline of the Atlantic meridional overturning circulation 2004–2012." *Ocean Science* 10 (1): 29–38. 24
- Stammer, D., A. Cazenave, R. M. Ponte and M. E. Tamisiea, 2013. "Causes for Contemporary Regional Sea Level Changes." *Annual Review of Marine Science* 5 (1): 21–46. URL <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-121211-172406>, pMID: 22809188. 22
- Sterlini, P., D. Le Bars, H. de Vries and N. Ridder, 2017. "Understanding the spatial variation of sea level rise in the North Sea using satellite altimetry." *Journal of Geophysical Research: Oceans* 122 (8): 6498–6511. URL <https://doi.org/10.1002/2017JC012907>. 67
- Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley, 2013a. *Climate change 2013: The physical science basis*. Tech. rep., Intergovernmental Panel on Climate Change. 15, 59
- Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P. M. Midgley *et al.*, 2013b. *Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change-Abstract for decision-makers*. Tech. rep., Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat/Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC. 20, 49
- Talley, L. D., R. A. Feely, B. M. Sloyan, R. Wanninkhof, M. O. Baringer, J. L. Bullister, C. A. Carlson, S. C. Doney, R. A. Fine, E. Firing, N. Gruber, D. A. Hansell, M. Ishii, G. C. Johnson, K. Katsumata, R. M. Key, M. Kramp, C. Langdon, A. M. Macdonald, J. T. Mathis, E. L. McDonagh, S. Mecking, F. J. Millero, C. W. Mordy, T. Nakano, C. L. Sabine, W. M. Smetlie, J. H. Swift, T. Tanhua, A. M. Thurnherr, M. J. Warner and J. Z. Zhang, 2016. "Changes in Ocean Heat, Carbon Content, and Ventilation: A Review of the First Decade of GO-SHIP Global Repeat Hydrography." *Annual Review of Marine Science* 8 (1): 185–215. URL <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-052915-100829>. 20
- Team, T. I., 2018. "Mass balance of the Antarctic Ice Sheet from 1992 to 2017." *Nature* 558 (7709): 219–222. URL <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0179-y>. 21
- Teng, J., A. J. Jakeman, J. Vaze, B. F. W. Croke, D. Dutta and S. Kim, 2017. "Flood inundation modelling: A review of methods, recent advances and uncertainty analysis." *Environmental Modelling & Software* 90: 201–216. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815216310040>. 75

- Veen, J. van, 1945. “Bestaat er een geologische bodemdaling te Amsterdam sedert 1700.” *Tijdschrift Koninklijk Nederlandsch Aardrijkskundig Genootschap* 2 (62): 2–36. In Dutch. 18, 26, 31, 49
- , 1954. “Tide-gauges, subsidence-gauges and flood-stones in the Netherlands.” *Geol. Mijnbouw* . 31
- Verkeer en Waterstaat, 2008. *Nationaal Waterplan*. Tech. rep., Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. 11
- Vermeersen, B. L. A., A. B. A. Slangen, T. Gerkema, F. Baart, K. M. Cohen, S. Dangendorf, M. Duran-Matute, T. Frederikse, A. Grinsted, M. P. Hijma, S. Jevrejeva, P. Kiden, M. Kleinhedenbrink, E. W. Meijles, M. D. Palmer, R. Rietbroek, R. E. M. Riva, E. Schulz, D. C. Slobbe, M. J. R. Simpson, P. Sterlini, P. Stocchi, R. S. W. van de Wal and M. van der Wegen, 2018. “Sea-level change in the Dutch Wadden Sea.” *Netherlands Journal of Geosciences* 97 (3): 79–127. URL <https://www.cambridge.org/core/article/sealevel-change-in-the-dutch-wadden-sea/A5B7C0A4ACC554F437C672CCE7FBBC45>. 23
- Vignudelli, S., A. G. Kostianoy, P. Cipollini and J. Benveniste, 2011. *Coastal altimetry*. Springer Science & Business Media. 46
- Visser, H., S. Dangendorf and A. C. Petersen, 2015. “A review of trend models applied to sea level data with reference to the “acceleration-deceleration debate”.” *Journal of Geophysical Research: Oceans* 120 (6): 3873–3895. URL <https://doi.org/10.1002/2015JC010716>. 47, 48, 51
- Voosen, P., 2017. “Deep Pacific cooled by ‘little ice age’ waters.” *Science* 358 (6370): 1515–1516. URL <http://science.sciencemag.org/content/358/6370/1515>. 18
- VROM, 2004. *Nota Ruimte – Ruimte voor Ontwikkeling*. Tech. rep., Ministeries van VROM, LNV, VenW en EZ. PKB Nationaal Ruimtelijk Beleid. 11
- Wada, Y., L. P. H. van Beek, C. M. van Kempen, J. W. T. M. Reckman, S. Vasak and M. F. P. Bierkens, 2010. “Global depletion of groundwater resources.” *Geophysical Research Letters* 37 (20). URL <https://doi.org/10.1029/2010GL044571>. 20
- Wada, Y., M. F. P. Bierkens, A. de Roo, P. A. Dirmeyer, J. S. Famiglietti, N. Hanasaki, M. Konar, J. Liu, H. Müller Schmied, T. Oki, Y. Pokhrel, M. Sivapalan, T. J. Troy, A. I. J. M. van Dijk, T. van Emmerik, M. H. J. Van Huijgevoort, H. A. J. Van Lanen, C. J. Vörösmarty, N. Wanders and H. Wheeler, 2017. “Human–water interface in hydrological modelling: current status and future directions.” *Hydrology and Earth System Sciences* 21 (8): 4169–4193. URL <https://www.hydrol-earth-syst-sci.net/21/4169/2017/>. 20
- Wahl, T., I. D. Haigh, P. L. Woodworth, F. Albrecht, D. Dillingh, J. Jensen, R. J. Nicholls, R. Weisse and G. Wöppelmann, 2013. “Observed mean sea level changes around the North Sea coastline from 1800 to present.” *Earth-Science Reviews* 124: 51–67. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012825213000937>. 61
- Watkins, M. M., D. N. Wiese, D.-N. Yuan, C. Boening and F. W. Landerer, 2015. “Improved methods for observing Earth’s time variable mass distribution with GRACE using spherical cap mascons.” *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 120 (4): 2648–2671. URL <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/2014JB011547>. 16, 21

- Watson, C. S., N. J. White, J. A. Church, M. A. King, R. J. Burgette and B. Legresy, 2015. “Unabated global mean sea-level rise over the satellite altimeter era.” *Nature Climate Change* 5: 565 EP –. URL <http://dx.doi.org/10.1038/nclimate2635>. 64
- Watson, P. J., 2016. “Identifying the best performing time series analytics for sea level research.” In *Time Series Analysis and Forecasting*, pages 261–278. Springer. 47
- Weele, P. I. van der, 1971. *De geschiedenis van het NAP*. Rijkscommissie voor Geodesie. 42, 43
- Wemelsfelder, P. J., 1958. *Invoering van de Nulpalen*. Tech. rep., Rijkswaterstaat. 43
- Woodworth, P. L., N. J. White, S. Jevrejeva, S. J. Holgate, J. A. Church and W. R. Gehrels, 2009. “Evidence for the accelerations of sea level on multi-decade and century timescales.” *International Journal of Climatology* 29 (6): 777–789. 54
- Zeileis, A., 2004. “Econometric Computing with HC and HAC Covariance Matrix Estimators.” *Journal of Statistical Software, Articles* 11 (10): 1–17. URL <https://www.jstatsoft.org/v011/i10>. 65
- Zlotnicki, V., Z. Qu and J. Willis, 2016. “JPL MEaSURES Gridded Sea Surface Height Anomalies Version 1609.” Dataset. URL <http://dx.doi.org/10.5067/SLREF-CDRV1>. 16, 22, 44

Acroniemen

AR	Autoregressie
Argo	Argo, vernoemd naar schip uit de Griekse mythologie
AGRS	Actief GNSS Referentie Systeem
AHN	Actueel Hoogtebestand Nederland
AIC	Akaike Informatie Criterium
AMO	Atlantic Multidecadal Oscillation
AVISO	Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data
BKL	Basis KustLijn
BRK	Basisregistratie Kadaster
BGT	Basisregistratie Grootchalige Topografie
BMA	Bayesian Model Averaging
CIV	Centrale Informatievoorziening
CBS	Centraal Bureau voor de Statistiek
CPB	Centraal Plan Bureau
CSIRO	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation
DCSM	Dutch Continental Shelf Model
DG	Directoraat-generaal
DNM	Digitale Niveau Meter
EGM2008	Earth Gravitational Model 2008
EGM96	Earth Gravitational Model 1996
ECCO	Estimating the Circulation and Climate of the Ocean
ERSST	Extended Reconstructed Sea Surface Temperature
ETRS89	European Terrestrial Reference System 1989
ENSO	El Niño–Southern Oscillation
EZK	Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
GIA	Glacial Isostatic Adjustment, postglaciale opheffing
GLOSSIS	Global Storm Surge Forecasting and Information System
GLM	Generalized Linear Model

GMSL	Global Mean Sea Level, globaal gemiddeld zeeniveau
GNSS	Global Navigation Satellite System
GODAS	Global Ocean Data Assimilation System
GPS	Global Positioning System
GRACE	Gravity Recovery and Climate Experiment
GRACE-FO	Gravity Recovery and Climate Experiment Follow-on
GTSM	Global Tidal Surge Model
GTSR	Global Tidal Surge Reanalysis
HAC	Heteroskedasticity and Autocorrelation Consistent
HKV	HKV lijn in water
HHNK	Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
IB	Inverse Barometer
IHM	InformatieHuis Marien
IHO	International Hydrographic Organization
IHW	InformatieHuis Water
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IV	Informatie Voorziening
laaS	Infrastructure as a Service
IenW	Ministerie van Infrastructuur en Water
IOOS	Integrated Ocean Observing System
JASON	Joint Altimetry Satellite Oceanography Network
K1	Lunar diurnal constituent
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
KPP	Kennis voor Primaire Processen
L2	Smaller lunar elliptic semidiurnal constituent
LAT	Lowest Astronomical Tide
LMW	Landelijk Meetnet Water
LOESS	LOcal regrESSion (a later generalization of LOWESS)
LOWESS	Locally weighted scatterplot smoothing
LSTM	Long Short-Term Memory
M2	Principal lunar semidiurnal constituent

M4	Shallow water overtides of principal lunar constituent
MAP	Maximum A Posteriori
MCMC	Markov chain Monte Carlo
MorphAn	Morphological Analysis
MWP	Meltwater Pulse
MDN	Mixture density networks
MN4	Shallow water quarter diurnal constituent
MS4	Shallow water quarter diurnal constituent
MSL	Mean Sea Level
MSLA	Monthly mean climatology maps of Sea Level Anomalies
MLLW	Mean Lower Low Water
MLW	Mean Low Water
MU2	Variational constituent
N2	Larger lunar elliptic semidiurnal constituent
NAP	Normaal Amsterdams Peil
NAO	North Atlantic Oscillation
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NCAR	National Center for Atmospheric Research
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
NCG	Nederlands Centrum voor Geodesie en Geo-informatica
NLGeo2004	Nederlands Geoïdemodel 2004
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NWP	Nationaal Water Plan
O1	Lunar diurnal constituent
OGC	Open Geospatial Consortium
PGB	Postglaciale bodembeweging
PBL	Planbureau voor de Leefomgeving
PSMSL	Permanent Service for Mean Sea Level
PVDA	Partij van de Arbeid
PaaS	Platform as a Service
RCP	Representative Concentration Pathway

RD	Rijksdriehoeksstelsel
ROFI	Region Of Freshwater Influence
RLR	Revised Local Reference
RMS	Root Mean Square
RWS	Rijkswaterstaat
S2	Principal solar semidiurnal constituent
SaaS	Software as a Service
SLF	Sea Level Fingerprint
STL	Seasonal Decomposition of Time Series by Loess
TGBM	Tide Gauge Benchmark
TNO	Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek
WBI	Wettelijke BeoordelingsInstrumentarium
WCRP	World Climate Research Programme
WGS84	World Geodetic System 1984

10 Bijlagen

10.1 Reproduceerbaarheid zeespiegelmonitor

Memo



Aan
Fedor Baart, Deltares

Datum
25 oktober 2017
Van
Pieter van Gelder

Kenmerk
Repr. statistische modellen
Doorkiesnummer
+31(0)15 2786544

Aantal pagina's
7
E-mail
p.h.a.j.m.vangelder@tudelft.nl

Onderwerp
Reproduceerbaarheid van statistische modellen voor zeespiegelprojecties

1 Inleiding

Dit onderzoek vindt plaats in aansluiting op de onderzoeksagenda zeespiegelmonitor (Baart 2014). Veel beslissingen worden genomen op basis van de zeespiegelmetingen, berekeningen, scenario's, en de probabilistische inschattingen hiervan.

In dit deelonderzoek concentreren we ons op de reproduceerbaarheid van de statistische modellen zoals deze gebruikt worden in het zeespiegeldossier. Deze memo sluit aan bij de drie memo's over de reproduceerbaarheid van metingen, de reproduceerbaarheid van de fysica, en de bepaling van de huidige zeespiegel.

2 Vraagstelling

De vraag waarop in dit memo antwoord gegeven wordt, luidt: Hoe goed is de reproduceerbaarheid van de door Deltares bepaalde zeespiegelprojecties en onzekerheidsbanden voor de Noordzee tot aan het jaar 2100, en geef daarbij een oordeel op: i) Mate van documentatie, ii) Traceerbaarheid, iii) Overdraagbaarheid, iv) Herhaalbaarheid, v) Herleidbaarheid.

De "Zeespiegelmonitor" is de periodieke rapportage over de stand van de zeespiegel. Deze monitor bestaat uit rapportages en de beschikbaarheid van de methode in de vorm van interactieve rekendocumenten. Naast het periodiek rapporteren wordt ook gewerkt aan het uitbreiden van de kennis en kwaliteit van de zeespiegelmonitor. Voor de periode 2016 tot en met 2018 is een onderzoeksagenda opgesteld, waarin de onderwerpen begrip (Kunnen we de variaties in de zeespiegel goed verklaren?), integratie (sluiten de toepassingen op elkaar aan?) en vertrouwen (zijn metingen en voorspellingen valide en betrouwbaar?). Dit onderzoek maakt onderdeel uit van het onderdeel vertrouwen.

3 Onderzoeksmethode

Voor dit onderzoek zijn interviews uitgevoerd met de personen bij Deltares en HKV die betrokken zijn bij het opstellen van de zeespiegelprojecties, te weten:

- Fedor Baart, hoofdverantwoordelijk voor het opstellen van de zeespiegelmonitor (interview 19 juli 2017).
- Robin Nicolai, verbonden aan HKV Lijn in Water, verantwoordelijk voor de operationele statistische analyses van de zeespiegel en de gevolgen daarvan voor het kustbeleid (interview 18 juli 2017).

Reproduceerbaarheid wordt onderzocht door de volgende aspecten te onderzoeken: i) Mate van documentatie, ii) Traceerbaarheid, iii) Overdraagbaarheid, iv) Herhaalbaarheid, v) Herleidbaarheid.

4 Resultaten

Bij het opstellen van de statistische modellen voor jaargemiddelde zeewaterstanden en de projecties daarvan naar de toekomst wordt uitgegaan van waargenomen zeespiegelmetingen uit het verleden. Daarbij worden de volgende aspecten meegenomen:

- Invloed van de wind op de waargenomen zeewaterstanden, zoals geconstateerd door De Ronde et al. (2013);
- Inklinking van de bodem; de projecties geven hiermee een beeld van de kansverdelingen van de relatieve verandering van zeeniveau langs de Nederlandse kust, zoals beschreven in Dillingh et al. (2010);
- Niet-lineariteiten in de zeespiegelstijging, waaronder het sinusoidale getij (18,6 jarige cyclus) en de kwadratische invloed met de jaargemiddelde windsnelheid en jaargemiddelde windrichting;
- Een hogere weging aan recente data in vergelijking met oudere waarnemingen
- Een weging met de voorspellingen uit een fysisch gebaseerd klimaat model, waarin processen zijn meegenomen t.g.v. temperatuursverandering en de invloed daarvan op het oceaanniveau door uitzetting van water en smelting van ijskappen, veranderingen van de zeespiegel die samenhangen met aanpassingen in de grootschalige circulatie en verandering in de luchtdruk aan het oppervlak en tot slot elastische deformatie en aanpassingen van het zwaartekrachtsveld ten gevolge van het smelten van landijs. De combinatie van beide modellen leiden tot een meer betrouwbare en meer valide schatting van de toekomstige zeespiegelstijging.

Tabel: overzicht databronnen voor de zeespiegelprojecties.

Databron	Openbaar	Online beschikbaar	Opmerkingen
PSMSL zeewaterstanden van de 6 hoofdstations	ja	Ja via: http://www.psm.org/	NAP correctie is toegepast. Verschillen met RWS data zijn geconstateerd.
Luchtdrukken uit de National Centers for Environmental Prediction NCEP/NCAR heranalyses	ja	Ja via: https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html	Luchtdrukken voor 1948 niet beschikbaar.
Jaargemiddelde gekwadrateerde windsnelheid en –richting op basis van de NCEP/NCAR heranalyses	ja	Ja via: https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html	Winddata voor 1948 niet beschikbaar.
Jaargemiddelde waterstanden station Amsterdam (vanaf 1700)	na te gaan	na te gaan	

Mate van documentatie

De methode is goed gedocumenteerd in technische rapporten van Deltares. Rapporten (368707, 368722, 237918) zijn digitaal te downloaden via de Hydrotheek van <http://library.wur.nl/>

Er wordt uitgegaan van bovenstaande databronnen.

De modelkeuze en de keuze voor een niet-parametrische smoothing methode, bijbehorende span en wegingsfunctie voor recente waarnemingen zijn beargumenteerd. De schatting van de modelparameters en de smoothing gebeuren met het statistisch pakket R en Python.

De keuze tot het combineren van het fysisch model (De Vries et al., 2014) en het statistische model zoals beschreven in Baart, 2015, evenals de methoden om de modellen te combineren met een Bayesiaanse modelweging is goed gedocumenteerd.

Traceerbaarheid

De zeespiegelprojecties komen tot stand door het uitvoeren van de beschreven methode op de aangegeven brondata, en staan eveneens (deels) beschreven incl. source code en commentaarvelden op:

<https://github.com/openearth/sealevel/blob/master/notebooks/dutch-monitor.ipynb>

In De Ronde et al. (2013) wordt verwezen naar Deltares (2010) dat de NAP-correctie (vanaf 2005) is doorgevoerd in de Nederlandse tijdreeksen met NAP als referentieniveau.

Tevens speelt er een mogelijke trendbreuk bij 1993 bij de overstap naar TOPEX/Poseidon metingen.

Om een homogene reeks te verkrijgen moet deze weer ongedaan gemaakt worden (Deltares, 2010), maar de aanpak hoe deze homogenisatie plaatsvindt kan in Deltares (2010) niet getraceerd worden. Naast een trendcorrectie dient er bij homogeniteit en stationariteit ook gelet te worden op heteroscedaciteit en mogelijke autocorrelaties in de data. Verdere details daarover zijn in de review niet teruggevonden. Homogeniteitsanalyses dienen zowel voor waterstanden als windsnelheden plaats te vinden.

Data over windsnelheden voor 1948 zijn niet beschikbaar. Deze worden in de modellering vervangen door een constante gemiddelde windsnelheid. De consequenties van een dergelijke aanname zijn verder niet onderzocht.

Het is traceerbaar hoe de kwaliteit van een statistisch model is beoordeeld. Dit is gebeurd aan de hand van AIC. Tevens is traceerbaar wat het resultaat was van de Durbin-Watson toets en de Jarque-Bera (JB) toets.

Het is traceerbaar hoe de weging van het fysische model met het statistische model heeft plaatsgevonden. Echter, de computer code is op de Github site niet achterhaald kunnen worden.

Overdraagbaarheid

De overdraagbaarheid van de methode is goed. In de afgelopen jaren (sinds 2010) is de methode ontwikkeld en toegepast door:

ir. D. Dillingh (Deltares)
dr. F. Baart (Deltares)
ir. J.G. de Ronde (Deltares)
dr.C.A.Katsman (KNMI & TUD)
ir.V.Vuik (HKV)
ir. R. Leander (Deltares),
dr. H. de Vries (KNMI),
dr. R. Nicolai (HKV)
ir. M. van Hoek (HKV)
ir. C. v.d. Vries (Deltares)
dr. ir. H. v.d. Boogaerd (Deltares)
ir. G. Rongen (HKV)

Meerdere personen zijn dus bekend met de methode. Opvallend is echter de afwezigheid van auteurs van het Ministerie van I&M / RWS. De publicaties over zeespiegelstijging zijn ook steeds met meerdere auteurs tot stand gekomen. De software code is verder open source en staat gedocumenteerd op de Github site, hoewel nadere toelichting, zoals bijv. een gedetailleerde handleiding, gewenst is. Zo kan de weging fysica vs. statistiek niet direct teruggevonden worden in de code.

Overdraagbaarheid, middels het ontwikkelen van open source model code en - data, is ook gerelateerd aan de inbedding in het universitaire onderwijs. Aan de TU Delft wordt aan de technische faculteiten nog relatief weinig onderwijs gegeven over samenwerking middels open source model code ontwikkeling. Een uitzondering is het onderwijs bij de

faculteit Lucht- en Ruimtevaart, waar in het 1^e jaar het vak Programming & Scientific Computing in Python wordt gedoceerd. Aanbevolen wordt om dit ook bij andere faculteiten onder de aandacht te brengen, met name bij een faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen.

Tot slot, overdraagbaarheid naar het publiek is ook van belang. Het publiek zou middels overzichtelijke informatie toegang moeten hebben tot het zeespiegeldossier. Een rol die vanuit de overheid vervuld moet worden.

Herhaalbaarheid

Om herhaalbaarheid te onderzoeken, zou de programmatuur door verschillende onderzoeksgroepen moeten worden gerund en de resultaten met elkaar moeten worden vergeleken, op eenzelfde manier als beschreven in de studie van Mathiesen et al. (1994). Dat valt echter buiten de scope van de onderliggende review.

De methodiek voor de bepaling van de statistische fits is op abstractie niveau de afgelopen jaren, sinds 2010, hetzelfde gebleven en inmiddels door verschillende personen toegepast. Er wordt wel aanbevolen om meerdere gevoeligheidsexperimenten uit te voeren om de mate van stabiliteit te bepalen. In de documentatie is slechts 1 gevoeligheidsanalyse aangetroffen, betreffende de locatiekeuze.

Het artikel Baart et al. (2012) is inmiddels 52x geciteerd in de wetenschappelijke literatuur, dat daarmee aangeeft dat de statistische methode 'omarmd' wordt door de international sea-level rise community.

Herleidbaarheid (software en data)

De resultaten in de zeespiegelmonitor van Baart et al. 2015 zijn gebaseerd op een implementatie van de statistische methoden in *R* / *Python*. Deze code is publiek beschikbaar en in versiebeheer op Github.

De herkomst van de brondata is gedocumenteerd en de data is openbaar beschikbaar. Echter, Mattijn van Hoek (HKV) heeft een paired difference analysis RWS and PSMSL data uitgevoerd en concludeerde dat: "Numeric Monthly PSMSL data cannot be reproduced exactly using the RWS data available through their webservice. Certain validation and processing methods have been applied on the raw values before RWS has submitted their resampled monthly data to PSMSL".

Tabel: verschillen zoals geconstateerd door M. van Hoek

	IJMDBTHVN	VLISSGN	HOEKVHLD	DENHDR	DELFLZL	HARLGN
absolute mean difference (cm)	0.394272	0.245511	0.532790	0.130802	0.606863	0.143925
absolute max difference (cm)	126.800000	17.378134	44.345186	15.859767	41.565789	17.009375

5 Adviezen

Het oordeel over de i) Mate van documentatie, ii) Traceerbaarheid, iii) Overdraagbaarheid, iv) Herhaalbaarheid, v) Herleidbaarheid van de statistische modellen in de analyse van zeespiegelstijging is overall positief. Deltares heeft hiertoe belangrijke stappen voorwaarts gezet en Nederland kan hiermee als voorloper in de wereld worden aangemerkt.

Enkele malen is in de analyse op basis van face-validiteit (“wat oogt goed”) gekozen voor een specifieke methode (bijv. de keuze voor een lineaire LOESS, of de keuze voor het meenemen van de Amsterdam term). Wellicht dat hier op basis van data op andere locaties (Denemarken, Verenigd Koninkrijk), hindcasting en expert judgment met experts uit de internationale sea-level rise community meer onderbouwing voor kan worden gegeven.

Naast de bepaling van kansverdelingen voor jaargemiddelde zeewaterstanden, zijn de bepaling van kansverdelingen voor daggemiddelde zeewaterstanden en de bepaling van kansverdelingen voor jaarmaximale zeewaterstanden van belang voor het Nederlandse kustbeleid. Bij zeewaterstanden kan het dan zowel gaan om de daadwerkelijk gemeten waterstanden als om de (scheve) windopzetten, gecorrigeerd voor getij. We bevelen aan om voor deze variabelen een soortgelijke review uit te voeren wat betreft de scoring van de deelaspecten i) Mate van documentatie, ii) Traceerbaarheid, iii) Overdraagbaarheid, iv) Herhaalbaarheid, v) Herleidbaarheid.

De gevoeligheid van de variabelen t , T_H , N , $U^2\cos$, $U^2\sin$, P , NAO en Q volgen direct uit het regressiemodel, zoals gerapporteerd in De Ronde et al. (2014). De gevoeligheid van de locatiekeuze is onderzocht met een locatie dicht bij de Nederlandse kust: (lat,lon) = (54.2846°, 3.7500°). Deze wijziging leverde geen noemenswaardige verschillen op in berekende zeespiegelstijging en verklaarde variantie. Het wordt aanbevolen om meerdere gevoeligheidsanalyses uit te voeren en daarmee de robuustheid van de voorspellingen te onderzoeken, zoals de gevoeligheid van de grootte van het tijdsvenster, de keuze voor daggemiddelde of jaargemiddelde windsnelheden, etc.

De beschikbaarheid van alle source data, en de gedetailleerde commentaarregels op de code op <https://github.com/openearth/sealevel/tree/master/notebooks> wordt als zeer belangrijk ervaren. Dit stelt onderzoekers in staat om zorgvuldige (her)analyses uit te voeren, die zonder deze beschikbaarheid onmogelijk zouden zijn. Overweeg om alle model code, data en handleidingen beschikbaar te stellen via een site van Rijkswaterstaat. Bewaartermijnen van model code en data kunnen door de overheid worden vastgesteld.

Het zeespiegeldossier wordt naast zeespiegelstijging ook beheerst door bodeminklinking. Het vele modelleerwerk voor zeespiegelstijging staat in contrast met het weinige modelleerwerk voor bodemdaling. Aanbevolen wordt om statistische – en fysische modellen te ontwikkelen voor de projecties van bodeminklinking.

Universiteiten in Nederland en GTI's hanteren de Gedragscode Wetenschapsbeoefening met principes van goed wetenschappelijk onderwijs en onderzoek. De uitgangspunten zijn:

- eerlijkheid en zorgvuldigheid
- betrouwbaarheid
- controleerbaarheid

- onpartijdigheid
- onafhankelijkheid
- verantwoordelijkheid

De onderzoeksagenda zeespiegelmonitor (Baart 2014) geeft 'handen en voeten' aan deze gedragscode door met name de controleerbaarheid en betrouwbaarheid kritisch te bestuderen. De discussie hierover binnen de ingenieurswetenschappen loopt wellicht achter op de sociale wetenschappen. Binnen de ingenieurswetenschappen zijn ook verschillen te zien. De klimaatwereld loopt voor op de kustmorfologische wereld. De 'rivierenwereld' heeft ook nog een flinke slag te maken.

6 Referenties

Baart, Fedor, Robert Leander, John de Ronde, Hylke de Vries, Vincent Vuik, Robin Nicolai, (2015): Zeespiegelmonitor 2014. Deltares rapport 1209 426.202

Baart, F, PH Van Gelder, J De Ronde, M Van Koningsveld, B Wouters, 2012. The effect of the 18.6-year lunar nodal cycle on regional sea-level rise estimates, Journal of Coastal Research 28 (2), 511-516.

Deltares (2010). Definitie zeespiegelstijging voor bepaling suppletiebehoefte; Rekenmodel t.b.v. handhaven kustfundament. D. Dillingh, F. Baart en J.G. de Ronde. Deltares rapport 1201993-002.

De Ronde, J., F. Baart, C. Katsman and V. Vuik, 2013. Zeespiegelmonitor. Tech. Rep. 1208712-000, Deltares, HKV en KNMI.

Dillingh, D., B. Fedor and J. de Ronde, 2010. Definitie zeespiegelstijging voor bepaling suppletiebehoefte. Tech. Rep. 1201993-002, Deltares.

Mathiesen , Martin, Yoshimi Goda , Peter J. Hawkes , Etienne Mansard , María Jesús Martín , Eric Peltier , Edward F. Thompson & Gerbrant Van Vledder, Recommended practice for extreme wave Analysis, Journal of Hydraulic Research 32(6):803-814 · November 1994.

Vries, H. de, C. Katsman and S. Drijfhout, 2014. "Constructing scenarios of regional sea level change using global temperature pathways." Environmental Research Letters 9 (11): 115007. URL <http://stacks.iop.org/1748-9326/9/i=11/a=115007>.

10.2 Reproduceerbaarheid zeespiegelprojecties

Memo

Aan
Jean-Marie Stam, RWS

Datum
1 september 2017

Kenmerk
11200541-001-ZKS-0005

Aantal pagina's
7

Van
Matthijs den Toom

Doorkiesnummer
+31(0)88335 7937

E-mail
matthijs.dentoom@deltares.nl

Onderwerp
Reproduceerbaarheid zeespiegelprojecties

1 Inleiding

Dit onderzoek vindt plaats in aansluiting op de onderzoeksagenda zeespiegelmonitor (Baart 2014). Veel beslissingen worden genomen op basis van de zeespiegelmetingen, berekeningen en scenario's.

Het is belangrijk dat we ze kunnen vertrouwen. Om gegevens te vertrouwen moeten ze betrouwbaar en valide zijn. Betrouwbaarheid bestaat uit reproduceerbaarheid (kan het herhaald worden), gevoeligheid (is de uitkomst afhankelijk van perturbaties of keuzes) en stabiliteit (worden afrondingen uitvergroot). In dit deelonderzoek concentreren we ons op de reproduceerbaarheid. Deze memo sluit aan bij de twee memo's over de reproduceerbaarheid van metingen en de bepaling van de huidige zeespiegel. In deze memo worden de zeespiegelprojecties zoals deze op dit moment in gebruik zijn (KNMI 2014) behandeld.

