40
NNNW 17432

UBER DIE BREITE HYDROLOGISCHER SCHUTZZONEN UM NATURSCHUTZGEBIETE IN MOOREN

Prof.Dr.Ir. W.H. van der Molen

BIBLIOTHEEK L.H.
5 JUNI
ONTV. TIJDSCHR. ADM.

Vakgroep Cultuurtechniek "De Nieuwlanden"
Nieuwe Kanaal 11, Wageningen

Mededeling Vakgroep Cultuurtechniek no. 40, oktober 1981

TELMA	Band 11	Seite 213–220	3 Abb.	Hannover, Oktober 1981

Über die Breite hydrologischer Schutzzonen um Naturschutzgebiete in Mooren *)

Width of Hydrological Buffer Zones Around Peatland Reserves

WIEBE HENDERIKUS van der MOLEN **)

ZUSAMMENFASSUNG

Die Abmessungen hydrologischer Schutzgürtel, die notwendig sind, um unter Naturschutz stehende Hochmoor-Teilgebiete auf Dauer feucht zu halten, werden nach verschiedenen Methoden berechnet. Kritisch ist der instationäre Wasserabfluß aus den geschützten Moorteilen während des Sommers. Zur Berechnung der Breite der erforderlichen Pufferzonen wird eine einfache Methode vorgeschlagen.

SUMMARY

The dimensions of hydrological buffer zones needed to keep peatland reserves in a permanently wet state are calculated according to different methods. Critical is the non-steady outflow of water from the peatland reserve during the summer. A simple method is proposed to calculate the required width of buffer zones.

---

*) Aus dem Englischen übersetzt von Dipl.-Chem.Renate SCHNEIDER, Hedwigstr. 18, D-3000 Hannover 1

**) Anschrift des Verfassers: Prof.Dr.W.H. van der MOLEN, Landbouwhogeschool "De Nieuwlanden", Vakgroep Cultuurtechniek, Nieuwe Kanaal 11, Wageningen/Niederlande

EINLEITUNG

In den Niederlanden und im nördlichen Teil Deutschlands sind die meisten der ursprünglich ausgedehnten Moorflächen für landwirtschaftliche Zwecke kultiviert oder von der Torfindustrie abgebaut worden. In den Niederlanden wurden die Hochmoore überwiegend nach der Abtorfung durch Rigolen in landwirtschaftliche Flächen umgewandelt (Holländische Fehnkulturen), in Deutschland dagegen sind sie oft direkt kultiviert worden (Deutsche Hochmoorkulturen). Gegenwärtig gibt es nur noch einige verstreut liegende Hochmoorreste; keiner davon ist völlig ungestört. Die ursprüngliche torfbildende Sphagnumvegetation ist daher fast vollständig verschwunden.

Es werden derzeit Versuche unternommen, gestörte Hochmoor-Reste zu regenerieren in der Absicht, sowohl die ursprüngliche Vegetation wieder anzusiedeln als auch die damit verknüpfte erneute Torfbildung einzuleiten. Versuche im kleinen Maßstab haben gezeigt, daß dies möglich ist, vorausgesetzt, daß alle Gräben und Schlitze mehrfach abgedichtet werden. Da die Moorschutzgebiete oft klein sind (meist weniger als 1 km^2), können beträchtliche Wasserverluste zur tieferliegenden Umgebung hin eintreten, entweder durch den Torf selbst hindurch oder durch die darunter liegenden Schichten.

Überwiegend besteht der Untergrund der Hochmoore in diesem Gebiet aus mächtigen Schichten von pleistozänen Sanden, die einen ausgedehnten Aquifer mit hoher Transmissibilität bilden (oft mehr als 2 000 m^2/Tag). Die unteren Torfschichten sind dagegen fast undurchlässig, besonders die Basistorfschicht über dem Sanduntergrund. Die Wasserverluste durch Versickerung zum sandigen Aquifer sind daher praktisch gleich Null.