De "Zeespiegelmonitor" is de periodieke rapportage over de stand van de zeespiegel. Deze monitor bestaat uit rapportages en de beschikbaarheid van de methode in de vorm van interactieve rekendocumenten. Naast het periodiek rapporteren wordt ook gewerkt aan het uitbreiden van de kennis en kwaliteit van de zeespiegelmonitor. Voor de periode 2016 tot en met 2018 is een onderzoeksagenda opgesteld, waarin de onderwerpen begrip (Kunnen we de variaties in de zeespiegel goed verklaren?), integratie (sluiten de toepassingen op elkaar aan?) en vertrouwen (zijn metingen en voorspellingen valide en betrouwbaar?). Dit onderzoek maakt onderdeel uit van het onderdeel vertrouwen.

Het gebrek aan reproduceerbaarheid van gegevens is onder onderzoekers een hot item. De reproduceerbarheids crisis, zoals deze methodologische herbezinning inmiddels te boek staat (Schooler 2014), begon in de sociale psychologie door de onthullingen van de fraude van Stapel en is inmiddels overgewaaid naar andere vakgebieden zoals engineering en aardwetenschappen. De definitie van reproduceerbaarheid wordt niet altijd consistent gebruikt. Hier gebruiken we de definitie dat reproduceerbaarheid slaat op het kunnen herhalen van iemands anders werk op basis van dezelfde data. Nog een stap verder ligt replicerbaarheid waarbij twee onderzoekers onafhankelijk data verzamelen en methoden toepassen om tot dezelfde conclusie komen (Peng 2011). Uit een onderzoek onder 1500 wetenschappers, gepubliceerd in Nature, blijkt dat 90% van mening is dat er een reproduceerbarheids crisis is (Baker 2016). Wetenschappers gaven

aan dat aspecten zoals de werkdruk, gebrek aan openheid van code en methode, ontbreken van ruwe data, ontbreken van reviews en fraude tot slechte reproduceerbaarheid geleid hebben.

Bij de uitwerking van de invloed van klimaatverandering op Nederland beperkt het KNMI zich tot een viertal scenario's. Deze worden gevormd door de combinatie van twee mogelijke veranderingen in twee grootheden. Enerzijds worden projecties van de wereldgemiddelde temperatuur beschouwd, een getypeerd als gematigd (G), de ander als warm (W). Daarnaast worden mogelijke veranderingen in luchtcirculatie in ogenschouw genomen, een getypeerd als laag (L), de ander als hoog (H). Voor de zichtjaren 2050 en 2085 wordt voor elk van de scenario's een groot aantal kentallen gepresenteerd. De vigerende scenario's zijn gebaseerd op het vijfde IPCC rapport en kwamen in 2014 uit (KNMI, 2014). In 2006 werd de vorige versie van de scenario's gepubliceerd (KNMI, 2006). Bij het opstellen van de projecties voor zeespiegelstijging is geen onderscheid gemaakt naar mogelijke veranderingen in luchtcirculatie, omdat deze nauwelijks invloed hebben. Ten opzichte van 1995 wordt voor 2050 een zeespiegelstijging verwacht van 15 tot 30 cm (95% betrouwbaarheidsinterval) volgens het G-scenario, en van 20 tot 40 cm volgens het W-scenario. Voor 2085 is de verwachting 25 tot 60 cm volgens het G-scenario en 45 tot 80 cm volgens het W-scenario.

2 Vraagstelling

De vraag waarop in dit memo antwoord gegeven wordt, luidt: Hoe goed is de reproduceerbaarheid van de door het KNMI bepaalde zeespiegelprojecties voor de Noordzee voor de jaren 2050 en 2085?

3 Onderzoeksmethode

Voor dit onderzoek zijn interviews uitgevoerd met de personen bij het KNMI die betrokken zijn bij het opstellen van de zeespiegelprojecties, te weten:

- Dewi Le Bars, hoofdverantwoordelijk voor het opstellen van de zeespiegelprojecties (interview 15 juni 2017).
- Sybren Drijfhout, verbonden aan de universiteit van Southampton en aan het KNMI, als bijzonder hoogleraar Dynamica van het Klimaat op de Buys Ballotleerstoel, betreffend de veranderingen van de zeespiegel en de gevolgen daarvan voor de waterhuishouding (interview 30 juni 2017)

Daarnaast is gesproken met Alessandro Spinuso, specialist in reproduceerbaarheid van rekenprocessen en data-traceerbaarheid (interview 15 juni 2017)

Reproduceerbaarheid wordt onderzocht door de volgende aspecten te onderzoeken:

- Eenduidigheid. Is de methode goed beschreven. In onderzoek worden er keuzes gemaakt om de data te behandelen. Zijn al deze keuzes beschreven en gemotiveerd. Dit is nodig voor een andere onderzoeker om de methode zelfstandig na te kunnen doen.
- Traceerbaarheid. Is het na te gaan welke stappen door wie, wanneer, waarom zijn gevolgd. Wie heeft wat en wanneer gedaan? Welke data is gebruikt? Wanneer is de data gedownload? Welke versie van de software is gebruikt.

- Openheid. Zijn de onderdelen publiek beschikbaar en kunnen ze gecontroleerd worden?
- Overdraagbaarheid. Kan de methode door een andere onderzoeker worden uitgevoerd. Zijn er minstens twee personen die het onderzoek kunnen uitvoeren?

4 Resultaten

Bij het opstellen van de zeespiegelprojecties wordt uitgegaan van op fysica gebaseerde (numerieke) modellen. Daarbij worden de volgende processen meegenomen:

- toename in oceaanvolume gerelateerd aan temperatuur en zoutgehalte;
- veranderingen van de zeespiegel die samenhangen met aanpassingen in de (grootschalige) circulatie;
- toename van de oceaanmassa door smelt van gletsjers en kleine ijskappen;
- veranderingen in de massabalans van de grote ijskappen van Groenland en Antarctica;
- veranderingen in de watervoorraad op land (meren, rivieren, wetlands, sneeuw, grondwater);
- lokale veranderingen in de luchtdruk aan het oppervlak; en
- elastische deformatie en aanpassingen van het zwaartekrachtveld ten gevolge van het smelten van landijs.

De overige processen die leiden tot veranderingen in het aardoppervlak worden expliciet uitgesloten, zoals inklinking en postglaciale opheffing. De projecties geven dus een beeld van de absolute verandering van zeeniveau langs de Nederlandse kust.

Voor het bepalen van de zeespiegelstijging draait het KNMI zelf geen grootschalige numerieke modellen. De projecties komen tot stand door het combineren van reeds beschikbare data van klimaatmodellen en gegevens uit de relevante literatuur, zie onderstaande tabel. Voor een belangrijk deel wordt uitgegaan van het archief dat is opgebouwd in het *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5; Taylor et al., 2012), dat ook de basis vormt voor het vijfde IPCC rapport. Het tweede belangrijke ingrediënt betreft de zogenoemde *fingerprints* (Katsman et al., 2011; Slangen et al., 2014) die aangeven hoe het smelten van de verschillende ijskappen doorwerkt in de lokale zeespiegel.

Voor wat betreft de bijdrage van de Groenlandse en Antarctische ijskappen wordt onderscheid gemaakt tussen veranderingen in de oppervlakte-massabalans van de ijskap (smelt en neerslag) en de gevolgen van dynamische veranderingen in het omringende zee-ijs door afkalving en smelt van onderaf. Deze dynamische verandering zijn door het IPCC niet meegenomen in de projecties voor zeespiegelstijging. In de resultaten van het KNMI is deze bijdrage wel verdisconteerd, gebaseerd op *expert judgement* van de beschikbare literatuur.

Tabel: overzicht databronnen voor de zeespiegelprojecties.

Databron	Openbaar	Online beschikbaar	Versiebeheer
CMIP5	ja	ja, downloadbaar (http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/data_getting_started.html)	Versie 5, Taylor et al., 2012
Mondiaal gletsjer- en ijskapmodel	ja	na te gaan	Giesen and Oerlemans, 2013
	ja	na te gaan	Marzeion et al., 2012
	ja	na te gaan	Radic et al., 2014
	ja	na te gaan	Slangen and Van de Wal, 2011
Fingerprints	ja	na te gaan	Katsman et al., 2011
	ja	Met bronvermelding vrij beschikbaar op http://icdc.cen.uni-hamburg.de/1/daten/ocean/coastal-sea-level-changes.html	Slangen et al., 2014
Watervoorraad op land	ja	na te gaan	Wada et al., 2012

Beschreven

De methode is goed gedocumenteerd in technische rapporten van het KNMI en in de internationale literatuur. Voor de KNMI'06 scenario's (KNMI, 2006) betreft dat de publicatie van Katsman et al. (2008). Voor de vigerende KNMI'14 scenario's (KNMI, 2014) gaat het om het werk van De Vries et al. (2014), dat als open access publicatie beschikbaar is. De informatie is bovendien grotendeels direct terug te vinden of af te leiden uit de appendices bij hoofdstuk 13 van IPCC AR-5 (Church et al., 2013). De beschrijving is voldoende gedetailleerd om de methode te herhalen.

Traceerbaar

De zeespiegelprojecties komen tot stand door het uitvoeren van de beschreven methode op de aangegeven brondata. Er is geen sprake van het tussenstappen waarbij informatie verloren kan gaan. De zeespiegelstijging is de som van de bijdrage uit verschillende bronnen. Het technische rapport (KNMI, 2014) geeft een overzicht van de bijdrages per bron.

Overdraagbaar

De overdraagbaarheid van de methode is goed. In de afgelopen jaren is ze achtereenvolgens door Caroline Katsman (nu verbonden aan de TU Delft), Hylke de Vries en Dewi le Bars (beiden nog KNMI) toegepast. Hoewel de uitvoering bij één persoon is belegd, zijn er meerdere personen bekend met de methode. De publicaties over zeespiegelstijging zijn ook steeds met een groep tot stand gekomen.

Herhaalbaar

De methodiek is goed herhaalbaar. Hoewel er op details verschillende keuzes zijn gemaakt, is de methodiek op abstract niveau de afgelopen jaren hetzelfde gebleven en inmiddels door verschillende personen toegepast. Dewi Le Bars gaf aan dat hij het resultaat van Hylke de Vries uit 2014 succesvol heeft gereproduceerd. Verder blijken gevoeligheidsexperimenten stabiele resultaten te geven. Ten slotte wordt in omringende landen vergelijkbaar onderzoek gedaan en zijn de resultaten daarvan vergelijkbaar (referenties?)

Herleidbaar (software en data)

De resultaten van de De Vries (2014) zijn gebaseerd op een implementatie van de methode in *R*. Deze code is niet in versiebeheer en niet publiek beschikbaar. Dewi Le Bars heeft de methode geheel opnieuw gecodeerd in de *NCAR Command Language* (NCL). De grootte bedraagt ruwweg 1000 regels code. Ook deze code is niet in versiebeheer en niet publiek (maar wel op aanvraag) beschikbaar. In het interview gaf Dewi Le Bars aan dat de herleidbaarheid van de software verbeterd kan worden.

De herkomst van de brondata is gedocumenteerd en alle data is openbaar beschikbaar. In geval van het CMIP5 archief is zijn de gegevens (na registratie) te downloaden, al is een praktische belemmering daarbij de grootte van het archief (3.3 PB). Van de overige bronnen zijn de gegevens op te vragen bij de betreffende auteurs of bij het KNMI. Deze bronnen zijn ook (deels) online ontsloten, maar referenties naar webadressen ontbreken in de beschrijving van de zeespiegelprojecties.

5 Adviezen

De reproduceerbaarheid van de projecties is goed op orde. Veel van de verbeteringen de in reproduceerbaarheid zijn in de laatste jaren doorgevoerd. De datasets worden kosteloos gedeeld en zijn goed gestandaardiseerd en beschreven. Het open delen van de data is breed beleid, maar wordt nog niet overal nageleefd. De KNMI ligt hier in voorop doordat ze datasets standaard volledig openbaar maken en niet deels of pas als er om gevraagd wordt. We raden aan om de proactieve werkwijze van de KNMI verder navolging te geven in andere onderdelen van de overheid, waaronder binnen Rijkswaterstaat.

Wat wel een punt van aandacht is, zo blijkt uit de interviews, is de beschikbaarheid en traceerbaarheid van de software. We adviseren om de werkwijze omtrent de in gebruik zijnde software en scripts te verbeteren. Dit kan door ook de software openbaar te maken in een versiebeheer systeem, bijvoorbeeld via <https://github.com/KNMI>, waar ook al andere software wordt gedeeld. Verder is het raadzaam om voor kritische software, zoals deze gebruikt wordt voor de projecties, ook gangbare kwaliteitscontroles te gebruiken (unit, integratie tests, validaties, code reviews, etc...).

Een deel van de datasets zijn omvangrijk (bijvoorbeeld de totale omvang van de CMIP5 datasets is 3.3 PB). Hierdoor is de reproduceerbaarheid niet een methodologisch maar een praktisch probleem. Sommige instituten, zoals de NOAA (NOAA 2017) volgen de aanpak dat ze de data niet alleen via hun eigen website beschikbaar stellen, maar ook via publieke cloud providers. Zo kan iedereen een computer huren naast de data. Dat voorkomt dat iedereen de 3.3 PB dubbel moet opslaan.

Ten slotte adviseren we om de data die bij publicaties wordt gegenereerd en de software die bij de publicatie wordt ontwikkeld ook te publiceren in een persistente vorm, door het toekennen van een DOI via de daarvoor beschikbare kanalen zoals bijvoorbeeld een dienst als Zenodo of via de 4TU.

6 Referenties

- Church, J.A., P.U. Clark, A. Cazenave, J.M. Gregory, S. Jevrejeva, A. Levermann, M.A. Merrifield, G.A. Milne, R.S. Nerem, P.D. Nunn, A.J. Payne, W.T. Pfeffer, D. Stammer and A.S. Unnikrishnan (2013): Sea Level Change. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- De Vries, H., C. Katsman, and S. Drijfhout (2014): Constructing scenarios of regional sea level change using global temperature pathways. *Environmental Research Letters* 9 (11).
- Giesen, R.H. and J. Oerlemans (2013): Climate-model induced differences in the 21st century global and regional glacier contributions to sea-level rise. *Climate Dynamics* 41 (11-12). doi:10.1007/s00382-013-1743-7
- Katsman, C. A., W. Hazeleger, S.S. Drijfhout, G.J. van Oldenborgh and G. Burgers (2008): Climate scenarios of sea level rise for the northeast Atlantic Ocean: a study including the effects of ocean dynamics and gravity changes induced by ice melt. *Climatic change* 91(3).
- Katsman, C.A., A. Sterl, J.J. Beersma, et al. *Climatic Change* (2011): Exploring high-end scenarios for local sea level rise to develop flood protection strategies for a low-lying delta: the Netherlands as an example. *Climatic. Change* 109 (3-4).
- KNMI (2006): *KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands*; by Bart van den Hurk, Albert Klein Tank, Geert Lenderink, Aad van Ulden, Geert Jan van Oldenborgh, Caroline Katsman, Henk van den Brink, Franziska Keller, Janette Bessembinder, Gerrit Burgers, Gerbrand Komen, Wilco Hazeleger and Sybren Drijfhout. Scientific Report WR 2006-01, KNMI, De Bilt, The Netherlands.
- KNMI (2014): *KNMI'14: Climate Change scenarios for the 21st Century – A Netherlands perspective*; by Bart van den Hurk, Peter Siegmund, Albert Klein Tank (Eds), Jisk Attema, Alexander Bakker, Jules Beersma, Janette Bessembinder, Reinout Boers, Theo Brandsma, Henk van den Brink, Sybren Drijfhout, Henk Eskes, Rein Haarsma, Wilco Hazeleger, Rudmer Jilderda, Caroline Katsman, Geert Lenderink, Jessica Loriaux, Erik van Meijgaard, Twan van Noije, Geert Jan van Oldenborgh, Frank Selten, Pier Siebesma, Andreas Sterl, Hylke de Vries, Michiel van Weele, Renske de Winter and Gerd-Jan van Zadelhoff. Scientific Report WR2014-01, KNMI, De Bilt, The Netherlands. www.climate-scenarios.nl.
- Le Bars, D., S. Drijfhout, and H. de Vries (2017): A high-end sea level rise probabilistic projection including rapid Antarctic ice sheet mass loss. *Environmental Research Letters* 12 (4).

Marzeion, B., A.H. Jarosch, and M. Hofer (2012): Past and future sealevel changes from the surface mass balance of glaciers. *Cryosphere* 6 1295–322

NOAA, Big Data Project, <http://www.noaa.gov/big-data-project> (opgevraagd 2017-09-01)

Peng, R. D. (2011). Reproducible research in computational science. *Science*, 334(6060):1226–1227.

Radic V., A. Bliss, A.C. Beedlow, R. Hock, E. Miles, and J.G. Cogley (2014): Regional and global projections of twenty-first century glacier mass changes in response to climate scenarios from global climate models. *Climate Dynamics* 42 37–58

Slangen, A.B.A., and R.S.W. van de Wal (2011): An assessment of uncertainties in using volume-area modelling for computing the twenty-first century glacier contribution to sea-level change. *Cryosphere* 5 673–86

Slangen, A.B.A., M. Carson, C.A. Katsman, R.S.W. van de Wal, A. Köhl, L.L.A. Vermeersen, and D. Stammer (2014): Projecting twenty-first century regional sea-level changes. *Climatic Change* 124.

Taylor, K.E., R.J. Stouffer, and G.A. Meehl (2012): An Overview of CMIP5 and the experiment design. *Bulletin of the American Meteorological Society* 93 485–98.

Wada Y., L.P.H. van Beek, F.C. Sperna Weiland, B.F. Chao, Y-H. Wu, and M.F.P. Bierkens (2012) Past and future contribution of global groundwater depletion to sea-level rise. *Geophysical Research Letters* 39 1–6

10.3 Reproduceerbaarheid zeespiegelmetingen

Memo

Aan
Jean-Marie Stam, RWS

Datum 27 december 2016	Kenmerk 1230046-000-ZKS-0008	Aantal pagina's 7
Van Fedor Baart	Doorkiesnummer +31(0)88335 8140	E-mail fedor.baart@deltares.nl

Onderwerp
Reproduceerbaarheid zeespiegelmetingen

1 Inleiding

Dit onderzoek vindt plaats in aansluiting op de onderzoeksagenda zeespiegelmonitor. Veel beslissingen worden genomen op basis van de zeespiegelmetingen, berekeningen en voorspellingen. Het is belangrijk dat we ze kunnen vertrouwen. Om gegevens te vertrouwen moeten ze betrouwbaar en valide zijn. Betrouwbaarheid bestaat uit reproduceerbaarheid (kan het herhaald worden), gevoeligheid (is de uitkomst afhankelijk van perturbaties of keuzes) en stabiliteit (worden afrondingen uitvergroot). In dit deelonderzoek concentreren we ons met name op de reproduceerbaarheid.

De gebrek aan reproduceerbaarheid van gegevens is onder onderzoekers een hot item. De reproduceerbaarheids crisis, zoals deze methodologische herbezinning inmiddels te boek staat (Schooler 2014), begon in de sociale psychologie door de onthullingen van de fraude van Stapel en is inmiddels overgewaaid naar andere vakgebieden zoals engineering en aardwetenschappen. Uit een onderzoek onder 1500 wetenschappers, gepubliceerd in Nature, blijkt dat 90% van mening is dat er een reproduceerbaarheids crisis is (Baker 2016). Wetenschappers gaven aan dat aspecten zoals de werkdruk, gebrek aan openheid van code en methode, ontbreken van ruwe data, ontbreken van reviews en fraude tot slechte reproduceerbaarheid geleid hebben.

Ook bij de zeespiegelstanden speelt de beperkte reproduceerbaarheid regelmatig op. Van Veen (1945) vond de metingen uit Amsterdam onbruikbaar voor trendschattingen omdat op de gegevens oncontroleerbare correcties hadden plaatsgevonden. De Nederlandse gegevens zijn een tijd uitgesloten van de internationale database van de Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL) omdat niet vast stond hoe het proces van meting tot jaargemiddelde was verlopen. Sinds het eenduidig corrigeren voor de NAP correctie (Dillingh et al., 2010) zijn de gegevens weer opgenomen.

De "Zeespiegelmonitor" is de periodieke rapportage over de stand van de zeespiegel. Deze monitor bestaat uit rapportages en de beschikbaarheid van de methode in de vorm van interactieve rekendocumenten. Naast het periodiek rapporteren wordt ook gewerkt aan het uitbreiden van de kennis en kwaliteit van de zeespiegelmonitor. Voor de periode 2016 tot en met 2018 is een onderzoeksagenda opgesteld, waarin de onderwerpen begrip (Kunnen we de variaties in de zeespiegel goed verklaren?), integratie (sluiten de toepassingen op elkaar aan?) en vertrouwen (zijn metingen en voorspellingen valide en betrouwbaar?). Dit onderzoek maakt onderdeel uit van het onderdeel vertrouwen.

Deze memo richt zich op de reproduceerbaarheid van de metingen en de daaruit afgeleide jaargemiddelden. De reproduceerbaarheid van afgeleide waarden zoals de huidige en toekomstige zeespiegel worden in 2017 onderzocht.

2 Vraagstelling

Hoe goed is de reproduceerbaarheid van de jaargemiddelde zeespiegel? Dat is de vraagstelling die we in deze memo beantwoorden. We operationaliseren de reproduceerbaarheid door de volgende deelvragen te beantwoorden:

- Is de methode eenduidig beschreven?
- Is de indicator traceerbaar? Kunnen we het pad heen en terug volgen?
- Is de indicator overdraagbaar? Als de bepaling door een andere persoon wordt uitgevoerd, komt er dan hetzelfde uit?
- Is de indicator herhaalbaar? Als de indicator nogmaals wordt bepaald, komt er dan hetzelfde uit?
- Is de software herleidbaar? Zijn de versies en broncode bekend van de software waarmee de indicator bepaald is?
- Zijn de data herleidbaar? Is bekend met welke methode de gegevens zijn bepaald?

3 Onderzoeksmethode

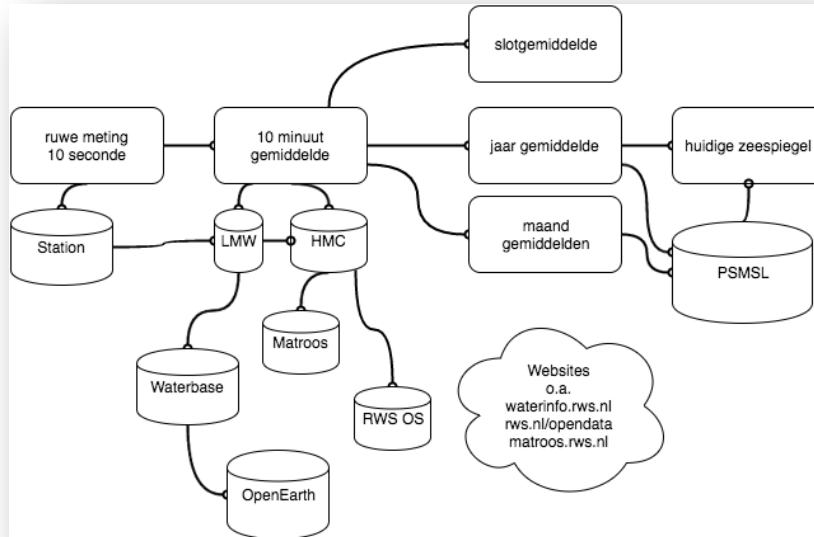
De reproduceerbaarheid is onderzocht door de personen die bij Rijkswaterstaat aan deze onderdelen werken te interviewen. De volgende personen zijn benaderd voor een interview:

- Peter Heinen, Informatie manager water kwantiteit (interview: 2016-10-27)
- Koes Doekes (niet beschikbaar, kort telefonisch gesprek (2016-11-05))
- Hans van Zeijl, Coördinator Kwaliteit & configuratie voor Landelijk Meetnet Water (interview: 2016-11-22)

De geïnterviewden is gevraagd om het werkproces te beschrijven, met name over de bovenstaande aspecten van reproduceerbaarheid.

4 Resultaten

Het proces van ruwe metingen naar de "huidige zeespiegel" indicator volgt een aantal stappen. De stappen zijn schematisch weergegeven in onderstaande figuur. De afkortingen staan weergegeven in de acroniemen tabel.



Normaal Amsterdams Peil

Het proces van metingen begint bij de "ruwe metingen" die op de getij stations plaatsvinden. De zogenaamde "hoofdstations" (Delfzijl, Harlingen, Den Helder, Vlissingen, IJmuiden en Hoek van Holland, zoals gedefinieerd in de Ronde (1984)) worden gebruikt in de bepaling van de "huidige zeespiegel" (Baart et al., 2015). Het station IJmuiden heeft een lagere prioriteit dan de andere 5 stations. Het station dat als basis dient voor de validatie is Roompot Buiten.

Op elk van de stations worden gegevens elke 10 seconden gemeten. Deze metingen worden gemiddeld over 10 minuten. Het midden van de 10 minuten is de tijd gekoppeld aan de periode. Gedurende het verwerkingsproces vinden een aantal controles plaats. De controles worden uitgevoerd door operationeel beheer.

1. Op deze 10 minuut waarde vind een eerste controle plaats op het station zelf. Deze controle bestaat uit een sigma, delta, min, max en missende waarde controle. Een sigma controle bestaat uit het afwijzen van een meting indien deze buiten een aantal standaarddeviaties van het gemiddelde ligt. De delta methode bestaat uit het afwijzen van een meting zodra het verschil met een vorige meting boven een drempel uitkomt. De min en max validaties keuren een meting af zodra deze onder of boven een gedefinieerde waarde komen. De missende waarde controle bestaat uit dat er in een tijdsspanne van 10 minuten een minimaal aantal waarden beschikbaar moeten zijn (bij ten minste 54 van de 60 metingen binnen 10 minuten is een meting valide). De controles zijn geïmplementeerd in de signaalverwerkingssoftware en geconfigureerd per station. Zodra de 10 minuten waarde berekend is en de kwaliteitscode bekend dan stuurt het station zijn gegevens naar de Landelijk Meetnet Water (LMW) Database
2. Zodra de gegevens binnenkomen in de LMW database wordt de momentane validatie uitgevoerd. Missende gegevens worden vervangen door waarde van de backupsensor. Indien geen backupsensor beschikbaar is worden de gegevens opgevuld met behulp van een Multiple Lineaire Regressie (MLR).
3. 3x per uur vindt de tijdsvenster validatie plaats. Het resultaat van de tijdsvenster validatie is dat er codes aan de gegevens worden toegevoegd. Deze codes hebben de vorm van een integere waarde met een bijbehorende betekenis. De validatie codes kunnen gebruikt worden om gegevens te duiden, zijn ze gemeten, met welk instrument, of zijn ze geschat.

- De tijdsvenster validatie volgt dezelfde procedure als de momentane validatie. Deze kan tot andere resultaten leiden als er inmiddels meer metingen zijn binnengekomen.
4. 2x per dag wordt een visuele validatie van de vaste meetnetten uitgevoerd. De inspecteur kan waarden aanpassen of afkeuren. Na de aanpassing, goed of afkeuring wordt een nieuwe code toegekend. De database van het Hydro Meteo Centrum (HMC) (genoemd naar Waterloopkunde Zierikzee (WTZ)) is de basis voor visuele validatie. Roompot Buiten met zijn 4 sensoren is de referentie als deze consistent zijn. Met in achtname van fase en amplitude worden controles uitgevoerd. M2 methode is basis voor afwijkende sensoren. De M2 methode detecteert afwijkingen in de fase en amplitude van belangrijkste getijcomponent. Komt het hoogwater steeds een beetje vroeger of later, of daalt het hoogwater langzaam, dan is er misschien iets niet goed met het instrument.
 5. Maandvalidatie & jaarvalidatie. Voor 5 kustlocaties wordt een maandelijkse validatie uitgevoerd. Voor de andere locaties wordt een jaarlijkse validatie gedaan. Na de maandvalidatie wordt aan Data Opslag Natte Rijkswaterstaat (DONAR) geleverd. De gegevens van de stations langs de kust worden berekend ten opzichte van het Normaal Amsterdams Peil (NAP). De offshore stations meten ten opzichte van gemiddeld zeeniveau.
 6. 1x/7jaar wordt de bout-NAP ingemeten, door waterpassing. Voor stations die in het water staan is dat al een lange tijd niet gedaan.

Het LMW heeft een lopende historie van 30 dagen. Na afloop van 30 dagen worden de gegevens uit het LMW verwijderd. De gegevens uit waterbase/DONAR vormen de basis voor de berekening van de jaar en maand gemiddelden.

De gegevens worden gemiddeld door een gemiddelde toe te passen op de reeks van getallen. De methode hiervoor staat in Dillingh (2013) beschreven. De bron van de middeling is het DONAR systeem. De jaargemiddelde waterstanden staan niet op de door Rijkswaterstaat bijgehouden lijst met op te leveren informatie producten. Ze zijn de afgelopen jaren geleverd aan de PSMSL maar dit is nog geen officiële procedure.

Beschreven

De precieze details van de methoden staan beperkt beschreven. De informatie hoe gemeten wordt, met welke instrumenten, welke correcties handmatig worden toegepast, de details van de methoden en de configuratie zijn niet openbaar beschikbaar. Van een deel hiervan (welke instrumenten gebruikt worden) worden actuele gegevens bijgehouden in de Centrale Meetinstrumenten Database (CMDDB) en in het Centrale Instrumenten Bestand (CIB). Kwaliteitscodes zijn niet beschikbaar via de plekken waar de gegevens ontsloten worden (bijv. waterbase, actuele waterdata). De details van de meetmethode kwaliteit en metadata zijn relevant bij het interpreteren van de metingen.

Traceerbaar

De gegevens worden in de meest ruwe vorm (de 10 seconde data) niet bewaard. De diverse validatiestappen worden door validatiecodes bijgehouden. Hierdoor is een belangrijk onderdeel van de traceerbaarheid vastgelegd (zijn de gegevens gemeten, met welk instrument, of zijn ze geschat). De afgeleide gegevens in de vorm van 1/10min waarden worden opgeslagen. Hierin zitten al enkele toegepaste correcties (opgevuld, metingen vervangen, aanpassingen naar aanleiding van visuele inspectie). Nadat de gegevens in DONAR zijn overgezet worden de gegevens verwijderd uit het LMW. De kwaliteitscodes zijn hierna niet meer beschikbaar.

Overdraagbaar

Een aantal van de onderdelen van de procedure (configureren van de validaties, opwerken van de gegevens tot jaar en maandgemiddelden) wordt door 1 persoon uitgevoerd en werd in de interviews als niet overdraagbaar gekenmerkt.