Nicht zu vernachlässigen sind dagegen die Verluste infolge des Grundwasserstromes durch die oberen durchlässigen Schichten des Moorkörpers. Die von der Torfindustrie abgetorfte Umgebung liegt meist einige Meter tiefer als der erforderliche Wasserstand in dem Schutzgebiet, der während des ganzen Jahres nahe der Mooroberfläche liegen sollte. Um diese Verluste zu verringern, ist eine Pufferzone um das Naturschutzgebiet herum erforderlich. Wenn diese Pufferzone für ein Sphagnumwachstum auch zu trocken sein mag, wird sie doch als hydrologischer und biologischer Schutz fungieren.

HYDROLOGISCHE VERHÄLTNISSE

Ein typisches Torfprofil (EGGELSMANN, 1980) hat folgenden Aufbau:

1. Jüngerer Sphagnumtorf mit niedrigem Zersetzungsgrad (H 2-4 nach der von POSTschen Skala) und ziemlich hoher hydraulischer Leitfähigkeit.
2. Älterer Sphagnumtorf, der sich im mittleren Holozän gebildet hat, mit höherem Zersetzungsgrad (H 6-7) und einer hydraulischen Leitfähigkeit, die mindestens um eine Zehnerpotenz niedriger liegt.

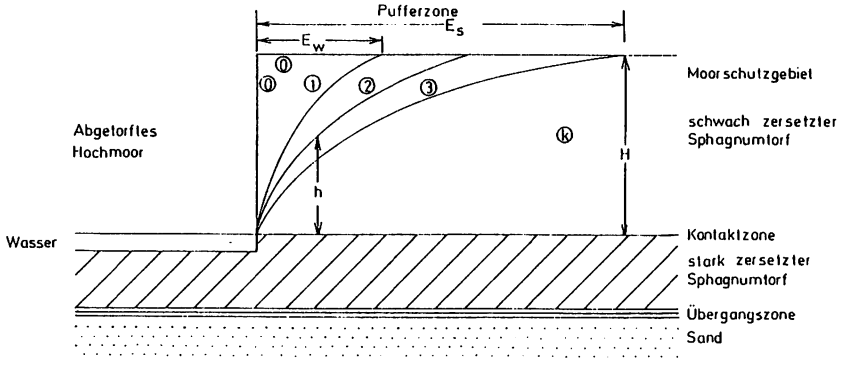

Abb. 1

Hydrologische Profile - Hydrological profiles

Es bedeuten:

0 = Vollständige Sättigung - Complete saturation
1 = Mittlere Winterbedingungen - Average winter conditions
2 = Zustand in der Mitte des Sommers - Intermediate summer stage
3 = Wasserstand gegen Ende des Sommers - Water table at end of summer

3. Die Übergangszone zwischen Torf von sehr hohem Zersetzungsgrad (H 8-10) und mineralischem Untergrund (meistens Sand), die sich durch Infiltration von kolloidalem Humus in den mineralischen Untergrund gebildet hat, ist nahezu undurchlässig. Sie isoliert das Grundwasser im Moorkörper wirksam gegen den darunterliegenden pleistozänen Aquifer.

Hydrologisch kann ein solches Profil durch eine durchlässige Schicht (den jüngeren Sphagnumtorf) von der Höhe H dargestellt werden, die von einem undurchlässigen Unterboden (dem älteren Sphagnumtorf und der Sohlschicht) unterlagert ist. Ob der Grundwasserstand der Umgebung in der Höhe des Kontaktes dieser beiden Schichten liegt oder tiefer, ist unerheblich. In beiden Fällen wird Wasser aus der Kontaktzone über eine schmale Zone von nur wenigen Zentimetern Stärke heraussickern. Dieser Wasseraustritt kann oft an frisch angeschnittenen Stichwänden beobachtet werden. Unsere Überlegungen sollen sich auf den Fall der "freien Entwässerung" beschränken und die günstigere Situation, in der der Grundwasserspiegel der Umgebung oberhalb dieser Kontaktzone liegt, nicht einschließen.