Herhaalbaar

De metingen worden continu dubbel uitgevoerd. Soms met dezelfde soms met verschillende instrumenten. Ook de eerste stappen van het validatie proces worden door verschillende organisatie onderdelen (LMW, HMC) dubbel uitgevoerd. Ook de stap om de jaargemiddelden uit de 10 minuten waarden af te leiden is wel eens succesvol herhaald. De ijking en jaarlijkse validatie zijn niet op herhaalbaarheid getoetst.

Herleidbaar (software en data)

De software waarmee de gegevens worden ingewonnen is specifiek voor het LMW. Delen van de software worden niet meer onderhouden. De software is niet open source. Voor de opwerking van de gegevens van 10 minuten waarde is aparte software, maar de laatste keer is deze opwerking met excel uitgevoerd. Er wordt geen versiebeheer toegepast op de gegevens en configuratie.

Conclusies en aanbeveling

Op onderdelen is de reproduceerbaarheid goed te noemen (dubbel uitgevoerd, dubbel gevalideerd, en herhaalbaarheid getoetst). Dit is ook wat we mogen verwachten van gegevens die voor verschillende toepassingen essentieel (scheepvaart, kustveiligheid, waarschuwingen) en voor een aantal andere toepassingen belangrijk zijn (zoals voor kustbeheer en klimaatberekeningen).

Op sommige onderdelen, met name in de beschrijving, de overdraagbaarheid en herleidbaarheid liggen mogelijkheden en uitdagingen. De relevante informatie is niet publiek beschikbaar en ook intern niet altijd goed beschreven. De informatie hoe gegevens zijn gemeten, gecorrigeerd en of ingevuld geven de noodzakelijke context bij de duiding van gegevens. De overdraagbaarheid is beperkt doordat er onderdelen in het proces zitten die rusten op een enkel persoon. De herleidbaarheid van de software en data is beperkt omdat de ruwe data niet worden bewaard en de versies van software en configuraties niet worden bijgehouden.

We bevelen daarom het volgende aan:

- Handhaaf de dubbele uitvoering van de processen (meting, validatie).
- De afgeleide producten gaan uit van een volledige reeks. In de praktijk ontstaan soms gaten door het uitvallen van instrumenten. Blijf gebruik maken van een opvulmethode.
- Controleer de herhaalbaarheid van de opwerking van gegevens periodiek (1x 6 jaar) als vast onderdeel van het proces
- Beschrijf de procedure van (op volgorde) correcties, validatie, opwerking, meting, meetinstrumenten, inrichting stations en maak deze informatie publiek beschikbaar
- Maak de software die gebruikt wordt voor de validatie en invulling open source of gebruik open source software
- Sla de ruwe gegevens (hoogfrequent, ongeaggregeerd, ongevalideerd), zodat correcties en invullingen eenduidig te herleiden zijn en verbeterde methodes retrospectief toegepast kunnen worden
- Gebruik versiebeheer en houdt versies bij van gebruikte software en configuratie.

- Betrek Deltares bij aanpassingen in de hoogte systemen.
- Overweeg het verhogen van de prioriteit van het station in IJmuiden in lijn met de definitie van het concept van “hoofdstations”.
- Zorg dat ten minste twee personen elk onderdeel van het proces beheersen (overdraagbaarheid).
- Rapporteer de gegevens ook ten opzichte van de peilbouten (zonder correcties). Hierdoor kunnen bij nieuwe schattingen van bodemdalingen retrospectief betere schattingen worden gemaakt (herhaling van advies van Dillingh 2010) .
- De validatiecodes zijn nu alleen beschikbaar in het LMW. Maak de validatiecodes ook beschikbaar in DONAR en ook publiek beschikbaar via de diverse services.
- Neem de overdracht van gegevens naar PSMSL op in de procedure
- Draag actuele gegevens over aan de wereldwijde dataset bij University of Hawaii Sea Level Center (UHSLC)

5 Acroniemen en namen

DONAR	Data Opslag Natte Rijkswaterstaat: opslag systeem voor gegevens bij Rijkswaterstaat
PSMSL	Permanent Service for Mean Sea Level
LMW	Landelijk Meetnet Water: verricht verschillende soorten metingen in Nederland en op de Noordzee: waterstand, afvoer en stroming, golven, watertemperatuur en diverse meteorologische gegeven
HMC	Hydro Meteo Centra: verantwoordelijk voor verwachtingen van waterstanden, golven en stroming in de Nederlandse kustwateren
CMDDB	Centrale meetinstrumenten database? Dataset van instrumenten beschikbaar binnen Rijkswaterstaat
CIB	Centrale instrumenten bestand? Dataset van instrumenten beschikbaar binnen Rijkswaterstaat
WTZ	Waterloopkunde Zierikzee: Database met waterstandsgegevens
RWS	Rijkswaterstaat
RWsOS	Voorspellingssysteem voor waterstanden en golven.
Matroos	Multifunctional Access Tool foR Operational Oceandata Services. Ontsluiting van historische en actuele waterstandsmetingen en voorspellingen.
MLR	Multipiele/meervoudige lineaire regressie, een statistische methode, onder andere te gebruiken om missende waarden terug te schatten.
Waterbase	Database voor basisgegevens van de historie van de waterkwantiteit
MWTL	Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands
UHSLC	University of Hawaii Sea Level Center: internationale dataset van actuele waterstandsgegevens
M2 methode	Detectie van verschuivingen in de fases van de “principal lunar semi-diurnal” (M2) component
NAP	Normaal Amsterdams Peil: Verticaal hoogtesysteem in gebruik in Nederland

6 Literatuur

[Baart and Kooi, 2016] Baart, F. and Kooi, H. (2016). Zeespiegel onderzoeksagenda. Technical Report 1230046-000, Deltares.

[Baart et al., 2015] Baart, F., Leander, R., de Ronde, J., de Vries, H., Vuik, V., and Nicolai, R. (2015). Zeespiegelmonitor 2014. Technical Report 1209426.202, Deltares, HKV en KNMI.

[Baker, 2016] Baker, M. (2016). 1,500 scientists lift the lid on reproducibility. *Nature*, 533(7604):452–454.

[de Bruijne and voor Geodesie, 2005] de Bruijne, A. and voor Geodesie, N. C. (2005). De geodetische refer- entiestelsels van Nederland: definitie en vastlegging van ETRS89, RD en NAP en hun onderlinge relaties. NCG Nederlandse Commissie voor Geodesie.

[de Ronde, 1984] de Ronde, J. (1984). Grenspeilen 1981.0: Bepaling van nieuwe grenspeilen voor de kust- stations. Technical report, Rijkswaterstaat, RIKZ.

[Dillingh, 2013] Dillingh, D. (2013). Kenmerkende waarden kustwateren en grote rivieren. Technical Report 1207509-000, Deltares.

[Dillingh et al., 2010] Dillingh, D., Fedor, B., and de Ronde, J. (2010). Definitie zeespiegelstijging voor bepaling suppletiebehoefte. Technical Report 1201993–002, Deltares.

[Schooler, 2014] Schooler, J. W. (2014). Metascience could rescue thereplication crisis'. *Nature*, 515:9.

[van Veen, 1945] van Veen, J. (1945). Bestaat er een geologische bodemdaling te Amsterdam sedert 1700. *Tijdschrift Koninklijk Nederlandsch Aardrijkskundig Genootschap*, 2(62):2–36. In Dutch.

Kopie aan

Robin Nicolai, HKV, Evelien van Eijsbergen, RWS, Claire van Oeveren, Deltares,
Peter Heinen, RWS, Hans van Zeijl, RWS

10.4 Advies gebruik methode Frederikse in de zeespiegelmonitor

memorandum

PR2695.40

Project : Zeespiegelmonitor: regionale verschillen in zeespiegelstijging
Datum : september 2017
Onderwerp : Advies gebruik methode 'Frederikse' in de zeespiegelmonitor
Van : Robin Nicolai m.m.v. Guus Rongen en met review door Vincent Vuik
Aan : Fedor Baart (Deltares)

Aanleiding

De actuele snelheid waarmee de zeespiegel stijgt is voor diverse overheidsvraagstukken een belangrijke indicator. Denk hierbij aan het beheer en onderhoud van de kust c.q. het suppletiebeleid, de wettelijke beoordeling van primaire waterkeringen en de aardgaswinning in de Waddenzee.

De vraag is of er naast de methode die nu is opgesteld voor de bepaling van de actuele snelheid van de zeespiegelstijging (Baart et al., 2015) nog andere methoden zijn, die de huidige methode nu of in de toekomst kunnen vervangen. Deze notitie gaat in op de bruikbaarheid van (onderdelen van) één bepaalde methode.

Huidige methode actuele zeespiegelstijging

In de zeespiegelmonitor wordt de actuele snelheid waarmee de zeespiegel stijgt (relatieve zeespiegelstijging t.o.v. de bodem¹) bepaald door middel van regressieanalyse op jaargemiddelde zeewaterstanden. Het statistische regressiemodel bevat een constante term, een lineaire trendparameter, het 18,6-jarige nodale getij en de wind. Het model wordt toegepast op het algehele gemiddelde van de jaargemiddelde zeewaterstanden op de 6 hoofdstations langs de Nederlandse kust: Vlissingen, Hoek van Holland, IJmuiden, Harlingen, West-Terschelling en Delfzijl.

De software-implementatie van het model in Python voert volautomatisch een reeks diagnostische toetsen uit (significantie van het model, significantie van de parameters, toets op normaliteit van de residuen). Bovendien toetst de software ook op de aanwezigheid van een trendbreuk (gebroken lineair model) en een versnelling in de zeespiegelstijging (kwadratisch model). De prestaties van deze modellen worden vergeleken met het standaard lineaire regressiemodel via het Akaike Information Criterion (AIC) en het Schwarz Information Criterion (SIC). Op dit moment presteert het lineaire regressiemodel het beste, maar is de fit van het gebroken model (trendbreuk in het jaar 1993²) niet slechter.

De huidige methode kent zijn basis in de wetenschappelijke literatuur, maar hierin zijn ook wel andere, meer fysische, modellen voor het beschrijven en voorspellen van de zeespiegel voorgesteld. De methode in de zeespiegelmonitor is vooral een statistische. Fysische verschijnselen anders dan de 18,6-jarige nodale cyclus en variaties in de jaargemiddelde windsnelheid zijn geen onderdeel van de methode. In deze notitie staat een advies over de bruikbaarheid van een methode die statistische en fysische modellen combineert, met een inschatting van de

¹ Relatieve zeespiegelstijging is de stijging van de zeespiegel ten opzichte van de bodem. Dit is de som van de absolute zeespiegelstijgingen van de absolute bodemdaling.

² In CLO (2016) wordt wetenschappelijke literatuur aangehaald waarin een trendbreuk in de wereldwijde zeespiegelstijging in het jaar 1993 is gevonden (zie <http://www.clo.nl/indicatoren/nl0229-zeespiegelstand-nederland-en-mondiaal>, zie ook Dieng et al., 2017). Deze trendbreuk kan deels worden toegeschreven aan de introductie van het gebruik van nauwkeurige satellietgegevens van de zeespiegel in 1992.

toepasbaarheid in de zeespiegelmonitor. We duiden deze methode aan als de methode 'Frederikse', naar de eerste auteur van de referentie Frederikse et al. (2016).

Beschrijving Methode Frederikse

In Frederikse et al. (2016) is een zogeheten state-space model³ geformuleerd om de variatie in zeewaterstanden over de tijd te beschrijven. Het basismodel bevat een in de tijd variërende trend en een residu, dat is opgesplitst in een autoregressief en een irregulier deel. Een variant van het model heeft als verklarende variabelen de wind, de luchtdruk, de nodale cyclus en enkele oscillatiefactoren gerelateerd aan geofysische processen op de oceanen (indicatoren voor de veranderingen hierin)⁴.

In een andere variant is ook de invloed van de windopzet op de zeewaterstand via het Dutch Continental Shelf Model (DCSM) als verklarende variabele toegevoegd⁵. Het blijkt dat de uitkomsten van DCSM een groot deel van de variatie in de zeespiegel verklaren. De auteurs laten hiermee zien dat het nuttig is om een fysisch, hydrodynamische model zoals DCSM als verklarende variabele toe te voegen.

Uit de methode volgt ook een over de tijd gemiddelde trend. Deze is bepaald door de integraal van de trendwaarden over de gehele meetreeks (1980-2013) te bepalen. In het artikel is de gemiddelde trend vergeleken met de 'vaste' trend uit een lineair regressiemodel. Dit is gedaan voor het basismodel en de twee varianten. Telkens is de trend met het regressiemodel met dezelfde additionele componenten vergeleken. Uit de vergelijking volgt dat de trendschattingen uit de modellen duidelijk kunnen verschillen. Bovendien is de onzekerheid rondom de gemiddelde trend telkens hoger dan de onzekerheid rondom de lineaire trend.

Afweging

De methode Frederikse verschilt op vier punten van de huidige methode:

1. in de tijd variërende trend in plaats van een lineaire trend;
2. autocorrelatie in de residuen;
3. de software-implementatie is nog niet open source en nog niet gedocumenteerd;
4. toevoeging van hydrodynamisch model voor de stormopzet als verklarende variabele.

De reden dat Frederikse een state-space model met een in de tijd variërende trend definieert is dat veel geofysische processen geen lineaire trend kennen. De focus van het artikel is op variatie in de zeespiegel op middellange termijn ('variability on decadal scale and longer'), veroorzaakt door veranderingen in stormopzet. Deze variatie beïnvloedt namelijk de schatting van een lineaire trend uit een beperkte reeks zeewaterstanden sterk. In het artikel wordt gesteld dat een tijdreeks van minimaal 60 jaar nodig is om een trend van 2 mm ofwel 20 cm per jaar te kunnen detecteren.

Op zichzelf zijn bovenstaande redenen valide argumenten om een flexibeler model te formuleren. Daar staat echter tegenover dat de huidige methode gebruik maakt van reeksen vanaf het jaar 1890. De lengte van de reeks jaargemiddelde zeewaterstanden is dus 127 jaar. Dit is voldoende om een lineaire trend in de zeespiegelstijging te detecteren. Ten tweede is in de zeespiegelmonitor

³ Een state space model is een econometrisch model dat de toestand van een fenomeen over de tijd beschrijft. De modelcomponenten kunnen op ieder tijdstip een andere waarde (niveau, toestand) aannemen. De parameters van het model zijn de mate van autoregressie en de variantie van de residuen.

⁴ Pacific Decadal Oscillation (PDO): anomalies of ocean water temperatures in the Pacific Ocean. Multivariate El Niño-Southern Oscillation Index (MEI): variability cause by El Niño events. North Atlantic Oscillation (NAO): measures the differences in the anomalies of the sea level pressure between subtropical and Arctic regions in the Atlantic Ocean. Bij de ontwikkeling van de zeespiegelmonitor zijn luchtdruk en NAO ook als regressors aan het model toegevoegd, maar deze variabelen verklaren slechts een zeer klein deel van de variatie in de zeespiegel.

⁵ Deze variant van het model bevat niet de wind zelf als onafhankelijke verklarende variabele.

behoefte aan een robuuste schatting van de snelheid waarmee de zeespiegel stijgt. De schatting moet niet heel erg gevoelig zijn voor de variatie in de zeespiegel op een tijdschaal van zo'n 5 tot 10 jaar. Uit persoonlijke communicatie met Thomas Frederikse en Riccardo Riva volgt dat de tijdsafhankelijke trend sterk verschilt over de jaren. Een lopend gemiddelde van de tijdsafhankelijke trend over 20 jaar loopt van 1 mm/jaar rond 1970 tot boven 3 mm/jaar in de jaren '90 en tot onder 1 mm/jaar na het jaar 2000.

De introductie van het state-space model compliceert de statistische schatting van de parameters wel enigszins. Om de in tijd variërende trend en de autoregressie in de residuen te schatten wordt een Kalman filter toegepast. Dit is een in de literatuur bekende schattingsmethode die rekenintensiever is dan de kleinste kwadratenmethode waarmee het lineaire regressiemodel wordt geschat. De aanwezigheid van autocorrelatie in de residuen is overigens met de Durbin-Watson of Breusch-Godfrey toets aan te tonen. Indien sprake is van autocorrelatie dan kunnen de standaardfouten onderschat worden. In de econometrische literatuur zijn methoden opgesteld om robuuste standaardfouten te schatten, die minder gevoelig zijn voor autocorrelatie in de residuen.

Als derde vermelden we dat de software-implementatie in MATLAB eigendom is van de TU Delft. De code is op dit moment nog niet open source, maar de TU Delft⁶ overweegt de software wel open source aan te bieden onder bijvoorbeeld een GNU-licentie. De software is momenteel nog niet erg gebruikersvriendelijk en de code is nog niet erg toegankelijk⁷.

De tussentijdse conclusie van de bovenstaande afweging van de voor- en nadelen van de state-space formulering is dat deze statistische methode *voor het doel van de zeespiegelmonitor* geen toegevoegde waarde oplevert ten opzichte van het lineaire regressiemodel.

Het vierde en wellicht belangrijkste verschil met de huidige methode is de toevoeging van het hydrodynamische model aan het statistische model als verklarende variabele. Dit heeft drie voordelen ten opzichte van het model met verklarende variabelen wind en luchtdruk. Ten eerste brengt het hydrodynamische model niet-lineaire effecten in rekening. Ten tweede lost dit model de interactie tussen het getij en de stormopzet expliciet op. Ten derde verklaart de toegevoegde term een groot deel van de variatie in de zeespiegel. Het lijkt voordelig om het lineaire regressiemodel uit te breiden met de resultaten van een hydrodynamisch model. We gaan daarom nu iets dieper in op de mogelijkheden en beperkingen van het gebruik van hydrodynamische modellen in de zeespiegelmonitor.

Het statistische model in Frederikse et al. (2016) is dus uitgebreid met de stormopzet uit het Dutch Continental Shelf Model (DCSM). Dit model schat het effect van de wind op de Noordzee nauwkeurig, rekening houdend met de regionale bathymetrie. Het model heeft een hoge resolutie, is speciaal voor de Noordzee ontwikkeld en er is al veel ervaring mee opgebouwd. Zo zijn met het model ook al ERA-interim windvelden (1979-heden) doorgerekend. De rekentijd van een berekening van een jaar is orde grootte 2 dagen.⁸

Een globaal model, zoals het Global Tidal Shelf Model (GTSM), biedt de mogelijkheid om ook rekening te houden met de cumulatieve respons van de oceaan op van de evenaar afkomstige samengestelde windvelden. De resolutie van dit model is minder hoog dan die van DCSM. Verder is er nog weinig ervaring opgebouwd met het rekenen met langjarige reeksen windvelden in GTSM.

⁶ Persoonlijke communicatie met Riccardo Riva (TU Delft, Faculteit CITG, R.E.M.Riva@tudelft.nl).

⁷ Persoonlijke communicatie met Thomas Frederikse (TU Delft, Faculteit CITG, t.frederikse@tudelft.nl).

⁸ Deze inschatting volgt na persoonlijke communicatie met prof. Martin Verlaan (martin.verlaan@deltares.nl, TU Delft en Deltares), co-auteur van het artikel Frederikse et al. (2016), en expert op het gebied van hydrodynamische modellen.

Binnenkort volgt uit de langjarige runs van het GTSM met ERA-interim windvelden een goede inschatting van de rekentijd.

De keuze voor een windveld is erg belangrijk. Voor de zeespiegelmonitor is een zo lang mogelijke homogene reeks gewenst. Momenteel wordt de maandelijkse wind op 10 m hoogte gebaseerd op de 'NCEP reanalysis of the NCAR' van NOAA gebruikt. Deze gaan tot 1948 terug.⁹ Het kost enige inspanning om de hydrodynamische modellen te voeden met andere windvelden. Vooral het uitvoeren van testen en controles kost doorlooptijd. De inspanning in mensdagen is minder groot. Bovendien kan in de toekomst gebruik worden gemaakt van het GTSM model met ERA-interim windvelden(1979-nu), dat binnenkort wordt doorgerekend.

De resultaten van een hydrodynamisch model zijn als verklarende variabele in het regressiemodel van toegevoegde waarde voor de zeespiegelmonitor. Het is op dit moment nog niet nodig om een keuze te maken voor GTSM of DCSM. Beide hebben hun specifieke eigenschappen en bijkomende voor- en nadelen. Met DCSM is vooralsnog meer ervaring opgebouwd.

Advies

De huidige methode voor het bepalen van de actuele trend in de zeespiegelstijging is gebaseerd op een regressiemodel met een lineaire trend. In Frederikse et al. (2016) wordt daarentegen gewerkt met een in de tijd variërende trend, via een zogenaamd state-space model. Alle voor- en nadelen afwegend is ons advies om dit model *niet* over te nemen in de zeespiegelmonitor. De in de tijd variërende trend is namelijk omgeven door veel onzekerheid en dit nadeel weegt niet op tegen de voordelen. De state-space formulering heeft daarom geen toegevoegde waarde voor de schatting van de trend in de zeespiegelstijging.

In de huidige methode in de zeespiegelmonitor is een statistische toets op autocorrelatie opgenomen. Er is weinig reden om aan te nemen dat autocorrelatie een grote rol speelt in de jaargemiddelde waterstanden. Wel kan de toets in de zeespiegelmonitor explicieter worden uitgevoerd. Het verdient bovendien aanbeveling om de standaardfouten op een meer robuuste wijze te schatten, zeker in het geval dat autocorrelatie een rol speelt.

De toevoeging van de resultaten van een hydrodynamisch model (storm surge model) als verklarende variabele is een goede aanvulling op de huidige methode in de zeespiegelmonitor. Het Global Tidal Shelf Model (GTSM) en het Dutch Continental Shelf model (DCSM) hebben ieder hun eigen voordelen. Binnenkort zullen zulke berekeningen voor het eerst met GTSM worden uitgevoerd. Een no-regret actie is het doorgeven van de lijst met kuststations aan Martin Verlaan. Hij zal deze dan toevoegen aan de set uitvoerlocaties van de GTSM-berekeningen. Hieruit volgt meteen een idee van de doorlooptijd van zulke berekeningen, en inzicht in de bruikbaarheid en kwaliteit van de uitvoer.

We adviseren Rijkswaterstaat om de huidige methode uit te breiden met de resultaten van een hydrodynamisch model en in de komende twee jaar de prestaties van dit uitgebreide model te vergelijken met het huidige model. Na twee jaar beslist Rijkswaterstaat welk model de basis gaat worden voor het bepalen van de actuele trend in de zeespiegelstijging. Een afweging van de inzet van GTSM of DCSM is onderdeel van de werkzaamheden die tot de uitbreiding leiden.

Voor de softwarewijzigingen en het opdoen van ervaring met het nieuwe model is een inspanning van 30-40 dagen nodig.

⁹ In het verleden zijn ook experimenten uitgevoerd met windgegevens uit de 20th century reanalysis van NOAA.

Referenties en bronnen

Baart et al. (2015).

Zeespiegelmonitor 2014. Fedor Baart, Robert Leander, John de Ronde (Deltares), Hylke de Vries (KNMI), Vincent Vuik en Robin Nicolai (HKV). Deltares rapport 1209426-000-VEB-0008.

Dieng et al., 2017. *Geophysical Research Letters* 44: 3744 - 3751 Dieng, Habib-Boubacar & Cazenave, Aanny & Meyssignac, Benoit & Michaël, Ablain. (2017). New estimate of the current rate of sea level rise from a sea level budget approach: Sea level budget. *Geophysical Research Letters*. 10.1002/2017GL073308.

CLO (2016)

Stand zeespiegel langs de Nederlandse kust en mondiaal, 1890-2014 (indicator 0229, versie 09, 17 maart 2016). Compendium voor de Leefomgeving (CLO), CBS, Den Haag; Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), Den Haag/Bilthoven en Wageningen UR, Wageningen. www.compendiumvoordeleefomgeving.nl

Frederikse et al. (2016)

Estimating decadal variability in sea level from tide gauge records: An application to the North Sea, Frederikse, T., R. Riva, C. Slobbe, T. Broerse, and M. Verlaan (2016), *J. Geophys. Res. Oceans*, 121(3), March 2016, pp. 1529–1545. doi:10.1002/2015JC011174.

Hydrodynamische modellen

DCSM: Dutch Continental Shelf Model

Presentatie:

<https://www.deltares.nl/en/webinars/hydrodynamic-modeling-on-the-northwest-european-shelf-and-north-sea-new-opportunities-with-delft3d-flexible-mesh/>

Factsheet:

https://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/37345/factsheet-dcsm_zuno-generatie_5-v2016_1.pdf

GTSM: Global Tidal Shelf Model

Presentatie:

https://publicwiki.deltares.nl/download/attachments/99058008/JONSMOD2014_Presentation_4-5_Verlaan.pdf?version=1&modificationDate=1401272961000

Referentie:

Kernkamp, H. W. J., Van Dam, A., Stelling, G. S. & de Goede, E. D. Efficient scheme for the shallow water equations on unstructured grids with application to the Continental Shelf. *Ocean Dyn.* 61, 1175–1188 (2011).

Windvelden

ERA-Interim reanalysis windvelden (ECWMF)

Referentie global atmospheric reanalysis from 1979, continuously updated in real time: Dee, D. P. et al. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 137, 553–597 (2011).

NOAA-windvelden

Website "NCEP reanalysis of the NCAR" from 1948

<https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html>

Websites 20th century reanalysis (data).

https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/20thC_Rean/

https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.20thC_ReanV2c.html

<https://rda.ucar.edu/datasets/ds131.2/>

10.5 Zeespiegelmonitor: Eenduidige zeespiegelindicatoren

Opdrachtgever: **Rijkswaterstaat**

Zeespiegelmonitor

Eenduidige zeespiegelindicatoren



Opdrachtgever: **Rijkswaterstaat**

Zeespiegelmonitor

Eenduidige zeespiegelindicatoren



Auteurs:

Robin Nicolai (HKV)

Guus Rongen (HKV)

Fedor Baart (Deltares)

Inhoud

Lijst van tabellen	i
Lijst van figuren	iii
1 Inleiding	5
1.1 Aanleiding	5
1.2 Zeespiegelstijging: absoluut versus relatief	6
1.3 Indicatoren: scope en kenmerken	8
1.4 Groslijst indicatoren	9
2 Uitwerking indicatoren	11
2.1 Beheer en onderhoud	11
2.1.1 Trend in de actuele zeespiegelstijging	11
2.1.2 Vergunningsverlening delfstoffenwinning	13
2.1.3 Samenvatting en discussie	14
2.2 Toetsing	15
2.2.1 Getijhoogwaterstijging	15
2.2.2 Samenvatting en discussie	16
2.3 Ontwerp	17
2.3.1 Absolute zeespiegelstijging	21
2.3.2 Lange termijn waterhuishouding	24
2.3.3 Samenvatting en discussie	25
2.4 Planvorming	27
2.4.1 Indicator "percentage onder zeeniveau"	27
2.4.2 Vrije ruimte	28
2.4.3 Ruimtelijke ontwikkeling	28
2.4.4 Samenvatting en discussie	29
3 Synthese en aanbevelingen	31
3.1 Samenvatting	31
3.2 Aanbevelingen	33
4 Referenties	37
Bijlage A: Verslag expertsessie	41

Lijst van tabellen

Tabel 1-1:	Definities zeespiegel(stijging) en bodemdaling.....	7
Tabel 2-1:	Absolute zeespiegelstijging in de KNMI'06 scenario's.....	19
Tabel 2-2:	Absolute zeespiegelstijging in de Veerman-scenario's.....	20
Tabel 2-3:	Absolute zeespiegelstijging in de KNMI'14 scenario's.....	21
Tabel 2-4:	Zeespiegelgetallen voor het ontwerp van zachte keringen. Bron: Leidraad Zandige Kust (2002).....	23
Tabel 2-5:	Scenario's 3 ^e Kustnota. Bron: RWS (2000).....	23
Tabel 3-1:	Zeespiegelindicatoren in waterveiligheidsbeleid.....	32

Lijst van figuren

Figuur 1-1:	Absolute versus relatieve zeespiegelstijging en bodemdaling. Bron: Figuur 2.1 Baart et al. (2015).	6
Figuur 1-2:	Gereviseerd lokaal hoogteniveau zoals in gebruik voor het station IJmuiden (bron: PSMSL). Het niveau TGBM (tide gauge benchmark) slaat op het referentiepunt ten opzichte waarvan het getij wordt gemeten. Het niveau RLR (2007) is ongeveer 7000 mm onder het gemiddeld zeeniveau, een arbitrair gekozen referentieniveau waarbij jaar- en maandgemiddelden positief zijn. MSL (2007) is het gemiddeld zeeniveau voor 2007. Het NAP is het nationale hoogtesysteem. De aanpassing van het NAP (0,021 m omhoog in 2005) is verwerkt door de PSMSL via de methode beschreven door Dillingh et al. (2010). Bron: Figuur 2.2 Baart et al. (2015).....	7
Figuur 2-1:	KNMI'06-scenario's. De aangegeven banden geven het bereik tussen het 10 ^{de} en 90 ^{ste} percentiel aan.....	19
Figuur 2-2:	Veerman-scenario's.	20
Figuur 2-3:	Zeespiegelstijging binnen de Deltascenario's.	20
Figuur 2-4:	Totstandkoming van de 48 cm klimaattoeslag zoals dit gebruikt wordt bij het ontwerp van harde keringen.	22
Figuur 2-5:	Zeespiegelstijging volgens de Veerman-scenario's met daarin de voor de zeesluizen van IJmuiden gebruikte stijging.	24
Figuur 2-6:	Variabelen voor het aangeven van zeespiegelstijging. ZJ = zichtjaar.	26
Figuur 2-7:	Profiel van de vrije ruimte. Bron. www.stowa.nl.	28
Figuur 3-1:	Zichtjaren toepassingsgebieden zeespiegelstijging.	32
Figuur 3-2:	Verschillende partijen (leiblaauw: overheid, aquamarijn: kennisinstituut, pruim: bedrijven) zijn betrokken bij zeespiegelonderzoek. De overlap met kolommen geeft de hoofdtak aan van de organisatie. Bijvoorbeeld Rijkswaterstaat houdt zich vooral bezig met onderhoud en toetsing. PBL houdt zich vooral bezig met planvorming. De organisaties boven de rij met onderhoud, toetsing, ontwerp en planvorming houden zich vooral bezig met beleidsvorming. De organisaties onder de rij houden zich vooral bezig met onderzoek en advisering.	35

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De stand van de zeespiegel ten opzichte van de bodem, nu en in de toekomst, is een belangrijke indicator voor de Nederlandse waterveiligheid. Bij veel beleidsvraagstukken op het gebied van onderhoud, toetsing, ontwerp en planvorming speelt de zeespiegel een rol. Afhankelijk van de toepassing wordt meestal een andere indicator voor de zeespiegelstijging gebruikt. Het is hierbij niet altijd voor iedereen duidelijk hoe de gekozen indicator precies is gedefinieerd, laat staan hoe deze is gekwantificeerd. De zeespiegelindicatoren zijn onderling niet consistent. De cijfers zijn gebaseerd op verschillende aannames, methoden, data, perioden en gebruikte correcties.