BREITE EINER PUFFERZONE

Zur Berechnung der Breite einer hydrologischen Pufferzone hat EGGELSMANN (1977) folgende empirische Formel vorgeschlagen:

$$E = 200 \cdot H \cdot k \qquad (1)$$

Darin bedeuten:
E = Breite der Pufferzone (m)
H = Differenz der Wasserstände (in unserem Fall gleich der Höhe der durchlässigen Schicht) (m)
k = hydraulische Leitfähigkeit (m/d).

In dieser Arbeit werden einige theoretische Formeln abgeleitet, und zwar sowohl für stationäre als auch für nicht stationäre Bedingungen.

GLEICHUNGEN FÜR STATIONÄRE BEDINGUNGEN

Für stationäre Bedingungen wird die infolge Überwiegens der Niederschläge über die Verdunstung eintretende Rücklage R (m/d) für die Pufferzone als konstant angenommen. In dem geschützten Moorteil selbst wird dieser Überschuß zur Wassersättigung und zum Oberflächenabfluß führen. Als Grenzfall nehmen wir an, daß der Oberflächenabfluß die Grundwasserverhältnisse in der Pufferzone nicht beeinflußt, da er auf einige wenige Stellen konzentriert ist. Unter den klimatischen Verhältnissen des betrachteten Gebietes beträgt die jährliche Abflußhöhe von Mooren - sowohl von kultivierten als auch von ursprünglichen - ungefähr 250 mm/a (UHDEN, 1967; EGGELSMANN, 1980). Im Sommer ist die Abflußhöhe sehr gering. Man kann daher annehmen, daß die Rücklage nur im Winter erfolgt. In diesem Fall entspricht das einem Mittelwert von 1.4×10^{-3} m/d während des Winterhalbjahres mit 6 Monaten.

Die Höhe des Wasserstandes in der Pufferzone infolge dieser Rücklage kann nach der Formel für den Zufluß zu Dränen auf einer undurchlässigen Schicht nach ZUNKER-HOOGHOUDT berechnet werden (Abb. 2). In dem Falle wäre die Breite E der Pufferzone gleich dem halben Dränabstand.

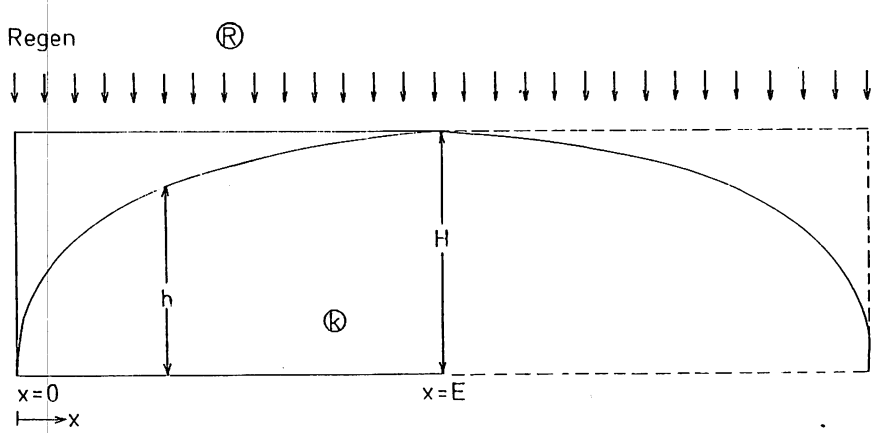

Abb. 2 Stationäre Strömung zu Dränen - Steady-state flow to drains
Die linke Seite stellt die Verhältnisse in der Schutzzone dar
The left-hand side represents conditions in the buffer zone

Es ist $h = \sqrt{R \times (2E - x)/k}$ (m) (2)

darin bedeuten:
- h = Höhe des Wasserstandes über der undurchlässigen Schicht (m)
- H = maximale Höhe am Rande der Pufferzone (m)
- E = Breite der Pufferzone (m)
- R = Rücklage im Winter (m/d)
- x = Abstand vom umgebenden Gebiet (m)
- k = hydraulische Leitfähigkeit (m/d)

An der Grenze zwischen Pufferzone und geschütztem Moorteil ist x = E und h = H. Daraus ergibt sich:

$$H = E \sqrt{R/k} \quad \text{oder} \quad E = H \sqrt{k/R} \text{ (m)} \quad (3)$$