Zeespiegelmonitor – Zeespiegel onderzoeksagenda 2016-2018

Het periodiek rapporteren over de huidige staat van de zeespiegel langs de Nederlandse kust wordt de "Zeespiegelmonitor" genoemd. Deze monitor bestaat uit periodieke rapportages (Dillingh et al., 2010, de Ronde et al., 2014, Baart et al., 2015) en de beschikbaarheid van de methode in de vorm van software (webapplicatie). In de Zeespiegelmonitor worden de ruwe zeespiegelmetingen omgezet in meerdere zeespiegelindicatoren. Een voorbeeld van een indicator is "de huidige zeespiegelstijging".

Naast het periodiek rapporteren wordt ook gewerkt aan het uitbreiden van de kennis en kwaliteit van de zeespiegelmonitor. Voor de periode 2016 tot en met 2018 is een onderzoeksagenda opgesteld (Baart et al., 2016), waarin de aandacht ligt op de onderstaande hoofdonderwerpen:

- **Begrip**
Kunnen we de variaties in de zeespiegel goed verklaren? Weten we welke oorzaken verschillen tussen metingen veroorzaken en hebben we deze kennis goed geformaliseerd in onze methoden?
- **Integratie**
Sluiten de verschillende toepassingen van de zeespiegel op elkaar aan en worden alle toepassingen afgedekt?
- **Vertrouwen**
Kloppen de metingen en de voorspellingen, zijn ze valide en reproduceerbaar?

De resultaten van de deelonderzoeken worden gecombineerd in een update van de zeespiegelmonitor, die toegankelijk, begrijpelijk en traceerbaar is.

Op dit moment hebben slechts enkele experts het overzicht over welke zeespiegelindicator voor welke toepassing wordt gebruikt en waarom. Het doel is om deze kennis breed toegankelijk te maken. In dit rapport zijn daarom de verschillende indicatoren die in het Nederlands beleid worden toegepast op overzichtelijke wijze en in detail uitgewerkt op basis van vragen als:

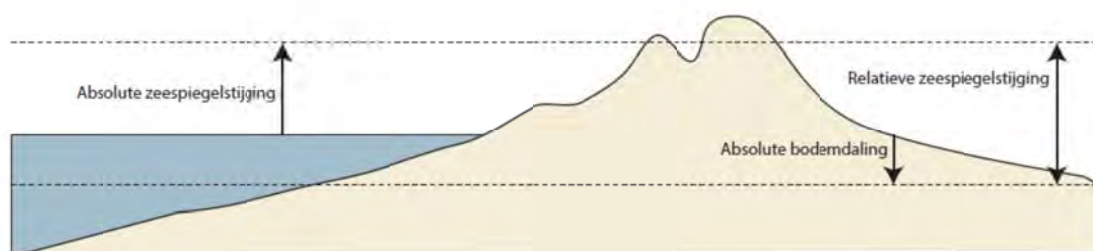
- Welke definities worden gehanteerd?
- Welke factoren worden meegenomen?
- Hoe verhouden getalswaarden zich tot elkaar?
- Wat is het toepassingsgebied van de indicator? Welk beleidsterrein betreft deze toepassing?
- Door wie wordt de indicator bepaald en toegepast?

- Sluiten de verschillende toepassingen op elkaar aan?
- Worden alle toepassingen wel voldoende afgedekt?

1.2 Zeespiegelstijging: absoluut versus relatief¹

Het begrip zeespiegelstijging behoeft enige toelichting. We maken onderscheid tussen absolute en relatieve zeespiegelstijging. Relatief ten opzichte van wat? Wat is de referentie? Met relatieve zeespiegelstijging wordt bedoeld hoeveel de zeespiegel stijgt ten opzichte van de bodem. Het is de som van hoeveel de zeespiegel stijgt ten opzichte van 'zichzelf' en hoeveel de bodem daalt ten opzichte van 'zichzelf' (zie Figuur 1-1).

De zeespiegel wordt niet ten opzichte van zichzelf gemeten maar ten opzichte van een referentievlak. Rijkswaterstaat meet de zeespiegel langs de Nederlandse kust ten opzichte van het NAP. Op zee, waar het NAP niet meer geldig is, wordt gemeten ten opzichte van European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89). Het NAP kan langs de kust worden beschouwd als een referentie voor de diepere ondergrond, zoals gekoppeld aan de ondergrondse merken. Een aantal processen (bijvoorbeeld klink en erosie) zorgt voor absolute bodemdaling ten opzichte van NAP. Een aantal andere processen zorgen voor een verandering van het NAP, bijvoorbeeld glaciële uplift en zwaartekrachtveranderingen door smelting. De term relatieve zeespiegel wordt vaak gebruikt om te verwijzen naar zeespiegel zoals gemeten met een getijstation. Met absolute zeespiegel wordt vaak verwezen naar metingen gedaan met satellieten².



Figuur 1-1: Absolute versus relatieve zeespiegelstijging en bodemdaling. Bron: Figuur 2.1 Baart et al. (2015).

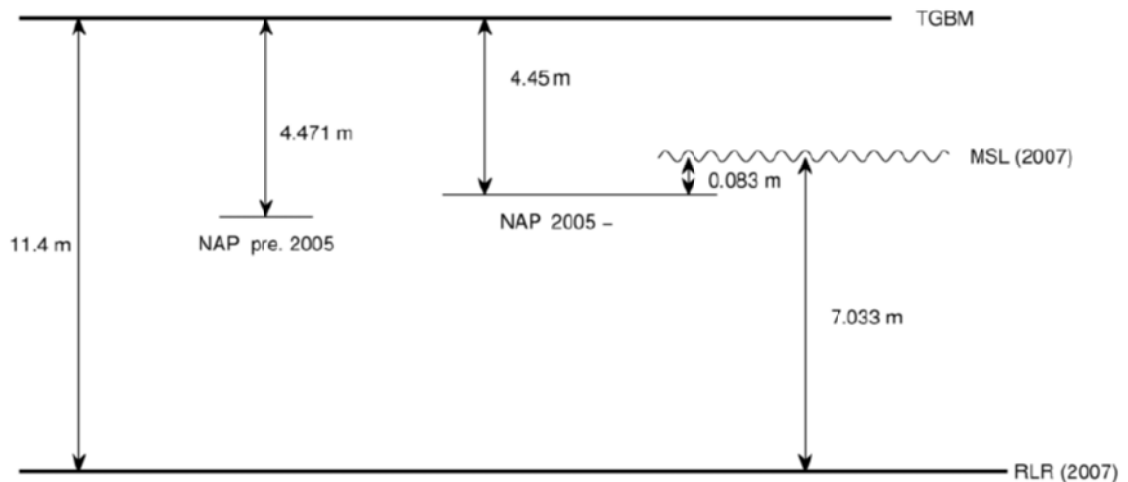
De bodemdaling wordt ten opzichte van hetzelfde referentieniveau bekeken. Omdat relatieve bodemdaling en relatieve zeespiegelstijging hetzelfde zijn, wordt bij het onderscheid tussen of iets als bodemdaling of zeespiegelstijging wordt bestempeld naar het onderliggende proces gekeken. Erosie, klink, verzakkingen door grondwater of gasonttrekkingen zijn processen die onder de noemer bodemdaling passen. Langs de kust worden deze processen gemeten door de topografie en bathymetrie te meten. Bij de bepaling van de sterkte van de kust worden de zeespiegelstand en de kusthoogte weer gecombineerd, zodat de veiligheid gebaseerd is op de volledige relatieve zeespiegelstijging.

Voor het rekenen met zeespiegelstanden wordt gebruik gemaakt van een zogenaamd lokaal gerevisieerd hoogteniveau, in Nederland gebaseerd op het NAP. De details hiervan staan beschreven in Dillingh et al. (2010). De lokaal gerevisieerde hoogtegegevens worden opgeslagen en verspreid via de internationale dataset van getijmetingen (Permanent Service for Mean

¹ Deze paragraaf is in aangepaste vorm overgenomen uit Baart et al. (2015).

² Absolute zeespiegel wordt uitgedrukt ten opzichte van een referentie-ellipsoïde. ETRS89 is net als bijvoorbeeld WGS84 een referentie-ellipsoïde.

Sea Level (PSMSL), zie bijvoorbeeld Figuur 1-2. Over het algemeen wordt momenteel de waterstand ten opzichte van het post-2005 NAP gebruikt. Dit niveau ligt 2.1 cm hoger dan het pre-2005 NAP.



*Figuur 1-2: Gereviseerd lokaal hoogteniveau zoals in gebruik voor het station IJmuiden (bron: PSMSL). Het niveau TGBM (tide gauge benchmark) slaat op het referentiepunt ten opzichte waarvan het getij wordt gemeten. Het niveau RLR (2007) is ongeveer 7000 mm onder het gemiddeld zeeniveau, een arbitrair gekozen referentieniveau waarbij jaar- en maandgemiddelden positief zijn. MSL (2007) is het gemiddeld zeeniveau voor 2007. Het NAP is het nationale hoogtesysteem. De aanpassing van het NAP (0,021 m. omhoog in 2005) is verwerkt door de PSMSL via de methode beschreven door Dillingh et al. (2010).
Bron: Figuur 2.2 Baart et al. (2015).*

De relatieve zeespiegelstijging bevat zowel een bodemdalingscomponent als een absolute zeespiegelstijgingscomponent. Meestal worden deze twee processen door aparte vakgebieden bestudeerd. Kenmerkend voor bodemdaling is dat het lastiger is om de verschillende componenten te onderscheiden. Het is lastiger om onder de grond te meten dan onder water. Verder is de kennis over hoe de bodemdaling nu precies in de relatieve zeespiegelstijging doorwerkt niet breed verspreid. Welke bodemdaling wordt er nu wel meegenomen en welke niet? Deze vragen vallen buiten de scope van dit rapport en worden elders behandeld³. Dit rapport richt zich op eenduidige zeespiegelindicatoren.

Onderstaande tabel vat de definities van de drie begrippen relatieve zeespiegel, relatieve zeespiegelstijging en relatieve bodemdaling nog eens samen.

Begrip	Definitie
Relatieve zeespiegel	Stand van de zeespiegel ten opzichte van de bodem (in m+NAP)
Relatieve zeespiegelstijging	Stijging van de zeespiegel ten opzichte van de bodem. Dit is de som van de (absolute) zeespiegelstijging t.o.v. zichzelf en van de (absolute) bodemdaling t.o.v. zichzelf.
Relatieve bodemdaling	Relatieve zeespiegelstijging

Tabel 1-1: Definities zeespiegel(stijging) en bodemdaling.

³ In paragraaf 3.1 van Baart et al. (2016) zijn acties geformuleerd om tot een betere integratie van bodem- en zeespiegelveranderingen te komen. Deze acties worden in 2016/2017 uitgevoerd in het kennisprogramma Kustgenese 2.0. Het beoogde resultaat van de acties is een beter begrip van verschillende componenten van bodemdaling en de verwerking van de bodem in zeespiegelindicatoren.

1.3 Indicatoren: scope en kenmerken

Bij de uitwerking van indicatoren voor de zeespiegel zijn alleen indicatoren beschouwd die aan de volgende voorwaarden voldoen:

1. De indicator heeft een duidelijke directe relatie met de Nederlandse zeespiegel (dus bijvoorbeeld niet het volume smeltend landijs);
2. De indicator leidt tot een actie;
3. De indicator komt terug in Nederlands beleid.

Met de laatste twee voorwaarden is enigszins soepel omgegaan. Niet alle indicatoren leiden immers direct tot een actie of komen terug in het (huidige) beleid, maar worden wel in onderliggende analyses gebruikt.

Een onderzoeksvraag is of de genoemde koppelingen van indicatoren aan toepassingen genoeg aansluiten. Ook is de vraag hoe de genoemde koppelingen precies tot uiting komen in het beleid. We onderscheiden vier toepassingen: beheer en onderhoud, toetsing op veiligheid, ontwerp en (ruimtelijke) planvorming:

- Beheer en onderhoud: jaarlijks worden zandsuppleties uitgevoerd langs de Nederlandse kust. De suppletiebehoefte is gebaseerd op de huidige trend⁴ in de relatieve zeespiegelstijging;
- Toetsing: de huidige stand van de relatieve zeespiegel wordt gebruikt om het huidige niveau van waterveiligheid te bepalen;
- Ontwerp: de toekomstige stand van de relatieve zeespiegel is van belang bij het ontwerpen van waterkeringen of waterkerende constructies met een levensduur van enkele tientallen jaren;
- Planvorming, in de zin van ruimtelijke ordening / ontwikkelingen: de zeespiegel voor de volgende generaties is van belang voor het vestigingsklimaat. De zeespiegelstijging heeft een directe invloed op het overstromingsrisico en bepaalt dus (indirect) waar 'we' wel of beter niet kunnen gaan wonen. Diverse organisaties (ministeries, provincies, CPB, PBL, Deltacommissaris) gebruiken zeespiegelscenario's in analyses van toekomstplannen.

In een expertsessie (zie kader en Bijlage A) zijn de bovengenoemde indicatoren voor de 4 toepassingen besproken. Uit de discussies met en tussen de experts onderling blijkt dat deze indicatoren inderdaad terugkomen in het beleid. De experts hebben ook gediscussieerd over de verschillen tussen de indicatoren, trends in het beleid en andere indicatoren. De discussies hebben geleid tot een aanscherping en uitbreiding van de in het beleid gehanteerde indicatoren.

Expertsessie zeespiegelindicatoren

In een workshop op 10 november 2016 is een eerste versie van de uitwerking van de 4 indicatoren besproken met experts van RWS op het gebied van de kust en de zeespiegel. De aanwezigen vertegenwoordigden de 4 toepassingen. Doel van de workshop: feedback halen op de eerste uitwerking en het benoemen van ontbrekende zeespiegelindicatoren. De feedback en de ontbrekende indicatoren zijn verwerkt in deze rapportage. Een verslag van de expertsessie staat in Bijlage A van dit rapport.

De toepassing van een indicator is slechts één kenmerk. Andere relevante kenmerken zijn:

- definitie: de wijze waarop het is opgeschreven en de interpretatie;

⁴ Met trend in de (relatieve) zeespiegelstijging bedoelen we in het vervolg de snelheid waarmee de zeespiegel stijgt (in cm/eeuw bijvoorbeeld).

- type: hoogwater, laagwater, gemiddelde waterstand;
- toepassing: (beleids)terrein waar het op van toepassing is;
- oorsprong: waar het voor het eerst voorkomt in beleidsstukken, uitgangsdokument en kaders;
- context: uitgebreide(re) beschrijving van toepassingsgebied;
- instituut: organisatie die het zeespiegelcijfer bepaalt of laat bepalen;
- programma: naam van het programma waarin het cijfer uiteindelijk wordt gebruikt;
- status: de status van het cijfer, in gebruik, ter discussie of nog niet vastgesteld;
- gebruiker: organisatie die het beleid uitvoert waarop het getal is gebaseerd;
- verantwoording getalswaarde: hoe het getal tot stand is gekomen, referentie naar het document waarin dit is beschreven.

In het vervolg van dit document zijn de indicatoren uitgewerkt aan de hand van deze kenmerken.

1.4 Groslijst indicatoren

Er zijn ook andere indicatoren dan de hierboven bij de verschillende toepassingsgebieden genoemde. Hieronder volgt een groslijst van indicatoren zonder dat daarbij is gecontroleerd of deze wel aan de drie in paragraaf 1.3 genoemde voorwaarden voldoen:

- Huidige stand relatieve zeespiegel: ruimtelijk gemiddelde zeewaterstand (in m+NAP);
- Huidige stand absolute zeespiegel: ruimtelijk gemiddelde zeewaterstand (in m+NAP);
- Huidige relatieve hoogwaterstand (in m+NAP);
- Huidige trend in de relatieve zeespiegelstijging (snelheid in m/jaar);
- Toekomstige relatieve zeespiegel (in m+NAP);
- Stijging van de relatieve zeespiegel tussen jaar x en jaar y (in m);
- Toekomstige trend in de relatieve zeespiegelstijging: trend in stijging van de gemiddelde waterstand, laagwaterstand of hoogwaterstand (snelheid in m/jaar);
- Huidige stand van de absolute zeespiegel (in m+NAP);
- Stijging van de absolute zeespiegel tussen jaar x en jaar y (in m);
- Relatieve / absolute zeespiegelstijging waarin rekening wordt gehouden met een versnelling;
- Huidig / toekomstig niveau van de bodem (in m+NAP);
- Huidige / toekomstige trend in de bodemdaling (snelheid in m/jaar);
- Percentage oppervlakte Nederland onder zeeniveau, waarbij behoefte is aan een definitie van zeeniveau;
- Percentage oppervlakte Nederland dat overstroomt zonder dijken.

Enkele van deze indicatoren komen terug in de 4 genoemde toepassingen, die in hoofdstuk 2.1 t/m 2.4 zijn uitgewerkt. Ook binnen de beleidsterreinen delfstoffenwinning en de lange termijn waterhuishouding bestaan toepassingen van zeespiegelindicatoren. Deze worden respectievelijk behandeld bij de toepassingen B&O kust en ontwerp.

2 Uitwerking indicatoren

2.1 Beheer en onderhoud

2.1.1 Trend in de actuele zeespiegelstijging

De overheid heeft zich als taak gesteld om de kustlijn en het kustfundament dynamisch te handhaven. Dit handhaven gebeurt in de vorm van zandsuppleties. Het beleidsuitgangspunt is dat geen structurele erosie van de kustlijn plaatsvindt en dat het kustfundament meegroeit met de zeespiegel. Beide doelen zijn sinds de 3^e Kustnota (RWS, 2000) herhaald in diverse stukken (Nota Ruimte, 2004; Integraal Beheerplan Noordzee, 2007; Nationaal Waterplan 2009-2015 en 2016-2021; Nationaal Kader Kust, 2011; Nationale Visie Kust, 2013; Beslissing Zand, 2014; Suppletieprogramma Kustlijnzorg; 2015). Het benodigde zandvolume om mee te groeien wordt voor een belangrijk deel bepaald als het product van 'het oppervlak van het kustfundament' en 'de actuele zeespiegelstijging'. De trend in de actuele zeespiegelstijging is dus de indicator die voor het beheer en onderhoud van de kust wordt gebruikt.

Sinds 2001 wordt jaarlijks gemiddeld 12 miljoen m³ zand gesuppleerd langs de Nederlandse kust. Dit is de richtwaarde uit de 3^e Kustnota die in de uitvoering van het beleid in het programma Kustlijnzorg is overgenomen. DG Water en Ruimte neemt op basis van de inzichten uit het programma Kustgenese 2.0 in 2020 een beslissing over het benodigde suppletievolume voor de jaren daarna.

Kustfundament, zeespiegelstijging en suppletievolume zijn direct gekoppeld aan elkaar. De basis voor het huidige suppletievolume is een rapport uit het jaar 2000. In Mulder (2000) wordt gesteld dat de totale suppletiebehoefte bij gelijkblijvende trend in de zeespiegelstijging van 20 cm/eeuw wordt geschat op gemiddeld 12 miljoen m³ per jaar (met een maximum van 16 miljoen m³ per jaar). In het geschatte volume is niet alleen rekening gehouden met zandverlies van het kustfundament, maar ook dat van de Waddenzee en de Westerschelde. Basisuitgangspunt bij de bepaling van het suppletievolume is de aanname dat de sedimentvraag van de kust op lange termijn bepaald wordt door het oppervlak van het zanddelende kuststelsel (zie kader).

Basiskustlijn	Met het handhaven van de basiskustlijn (BKL) wordt de structurele achteruitgang van de Nederlandse kust tegengegaan en blijven de functies in het zandige kuststelsel behouden. In 1990 is in de eerste Kustnota gekozen voor het dynamisch handhaven en is de BKL voor het eerst vastgelegd. In 2012 is deze voor het laatst herzien. De BKL is een benadering van de laagwaterlijn en is gebaseerd op een rekenschijf (zie Basiskustlijn 2012).
Kustfundament	Het kustfundament omvat het gehele gebied, nat én droog, dat als geheel van belang is als drager van functies in het kustgebied (Nota Ruimte, 2004). Het kustfundament wordt als volgt begrensd: <ul style="list-style-type: none"> - de zeewaartse grens bestaat uit de doorgaande NAP-20 m lijn; - aan de landzijde omvat het kustfundament alle duingebieden én alle daarop gelegen harde zeeeringen. De Waddenzee en de Westerschelde maken geen onderdeel uit van het kustfundament. Deze groeien zelfstandig mee, maar het zand wordt wel onttrokken aan het kustfundament.
Kuststelsel	De combinatie van het kustfundament, de Waddenzee en de Westerschelde wordt het zanddelende kuststelsel genoemd (Nederbragt, 2005).

De 20 cm/eeuw, het “minimale scenario” in de 3^e Kustnota, is een afgeronde versie van wat toen de huidige trend in de relatieve zeespiegel was (de Ruig, 1995). De huidige zeespiegel werd tot en met 1990 bepaald in de vorm van slotgemiddelden (zie bijv. Kroos, 1982). De gehanteerde methode sluit aan bij de huidige methode van bepaling van de actuele trend in de relatieve zeespiegelstijging, in de zin dat rekening wordt gehouden met nodaal getij (Baart et al., 2015). De bepaling van slotgemiddelden heeft tussen 1990 en 2013 niet plaatsgevonden. De achterstand is ingehaald (Dillingh, 2013), maar de methode is nog niet gelijkgesteld met de methode van bepaling van de huidige zeespiegel voor de suppletiebehoefte.

We merken nog op dat Nederbragt (2005) – een actualisatie van Mulder (2000) – een conceptueel model presenteert dat de suppletiebehoefte eenduidig als functie van de zeespiegelstijging definieert. Hij beschouwt diverse zeespiegelstijgingsscenario's om zandverliezen in te schatten (20, 60 en 85 cm/eeuw). Voor het inschatten van het zandverlies door zeespiegelstijging is uitgegaan van de daadwerkelijk opgetreden zeespiegelstijging tussen 1973 en 1997 (onder verwijzing naar Dillingh, 2002). Enerzijds wordt dus met een scenario-analyse gewerkt, anderzijds met een schatting van de zeespiegelstijging. De analyse van Nederbragt (2005) heeft niet tot een aanpassing van het beleid geleid.

Enerzijds is de trend in de actuele zeespiegelstijging de indicator die wordt gebruikt voor de bepaling van het suppletievolume. Anderzijds is ook met (toekomst)scenario's gerekend. Op toekomstscenario's komen we bij andere toepassingen nog terug. Wat betreft de trend in de actuele zeespiegelstijging merken we nogmaals op dat in de afgelopen jaren een (eenduidige) standaard rekenmethode is ontwikkeld om deze te schatten (zie Dillingh et al., 2010; De Ronde et al., 2013 en Baart et al., 2015). Deze methode gebruikt als gegevens de (jaargemiddelde) relatieve zeespiegelstanden teruggerekend naar NAP post 2005, gemiddeld over de 6 hoofdstations langs de kust. Op deze gegevens wordt een lineair regressiemodel toegepast met enkele verklarende variabelen (zie paragraaf 4.8 van Baart et al., 2015).

Kenmerken zeespiegelindicator voor Beheer en Onderhoud kust	
Naam	Trend in de actuele zeespiegelstijging in cm per eeuw
Definitie	De trend in de ruimtelijk gemiddelde relatieve zeespiegelstijging in cm / eeuw
Type	Gemiddelde waterstand (ruimtelijk gemiddeld over kuststations)
Toepassing	Beheer en onderhoud Kust
Oorsprong	3 ^e Kustnota (2000)
Context	Het beleid ten aanzien van de waterveiligheid van de kust (3 ^e Kustnota, 2000; Nota Ruimte, 2004; Integraal Beheerplan Noordzee, 2007; Nationaal Waterplan, 2008; Nationaal Kader Kust, 2011; Nationale Visie Kust, 2013; Beslissing Zand DP2015, 2014; Suppletieprogramma Kustlijnzorg; 2015)
Instituut	Ministerie van Infrastructuur en Milieu
Programma	Kustgenese 2.0.
Status	In gebruik: in 2021 opnieuw vaststelling suppletievolume
Wie gebruikt het?	Rijkswaterstaat (beheer en onderhoud, programma Kustlijnzorg)
Verantwoording getalswaarde	Mulder (2000)

In het kennisprogramma Kustgenese 2.0 wordt de integratie van bodemdaling en zeespiegelstijging verder onderzocht. Voor de bepaling van de suppletiebehoefte is inzicht nodig in de accommodatieruimte die wordt gecreëerd door relatieve zeespiegelstijging (absolute zeespiegelstijging incl. bodemdaling). Ook zullen hierin de aannames en uitgangspunten van

eerder uitgevoerde studies opnieuw tegen het licht worden gehouden, wat mogelijk zal leiden tot een nieuwe onderbouwing van het suppletievolume.

2.1.2 Vergunningsverlening delfstoffenwinning

Het Ministerie van Economische Zaken (EZ) heeft in 2015 TNO verzocht advies uit te brengen over het voor de delfstoffenwinning onder de Waddenzee met ingang van 2016 te hanteren beleidsscenario voor de zeespiegelstijging. Het gaat hier om gaswinningen die worden toegestaan voor een duur van enkele tientallen jaren, waarbij tussentijds ingrijpen mogelijk is, als dit nodig zou blijken te zijn. De ruimte voor winning wordt mede bepaald door de snelheid van de zeespiegelstijging. Het betreffende beleidsscenario wordt elke 5 jaar geactualiseerd op basis van recente inzichten. TNO (2016) adviseert om rekening te houden met zowel een trend als een versnelling in de relatieve zeespiegelstijging (zie onderstaande kader).

Advies aangaande relatieve zeespiegelstijging (TNO, 2016)

Beleidsscenario, actualisering per 1.1.2016

De snelheid van relatieve zeespiegelstijging (Z):

tot 2021: $Z(J) = Z(2007) + (J - 2007) * A_1$

met $Z(2007) = 2,181$ mm/jaar
en $A_1 = 0,0076$ mm/(jaar)²

m.i.v. 2021 $Z(J) = Z(2021) + (J - 2021) * A_2$

met $A_2 = 0,058$ mm/(jaar)²

De waarden voor Z(J) gelden aan het begin van het kalenderjaar J.

De coëfficiënten A₁ en A₂ representeren acceleratie in de zeespiegelstijging.

Het scenario-gedeelte 'm.i.v. 2021' worden tot 1.1.2021 beschouwd als een richtscenario. Per die datum zal op grond van de dan bestaande informatie en inzichten over het gedrag van de zeespiegel het scenario voor (tenminste) de dan komende 5 jaar worden vastgesteld, alsmede een nieuw richtscenario voor de periode daarna, etc.

Het TNO-advies is gebaseerd op het derde IPCC-rapport en daaropvolgende updates in 2011 en 2016. De resultaten uit de Zeespiegelmonitor 2014 (Baart et al., 2015) zijn ook meegenomen in de totstandkoming van het advies.

EZ hanteert bij haar besluitvorming een gebruiksruimte (meegroeivermogen minus het deel hiervan dat dient ter compensatie van de stijgende zeespiegel) van 5 mm per jaar. Het oorspronkelijk in het kader van de PKB (derde nota Waddenzee) geaccepteerde meegroeivermogen voor grote kombergingen zoals Vlie en Marsdiep bedroeg 3 mm/jaar. In onderstaand kader zijn de begrippen gebruiksruimte en meegroeivermogen nader toegelicht.

Meegroeivermogen en gebruiksruimte Waddenzee

In de Waddenzee vindt van nature sedimentatie plaats. Dit betekent dat er zand en slib wordt afgezet op de zeebodem. Als gevolg hiervan kan een zekere mate van zeespiegelstijging door de Waddenzee bijgehouden worden. Dit wordt het meegroeivermogen (ook wel kritische zeespiegelstijging) van de Waddenzee genoemd. Het meegroeivermogen van de Waddenzee is gedefinieerd als:

“Het natuurlijke vermogen van een kombergingsgebied, uitgedrukt in mm/jaar over het hele gebied, om de relatieve zeespiegelstijging op lange termijn bij te houden, terwijl het geomorfologisch evenwicht en de sedimentbalans in stand blijven.”

De sedimentatie die in de Waddenzee plaatsvindt, kan ook de effecten van andere ontwikkelingen wegwerken, zoals de daling van de bodem door het winnen van delfstoffen. De Waddenzee heeft dus een zelfherstellend vermogen. Het zelfherstellend vermogen van de Waddenzee is afhankelijk van de snelheid waarmee de zeespiegel stijgt. Naarmate de zeespiegel sneller stijgt, is er voor de aanpassingen daaraan meer sediment nodig en resteert er steeds minder sediment om de effecten van andere ingrepen teniet te doen. De afhankelijkheid van het zelfherstellend vermogen van de Waddenzee van de snelheid waarmee de zeespiegel stijgt, wordt uitgedrukt in de gebruiksruimte.

De gebruiksruimte van de Waddenzee is gedefinieerd als:

“Het verschil tussen het meegroeivermogen van een kombergingsgebied en de relatieve zeespiegelstijging. Dit verschil is de ruimte die te gebruiken is (na middeling over 6 jaar) voor menselijke activiteiten zoals bodemdaling door zoutwinning, die zandhonger genereren.”

Indien de bodemdaling binnen de gebruiksruimte blijft, dan kan de sedimentatie in de Waddenzee de bodemdaling bijhouden. In eerdere studies wordt er van uitgegaan dat de natuurlijke sedimenttransportprocessen in het Vlie een zeespiegelstijging van 3 tot 5 mm/jaar kunnen bijhouden en ca. 2 tot 3 mm/jaar voor het Marsdiep. Uit geologische studies blijkt dat in eerdere fasen van het Holoceen bij zeespiegelsnelheden van 3 tot 4 mm/jaar de achterliggende getijbekkens verdrinken. Een realistisch interval voor de kritische zeespiegelstijging is 3 tot 5 mm/jaar.

2.1.3 Samenvatting en discussie

Het beleidsuitgangspunt is dat het kustfundament meegroeit met de zeespiegel. Hiertoe wordt jaarlijks zand gesuppleerd. De suppletiebehoefte is een functie van de (trend in de) actuele zeespiegelstijging. De benodigde hoeveelheid zand is bepaald op 12 miljoen m³ per jaar bij een trend in de zeespiegelstijging van 20 cm / eeuw.