Für die Bedingungen im Winter ist

$$R = 1.4 \times 10^{-3} \text{ (m/d)} \qquad \text{und:}$$

$$E_w = 26.7\ H \sqrt{k} \text{ (m)} \qquad (4)$$

Im Sommer ist R = 0; aus der Gleichung (2) für stationäre Strömung ergibt sich dann überall h = 0. In einem Gebiet von der Größe Unendlich ist die Zeit bis zur Erreichung dieses Zustandes ebenfalls gleich Unendlich. Auch in praxisnäheren Fällen ist es unwahrscheinlich, daß dieser Zustand bis zum Ende des Sommers voll oder auch nur annähernd erreicht wird. Die Gleichung (2) für stationäre Bedingungen ist daher zur Beschreibung der Verhältnisse im Sommer unbefriedigend.

GLEICHUNGEN FÜR INSTATIONÄRE BEDINGUNGEN

Wenn wir annehmen, daß im Frühjahr sowohl der geschützte Moorteil als auch die Pufferzone durch die Niederschläge im Winter vollkommen wassergesättigt sind (Zustand "0" in Abb. 1), und daß im Sommer keine Rücklage erfolgt, kann für das Absinken des Grundwasserstandes eine instationäre Gleichung aufgestellt werden. Diese Lösung beruht auf dem Abfluß des gespeicherten Wassers aus einer wasserführenden Schicht von der Höhe h, wobei sich, wie in Abb. 1 mit den Zuständen 1 bis 3 angedeutet, in diesem Falle h sowohl mit der Lage als auch mit der Zeit ändert.

Wir setzen willkürlich voraus, daß zu Ende des Sommers (Zustand 3) der Wasserspiegel an der Grenze zwischen Schutzgebiet und Pufferzone um nicht mehr als 5% der Höhe der durchlässigen Schicht abgesunken sein darf.
Unter Anwendung der Voraussetzung von DUPUIT wird dieses Problem der instationären Strömung eindimensional. In diesem Fall ist folgende partielle Differentialgleichung maßgebend:

$$\frac{k}{\mu} \frac{\delta}{\delta x} \left(h \frac{\delta h}{\delta x}\right) = \frac{\delta h}{\delta t} \qquad (5)$$

Darin bedeuten:
- μ = Speicherkoeffizient (-);
- t = Zeit (Tage)

Die Bedingungen sind:

$x = 0$	$t > 0$	$h = 0$
$x > 0$	$t = 0$	$h = H$
$x \rightarrow \infty$	t = endlich	$h = H$

Bei Umformung nach BOLZMANN mit

$$\phi = \frac{x\sqrt{\mu}}{\sqrt{kHt}}$$

als neue Variable und Substitution von y = h/H ergibt sich die nicht-lineare Differentialgleichung:

$$-\phi/2 = \frac{d}{dy}\left(y\frac{dy}{d\phi}\right) \qquad (6)$$

mit

$$\phi = 0 \quad y = 0$$
$$\phi = \infty \quad y = 1$$

Diese Gleichung kann durch Anwendung des von PHILIP (1955) vorgeschlagenen Iterationsverfahrens numerisch gelöst werden. Mit Hilfe eines programmierbaren Taschenrechners kann dies Verfahren leicht ausgeführt werden. Die sich ergebende Modell-Kurve (y gegen ϕ) ist in Abb. 3, gestrichelte Kurve, dargestellt.