De berekening van de zeespiegelindicator ‘trend in de actuele zeespiegelstijging’ is in het verleden goed gedocumenteerd. Op deze indicator is het suppletiebeleid geënt. In de nabije toekomst (2020) zal een nieuwe beslissing worden genomen over het benodigde suppletievolume. Bij het bepalen van deze indicator is het van belang om een standaard rekenmethode vast te leggen (en ook periodiek toe te passen). De methode moet eenduidig zijn in de te gebruiken gegevens en statistische technieken waarmee de huidige trend in de ruimtelijk gemiddelde relatieve zeespiegelstijging wordt bepaald (zie paragraaf 4.8 in Baart et al., 2015). Het is hierbij nog wel de vraag of regionale trends in de relatieve zeespiegelstijging bruikbaar zijn. Deltares en HKV voeren in 2017 onderzoek uit naar regionale verschillen in de zeespiegel (zie Baart et al., 2016).

In de expertsessie is ook genoemd dat het goed zou zijn om inzicht te verkrijgen in de accommodatieruimte die wordt gecreëerd door absolute zeespiegelstijging en bodemdaling separaat in beeld worden gebracht. Dit is een activiteit die in Kustgenese 2.0 wordt opgepakt.

Voor de vergunningsverlening delfstoffenwinning is de actuele zeespiegelstijging ook als indicator in gebruik. TNO (2016) adviseert om rekening te houden met zowel een trend als een versnelling in de relatieve zeespiegelstijging.

2.2 Toetsing

2.2.1 Getijhoogwaterstijging

Vanaf 1 januari 2017 is de nieuwe normering van kracht op alle primaire waterkeringen in Nederland. De normering is gebaseerd op het overstromingsrisico en de norm van de waterkeringen is uitgedrukt als een overstromingskans. In het kader van het Wettelijke BeoordelingsInstrumentarium 2017 (WBI2017) is een nieuw instrumentarium ontwikkeld om de Hydraulische Randvoorwaarden, o.a. maatgevende hoogwaters, af te leiden. Het nieuwe instrumentarium stelt ook software beschikbaar om te beoordelen of de waterkeringen aan de nieuwe normen voldoen. Het nieuwe instrumentarium is de (beoogd) vervanger van het huidige Wettelijke ToetsInstrumentarium (WTI2006, inclusief de HR2006). Beide instrumentaria houden rekening met de zeespiegelstijging. Hieronder volgt een toelichting op de in HR2006 en WBI2017 gebruikte indicator voor de zeespiegelstijging. In het onderstaande kader staat een meer technische toelichting.

In de HR2006 is gekozen voor regionaal variërende hoogwaterstanden gebaseerd op de lineaire trend uit de hoogwaters over een bepaalde periode (1985-2011) en de stand van 1985. Hierbij is wel een beperkte periode vooruitgekeken. Gezien deze keuze is het mogelijk om de actuele (hoog)waterstand als indicator te beschouwen, maar deze is dus wel gebaseerd op een trend in de hoogwaters.

In het WBI2017 zijn de toeslagen voor getijhoogwaterstijging (in de referentie omschreven als "zeespiegelrijzing en lokale effecten") bepaald voor de periode 1985-2023 op basis van een statistische analyse van tijdreeksen van hoogwaterstanden tot en met 2012 voor 23 stations. Aanname hierbij is dat de gemiddelde trend (in de stijging) tussen 1985 en 2012 zich voortzet tot 2023. De gemiddelde toeslagen langs de Nederlandse kust, Westerschelde en Waddenzee zijn voor de periode 1985-2023 gelijk aan de toeslagen voor de periode 1985-2017 (met uitzondering van Hoek van Holland en Petten Zuid).

Technische toelichting indicatoren Toetsing

De wettelijke instrumentaria maken gebruik van statistiek van hoogwaterstanden. Deze statistiek geldt voor een bepaald referentiejaar. De zeespiegelstijging tussen het referentiejaar en het einde van de toetsperiode is in de vorm van een toeslag op de hoogwaterstand meegenomen (dus niet op de gemiddelde waterstand!). In de HR2006, het vigerende randvoorwaardenboek (RWS, 2007), staat dat een toeslag is opgenomen voor de getijhoogwaterstijging van 0,6 tot 1,4 decimeter in 2011 ten opzichte van 1985. Dit behoeft wat verduidelijking.

- Getijhoogwaterstijging: het gaat om de stijging van de gemiddelde hoogwaterstand (inclusief NAP daling) op diverse locaties;
- Het jaartal 2011 is het eind van de toetsperiode (derde toetsronde);
- Het jaartal 1985 is het jaar waarvoor de zogeheten basispeilen zijn bepaald. Basispeilen zijn maatgevende hoogwaterstanden langs de kust met een overschrijdingsfrequentie van $1/10.000^{\circ}$ per jaar. Deze basispeilen zijn in 1993 vastgesteld voor negen peilmeetstations (Dillingh, 1993). Zowel statistische als fysische analyses zijn uitgevoerd. De basispeilen en bijbehorende overschrijdingsfrequentielijnen zijn uiteindelijk ruimtelijk opgeschaald voor locaties langs de gehele Nederlandse kust;
- De toeslagen zijn bepaald "uit gemeten hoogwaterstanden".

In het WBI2017 is onderzocht of de basispeilen herzien moesten worden (zie Chbab, 2015). Na een analyse op verlengde reeksen van hoogwaterpieken van 5 hoofdstations zijn de vigerende basispeilen gehandhaafd. Toeslagen voor getijhoogwaterstijging (in de referentie omschreven als "zeespiegelrijzing en lokale effecten") zijn bepaald voor de periode 1985-2023 op basis van een statistische analyse van tijdreeksen van hoogwaterstanden tot en met 2012 voor 23 stations. Aanname is dat de gemiddelde trend (in de stijging) tussen 1985 en 2012 zich voortzet tot 2023. De gemiddelde toeslagen langs de Nederlandse kust, Westerschelde en Waddenzee zijn voor de periode 1985-2023 gelijk aan de toeslagen voor de periode 1985-2017 (met uitzondering van Hoek van Holland en Petten Zuid).

De basispeilen zijn weliswaar niet herzien, maar in de loop der tijd blijkt de statistiek (kansverdeling, overschrijdingsfrequentie) van hoogwaterstanden in het wettelijke instrumentarium toch te zijn geactualiseerd. In de programmatuur voor de bepaling van de HR is de getijhoogwaterstijging via de statistiek ingevoerd. Dat is, de hoogwaterstand is geactualiseerd tot de getijhoogwaterstand in het laatste jaar van de toetsperiode. Dit is voor de HR2006 op correcte wijze geïmplementeerd. Binnen WBI2017 is de geactualiseerde toeslag voor getijhoogwaterstijging als separate toeslag opgenomen in de programmatuur. Daarnaast is de statistiek uit de eerdere programmatuur overgenomen. Dit betekent dat de "zeespiegelrijzing" (tussen 1985 en 2011) dubbel wordt meegeteld: zowel via de toeslag t.b.v. WBI2017 (1985-2023) als via een update van de statistiek t.b.v. de HR2006 (1985-2011).

Deze onjuistheid is gecorrigeerd in de betreffende programmatuur. Het voorbeeld laat zien dat de interpretatie van zeespiegelindicatoren niet eenvoudig en/of eenduidig is. Zelfs als de verantwoording prima op orde is.

2.2.2 Samenvatting en discussie

Voor de wettelijke beoordeling van primaire waterkeringen wordt een regionaal variërende toeslag op de getijhoogwaterstand gebruikt. Deze is gebaseerd op de lineaire trend in de

hoogwaters over een bepaalde periode, geëxtrapoleerd naar het einde van de toetsperiode, en de hoogwaterstand in het referentiejaar (1985).

De bepaling van de toeslag is goed gedocumenteerd. De indicator is ook wel eenduidig, al is het logischer / begrijpelijker om de maatgevende hoogwaterstanden langs de kust ('basispeilen') en de hoogwaterstandstatistiek te actualiseren voor het huidige jaar en een toeslag voor getijhoogwaterstijging te bepalen voor het eind van de beoordelingsperiode. Dit vraagt vermoedelijk een zeer grote inspanning.

Belangrijker is dat het niet is aangetoond dat de lineaire trend in de hoogwaters een goede voorspeller is voor de huidige hoogwaterstijging. Dit leidt in Baart et al. (2015) tot de aanbeveling om te overwegen de huidige zeespiegel en de huidige getijconstituenten apart te beschouwen en het huidige hoogwater *niet* te baseren op recente trends in hoogwaters.

Een aandachtspunt is tot slot de aansluiting van de voor de toetsing gebruikte zeespiegelindicator op die voor het ontwerp. Uiteindelijk worden de primaire waterkeringen ontworpen en beoordeeld op veiligheid volgens dezelfde normering. Afgezien van het verschil in type waterstand (gemiddelde waterstand vs. hoogwaterstand), blijkt ook dat in het ontwerp met absolute zeespiegelstijging wordt gewerkt (zie paragraaf 2.3).

Kenmerken zeespiegelindicator voor wettelijke toetsing / beoordeling veiligheid waterkeringen	
Naam	Toeslag getijhoogwaterstijging
Definitie	Regionaal variërende toeslag getijhoogwaterstijging in 2011 ten opzichte van 1985 (in m) N.B. Dit betreft relatieve zeespiegelstijging (relatief t.o.v. de bodem)
Type	Hoogwaterstand
Toepassing	Wettelijke toetsing (beoordeling) veiligheid primaire waterkeringen
Oorsprong	Hydraulische Randvoorwaarden (HR2006)
Context	Voor de toetsing op / beoordeling van de veiligheid van primaire waterkeringen is een wettelijk instrumentarium opgesteld. Bij het bepalen van (HR), dat zijn maatgevende hoogwaterstanden en hydraulische belastingen op de waterkering, is rekening gehouden met zeespiegelstijging ten opzichte van een bepaald jaar waarvoor de (statistiek van de) hoogwaterstanden (basispeilen) is afgeleid.
Instituut	Ministerie van Infrastructuur en Milieu
Programma	WTI (HR2006) en WBI2017 (Hoogwaterbeschermingsprogramma)
Status	Gebruikt, herzien voor nieuwe beoordelingsinstrumentarium (WBI2017)
Wie gebruikt het?	Rijkswaterstaat, Waterschappen
Verantwoording getalswaarde	Derde toetsronde: achtergrondrapportages HR2006, documenten Douwe Dillingh (teruggaand tot vaststelling basispeilen in 1985) WBI2017: Chbab (2015)

2.3 Ontwerp

Binnen de Nederlandse waterbouw worden ontwerpen gemaakt met een geplande levensduur van 50 tot 100 jaar. Op deze termijn zal de zeespiegel naar verwachting significant stijgen en dus wordt hier bij het ontwerp rekening mee gehouden. Een zichtperiode van 50 jaar of nog langer is te lang om statistische modellen te gebruiken voor prognoses van de zeespiegelstand (denk aan extrapolatie van de huidige trend). Deze prognoses zijn over het algemeen gebaseerd op de uitkomsten van fysische modellen voor verschillende klimaatscenario's. De

invoer voor zulke klimaatscenario's is bijvoorbeeld de CO₂-emissie, waaruit vervolgens de temperatuurstijging en de hoeveelheid smeltend landijs berekend worden. De absolute zeespiegelstijging is een uitvoerparameter.

Specifiek voor Nederland hebben verschillende partijen in de afgelopen decennia klimaatscenario's afgeleid. Onderstaand kader geeft uitleg over de voor zeespiegelstijging relevante klimaatscenario's.

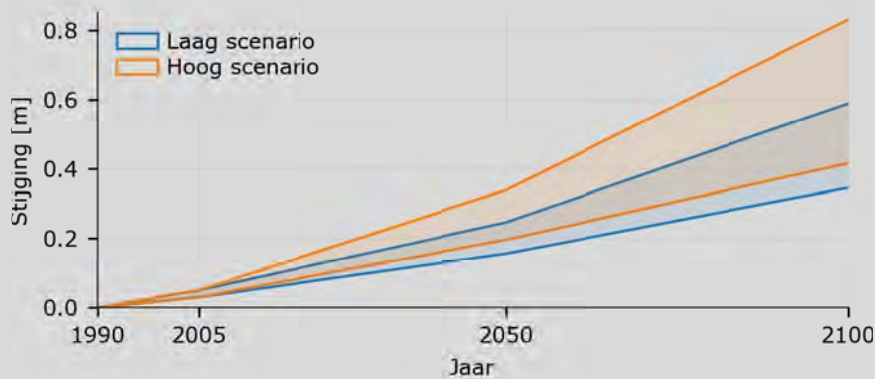
Klimaatscenario's

Binnen de toepassingen ontwerp en ruimtelijke planvorming worden verschillende klimaatscenario's gebruikt. Hieronder volgt een samenvatting van de klimaatscenario's die voor deze studie van toepassing zijn.

KNMI '06-scenario's

In 2006 heeft het KNMI een set klimaatscenario's gepresenteerd, die een update vormen van eerdere klimaatscenario's uit 2001. De reden voor de vernieuwing was een wens vanuit stakeholders en voortschrijdend wetenschappelijk inzicht op het gebied van klimaatveranderingen (KNMI, 2006).

Op het gebied van zeespiegelstijging wordt een voorspelling gedaan op basis van verschillende modellen, die fysische factoren meenemen die bijdragen aan de zeespiegelstijging (smeltend land- of zee-ijs, thermische expansie). Het resultaat is een bandbreedte van de absolute zeespiegelstijging voor 2050 en 2100, in een hoog en een laag scenario. Figuur 2-1 geeft de zeespiegelstijging volgens beide scenario's weer. De klimaatvoorspellingen zijn gedaan vanuit het jaar 2005, waarbij de gemeten zeespiegelstijging tussen 1990 en 2005 is opgeteld.



Figuur 2-1: KNMI '06-scenario's. De aangegeven banden geven het bereik tussen het 10^{de} en 90^{ste} percentiel aan.

De KNMI '06-scenario's worden ook wel vernoemd naar W, W+, G en G+, waarin de W staat voor warm, de G voor gematigd en de '+' voor verandering van de atmosferische circulatie. De in Figuur 2-1 weergegeven percentielen zijn uiteindelijk op 5 cm afgerond, wat de onderstaande zeespiegelstijgingen per zichtjaar geeft:

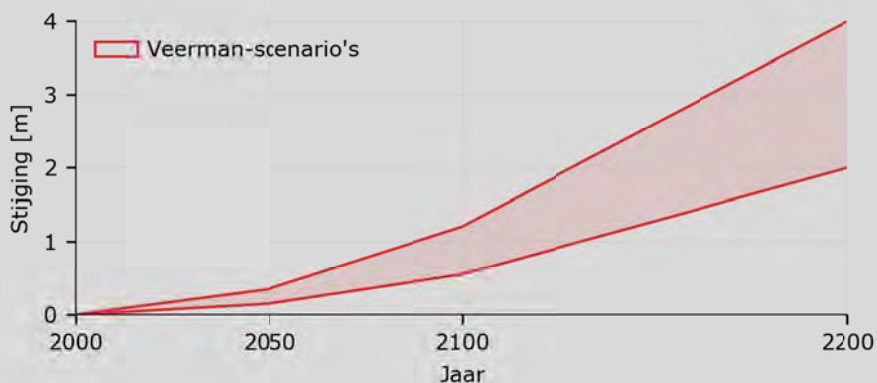
Scenario	2050 (t.o.v. 1990)	2100 (t.o.v. 1990)
G, G+	15 – 25 cm	35 – 60 cm
W, W+	20 – 35 cm	40 – 85 cm

Tabel 2-1: Absolute zeespiegelstijging in de KNMI '06 scenario's.

Veerman-scenario's

In 2008 heeft de Deltacommissie een klimaatscenario gepresenteerd op basis van het meest conservatieve temperatuurscenario voor de komende eeuwen. De gedachte hierachter is dat een klimaatbestendige strategie voor waterveiligheid en waterbeheer gebaseerd moet zijn op de mogelijkheid dat stabilisatie van het klimaat bij hoge temperaturen niet optreedt. Dit scenario gebruikt dus de meest ongunstige voorspelling van het KNMI en IPCC, waarin fossiele brandstoffen de motor van de globale economie blijven. Figuur 2-2 geeft de absolute

zeespiegelstijging binnen de Veerman-scenario's weer. Opvallend is dat de voorspelling voor 2050 gelijk is aan die van het KNMI'06. Dit is te verklaren door het feit dat de ontwikkeling van de wereldeconomie tot 2050 een stuk voorspelbaarder is dan daarna. Tot 2050 zal het feit of men al dan niet overstapt op duurzame energiebronnen een stuk minder effect hebben dan voor de periode na 2050.



Figuur 2-2: Veerman-scenario's.

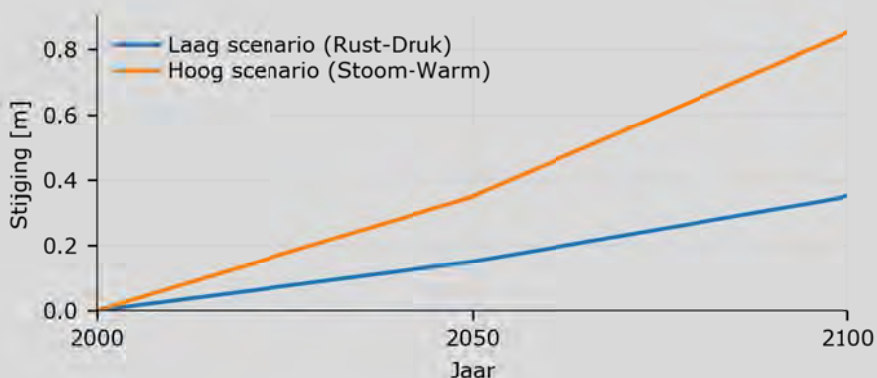
De waarden van de absolute zeespiegelstijging zijn weergegeven in onderstaande tabel:

Scenario	2050 (t.o.v. 2000)	2100 (t.o.v. 2000)	2200 (t.o.v. 2000)
Veerman	15 – 35 cm	55 – 120 cm	2 – 4 m

Tabel 2-2: Absolute zeespiegelstijging in de Veerman-scenario's.

Deltascenario's

In kader van het Deltaprogramma zijn scenario's uitgewerkt voor de ontwikkeling van de maatschappij tot 2100. Deze zogenaamde Deltascenario's komen voort uit de KNMI'06 klimaatscenario's die in 2012 en 2013 nader zijn uitgewerkt (Deltaprogramma: Bruggeman et al., 2013). Er zijn 4 scenario's uitgewerkt, waarin onder andere de absolute stijging van de zeespiegel is bepaald. De 4 scenario's komen voort uit 2 bevolkingsgroeivoorspellingen en 2 temperatuurvoorspellingen. Voor de zeespiegel is alleen de tweede van belang, waardoor er twee scenario's van zeespiegelstijging overblijven met 'getallen' voor de jaren 2050 en 2100:



Figuur 2-3: Zeespiegelstijging binnen de Deltascenario's.

De Deltascenario's komen dus grofweg overeen met de ondergrens (2050: 15 cm, 2100: 35 cm) en bovengrens (2050: 35 cm, 2100: 85 cm) van de KNMI'06 scenario's. Het referentiejaar is echter wel veranderd van 1990 naar 2000, zonder dat de reeds opgetreden

zeespiegelstijging daarin verwerkt lijkt te zijn. Gezien de grofheid van de scenario's (afgerond op 5 cm) geeft dit geen grote fout.

De twee Deltascenario's worden ook wel aangegeven met W+ (het hoge scenario) en G (het lage scenario). Deze coderingen zijn afkomstig uit de KNMI'06 scenario's.

KNMI '14-scenario's

Het KNMI heeft in 2014 opnieuw klimaatscenario's bepaald voor zichtjaren 2050 en 2085. De klimaatscenario's zelf zijn afgeleid uit het IPCC rapport (2013), waarin de wetenschappelijke inzichten met betrekking tot klimaatonderzoek zijn samengevat. Het KNMI communiceert over de klimaatscenario's in termen van temperatuurscenario's. Het rekent net als het IPCC met CO₂-emissiescenario's.

Uit het IPCC-rapport zijn door het KNMI 4 scenario's afgeleid: W_L, W_H, G_L en G_H. Hierin staat de eerste letter voor de temperatuur, warm of gematigd, en de tweede letter voor de luchtstroming, hoog en laag. Allen hebben een voorspelde temperatuurstijging waarbij een zeewaterstand is afgeleid. Het IPCC rekent met iets andere scenario's dan het KNMI waardoor er een vertaling is gemaakt van de IPCC naar de KNMI scenario's. De gematigde (G) scenario's komen voort uit de RCP 4.5 en RCP 6.0 scenario's van het IPCC, en de warme (W) scenario's zijn afgeleid van het RCP 8.5 scenario (RCP: Representative Concentration Pathways). Tabel 2-3 geeft de absolute zeespiegelstijging binnen de verschillende scenario's weer.

Scenario	2050 (t.o.v. klimaat 1981-2010)	2085 (t.o.v. klimaat 1981-2010)
G _L , G _H	15 – 30 cm	25 – 60 cm
W _L , W _H	20 – 40 cm	45 – 80 cm

Tabel 2-3: Absolute zeespiegelstijging in de KNMI'14 scenario's.

De auteurs zijn niet bekend met toepassingen van de KNMI'14-scenario's in ontwerp. Het KNMI doet wel suggesties voor het gebruik van deze scenario's in onderzoek naar adaptatie aan klimaatverandering (zie paragraaf 2.4).

2.3.1 Absolute zeespiegelstijging

Harde keringen - OI2014

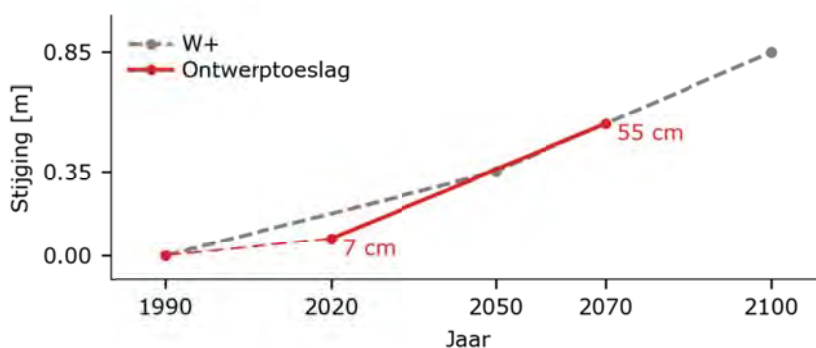
Binnen het ontwerp van harde waterkeringen wordt sinds enige tijd met een ontwerptoeslag van 48 cm gerekend om de zeespiegelstijging binnen de ontwerpduur (vaak 50 jaar) mee te nemen. Deze toeslag is afgeleid uit het OI2014 (Deltares, 2014) door lineair te interpoleren tussen de voorspelde waarden uit het W+ scenario van het KNMI (Deltascenario Stoom-Warm). De herkomst van deze maat voor de zeespiegelstijging is niet algemeen bekend, waardoor het niet bij alle ontwerpers dezelfde status heeft. Rijnen (2016) beschrijft in zijn afstudeerwerk de totstandkoming van de 48 cm, zonder hierbij het OI2014 te noemen. Vrij vertaald:

“De momenteel gebruikte toeslag is gebaseerd op het 90^{ste} percentiel van de SLR (Simple Linear Regression) van het W-scenario, zoals gepresenteerd door het KNMI. Dit scenario voorspelt een zeespiegelstijging van 35 cm in het jaar 2050 ten opzichte van de zeewaterstand in 1990. Echter, vanwege de wens om een levensduur van 50 jaar te bereiken, wordt de toeslag verhoogd met 1 cm per jaar voor de jaren na 2050. Rekening houden met de 7 cm stijging ten opzichte van 1990 resulteert dit in een toeslag van 48 cm voor een ontwerp met zichtjaar 2070.”

Uit bovenstaande is een aantal zaken af te leiden:

- Er wordt gewerkt met het W-scenario van het KNMI (2006): 35 cm (absolute) zeespiegelstijging tot 2050. Dit wordt ook wel het W+ scenario genoemd. De keuze voor dit scenario komt voort uit het OI2014.
- Onzekerheid in de klimaattoeslag is niet expliciet meegenomen in het OI2014. Aan de scenario's is geen kans toegekend.
- Het gebruikte referentiejaar is 1990, consistent met de KNMI'06 scenario's.
- Er wordt met het W+ KNMI'06 scenario gerekend bij het ontwerp, nog niet met de KNMI'14-scenario's.
- De 48 cm is de toeslag die in 2020 gebruikt zal moeten worden bij een ontwerpduur van 50 jaar. In andere jaren zou de toeslag een andere waarde hebben, omdat de stijging tot 2050 langzamer gaat dan erna.

Figuur 2-4 laat de totstandkoming van de 48 cm tussen 2020 en 2070 zien.



Figuur 2-4: Totstandkoming van de 48 cm klimaattoeslag zoals dit gebruikt wordt bij het ontwerp van harde keringen.

De gebruikte indicator is in lijn met het OI2014 en de KNMI'06-scenario's. Een aantal punten is echter niet helemaal duidelijk:

- Het OI2014 verwijst voor de klimaatscenario's naar de Deltascenario's, die op hun beurt afgeleid zijn van de KNMI'06-scenario's. In de laatste wordt duidelijk 1990 als referentiejaar gebruikt, terwijl de Deltascenario's spreken over 2000. Dit geeft een dubbelzinnigheid in het referentiejaar, die nodig is om de reeds opgetreden zeespiegelstijging te compenseren.
- De 7 cm zeespiegelstijging tussen 1990 en 2020 komt grofweg overeen met de huidige trend. Het OI2014 volgend (lineaire interpolatie) zou men echter uitkomen op $(35 \text{ cm} / 60 \text{ jaar}) \times 30 \text{ jaar} = 17.5 \text{ cm}$ stijging. De keuze om de opgetreden stijging te gebruiken is goed te onderbouwen, maar hierdoor ontstaat er wel een mix van metingen en scenario's die niet consistent zijn met elkaar.

In 2018 vindt een actualisatie van OI2014 plaats en zullen mogelijk KNMI'2014-scenario's worden gebruikt.

Zachte keringen

Voor het toepassen van zeespiegelstijging bij het ontwerp van zachte zeeweringen kan gebruikt worden gemaakt van de gebruikte gegevens bij het project Zwakke Schakels Noord-Holland. Voor de kustversterkingen bij de Hondsbossche en Pettemer zeewering is gerekend met een zeespiegelstijging van 30 cm in de komende 50 jaar. Deze waarde is afkomstig uit de Leidraad Zandige Kust uit 2002 ofwel de 3^e Kustnota. In Tabel 2-4 staan de zeespiegelgetallen voor verschillende scenario's en zichtjaren die deze leidraad aanbeveelt.

Jaar	2050	2100	2200
Minimumscenario	+ 0,10 cm	+ 0,20 cm	+ 0,40 cm
Middenscenario	+ 0,30 cm	+ 0,60 cm	+ 1,20 cm
Maximumscenario	+ 0,45 cm	+ 0,85 cm	+ 1,70 cm

Tabel 2-4: Zeespiegelgetallen voor het ontwerp van zachte keringen. Bron: Leidraad Zandige Kust (2002).

Het referentiejaar van deze klimaatscenario's lijkt gezien de lineaire trend 2000 te zijn (zie TAW, 2002ab). De getallen komen in dat geval precies overeen met de drie scenario's in de 3^e Kustnota (RWS, 2000). Deze scenario's en hun beoogde toepassingen zijn in Tabel 2-5 samengevat.

Minimale scenario: 20 cm/eeuw	Toepassen bij beslissingen met korte ontwerpduur (orde 5 jaar), geringe investering of hoge mate van flexibiliteit (zandsuppleties, zie paragraaf 2.1.1).
Midden scenario: 60 cm/eeuw	Toepassen bij beslissingen met langere ontwerpduur (orde 50-100 jaar), grote investering en weinig flexibiliteit (dijken en stormvloedkeringen). Deze paragraaf.
Maximale scenario: 85 cm/eeuw en 10% toename wind	Toepassen bij reservering van ruimte (zie paragraaf 2.4.3).

Tabel 2-5: Scenario's 3^e Kustnota. Bron: RWS (2000).

Voor het project Zwakke Schakels Noord-Holland is gekozen voor het middenscenario; een toeslag van 30 cm (voor het zichtjaar 2050, zie Tabel 2-4). De keuze voor dit scenario wijkt af van de keuze voor harde waterkeringen, waarin een conservatiever scenario wordt gekozen. In de leidraad Zandige Kust wordt een eventuele keuze voor het middenscenario als volgt beargumenteerd:

"Zolang de mogelijke gevolgen van het te ontwikkelen beleid nog niet, of nog maar ten dele, bekend zijn, wordt het vooralsnog afgeraden om consequent en systematisch van tamelijk 'pessimistische' aannamen uit te gaan".

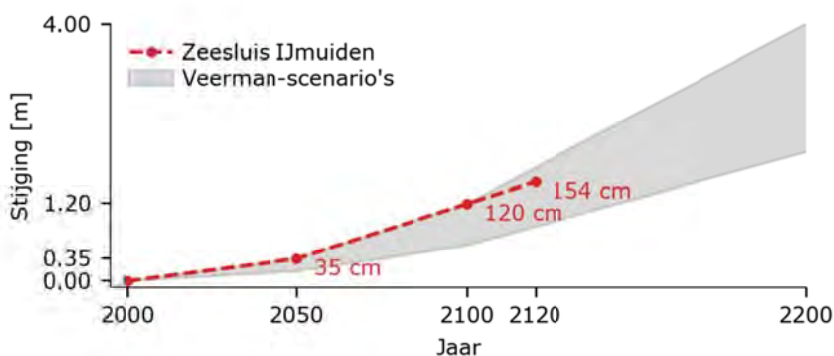
Het ontwerp van zachte keringen verschilt van het ontwerp van harde keringen, omdat zachte keringen gemakkelijker uitbreidbaar zijn (denk aan zandsuppleties). Binnen het OI2014 mag er voor het ontwerp van uitbreidbare keringen gekozen worden voor het gematigdere G-scenario. De aanbeveling uit de Leidraad Zandige Kust verschilt daarom niet zoveel van de huidige werkwijze in het ontwerpinstrumentarium.

Maasvlakte 2

Bij de aanleg van de zeewering van Maasvlakte 2 begin deze eeuw lijkt het midden scenario uit de 3^e Kustnota te zijn gebruikt. In het noordwesten van Maasvlakte 2, waar schepen via de vaargeul de haven van Rotterdam binnenlopen en de ruimte voor een zeewering dus beperkt is, beschermt een harde zeewering het nieuwe havengebied. De harde zeewering van Maasvlakte 2 heeft een kruinhoogte van circa 14 meter +NAP. De zeewering is ontworpen op omstandigheden die statistisch gezien gemiddeld eens in de 10.000 jaar voorkomen. Hierbij is rekening gehouden met een stijging van de zeespiegel voor de komende vijftig jaar van 0,30 m, wat overeenkomt met het midden scenario uit de 3^e Kustnota. Voor de opvolgende periode van 50 jaar is er ruimte gereserveerd om de kruin van de zeewering nog eens met 0,50 m te verhogen (het ontwerp is dus uitbreidbaar!).

Niet-vervangbare kunstwerken

Naast harde en zachte keringen zijn er ook nog de niet-vervangbare kunstwerken, die niet of nauwelijks aan te passen zijn. Denk hierbij aan de Maeslantkering. Voor deze kunstwerken wordt met de bovengrens van het Veerman-scenario gerekend (Deltacommissie, 2008). Bij het ontwerp van de zeesluis IJmuiden, met als zichtjaar 2120, is hier gebruik van gemaakt (RWS, 2014). Zo is uitgegaan van een zeespiegelstijging van 1,20 m in 2100 ten opzichte van 2000. Voor de jaren na 2100 wordt lineair geëxtrapoleerd, wat niet geheel conform de Veerman-scenario's is. Figuur 2-5 geeft de Veerman-scenario's en het voor de zeesluis IJmuiden gekozen scenario weer.



Figuur 2-5: Zeespiegelstijging volgens de Veerman-scenario's met daarin de voor de zeesluizen van IJmuiden gebruikte stijging.

2.3.2 Lange termijn waterhuishouding

Rijkswaterstaat voert verkenningen uit voor de situatie na 2050. Een voorbeeld hiervan is de inrichting van het merengebied na 2050. Hiervoor zijn schattingen van de zeespiegelstijging gemaakt voor de periode 2150-2175. Deze getallen zijn zeer onzeker en er is behoefte aan eenduidige indicatoren voor deze voorspelhorizon.

Een voorbeeld van een verkennende studie is het ISWP-project (Integrale Studie Waterveiligheid en Peilbeheer IJsselmeergebied). Dit project bestudeert de effecten van het peilbeheer van het IJsselmeer en Markermeer op de waterveiligheid in de periode tot 2175. Deze periode is gekozen omdat dit 3 ontwerpcycli van 50 jaar zijn. In de integrale studie wordt ook de zoetwatervoorraad meegenomen; dit is direct gerelateerd aan het te kiezen streefpeil. Met behulp van het model DEZY is de statistiek van extreme meerpeilen bepaald, waarna voor elke peilbeheervariant de kosten van de waterveiligheid kunnen worden bepaald. Op deze manier kan een kosteneffectieve strategie voor ontwerp en waterhuishouding worden bepaald, met als randvoorwaarde de stijgende zeespiegel en de met het klimaat veranderende neerslaghoeveelheid. Binnen het ISWP-project wordt voor de zeespiegel gerekend met het W+ scenario, wat vervolgens wordt geëxtrapoleerd tot 2175. De zeespiegel zelf wordt gebruikt om te bepalen wat de pompcapaciteit moet zijn om het meerpeil te kunnen beheersen.

Tot op heden is de maximale ontwerplevensduur van infrastructuur ongeveer 100 jaar. Rekening houdend met een ontwerptraject leidt dit tot een zichtperiode van iets langer dan 100 jaar. Tot nu toe is er daarom alleen behoefte geweest aan zeespiegelgetallen voor een periode van maximaal, zeg, 110 jaar vooruit. Voor de bovengenoemde verkenningen is wel behoefte aan een eenduidige indicator voor een langere horizon.

2.3.3 Samenvatting en discussie

Binnen het ontwerp wordt voor de voorspelling van de zeespiegel gebruik gemaakt van klimaatscenario's, omdat de ontwerpduren te lang zijn om van statistische extrapolatie o.b.v. gemeten waterstanden uit te gaan. Welk scenario er gebruikt wordt hangt af van twee factoren:

- Het jaar waarin het ontwerp gemaakt is en de beschikbare klimaatscenario's in dat jaar;
- De uitbreidbaarheid en/of vervangbaarheid van een kering. Zo is het voor een duin minder erg dat deze 'te laag' is dan voor een dijk of een zeesluis, omdat de eerste gemakkelijker en sneller versterkt kan worden.

Voor harde waterkeringen wordt een ontwerp toeslag volgens het W+ scenario gedefinieerd. In het project Zwakke Schakels Noord-Holland is het middenscenario uit de Leidraad Zandige Kust toegepast. Bij de zeesluis IJmuiden is de bovengrens van het Veerman-scenario gebruikt.

De eenduidigheid van de indicatoren die in het ontwerp gebruikt worden is voor verbetering vatbaar. De huidige methode die door het OI2014 wordt aangeraden, lineaire interpolatie tussen de scenariowaarden, is duidelijk. Wel worden de KNMI'06- en Deltascenario's door elkaar gebruikt. Dat is niet correct, want de referentie jaren verschillen. Daarnaast wordt de ontwerp toeslag gecorrigeerd met de reeds waargenomen zeespiegelstijging, zodat er een mix van metingen en scenario's ontstaat.

Een ander aandachtspunt is de maat voor de zeespiegel. De klimaatscenario's gaan uit van gemiddelde zeewaterstanden. Ontwerp gaat uit van extreme condities en dus is de gemiddelde hoogwaterstand wellicht relevanter. Dit sluit ook beter aan op de beoordeling van de primaire waterkeringen.

Al met al is het oordeel gerechtvaardigd dat de in het OI2014 (Deltares, 2014) voorgeschreven methode voor het ontwerp van waterkeringen bruikbaar is voor de toepassing 'ontwerp'. Dit komt voor harde waterkeringen neer op lineair interpoleren binnen het conservatieve scenario (W+) en voor uitbreidbare keringen eventueel het G-scenario. Dit is met de huidige kennis een voldoende geraffineerde aanpak. De vermenging van scenario's en metingen is af te raden. De verwachting is dat in de nabije toekomst kansen worden gekoppeld aan klimaatscenario's. Onze aanbeveling is om de resulterende kansverdeling voor de zeespiegelstijging te gebruiken. Dit biedt meer flexibiliteit bij het bereiken van een ontwerp met minimale kosten.

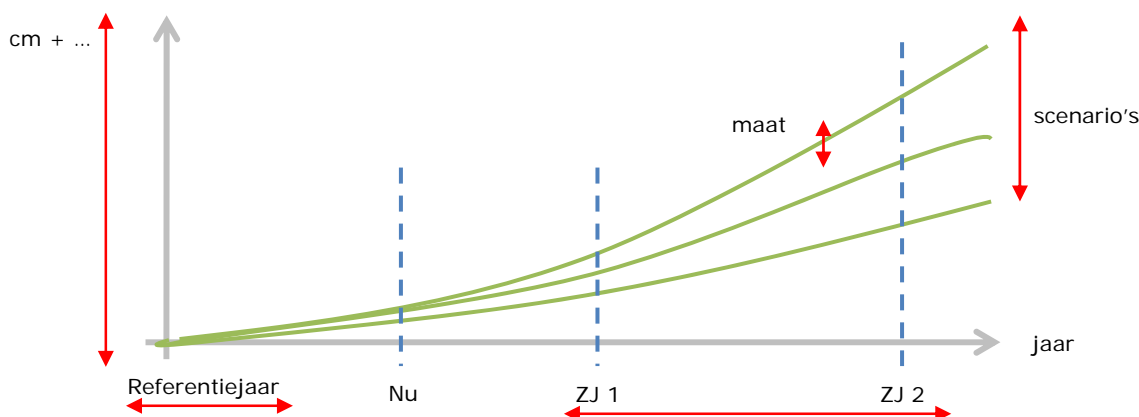
Verder blijkt uit de praktijk dat steeds meer flexibele / adaptieve ontwerpen met een korte levensduur worden gemaakt (vaak vanwege de kosten). Aan de andere kant zijn aannemers langer verantwoordelijk voor het beheer en onderhoud van ontwerpen (DBFM-contracten). Het is daarom noodzakelijk om een continue curve van de zeespiegelindicator te hebben. Dat is, voor iedere ontwerpduur een zeespiegelgetal.

Over het algemeen is voor ontwerp van waterkeringen (incl. kunstwerken) behoefte aan een zeespiegelgetal voor maximaal 100-110 jaar vooruit. In verkenningen is soms behoefte aan zeespiegelgetallen voor meer dan 100 jaar vooruit.

Kenmerken zeespiegelindicator voor ontwerp	
Naam	Absolute stijging zeespiegel (in cm)
Definitie	Deltascenario's / Klimaatscenario's
Type	Gemiddelde waterstand
Toepassing	Ontwerp (ontwerpinstrumentarium)
Oorsprong	KNMI
Context	OI2014
Instituut	KNMI, IPCC
Programma	Deltaprogramma
Status	Wordt toegepast bij ontwerp. Er is geen consensus.
Wie gebruikt het?	Ontwerpers
Verantwoording getalswaarde	Scenariowaarde (fysische analyses) via IPCC scenario's

Klimaatscenario's

Uit de lijst met beschikbare klimaatscenario's blijkt dat het niet altijd duidelijk is wat het referentiejaar is. Om tot een herleidbaar ontwerp te komen is het van groot belang dat bij het gebruik van klimaatscenario's duidelijk is hoe de indicator tot stand is gekomen. Referentiejaar, zichtjaar, klimaatscenario, maat, etc. moeten daarom duidelijk zijn vastgelegd. Figuur 2-6 geeft een overzicht van de variabelen waarbinnen een zeespiegelindicator in de context van klimaatvoorspellingen dient te worden geformuleerd.



Figuur 2-6: Variabelen voor het aangeven van zeespiegelstijging. ZJ = zichtjaar.

Zeespiegelstijging wordt gewoonlijk gegeven als X tot Y cm in 2050. Hierin zijn de variabelen zichtjaar en scenario aanwezig. Het zichtjaar is 2050 en de scenario's komen voort uit de gegeven bandbreedte. Een belangrijk gegeven hierbij is het referentiejaar: X centimeter verschil ten opzichte van de stand in welk jaar? Daarnaast zal er bij klimaatscenario's over het algemeen over een absolute stijging gesproken worden, omdat de gegevens afgeleid zijn van wereldwijde scenario's. Het KNMI vertaalt dit naar lokale scenario's waarbij de bodemdaling ook meegenomen zou kunnen worden. Als laatste variabele is er nog de maat waarmee gemeten wordt: gaat het om de gemiddelde zeewaterstand of bijvoorbeeld het gemiddelde hoogwaterpeil? Ten slotte is bij het gebruik van een scenario ook de kans op dit scenario van belang (indien gedefinieerd).

2.4 Planvorming

Als laatste categorie wordt planvorming in de zin van ruimtelijke ordening beschouwd. Dit is een brede categorie met vele toepassingsgebieden, die van verschillende zeespiegelindicatoren gebruik kunnen maken. In deze verkenning wordt gezocht naar een overkoepelende zeespiegelindicator voor ruimtelijke ordening en ontwikkeling.

2.4.1 Indicator “percentage onder zeeniveau”

In ruimtelijke-ordeningsvraagstukken speelt de vraag waar we kunnen wonen, bouwen en verbouwen. Vaak wordt Nederland geprezen omdat we ons in staat hebben gesteld om te kunnen wonen onder de zeespiegel (bijv. OECD, 2014).

De bijbehorende indicator die in gebruik is, is het “percentage van Nederland dat onder zeeniveau ligt”. Meestal wordt gesteld dat meer dan de helft van Nederland onder zeespiegel ligt (bijv. RWS, 2016, Koenders, 2015; OECD, 2014). Dit percentage is al geruime tijd in gebruik (bijvoorbeeld Prillewitz, 1966). Het is echter niet correct.

Dat dit percentage niet correct is, bleek toen het in het IPCC (2007) rapport terecht kwam en dit rapport grondig werd gecontroleerd (Vrij Nederland, 2010). Het PBL, die de bijdrage had geleverd aan de IPCC, schreef een correctie (PBL, 2010). In de correctie staat dat het percentage van Nederland onder zeespiegel niet 55% maar 26% had moeten zijn. Eigenlijk had het PBL “het percentage van Nederland dat gevoelig is voor overstromingen” bedoeld; dit is wel 55%.

Welk percentage precies onder de zeespiegel ligt is nu nog steeds niet duidelijk. Bij de uitleg van de minister in de Tweede Kamer antwoordde ze met de constatering “Van Nederland ligt 26% beneden zeeniveau”, “Zeeniveau is het gemiddelde hoogwaterpeil” en dat (als men uit gaat van) “genormaliseerd Amsterdams peil (NAP) dan geldt dat 22% van Nederland ligt onder dit NAP.” (Cramer, 2010). Ongeacht of de 26% nou relatief is ten opzichte van NAP of gemiddeld hoogwater, de vraag blijft nog steeds welk deel van Nederland onder de zeespiegel (gemiddelde huidig zeeniveau) ligt.

Wat misschien wel de belangrijkste conclusie van deze indicator is, is dat afgezien van het gebruik in internationale profilering de indicator niet tot daadwerkelijke actie leidt. Nadat is vastgesteld dat we het deel van Nederland onder water jarenlang systematisch een factor 2 te hoog hebben ingeschat heeft niemand moeten verhuizen naar hoger gelegen gebied. De indicator heeft dus vooral een symbolische en representatieve waarde.

Kenmerken zeespiegelindicator voor planvorming	
Naam	Percentage Nederland onder zeespiegel
Definitie	Onduidelijk
Type	Gemiddelde waterstand
Toepassing	Representatie, Profilering
Oorsprong	Onduidelijk
Context	IPCC 2007
Instituut	IPCC, PBL
Programma	Geen
Status	Wordt gebruikt in diverse toespraken, publicaties en rapportages
Wie gebruikt het?	Watermanagers, representanten
Verantwoording getalswaarde	Deel van AHN onder een referentiewaarde (referentiewaarde is inconsistent geformuleerd).

2.4.2 Vrije ruimte

In de 3^e Kustnota staat dat extra ruimte moet worden gereserveerd voor uitbreiding van de kustbescherming. Het gaat hier om het opnemen van een reservestrook (een planologische reservering) voor 200 jaar zeespiegelstijging in de leggers van waterschappen. Hierbij wordt uitgegaan van een pessimistisch scenario: 85 cm/eeuw zeespiegelstijging en 10% toename wind. De waterschappen houden op die manier rekening met ruimte om de gevolgen van zeespiegelstijging op te vangen. Dit kan bijvoorbeeld door de waterkering te verbreden. De 3^e Kustnota stelt verder strenge voorwaarden aan bebouwing langs de kust. Zo moet rekening worden gehouden met de planologische reservering, zijn harde elementen in de afslagzone en reserveringsstrook die het wezen van de flexibele kust aantasten niet toegestaan en mag nieuwe bebouwing geen belemmering vormen voor het proces van afslag. Dit is onlangs nog eens bekrachtigd in het voorlopige Kustpact.

De waterschappen hebben het begrip reserveringszone (ook wel vrijwaringszone genoemd) hernoemd naar “profiel van vrije ruimte” en gesteld dat dit het deel van de zone is dat “naar het oordeel van de beheerder nodig is voor toekomstige verbeteringen”. Hierbij is expliciet de definitie van de zeespiegelstijging losgelaten (Unie van Waterschappen, 2013).



Figuur 2-7: Profiel van de vrije ruimte. Bron. www.stowa.nl.

2.4.3 Ruimtelijke ontwikkeling

Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) verkent ruimtelijke ontwikkelingen in het heden en de toekomst. Een belangrijk onderdeel hiervan is het maken van scenario's om deze ontwikkelingen te kunnen beschrijven. Het PBL maakt niet alleen scenario's, het biedt ook een handreiking voor het maken van scenario's. In deze handreiking (Scenario's maken voor milieu natuur en ruimte een handreiking, PBL 2013) wordt ook gesproken over het verwerken van klimaatverandering in scenario's. De Deltascenario's worden genoemd als de Nederlandse klimaatscenario's voor de komende eeuw.

De Deltascenario's uit het Deltaprogramma komen voort uit de klimaatscenario's van het KNMI (2006). Het KNMI geeft een redelijk concrete handleiding over het gebruik van de scenario's. Hun advies over welk scenario te gebruiken binnen de context van een onderzoek (tijdshorizon, gebied en doel) staat op de KNMI-website (<http://www.klimaatscenarios.nl/gebruik/index.html>).

Uit de website volgt dat voor ruimtelijke ontwikkelingen binnen Nederland voor de periode 2030-2100 één of meerdere KNMI'14 klimaatscenario kunnen worden gebruikt. De specifieke keuze voor scenario's is afhankelijk van het precieze doel (oriëntatie, impact en adaptatie, beleid). Voor ieder scenario is een bepaalde stijging van de zeespiegel gedefinieerd. Net als bij 'Ontwerp' is het van belang om het referentiejaar, de zichtjaren en de maat van de zeespiegelstijging goed te definiëren.

Voorbeeldtoepassing zeespiegelstijging in ruimtelijke ontwikkelingen

Specifieke toepassingen van bovenstaande scenario's in ruimtelijke ordening zijn nog niet talrijk. Het is niet zo dat mensen gestimuleerd worden om in hoger gelegen gebieden te gaan wonen. Wel houden lokale en regionale overheden bij nieuwbouw in zekere zin rekening met de zeespiegelstijging.

Als voorbeeld noemen we het Zuid-Hollands beleidskader voor buitendijks bouwen. De provincie Zuid-Holland vindt het belangrijk om in te spelen op het toenemende gebruik van buitendijks gebied en de waterveiligheidsaspecten die daarbij komen kijken. Daarom heeft de provincie een beleidskader ontwikkeld voor buitendijks bouwen. Het beleid voorziet in een verplichting aan gemeenten om in bestemmingsplannen voor buitendijkse gebieden een inschatting te maken van het slachtofferrisico van een eventuele overstroming en duidelijk te maken hoe met dat risico wordt omgegaan. Bij het maken van die inschatting kunnen gemeenten gebruikmaken van een speciaal voor dit doel ontwikkelde risicomethodiek, waarmee zij waterveiligheidsrisico's kunnen bepalen en maatregelen kunnen afwegen. Via de online Risico Applicatie Buitendijks (RAB) is de methodiek voor alle Zuid-Hollandse gemeenten goed toegankelijk.

Het RAB is in eerste instantie bedoeld voor het meewegen van hoogwaterrisico's in het ruimtelijk ontwerp bij nieuwe ontwikkelingen en herstructureringen. Daarom vraagt de provincie dat een bestemmingsplan dat nieuwe bebouwing mogelijk maakt, een inschatting bevat van het slachtofferrisico en hoe daarmee wordt omgegaan. Het slachtofferrisico bij een overstroming van het buitendijkse gebied wordt bij woonfuncties ingeschat op basis van te verwachten waterstanden voor het jaar 2100. Hierbij is uitgegaan van een absolute zeespiegelstijging van 85 cm (t.o.v. het jaar 2000, Deltascenario!).

De provincie Flevoland heeft een soortgelijk beleid voor buitendijkse ontwikkelingen gemaakt. Daarnaast nemen steeds meer provincies overstromingsrisico's (binnen- en buitendijks) in hun ruimtelijke structuurvisies op.

2.4.4 Samenvatting en discussie

We concluderen dat de zeespiegelindicator "percentage van Nederland onder zeespiegel" losjes gebruikt wordt, zonder daadwerkelijke gevolgen. De reserveringszone aan de kust was aanvankelijk direct gerelateerd aan een scenario van de zeespiegel, maar deze koppeling is later losgelaten. De zeespiegelstijging komt expliciet voor in de beoordeling van ontwikkelingen in buitendijks gelegen gebied op waterveiligheid. We concluderen dat in ieder geval in deze voorbeelden de huidige en toekomstige stand van de zeespiegel wel invloed hebben op hoe we

met onze ruimte omgaan. De indicatoren worden gebruikt ter verantwoording en initiatie van beleid.

Er is geen sprake van een zogenaamde "evidence based" praktijk. De genoemde indicatoren worden nog niet gebruikt om een kostenefficiënte afweging te maken van de optimale inrichting van de ruimte.

We adviseren om de indicator "percentage van Nederland onder zeeniveau" eenduidig en gekoppeld aan de stand van de gemiddelde zeespiegel te definiëren en uit te rekenen. Werk toe naar een consistent gebruik van indicatoren en de bijbehorende reservering van ruimte in ruimtelijke-orderingsvraagstukken.

3 Synthese en aanbevelingen

3.1 Samenvatting

Op dit moment hebben slechts enkele experts het overzicht over welke zeespiegelindicator voor welke toepassing wordt gebruikt en waarom. Om de kennis breed toegankelijk te maken is in dit rapport een overzicht opgesteld van de verschillende zeespiegelgetallen die op dit moment in gebruik zijn in het kader van de toepassingen beheer en onderhoud kust, toetsing, ontwerp, en planvorming, voornamelijk binnen het beleidsterrein waterveiligheid. Er is nagegaan welke factoren er wel en niet inzitten, welke definities gehanteerd worden en hoe de cijfers zich tot elkaar verhouden.

Het suppletievolume in het suppletieprogramma Kustlijnzorg is tot op heden gebaseerd op de actuele trend in de relatieve jaargemiddelde zeewaterstand langs de kust. Dit is een eenduidige indicator waarvoor de berekeningswijze in de Zeespiegelmonitor is opgenomen. Dit biedt de mogelijkheid om de actuele trend regelmatig opnieuw te bepalen. In 2017 voeren RWS, Deltares en HKV onderzoek uit naar de regionale verschillen in de zeespiegel en bodemdaling. In 2020 neemt DGRW opnieuw een beslissing over het suppletievolume. Ter ondersteuning van deze beslissing voert het Kustgenese 2.0 programma een studie uit naar de accommodatieruimte die wordt gecreëerd door 'absolute zeespiegelstijging minus bodemdaling'.

Voor de vergunningsverlening delfstoffenwinning is een vergelijkbare zeespiegelindicator in gebruik. Deze veronderstelt naast een lineaire trend ook een versnelling in de relatieve zeespiegelstijging.

De indicator voor de beoordeling van primaire waterkeringen is een toeslag op de getijhoogwaterstijging. Deze toeslag is gebaseerd op een mix van gemeten en trendmatige (relatieve) regionale hoogwaterstijging, waarbij 1985 het referentiejaar is. De indicator is eenduidig en de methode is goed gedocumenteerd. De vraag is of het verstandig is om de toeslag te baseren op de lineaire trend in de hoogwaters. De trend is immers mogelijk geen goede voorspeller voor de huidige hoogwaterstijging (en de trend in de gemiddelde waterstand wel).

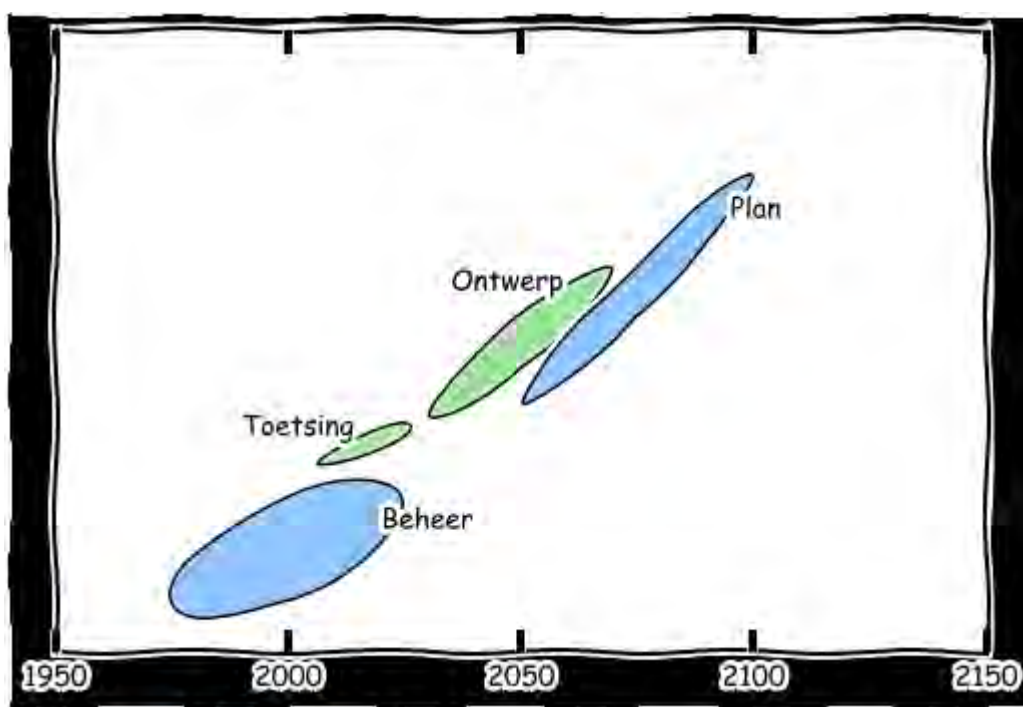
Voor het ontwerp van waterkeringen is een breed scala aan scenario's in gebruik; voor harde waterkeringen, zachte waterkeringen, niet-uitbreidbare ontwerpen en voor niet-vervangbare constructies. De scenario's gaan uit van absolute stijging van de gemiddelde zeespiegel. Dit wijkt in twee opzichten af van de gebruikte indicator voor de toetsing (absoluut vs. relatief en gemiddelde waterstand vs. hoogwaterstand). De referentiejaar van de scenario's zijn hierbij niet altijd even duidelijk en soms is ook de gemeten zeespiegelstijging verwerkt in de scenario's.

Op hoofdlijnen zijn twee zeespiegelindicatoren in 'omloop' op het gebied van (ruimtelijke) planvorming. De zeespiegelindicator "percentage van Nederland onder zeespiegel wordt veelal als communicatiemiddel gebruikt, maar heeft geen gevolgen voor het beleid. Een eenduidige methode om de indicator te bepalen is nog niet opgesteld. Verschillende onjuiste waarden zijn in de publiciteit gekomen.

Net als bij ontwerp worden klimaatscenario's met een absolute zeespiegelstijging gebruikt in analyses en verkenningen. De reserveringszone aan de kust was aanvankelijk direct gerelateerd aan een scenario van de zeespiegel, maar deze koppeling is later losgelaten. Een concreet voorbeeld van een toepassing is het Zuid-Hollands beleidskader voor buitendijks bouwen, waarin slachtofferrisico's in 2100 op basis van 85 cm zeespiegelstijging worden bepaald.

	Beheer	Toetsing	Ontwerp	Planvorming
Indicator	Huidige trend	Huidig	Stand bij einde levensduur	Percentage Nederland onder zeeniveau
Maat	Gemiddeld	Hoogwater	Gemiddeld	Gemiddeld
Absoluut/relatief	Relatief	Relatief	Absoluut	n.v.t.

Tabel 3-1: Zeespiegelindicatoren in waterveiligheidsbeleid.



Figuur 3-1: Zichtjaren toepassingsgebieden zeespiegelstijging.

Trends (ontwikkeling van indicatoren in de tijd)

Binnen de in dit rapport beschouwde indicatoren zijn duidelijke trends zichtbaar. Zo wordt er meer adaptief ontworpen en is degene die de waterkering / kunstwerk aanlegt ook voor langere tijd verantwoordelijk voor het onderhoud. Onderstaande tabel geeft de geobserveerde trends weer.

Voorheen	Nu
Statische ontwerpen	Adaptieve en/of uitbreidbare ontwerpen
Langere ontwerpduur	Kortere ontwerpduur
B&O gescheiden van ontwerp	DBFM-contracten (Design Build Finance and Maintain): aannemers zijn niet alleen verantwoordelijk voor ontwerp, maar ook voor onderhoud over een bepaalde duur.
Robuust ontwerp	Kosteneffectief ontwerp (voorzorgsbeginsel)

Behoeftte aan eenduidige indicatoren voor de middellange termijn

Het is wenselijk om een continue verband tussen indicatoren voor de korte en lange termijn te hebben. Op deze manier wordt er aan de behoefte van zowel B&O als ontwerp voldaan.

Op basis van de expertsessie en de uitwerking van de indicatoren blijkt dat indicatoren voor de middellange termijn ontbreken. Tot op het heden wordt binnen de onderzochte toepassingsgebieden met voorspellingen voor de korte termijn gerekend (5-10 jaar vooruit) en voor andere met veel langere termijnen (50-100 jaar vooruit). In het beheer en onderhoud gaat men momenteel toe naar ontwerpen waarbij men een beeld wilt hebben van de ontwikkelingen op middellange termijn. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de Zandmotor waarbij men wil weten hoe die zich langs de Nederlandse kust gaat verplaatsen. In het ontwerp is echter een trend zichtbaar naar ontwerpen met zichtjaren van bijvoorbeeld 25 jaar, omdat de onzekerheden op lange termijn zo groot zijn dat een ontwerp voor een periode van 50 jaar hoogstwaarschijnlijk niet kosteneffectief is. Deze twee toepassingen groeien dus naar elkaar toe en dus ontstaat de behoefte aan eenduidige indicatoren op de middellange termijn.

Dit vraagt dus om een betere aansluiting van zeespiegelindicatoren voor de korte en lange termijn.

3.2 Aanbevelingen

Beheer en onderhoud kust

Het zou goed zijn als DGRW/RWS de actuele trend in de zeespiegelstijging iedere 5 jaar laat bepalen via de Zeespiegelmonitor.

Een tweede aanbeveling aan DGRW/RWS is het laten onderzoeken of de accommodatieruimte gecreëerd door de relatieve zeespiegelstijging een goede indicator is voor de suppletiebehoefte.

Toetsing

Voor de toetsing is het relevant om te onderzoeken of de trend in de hoogwaterstijging een goede voorspeller is voor de huidige hoogwaterstand. Deltares en HKV kunnen dit gezien hun kennis op dit onderwerp in de aanloop naar WBI2023 het beste samen oppakken.

Ontwerp

Om tot een herleidbaar ontwerp te komen wordt aanbevolen om bij het gebruik van klimaatscenario's duidelijk aan te geven hoe de indicator kan worden gereproduceerd. Aan KNMI en Deltaprogramma is het advies dus om het klimaatscenario, het referentiejaar, het zichtjaar, de maat, etc. duidelijk vast te leggen en de totstandkoming van de getallen te documenteren.

Degenen die een klimaatscenario toepassen moeten de indicator duidelijk (kunnen) formuleren. Bijvoorbeeld als volgt: "De zeespiegelstijging is [aantal] centimeter in [zichtjaar], ten opzichte van [referentiejaar]. Het gaat hierbij om de [absolute / relatieve] stijging van het [maat] ten opzichte van [verticaal referentieniveau].".

Onze aanbeveling aan RWS is om de in het OI2014 (Deltares, 2014) voorgeschreven methode voor het ontwerp van waterkeringen te blijven volgen bij de aanleg van nieuwe constructies. Dit komt neer op lineair interpoleren binnen het conservatieve scenario (W+) voor harde waterkeringen en eventueel het G-scenario voor uitbreidbare keringen. Dit is met de huidige

kennis een voldoende geraffineerde aanpak, maar het vermengen van metingen (waargenomen stijging) en scenario's is af te raden. Neem dit mee in de actualisatie van het OI2014 met KNMI'14 scenario's.

De tweede aanbeveling aan KNMI en RWS is het toekennen van een kansverdeling aan klimaat-scenario's en voor het ontwerp van de kansverdeling gebruik te maken. Dit biedt meer flexibiliteit bij het bereiken van een kostentechnisch optimaal ontwerp.

Door langer vooruitziend beheer en meer adaptieve ontwerpen met een kortere levensduur is behoefte aan een temporeel dekkend kader van indicatoren:

- Gebruik voortschrijdende termijnen, ga niet naar het volgende mooie getal;
- Ontwikkel een continue curve;
- Er is behoefte aan voorspellingen langer dan 100 jaar vooruit (verkenningen).

Voor verkenningen met vragen in de vorm van "wat zijn de grenzen en keerpunten van het beleid" wordt vaak met extremere zeespiegelstijging gerekend (voorbeelden: 1.3 m in ISPW, 6 m in Kwadijk et al. 2007). Een manier om op een hoge waarde uit te komen is om de voorspellingen verder door te trekken, tot ver voorbij 2100. Waar het doen van verkenningen van de grenzen van beleid nuttig en noodzakelijk is, heeft het oprekken van de zichtperiode naar een tijdperk waar de ontwikkelingen van de bevolking en technologie niet meer kunnen inschatten weinig waarde. Ons advies is daarom om met scenario's tot 100 jaar vooruit te rekenen en voor verkenningen in de vorm van grenzen en keerpunten met niet-gedateerde waarden te rekenen.

Planvorming

Het is belangrijk om uit te zoeken wat het percentage van Nederland is dat onder de zeespiegel ligt. Dit getal kan vervolgens eenduidig worden uitgedragen door verschillende instanties, zodat er geen foutieve uitspraken worden gedaan. Dit percentage zou elke 5 jaar opnieuw berekend moeten worden, zodat de trend in kaart wordt gebracht. Het is aan te bevelen deze opgave aan de zeespiegelmonitor toe te voegen.

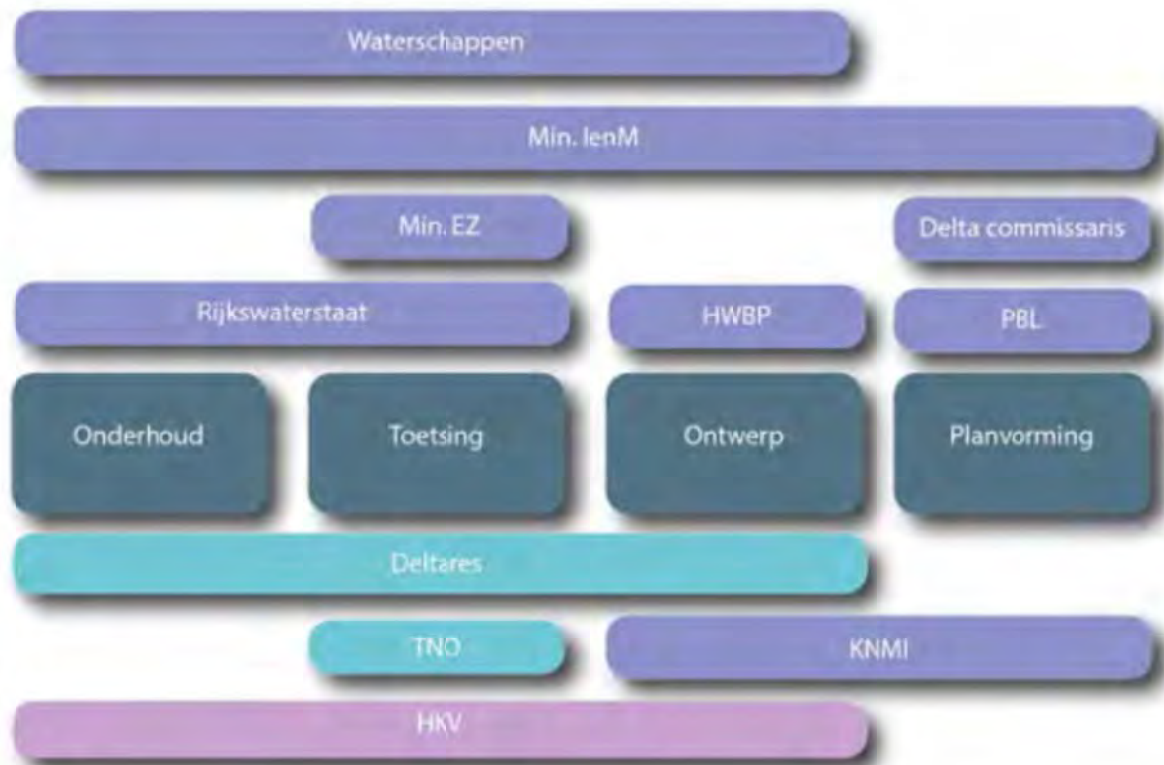
Waddenzee

Er is een rijke diversiteit aan ministeries en instanties bezig met de verschillende indicatoren die belangrijk zijn voor de Waddenzee, en specifiek het winnen van delfstoffen. Het is logisch als er één ministerie is dat zich hier mee bezig houdt en niet meerdere. Het zou logisch kunnen zijn dat één van de Toegepast Onderzoek Organisaties de indicator afleidt.

Algemeen

Een schematisch overzicht van de bij zeespiegelonderzoek betrokken organisaties (commissies en universiteiten buiten beschouwing gelaten) is te vinden in Figuur 3-2.

We zien dat het er verschillende indicatoren ontwikkeld worden door verschillende instituten. Het advies is om de indicatoren gezamenlijk te ontwikkelen en de methode en resultaten in de zeespiegelmonitor op te nemen.



Figuur 3-2: Verschillende partijen (leiblauw: overheid, aquamarijn: kennisinstituut, pruim: bedrijven) zijn betrokken bij zeespiegelonderzoek. De overlap met kolommen geeft de hoofdtaak aan van de organisatie. Bijvoorbeeld Rijkswaterstaat houdt zich vooral bezig met onderhoud en toetsing. PBL houdt zich vooral bezig met planvorming. De organisaties boven de rij met onderhoud, toetsing, ontwerp en planvorming houden zich vooral bezig met beleidsvorming. De organisaties onder de rij houden zich vooral bezig met onderzoek en advisering.

4 Referenties

Baart et al. (2015)

Zeespiegelmonitor 2014. Fedor Baart, Robert Leander, John de Ronde, Hylke de Vries, Vincent Vuik en Robin Nicolai. Deltares rapport 1209426.202. Deltares, HKV en KNMI, 2015.

Baart et al. (2016)

Zeespiegel onderzoeksagenda. Fedor Baart, Henk Kooi en Vincent Vuik. Deltares rapport 1230046-000-ZKS-0001, Versie 0.2, 23 mei 2016, definitief.

Bruggeman et al. (2013)

Deltascenario's voor 2050 en 2100; *Nadere uitwerking 2012-2013*. Bruggeman, W. Dammers, E., Van de Born, G. J., Rijken, B. C. Van Bommel, B., Nabielek, K. Veersma, J. Van den Hurk, B., Polman, N. Lindenhof, V., Folmer, C., Huizinga, F., Hommes, S., & Te Linde, A. H. Deltares/PBL/LEI/CPB. Delft, 2013.

Chbab (2015).

Basisstochasten WTI-2017: Statistiek en statistische onzekerheid. H. Chbab. Deltares. December 2015.

Deltacommissie (2008)

Samen werken met water: een land dat leeft, bouwt aan zijn toekomst; bevindingen van de Deltacommissie 2008. URL <http://www.deltacommissie.com/doc/2008-09-03%20Advies%20Deltacommissie.pdf>. Deltacommissie, 2008.

Deltares (2014)

Werkwijze bepaling hydraulische randvoorwaarden ten behoeve van nHWBP 2014 projecten. Tech Rep. 1208992-000, Deltares.

Dillingh et al. (1993)

De basispeilen langs de Nederlandse kust; statistisch onderzoek. D. Dillingh, L. de Haan, R. Helmers, G.P. Können en J. van Malde. Rijkswaterstaat, Dienst Getijdenwateren /RIKZ, Report DGW-93,023, 1993.

Dillingh et al. (2010)

Definitie zeespiegelstijging voor bepaling suppletiebehoefte. Dillingh, D., Baart, F. en J. de Ronde. Rapport 1201993-002, Deltares, 2010.

Dillingh (2013)

Kenmerkende waarden Kustwateren en Grote Rivieren. D. Dillingh. Rapport 1207509-000, Deltares, 2013.

ENW (2015)

Advies rapporten zeespiegelmonitor. Expertisenetwerk Waterveiligheid (ENW). Advies aan het ministerie van Infrastructuur en Milieu dd. 4-12-2015. Kenmerk ENW-15-23

IPCC (2007)

Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (Eds.). IPCC, Geneva, Switzerland. pp 104.

IPCC (2013)

Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Stocker, T.F.,

D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

Koenders (2016)

Toespraak van minister Koenders bij de GLACIER conferentie (in English), September 2015.

KNMI (2006)

Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands. Scientific Report WR2006-01, KNMI, De Bilt, The Netherlands.

KNMI (2014)

Climate Change scenarios for the 21st Century—A Netherlands perspective. Scientific Report WR2014-01, KNMI, De Bilt, The Netherlands.

Kwadijk et al. (2007)

Gevolgen van grote zeespiegelstijging op de Nederlandse zoetwaterhuishouding. Verwachtingen, schattingen en berekeningen voor het MNP-project "Nederland later". J. Kwadijk, S. van Vuren, G. Verhoeven (WL | Delft Hydraulics), G. Oude Essink, J. Snepvangers (TNO) en E. Calle (GeoDelft). Oktober 2007.

Kroos (1982)

Berekening slotgemiddelden 1981.0. Ing. J. Kroos. Ministerie van verkeer en waterstaat. Rijkswaterstaat. Directie waterhuishouding en waterbeweging. Nota nr. JK 82.14.

MinIenM (2014)

Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Ministerie van Economische Zaken, 2013. Deltaprogramma 2014: Werk aan de delta. Tech. rep., Deltaprogramma Kust.

MinIenM (2015)

Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Ministerie van Economische Zaken. Deltaprogramma 2015: Werk aan de delta. Tech. rep., Deltaprogramma Kust, 2014.

Mulder (2000)

Zandverlies in het Nederlandse kuststelsel, advies voor dynamisch handhaven in de 21e eeuw. Mulder, J.P.M. Rapport RIKZ/2000.36, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, 2000.

OECD (2014)

Water Governance in the Netherlands: Fit for the Future?, OECD Studies on Water, OECD Publishing. 2014

Nederbragt (2005)

Zandvoorraden van het Kuststelsel: onderbouwing van een conceptueel model met behulp van trends van de winst- en verliesposten over de periode 1973-1997. G. Nederbragt. Rapport RIKZ/2005.033, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, 2005.

PBL (2010)

Assessing an IPCC assessment. An analysis of statements on projected regional impacts in the 2007 report

PBL (2015)

Planbureau voor de Leefomgeving. Wetenschap en beleid verbinden. PBL, Den Haag, 2015.

Prillewitz (1966)

The interaction of social change and physical planning. Sociologia Ruralis December 1966.

- Rijnen, K. (2016)
The Influence of Sea Level Rise Uncertainties on Flood Defence Design Considerations. MSc. Thesis, TU Delft, 2016.
- De Ronde (2008)
Toekomstige langjarige suppletiebehoefte. J. de Ronde. Deltares rapport Z4582.24. Deltares, 2008.
- De Ronde et al. (2013).
Zeespiegelmonitor. De Ronde, J., F. Baart, C. Katsman and V. Vuik. Deltares rapport 1208712-000, Deltares, HKV en KNMI, 2013.
- De Ruig (1995)
De kust in breder perspectief. Basisrapport kustnota 1995. Joost de Ruig. Rapport RIKZ/95-005. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat. Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ). Februari 1995.
- RWS (2000)
3^e Kustnota: Traditie, trends en toekomst. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, 2000.
- RWS (2007)
Hydraulische randvoorwaarden primaire waterkeringen voor de derde toetsronde 2006-2011 (HR 2006). Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, 2007.
- RWS (2014)
Nota: Waterkering Zeetoegang IJmond. Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Rijkswaterstaat, 2014.
- RWS (2016)
Rijkswaterstaat klaar voor het stormseizoen 2016-2017. Nieuwsbericht, Oktober 2016.
- Stocker et al. (2013)
Climate change 2013: The physical science basis. Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley. Tech. rep., Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013.
- TAW (2002a)
Achtergronddocument inzake zeespiegelstijging en klimaatverandering met betrekking tot kustbeheer en kustbeleid. TAW werkgroep Kust, Augustus 2002.
- TAW (2002b)
Leidraad Zandige Kust. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW). DWW-2003-046. December 2002.
- TNO (2016)
Advies "actualisering beleidsscenario zeespiegelstijging voor delfstofwinning onder de Waddenzee". Brief, TNO, 27 juni 2016.
- Unie van Waterschappen (2012)
Modelkeur 2012, Unie van waterschappen 2013.
- V&W (2008)
Nationaal Waterplan 2009-2015. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. Verkeer en Waterstaat, 2008.

Vrij Nederland (2010)

Nieuwe fout klimaatpanel ontdekt, Vrij Nederland, 3 Februari 2010.

De Vries et al. (2014)

Constructing scenarios of regional sea level change using global temperature pathways.

Vries, H. de, C. Katsman and S. Drijfhout. Environmental Research Letters 9 (11): 115007.

URL <http://stacks.iop.org/1748-9326/9/i=11/a=115007>, 2014.

VROM (2004).

Nota Ruimte – Ruimte voor Ontwikkeling. Tech. rep., Ministeries van VROM, LNV, VenW en EZ. PKB Nationaal Ruimtelijk Beleid, 2004.

Telefonisch contact met Ad van der Spek. Oktober 2016.

<http://www.rws.nl/water/waterbeheer/bescherming-tegen-het-water/maatregelen-om-overstromingen-te-voorkomen/kustonderhoud/index.aspx>

<http://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/programma'-projecten/beheer-onderhoud/>

Bijlage A: Verslag expertsessie

bespreekverslag

PR2695.30

Project : Zeespiegelstijging indicatoren
Datum : 10-11-2016
Onderwerp : Overleg voorlopige analyse zeespiegelindicatoren
Opgesteld : Guus Rongen en Robin Nicolai (concept 17-11-2016; definitief 29-11-2016)
Aanwezig : Carola van Gelder-Maas, Robert Vos, Jean-Marie Stam, Fedor Baart, Robin Nicolai,
Deon Slagter, Guus Rongen, Ernst Lofvers, Marcel Bottema, Rena Hoogland
Circuleren : aanwezigen

Agenda

1. Voorstelronde en context
2. Inleiding verkenning zeespiegelindicatoren
3. Reacties B&O Kust en 'Toetsing'
4. Reacties Ontwerp en Planvorming
5. Synthese

1. Voorstelronde en context

Jean-Marie opent de vergadering en de aanwezigen stellen zich voor (zie onderstaande tabel). Vervolgens schetst ze de context, het project Zeespiegelmonitor, waarin de studie naar eenduidige indicatoren en deze expertsessie plaats vinden.

Naam	Organisatie	Rol / expertise / activiteiten
Carola van Gelder-Maas	RWS	Kustgenese en Zandmotor
Rena Hoogland	RWS	Kustgenese: bodemdaling
Deon Slagter	RWS	PL HR2017, ISTORM, ...
Marcel Bottema	RWS	Kwaliteitsborging o.a. onzekerheden WBI, ...
Robert Vos	RWS	OI2014, Ontwerprandvoorwaarden
Ernst Lofvers	RWS NN	Beheer Noord-Nederland, gas- en zoutwinning
Jean-Marie Stam	RWS	PL Zeespiegelmonitor RWS
Fedor Baart	Deltares	PL Zeespiegelmonitor Deltares
Robin Nicolai	HKV	PL Eenduidige zeespiegelindicatoren
Guus Rongen	HKV	Projectteam eenduidige zeespiegelindicatoren

Aanleiding

De aanleiding van de studie Zeespiegelmonitor is het beheer en onderhoud van de kust door middel van zandsuppleties. ENW ziet de methode voor de bepaling van zeespiegelindicatoren (actuele stand en trend) uit de Zeespiegelmonitor 2014 (Baart et al., 2015) als goed geschikt voor kortetermijnbeslissingen m.b.t. zandsuppleties. Voor langere zichtjaren (ontwerp gebruik 50 tot 100 jaar) is dit statistische model wellicht niet representatief.

Een onderdeel van de Zeespiegelmonitor is Integratie met leidende vragen "Sluiten de verschillende toepassingen van de zeespiegel op elkaar aan en worden alle toepassingen afgedekt?". Binnen dit onderdeel wordt gewerkt aan de integratie van bodem- en zeespiegelindicatoren alsmede aan een aanbeveling voor het gebruik van eenduidige indicatoren. Het laatste gebeurt vanwege het feit dat de zeespiegelindicatoren die in het Nederlandse beleid worden gebruikt onderling niet consistent zijn, waardoor onduidelijkheden ontstaan.

Doel

Deon vraagt door wat nu precies het doel van het project is, "Wat wil Den Haag met deze studie?"
Rena: in de derde kustnota werd de zeespiegelstijging mooi in een tabel bij elkaar genoemd.
Vervolgens zijn de verschillende toepassingen weer uit elkaar gegroeid. Het zou goed zijn als er een integraal kustbeleid komt waarin de voor verschillende toepassingen gebruikte indicatoren op eenduidige wijze worden vastgesteld.

Het hoofddoel van het project "Eenduidige zeespiegelindicatoren" is dus het onderbouwen en vastleggen van eenduidige indicatoren en een bewuste keuze waarvoor deze te gebruiken. Momenteel lopen de zichttermijnen nog redelijk uiteen en het lukt (nog) niet om de methoden aan elkaar te knopen. Verschillende indicatoren zijn geschikt en worden gebruikt. Door de veranderende focus in het programma Kustgenese (meer gericht op de lange termijn, 50-100 jaar vooruit, denk hierbij aan de Zandmotor) en het feit dat ontwerpen wellicht efficiënter zijn voor kortere durven vanwege de grotere onzekerheden, zou er meer behoefte aan eenzelfde indicator kunnen ontstaan.

Marcel geeft aan dat voor een relatieve zeespiegelstijging ook kennis nodig is over de bodemdaling, naast de klimaatscenario's. Ook stelt hij "Eenduidig waar het kan" in plaats van "Eenduidig ten koste van alles".

2. Inleiding verkenning zeespiegelindicatoren

Robin presenteert de 70%-versie van het rapport over eenduidige zeespiegelindicatoren. Hij maakt onderscheid tussen toepassingen binnen 4 beleidsterreinen: Beheer en onderhoud Kust, wettelijke beoordeling, ontwerp en ruimtelijke planvorming. De tijdens de presentatie gemaakte opmerkingen zijn hieronder samengevat per beleidstoepassing:

Beheer en onderhoud Kust

-

Beoordeling waterkeringen

Robert Vos over het referentiejaar 1985. Alle (hoog)waterstanden worden eerst naar 1985 vertaald. Vervolgens wordt van deze homogene reeks statistiek afgeleid. De gebruikte toeslag is die voor de getijhoogwaterstijging.

Om aan te tonen dat zeespiegelindicatoren niet altijd eenduidig zijn, vertelt Robin dat in het (nieuwe) toetsinstrumentarium (WBI) een dubbel telling in de zeespiegelstijging is geconstateerd. Deon: de dubbel telling was aanwezig in beide softwarepakketten (Hydra-NL en Hydra-Ring) en is er in beide pakketten uitgehaald. Dit probleem is dus opgelost.

Essentie. Bij de beoordeling van de waterkeringen wordt geen klimaatscenario gehanteerd, maar wordt alleen gekeken of het toevoegen van extra meetjaren leidt tot andere belastingen aan de kust. Als dit het geval is, wordt de gemeten trend voortgezet tot aan het einde van de beoordelingsperiode.

Robert Vos zegt dat verandering van het NAP-vlak een extra moeilijkheid is in de bepaling van absolute en relatieve zeespiegelstijging.

Ontwerp (harde keringen)

De afleiding van de 48 cm zoals gepresenteerd lijkt te kloppen in de ogen van Robert Vos. Hij zegt dat tegenwoordig ook met andere scenario's wordt ontworpen: voor kortere zichtjaren mag ook met een G-scenario ontworpen worden, zoals vermeld in het OI (ontwerpinstrumentarium).

Tot slot merk Robert op: normaal zou je bij het gebruik van een scenario met onzekerheden rekenen, omdat dit niet kan bij ontwerp wordt hier met de bovengrens gerekend.

Ontwerp (zachte keringen)

Getallen Leidraad zandige Kust zijn gebaseerd op oude KNMI scenario's (HR2001). Deze getallen (o.a. 60 cm) zijn gebruikt voor de zwakke schakels. Tegenwoordig zou men waarschijnlijk net zoals bij het ontwerp van harde keringen de W+ scenario's van het KNMI gebruiken.

Planvorming

Fedor vermeldt dat met planvorming vooral ruimtelijke ordening/planning wordt bedoeld. Hierin is het echter lastig concrete indicatoren te vinden; hier en daar wordt nog wel een indicator als 'het stijgt sneller' gebruikt, maar een numerieke waarde wordt nauwelijks gebruikt. (Het idee is dat we hier nog met PBL over spreken.)

Robert: Het KNMI is nooit echt helder geweest over hoe de scenario's zijn afgeleid uit de IPCC-scenario's. Het KNMI werkt nu wel aan een herleidbare methode.

Marcel geeft aan dat de ondoorzichtigheid van de IPCC-scenario's zelf wel meevalt. Voor de eerste 50 jaar zijn fysische (model)onzekerheden dominant. Het is bijvoorbeeld onzeker hoe snel Antarctica smelt. Voor 100 jaar gaat het meer om (menselijke) ontwikkelingen op wereldschaal zoals het effect van de verkiezing van Trump op het klimaat en hoe de overstap op duurzame energiebronnen zich ontwikkelt.

Ruimtelijke ordening is een vreemde eend in de bijt door lange planningsduur en gemiddelde keuze.

3. Reacties B&O Kust en 'Toetsing'

Indicator voor gaswinning

Rena stelt dat er wellicht nog een indicator mist, de indicator die gebruikt wordt in het vergunningsbeleid met betrekking tot de gaswinning. Je zou gaswinning als negatieve interventie kunnen beschouwen. De indicator is 'de zeespiegel waar iedereen het mee eens is'. Maar de vraag blijft wat dit dan precies inhoudt? Ernst: Hij lijkt op die van B&O Kust, maar zit er eigenlijk nog een beetje voor. Het meegroeivermogen van de Waddenzee ligt hieraan ten grondslag.

N.B. Dit is een indicator die we inderdaad nog niet hebben uitgewerkt.

Regionale verschillen / ruimtelijk beeld

Marcel noemt het afwijken van Harlingen en vraagt zich af of de morfologische ingrepen wel goed verrekend zijn. Zoals het afsluiten van de Zuiderzee.

Het is bij de analyse van (hoog)waterstanden van belang om reeksen te homogeniseren en de referentiejaar te synchroniseren.

Een advies van Marcel en Robert: neem de ruimtelijke samenhang mee in de interpretatie van de statistiek (wat zijn trends en oorzaken?). Voor de gaswinning zou dit bijvoorbeeld goed zijn, omdat het hier om de Waddenzee gaat. De Waddenzee reageert nog steeds op de afsluiting van de Zuiderzee. Fedor zegt dat je dit vooral in de getijamplitudes terugziet, wat aangeeft dat het type indicator ook verschillen kan geven. Toetsing kijkt naar hoogwater, B&O kijkt naar gemiddeld water. Een schipper kijkt naar laagwater. Ernst zegt dat de afsluiting van de Zuiderzee inderdaad vooral effect heeft op de hoogwaters, maar niet op de gemiddelde zeewaterstand.

Rena: In het kennisprogramma Kustgenese-II gaan we kijken naar de accommodatieruimte die gecreëerd wordt door enerzijds zeespiegelstijging en anderzijds bodemdaling. Nu wordt een landelijk gemiddelde van de actuele relatieve zeespiegel gebruikt die wordt bepaald uit de waterstandreeksen. De ambitie binnen Kustgenese is om vlakdekkend naar de kust te kijken. Naar een vlakdekkende schatting van de zeespiegelstijging en de bodemdaling. Idealiter zou het vlakdekkende getal van de zeespiegelstijging de absolute zeespiegelstijging moeten zijn. Dit zou dan vergeleken moeten worden met de huidige methode. Door een vlakdekkende benadering kun je dus de accommodatieruimte/zandvraag bepalen voor specifieke gebieden (bijv. Wadden, Hollandse Kust en de Zeeuwse Delta). Carola geeft aan dat een regionale inschatting van de zandvraag zou helpen bij het verdelen van het zand doormiddel van suppleties.

N.B.1 Marcel. Zowel absolute zeespiegelstijging als de bodemdaling hebben effect op de (feitelijke) waterdiepte, en daarmee in potentie ook op de getijstrooming, getijvorm en getijamplitude.

N.B.2. Marcel. Van belang is ook dat er twee typen bodemdaling zijn: Bodemdaling op regionale schaal, autonoom of door ondergrondingrepen als delfstofwinning. En zeer lokale bodemdaling onder een dijk (feitelijk zetting/compactie van slappe ondergrond).

Het belang van een nauwkeurige indicator

Deon en Marcel geven aan dat je moet oppassen met millimeteren, ook op lokale schaal hoef je niet per vierkante kilometer de bodemdaling te weten. Je moet de nauwkeurigheid in het licht zien van meeton nauwkeurigheden en onzekerheden. Bijvoorbeeld m.b.t. de wind, zoals Marcel en Robert toelichten.

N.B.1 Variabiliteit en onzekerheid windklimaat zijn beide orde 5-10% en geven een soortgelijk effect in golfplooppniveaus (en mogelijk iets meer in stormvloedstanden exclusief golven). Effect kan dus zomaar een meter zijn. En bij voldoende grote onzekerheid kan het gebeuren dat je zelfs bij een gemiddeld licht dalende windtrend als ontwerpwind toch iets hoger moet gaan zitten dan de huidige wind om die onzekerheid veilig te verrekenen.

N.B.2 Weer en wind werken zelfs nog door in jaargemiddelde waterstanden, en dat effect is millimeters tot centimeters. Dat maakt het dan weer lastig om verschillende deelmeetreeksen van de zeewaterstand aan elkaar te knopen voor homogenisering en trendanalyse.

Bij gebrek aan probabilistisch denken wordt gezegd dat de wind niet verandert. Neem je de onzekerheid wel mee, dan krijg je een groot effect op de hydraulische belastingen. (N.B. Buiten Nederland en buiten de waterkeringwereld is probabilistisch denken geen standaard denkwijze. Te vaak wordt alleen gekeken of sprake is van een significante trend, en afgezien van klimaatscenario's vaak niet wordt gekeken naar de impact (op ontwerp) van een onzekerheid in een trend.)

Jean-Marie noemt dat werken in millimeters wel belangrijk is om te ontdekken hoe de zeespiegelstijging verandert. Marcel: gemiddelde zeespiegelstijging is één van de componenten die we goed kunnen meten, maar niet altijd (de) belangrijk(st)e.

Deon noemt dat niet alleen op de Nederlandse stations gelet moet worden. Daar wordt geen versnelde stijging gemeten, waar dit in het buitenland wel zo is. Fedor legt uit dat je in de satellietmetingen een hogere trend ziet dan de trend in de getijstations. De satellietmetingen zijn later begonnen. De onduidelijkheid zit hem dus in het niet aansluiten van de twee bronnen op elkaar. Robert zegt dat het ontzettend moeilijk is om het 0-vlak van de gravitatie te bepalen. De koppeling tussen klimaatmodellen en metingen is lastig, omdat in de klimaatmodellen langdurige effecten zitten die heel moeilijk in de metingen terug te vinden zijn.

Marcel geeft aan dat het interessant zou zijn om onze voorspellingen te controleren met die van onze buurlanden. Puur ter controle van de methode die we gebruiken.

Carola noemt het belang van een nauwkeurige indicator voor de uitvoerbaarheid. Hoe kan ik zodanig suppleties neerleggen dat je voor langere tijd aan de onderhoudsbehoefte kan voldoen (à la de Zandmotor). Hierbij moet je met een lange(re) levensduur ontwerpen, waardoor je de zeespiegelstijging op langere termijn wel degelijk goed wilt weten.

Marcel noemt nog dat de zeespiegelstijging ook relevant is voor specifieke langlopende DBFM-contracten (i.h.b. voor kunstwerken), waarin onderhoud (M van Maintenance) voor enkele decennia is inbegrepen.

4. Reacties ontwerp en planvorming

Het gebruik van verschillende indicatoren

Robert Vos geeft de precieze achtergrond van de 48 cm door: 35 cm tussen 1990 en 2050. + 20 cm voor 2050 – 2070 – 7 cm voor 1990 tot 2015.

Momenteel wordt voor ontwerp van niet-vervangbare onderdelen met het 'scenario Veerman' gerekend. Voor de sluis bij IJmuiden is met dit schijnbaar zeer conservatieve scenario gerekend (zie ook kopje "toekomstige ontwikkelingen"). Marcel vertelt dat voor toekomstige ontwerpen de onzekerheden zo groot zijn dat je niet zonder een kansbenadering kunt (scenario's schieten tekort).

Voor de Meren wordt vanwege de menselijke invloed niet met de standaard Deltascenario's gerekend. Tot 2050 zal het streefpeil niet stijgen, omdat er nog vrij gespuid kan worden. Tot 2080 zal dit niet meer voldoende zijn en zal er extra gepompt moeten worden om de 30 cm stijging (W+) in dit tijdvak tegen te gaan. Op het Markermeer is deze toename zonder pompen de helft van deze 30 cm stijging (dat is, 15 cm). Hiervan wordt 5 cm weggepompt (= besluit DGRW).

Marcel noemt dat er na 2100 niks bekend is over de zeespiegelstijging. Robert vertelt dat bij ontwerpen waarvoor het zichtjaar na 2100 ligt, de trend van 2050 tot 2100 lineair wordt doorgetrokken.

Er is een duidelijk verschil merkbaar tussen indicatoren voor ontwerp en ruimtelijke planvorming. Ontwerp wil een duidelijke waarde hebben (met onzekerheid), planvorming wil liever één of meerdere scenario's hebben. Bij ontwerp is het doel vaak kostenoptimalisatie.

De herkomst van scenario's

Voor ontwerp zal waarschijnlijk binnenkort overgestapt worden op de KNMI '14-scenario's. Robert vertelt dat dit momenteel wordt voorbereid: in 2018 gaan we over.

KNMI communiceert naar leken in termen van temperatuurscenario's, maar werkt achter de schermen net als de rest van de wereld met Representative Concentration Pathways (RCP's), ofwel CO2-emissiescenario's. De basis is niet meer de temperatuur, maar de CO2-uitstoot. Dit is prettiger voor het beleid (lees: sluit beter aan op het beleid).

Toekomstige ontwikkelingen

DGRW, RWS (Robert Vos), KNMI, Deltares gaan nu de kant op dat niet meer met scenario's gerekend wordt, maar met een kansverdeling over de mogelijk uitkomsten. Omdat de kleine

faalkansen die gebruikt worden bij ontwerpen dan leiden tot een zeer extreme zeespiegelstijging (in de staart van de verdeling), is het effect van de onzekerheid erg groot. Koen Rijnen (afstudeerder van Robert Vos) heeft uitgezocht dat 25 jaar ontwerpen het meest doelmatig is, omdat op deze termijn de onzekerheden nog meevallen.

Deon zegt ook dat het gebruik van scenariokansen de keuze voor vervanging/ontwerp beïnvloedt. In het beslisprobleem wil je onzekerheid meenemen. Dit kan leiden tot flexibelere (adaptieve) maatregelen voor kortere perioden (25 jaar).

Het verschil tussen statistische en fysische modellen

Over het gebruik van verschillende modellen voor verschillende termijnen. Het ENW heeft in 2015 geadviseerd om tot 30 jaar uit te gaan van statistische modellen (trends) en vanaf dan met fysische modellen (klimaatscenario's).

Het gebruik van Bayesiaanse statistiek om met metingen de klimaatscenario's bij te stellen zou een geschikte manier zijn om de statistiek bij te stellen.

Verskil tussen harde en zachte keringen

Beleid voor zandige kust (Leidraad Zandige Kust) is nog steeds actueel. Dit is ook voor Vlieland en Terschelling toegepast. Voor de harde keringen is met 48 cm gerekend. Voor de zachte keringen is met 30 cm gerekend.

Als je ingreep uitbreidbaar is mag je volgens het OI2014 het G-scenario gebruiken. Zand is uitbreidbaar dus dit zou mogen. Als het G-scenario wordt gebruikt wordt er (zelfs) met een iets lagere waarde dan 30 cm gerekend.

Rena: Voor Hondsbossche Zeewering wijkt het onderhoudsscenario af van het ontwerpscenario. Voor adaptief ontwerp is dus geen eenduidige richtlijn. Rena geeft aan dat er voor adaptieve strategieën dus wat bedacht moet worden.

5. Synthese

Fedor vat samen:

We zien dat de zichtjaren en referentiejaren variëren, dat er verschillende scenario's gebruikt worden, en dat ontwerp en beheer naar elkaar toegroeien. Hierdoor wordt een eenduidige indicator belangrijker. Of in ieder geval richtlijnen voor welke indicator wanneer te gebruiken. Zeespiegelstijging telt niet altijd evenveel mee, soms is het belangrijk, terwijl er ook gevallen zijn waarin de zeespiegelstijging geen significant effect heeft op een beslissing.

Wellicht is het goed om nog specifiek met iemand van PBL of DGRW overleggen over de indicatoren die voor planvorming gebruikt worden. Wellicht kan als indicator uitgewerkt worden: "welk deel van Nederland ligt onder zeeniveau". Dit zegt iets over het overstromingsgevaar.

N.B. Marcel vindt dit niet zo'n gewone/veelzeggende indicator. Wel de zeespiegelstijging in centimeters per eeuw. Een interessante maar lastiger te bepalen indicator is de jaarlijkse (gemonetariseerde) risicotename t.g.v. zeespiegelrijzing: hoeveel zou het actuele overstromingsrisico over heel NL toenemen als die zeespiegelrijzing vandaag ingaat?

Over de ruimtelijke schaal: ontwerpindicatoren zijn uitgesplitst naar regionaal gebied, het gaat uiteindelijk om de relatieve stijging bij bijvoorbeeld een dijk. Toetsen: hoogwater varieert ook regionaal. B&O: wordt ook toegewerkt naar regionale schaal, waar is onderhoud het meest nodig.

Carola vraagt: stel we voeren systeemsuppleties uit met een ontwerplevensduur van 20 jaar (tussen korte en lange termijn in). Hoe kunnen we dan met versnelde zeespiegel rekening houden? Is hier een indicator voor beschikbaar?

Robert stelt dat je bij ontwerpen met een kortere levensduur een LCC-analyse moet uitvoeren.

Robert merkt tot slot op dat de hockeystickvorm van de klimaatscenario's genoemd kan worden. Hoe is de sterk toenemende stijging te verklaren?

Toevoeging HKV - vervolgstappen

Wat betekent dit voor de rapportage? De volgende indicatoren zijn in het concept rapport uitgewerkt. (Tussen haakjes staan de aanvullingen op basis van de expertsessie.)

B&O Kust: actuele trend in de relatieve zeespiegelstijging (wens: uitsplitsing naar regio's)
Beoordeling: toeslag getijhoogwaterstijging (hier ook naar regionale behoefte kijken)
Ontwerp: scenario's absolute zeespiegelstijging voor harde en zachte waterkeringen (behoefte: regionale absolute zeespiegelstijging en bodemdaling, kansverdeling over scenario's)
Planvorming: scenario's absolute zeespiegelstijging (+ percentage oppervlak Nederland onder NAP, nog in overleg met PBL/DGRW)

Aanvullende uit te werken indicatoren kunnen zijn:

1. Bodemdaling (suggestie Rena). Wordt in Kustgenese-II uitgewerkt.
2. Indicator voor zeespiegelstijging die in vergunningsbeleid voor gas- en zoutwinning Waddenzee en de Noordzee wordt gebruikt.
3. Percentage oppervlak Nederland onder zeeniveau (planvorming/ruimtelijke ordening)
4. Indicator voor Lange termijn Waterhuishouding: inrichting IJsselmeer, zeespiegelstijging voor 2150-2175 (dit meenemen in ontwerp/planvorming; we ontwerpen nu objecten met levensduur van maximaal 100 jaar, rekening houdend met bouw is zeespiegelstijging tot 110 jaar vooruit interessant).

Binnen het project werken we 6 indicatoren uit. We stellen daarom voor om naast de al uitgewerkte indicatoren ook de indicatoren 2 en 3 verder uit te werken. Indicator 4 komt aan bod bij ontwerp/planvorming.

In het rapport zullen duidelijke concrete aanbevelingen staan voor vervolgacties die nodig zijn om tot eenduidige indicatoren te komen.

Referenties

Baart et al. (2015)

Zeespiegelmonitor 2014. Fedor Baart, Robert Leander, John de Ronde, Hylke de Vries, Vincent Vuik en Robin Nicolai. Deltares rapport 1209426.202. Deltares, HKV en KNMI, 2015.



HKV lijn in water BV

Postbus 2120
8203 AC Lelystad

Botter 11-29
8232 JN Lelystad

0320 29 42 42
info@hkv.nl
www.hkv.nl

10.6 Invoering nulpalen

H. Bouwrik

RIJKSWATERSTAAT
DIRECTIE ALGEMENE DIENST
EN WATERHUISHOUDING

Hydrometrische Afdeling

Invoering van NULPALEN.

Geleidelijk worden ter plaatse van peilmeetstations aangebracht diep gefundeerde betonpalen of andere constructies. Het nulpunt van de betreffende peilschaal of peilschrijver wordt onwrikbaar en onverstelbaar aan deze vaste palen verankerd. Het is de bedoeling, dat tot in lengte van tijd de vaste peilschalen of peilschrijvers gelijk gehouden zullen worden aan de aldus vastgelegde nulpunten. Ten behoeve van dit gelijk houden worden voor elke opstelling speciale maatregelen genomen, afgestemd op de situatie.

De vaste opstelling als zodanig wordt, ongeacht of deze bestaat uit een betonpaal, een buisconstructie, een kunstwerk op staal of op palen of welke andere constructie ook, aangeduid als

NULPAAL

Andere, tot nu toe wel gebruikte aanduidingen (als Merkpaal e.d.) dienen verder te worden vermeden. Er zullen dus voor peilschalen twee methodes zijn om het nulpunt vast te leggen en gelijk te stellen n.l.

- 1e. De halfjaarlijkse B en de 2-jaarlijkse A verificaties, waarbij de N.A.P.-hoogten worden ontleend aan de verkenmerken, die daarvoor zijn aangewezen.
- 2e. Vastlegging aan de nulpaal ter plaatse. Na eenmalige vaststelling van de N.A.P.-hoogten aan de nulpaal blijft deze hoogte voorgoed ongewijzigd. De nulpaal wordt geacht de plaatselijke N.A.P.-hoogten onveranderlijk over onbepaald lange termijn te handhaven.

's-Gravenhage, 15 december 1958.
Het Hoofd van de Hydrometrische
Afdeling
De Hoofdingenieur "A",

P. J. Wemelsfelder

(ir. P.J. Wemelsfelder).

circularen en parafieren

AB

35
24/12-58

P.B.
M.

M.R.

AB

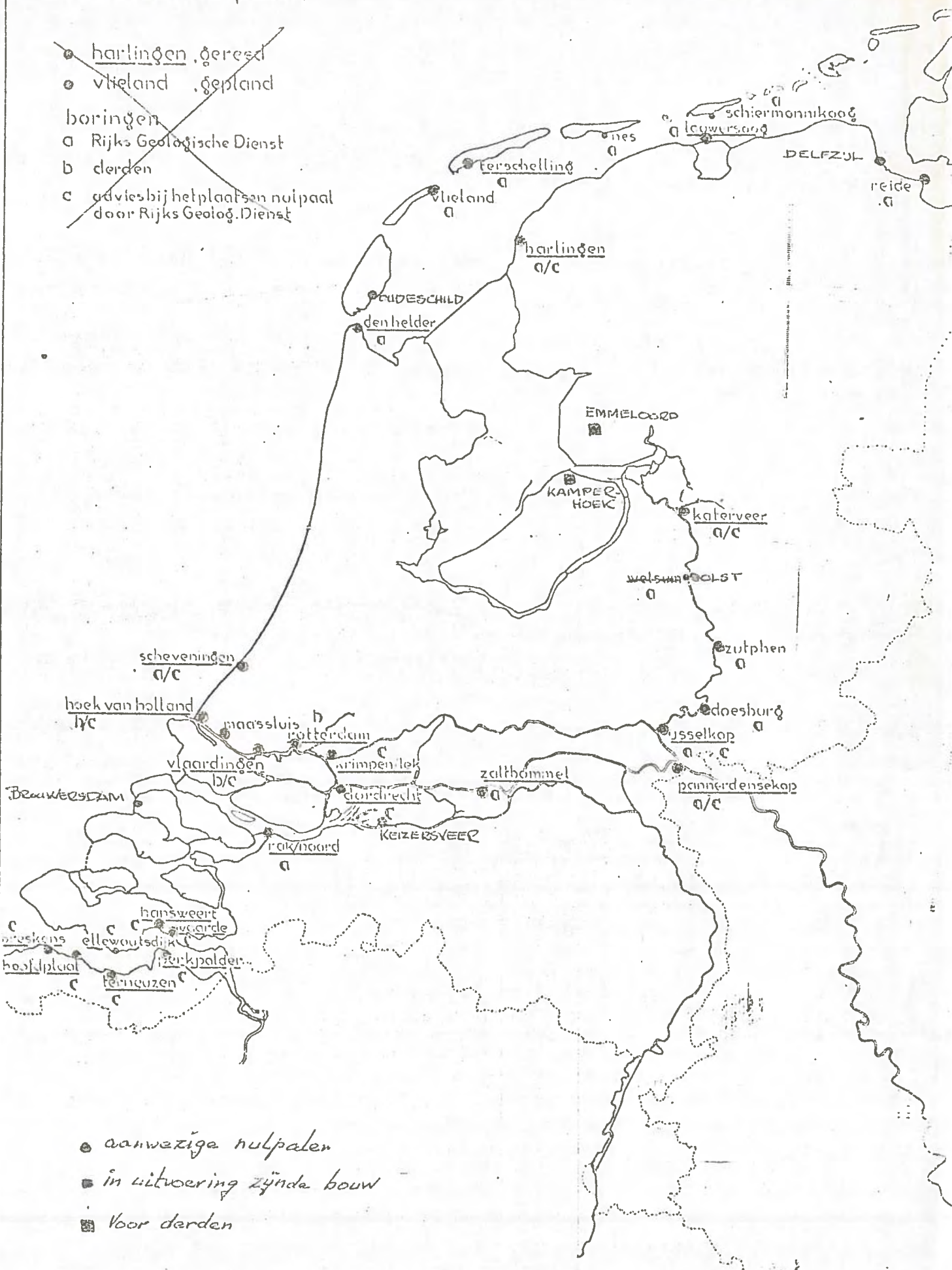
2
#

nov. 76.

fig.

overzicht nulpalen

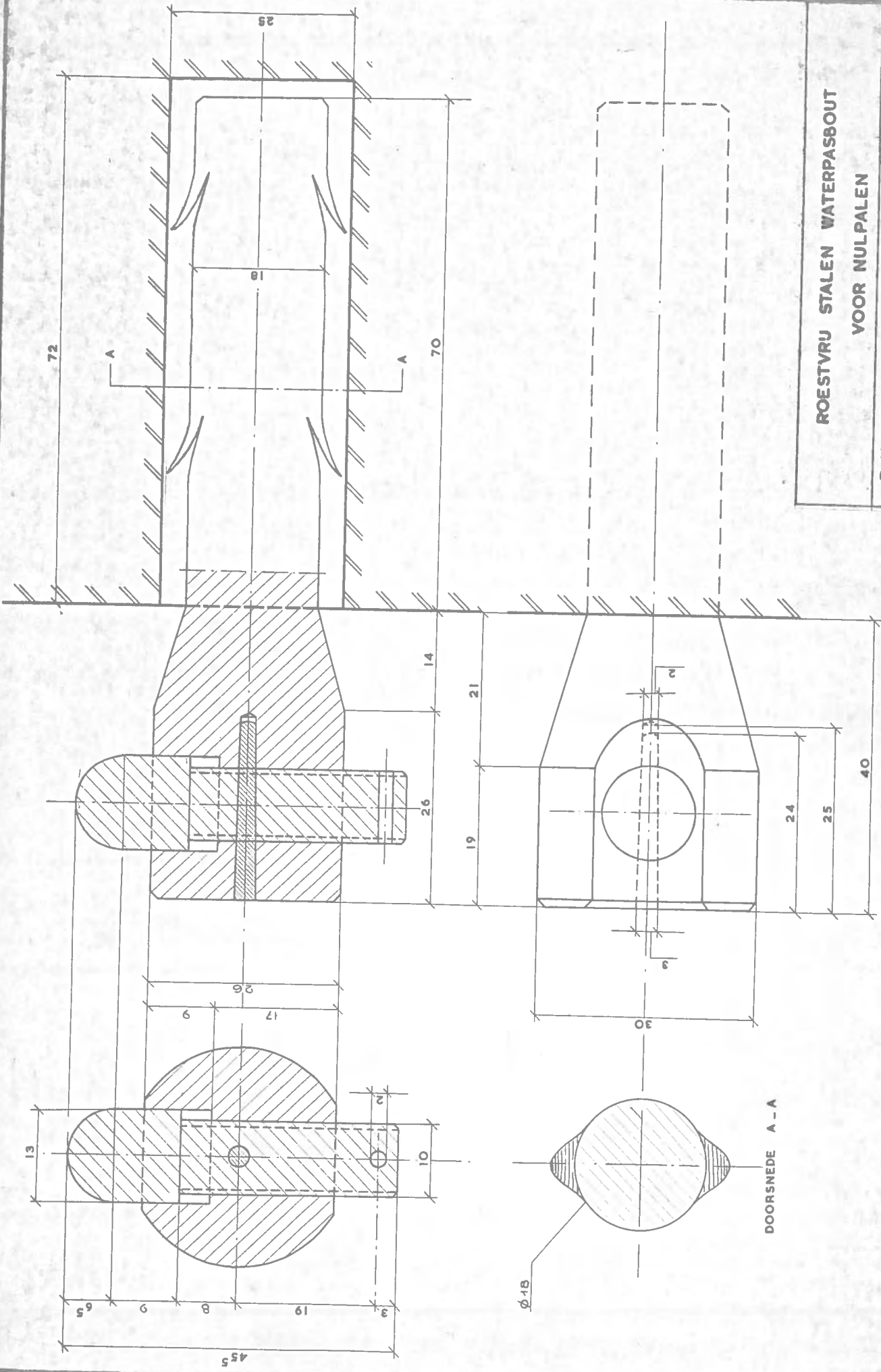
- ~~• harlingen, oeresd~~
- ~~• vlieland, gepland~~
- ~~boringen~~
 - ~~a Rijks Geologische Dienst~~
 - ~~b derden~~
 - ~~c advies bij het plaatsen nulpaal door Rijks Geolog. Dienst~~



- aanwezige nulpalen
- in uitvoering zijnde bouw
- voor derden

3-11-76

A1.72.61

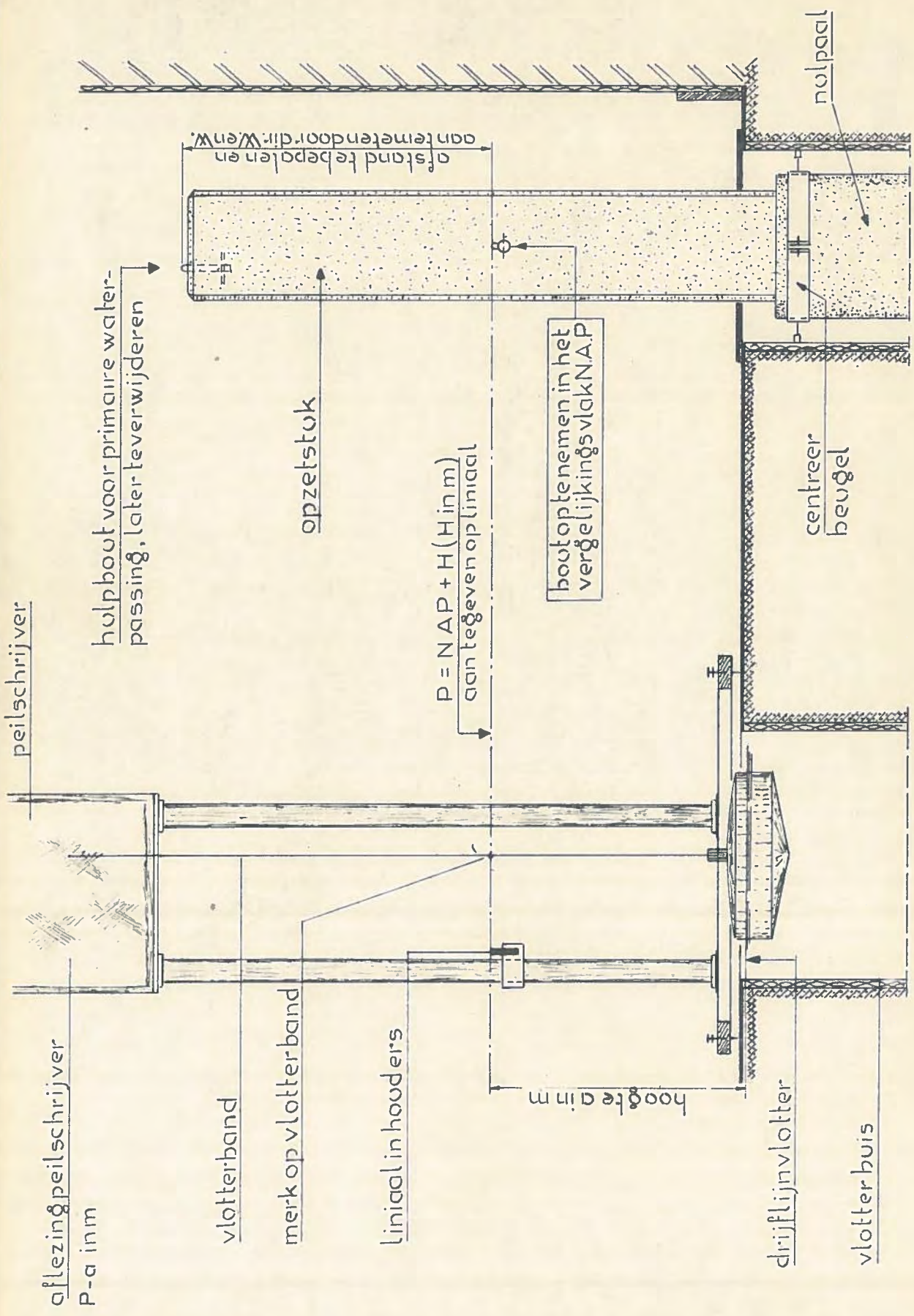


ROESTVRIJ STAAL WATERPASBOUT
VOOR NULPALEN

RUKSWATERSTAAT
DIR. WATERHOUWING EN WATERBEWEGING
Hydrometrische afdeling
SCHEFFERSDE 25 DEN HAAG TEL. 070-433980

SCHAAL 2:1

OPGEGEVEN	GETEKEND	DATUM	BLZ.	Nº
	<i>M</i>	26-10-52	2	63.178



handhaving nulpunt A169.100

stations, goed gefundeerd, geen nulpaal, toestel met r.v.s.vlotterband, verificatie volgens de inhang methode

fig.

station	waterpasboot		eventuele hulpbout		liniaal hoogte	meet bereik instrument
	plaats	hoogte	plaats	hoogte		
bath *			b.k. meetpaal	+8.60		+4.900/6.900
cadzand *			b.k. vlotterbuis	+8.71		+4.900/6.900
kats	in getijschr. ruimte links van de inhang		boutje b.k. vlotterbuis			+5.400
rak/zuid	in getijschr. huisje in muur tegenover de inhang				+6.000	+5.400
krammer	in getijschr. ruimte in muur rechts v/d inhang		boutje b.k. vlotterbuis	+5.04 '71		+5.400
orevelingen *	in peil meetruimte in muur tegenover de inhang		boutje b.k. vlotterbuis	+5.14 '71		+5.400
brouwershaven	in peilschr. huisje in muur links bezijden peilschr.					+5.400
oudorp						+5.400
hellevoetslois						+5.900
katwijk *			b.k. vlotterbuis	+10.70		+5.400
aostoever						+5.900
heel/bov. *	Rb/011 in 14e meerstoel in boventoeleiding kan.	+23.557 '71	boutje insparing vlotterbuis	+23.125 '71		+25.400
heel/ben. *	Rb/010 in 9e meerstoel in beneden toeleiding kan.	+20.760 '71	boutje b.k. vlotterbuis	+20.514 '71		+19.400/21.400
lith						+6.900/8.900
hedel						+6.900
heesbeen						+6.400
mond der donge						+6.400
maerdijk	buiten getijschr. huisje in muur links v/d inhang					+6.400
geertruidenberg *						+6.400
lobith	in peilschr. huisje in muur tegenover de inhang				+18.500	+14.400/18.400
herwijnen						+7.900
gorinchem						+6.900
werkendam/buit	in getijschr. huisje in muur links v/d getijschr.					+6.900
kop van het land	in getijschr. huisje in muur tegenover de inhang					+6.900
spijkenisse					+5.000	+6.400
sgravendeel	in getijschr. huisje in muur tegenover de inhang					+6.400
willemsdorp	in getijschr. huisje in muur tegenover de inhang					+6.400
driel/bov. *	buiten het peilschr. huisje links van de inhang				+13.900	+12.400/14.400
driel/ben.	in het betonvlak achter de spiltrap		buiten, rechts van de inhang v/d meetruimte		+13.900	+12.400/14.400
amerongen/bov. *					+10.500	+9.400/11.400
amerongen/ben.					+10.500	+9.400/11.400
haagstein/bov. *					+7.800	+6.900/8.900
haagstein/ben.					+7.800	+6.900/8.900
krimpen/ijsel						+5.900
streefkerk	in putje in talud voor getijschr. huisje	+2.3460 hw.p.'67				+6.400
vliissingen	in zijvlak op zetstuk in getijschr. huisje		hulpboutje in kop van het opzetstuk	+7.240 '69	+6.700	+4.900/6.900
bruinisse	in muur rechts v/d inhang in getijschr. huisje					+4.900
zierikzee	buiten getij meetruimte in muur rechts v/d inhang					+5.400

* sels in overbrenging

A 1.72.29

10.7 Nulpalen en bodemdaling

Bodemdalings, veroorzaakt door aardgaswinningen
In de provincie Groningen.

- 1°. Door aardgasonttrekkingen aan diep gelegen zandsteenlagen in de provincie Groningen, zullen op langere termijn aldaar bodemdalingen gaan optreden, waarvan de vermoedelijke omvang en de grootte kunnen worden ontleend aan een daarover door de NAM gepubliceerde nota. De nota verwacht voor het jaar 2050 dalingen aan van ca. 1 m in het centrum van het gasveld, aflopend tot geringe waarde aan de provinciegrenzen. De verwachte dalingen hebben ingrijpende consequenties voor de waterstaatkundige toestand van de provincie o.a. wat betreft de bescherming tegen stormvloed en de ontwatering.
- 2°. Ook voor het peilschaalwezen hebben de bodemdalingen gevolgen. Tot op heden vinden de waarnemingen plaats aan schalen en peilschrijvers, waarvan de nulpunten op NAP worden gesteld aan de hand van hoogtegegevens van peilmerken, rondom de meetpunten gelegen. Nu deze ook aan een zakking zijn onderworpen, moet ten aanzien van de waterstandswaarnemingen een toekomstig beleid worden uitgestippeld.
- 3°. De dalingen van de peilmerken in de provincie Groningen zullen worden gemeten door periodieke waterpassingen vanuit ondergrondse peilmerken in aangrenzende gebieden, waarvoor geen zakking wordt verwacht. De frequentie van deze waterpassingen is gesteld op eens per drie jaar. Uitgezet in grafiekvorm zal in het jaar 2050 een redelijk nauwkeurig overzicht worden verkregen over de zakking als tijdsfunctie voor diverse punten in het zakkingsgebied.
- 4°. Tussen twee waterpassingen in is echter de hoogteligging der peilmerken nabij de peilmeetinrichtingen onvoldoende bekend en alleen te benaderen door een extrapolatie in tijd over een half tot drie en een half jaar. Hierbij is aangenomen, dat er tussen het tijdvak van waterpassen en het tijdstip van bekend worden der hoogtecijfers ca. $\frac{1}{2}$ jaar verloopt. Zou men de peilmeetinrichtingen gelijkstellen aan de aan de waterpassingen ontleende hoogten, dan loopt men met die gelijkstellingen gemiddeld twee jaar achter. Speciaal bij vaste schalen zullen deze verstellingen moeilijk uit te voeren zijn. Als voornaamste bezwaar van deze werkwijze dient echter te worden vermeld, dat in de waarnemingsseries discontinuïteiten optreden. Deze degraderen de waarde der waarnemingen.
- 5°. Leidt men de nulpunten der peilmeetinrichtingen af uit de hoogten der plaatselijke peilmerken, zoals deze voor de bodemdaling zijn toegekend, dan vermijdt men discontinuïteiten. Doordat dan de nulpunten der peilmeetinrichtingen met de bodem dalen, zal men constateren, dat de waterstanden in de zakkingsperiode schijnbaar voortdurend blijven stijgen. De omrekening van de waarnemingen ten opzichte van het NAP-vlak kan echter binnen 4 jaar na waarneming plaatsvinden met een nauwkeurigheid beter dan één hoogte en vrijwel continu. De zo gecorrigeerde waarnemingen zullen voor alle verdere bewerkingen (frequenties van hoog- en laagwaterstanden, gemiddelde zeestand) zonder moeilijkheden met vroegere waarnemingen kunnen worden vergeleken en gebruikt.
- 6°. Komt aldus de genoemde werkwijze in alle opzichten tegemoet aan de verwerkingseisen en het wetenschappelijk gebruik der meetgegevens, de plaatselijke gebruiker van waterstanden zal met de gevolgde methode moeite hebben, door de voortdurende stijging van de standen ten opzichte van de opgaven in de getijtafel.

Zou bij niet verstelde nulpunten de getijtafel van Delfzijl aan de bodemdaling moeten worden aangepast, dan is er bij de berekening reeds een achterstand van een half tot drie en een half jaar ten opzichte van de bodemdalingswaarnemingen. Dit betekent bij een tijdverloop van een tot twee jaar tussen berekening en gebruik der getijtafel, dat over $1\frac{1}{2}$ tot $5\frac{1}{2}$ jaar de bodemdaling moet worden geextrapoleerd. Het is daarom beter niet de getijtafel aan te passen, doch correcties op te geven.

- 7°. Daarom zal de getijtafel voor Delfzijl worden gepubliceerd volgens de oude grondslagen, ten opzichte van het ware NAP-vlak. Aan de opgaven wordt de volgende mededeling toegevoegd (een fictief voorbeeld) :

Terwille van de continuïteit der waarnemingen worden in Groningen de peilschalen en peilschrijvers sinds 1972 niet meer versteld. Door de bodemdalingen ten gevolge van aardgasonttrekkingen in deze provincie moeten daarom aan de hoog- en laagwaterverwachtingen voor de stations in dit gebied in het jaar 1976 de volgende correcties worden toegepast :

	Uit waterpassing 1973		Uit verwachte bodemdaling 1973-1976		Verwachte correctie 1976
Nieuwe Statenzijl	0 cm	+	0 cm	=	0 cm
Fiemel/Reidersluis	+ 1 cm	+	1 cm	= +	2 cm
Termunterzijl	+ 2 cm	+	2 cm	= +	4 cm
Oterdum	+ 5 cm	+	3 cm	= +	8 cm
Delfzijl	+ 8 cm	+	7 cm	= +	15 cm
Eemshaven	+ 5 cm	+	4 cm	= +	9 cm
Noordpolderzijl	+ 3 cm	+	2 cm	= +	5 cm
Lauwersoog	0 cm	+	0 cm	=	0 cm

De correcties bevatten dus een „hard“ cijfer, afgeleid uit de meest recente waterpassing en een extrapolatie op grond van een verwachting. Nieuwe correctiecijfers kunnen zonodig na elke nauwkeurigheidswaterpassing op een los vel aan de belanghebbenden langs Dollart, Eems en Oostelijke Waddenzee worden medegedeeld. Bijkomstig voordeel is, dat de correcties een duidelijk inzicht geven in de reeds opgetreden bodemdaling en dijkskruindaling en zodoende een indruk geven van de veiligheid, die de dijken nog tegen overstroming bieden.

- 8°. Verwachtingen voor de hoog- en laagwaterstanden voor alle stations langs de Groningse kust kunnen nu uit de verwachtingen voor Delfzijl door toepassing van een enkel en uit de laatste nauwkeurigheidswaterpassingen afgeleid correctiecijfer worden afgeleid. De van ouds her bekende betrekkinglijnen voor dit gebied blijven daarbij van kracht.

ir. H. de Jong
17 februari 1973.