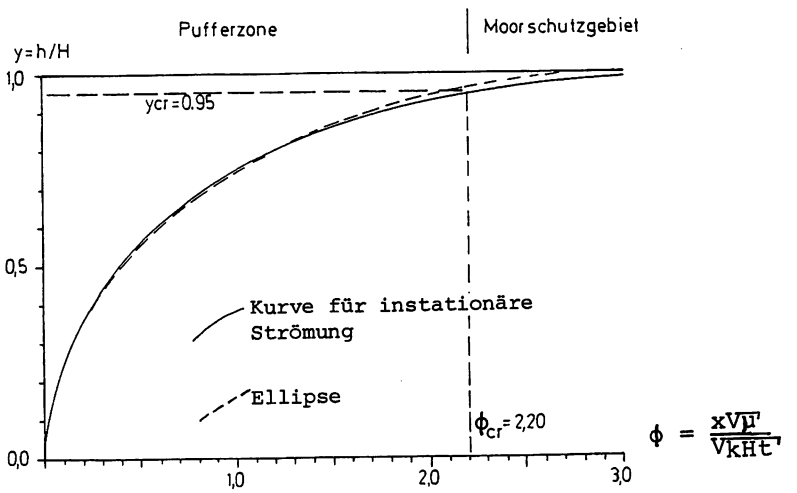

Abb. 3
Typische Kurve für instationäre Strömung im Vergleich mit einer Ellipse
Type-curve for non-steady outflow in comparison with an ellipse

Da wir vorausgesetzt hatten, daß das Absinken des Wasserspiegels an der Grenze zwischen Schutzgebiet und Pufferzone 5% der Schichthöhe H nicht überschreiten darf, haben wir, wie ersichtlich, als Kriterium

$$y_{cr} = 0.95$$

Nach der typischen Kurve (Abb. 3) entspricht dies

$$\phi_{cr} = \frac{E_s\sqrt{\mu}}{\sqrt{kHt}} = 2.20 \qquad (7)$$

Die Breite der Pufferzone, die den Erfordernissen im Sommer genügt, ergibt sich aus:

$$E_s = \frac{2.20 \sqrt{kHt}}{\sqrt{\mu}} \qquad (8)$$

Bei Einsetzen der typischen Werte $k = 1$ m/d, $H = 2$ m, $t = 180$d, $\mu = 0.10$ ergibt sich

$$E_s = 132 \text{ m.}$$

Dies ist wesentlich mehr als der Wert für den Winter mit

$$E_w = 53 \text{m,}$$

der aus der Gleichung (4) errechnet worden ist.

EINFLUSS DER AUSGANGSBEDINGUNGEN

Bei der dargelegten Methode wird angenommen, daß der gesamte Moorkörper (die Pufferzone eingeschlossen) im Frühjahr wassergesättigt ist (Linie 0 in Abb. 1). In der Pufferzone werden die Verhältnisse im Frühjahr jedoch mehr dem stationären Zustand im Winter (Kurve 1 in Abb. 1) entsprechen. Letzterer ist durch einen elliptischen Verlauf des Wasserstandes gekennzeichnet, mit der halben Hauptachse

$$E_w = H \sqrt{k/R}.$$

Die typische Kurve für instationäre Verhältnisse ähnelt sehr einer Ellipse mit der halben Hauptachse $\phi = 3{,}0$ (Abb. 3, gestrichelte Kurve). Daher sind die "stationären Winterbedingungen" fast gleich dem instationären Zustand, der nach der Zeit von t_x Tagen von vollständiger Sättigung abweicht, so daß $\phi = 3{,}0$ ist. Es ist also

$$\phi = \frac{E_w \sqrt{\mu}}{\sqrt{kHt_x}} = 3$$

oder

$$t_x = \frac{\mu E_w^2}{9 kH}$$

oder nach Einsetzen von $E_w = H \sqrt{k/R}$

$$t_x = \frac{\mu H}{9R} \qquad (9)$$

Wenn man nun wieder die typischen Werte $\mu = 0.10$, $H = 2$ m, $R = 1{,}4 \times 10^{-3}$ m/d einsetzt, finden wir:

$$t_x \simeq 16 \text{ Tage.}$$

Das bedeutet, daß das Grundwasser, das aus dem anfangs gesättigten Torf herausfließt, die mittleren Winterbedingungen nach etwa 16 Tagen erreicht hat. Dieser Wert t_x sollte zu der Länge der trockenen Periode t hinzugerechnet werden, um die Höhe des Wasserstandes am Ende des Sommers korrekt voraussagen zu können.

Die erforderliche Breite der Pufferzone wird dann schließlich:

$$E_s = \frac{2.20 \sqrt{kH(t + \mu H/9R)}}{\sqrt{\mu}} \qquad (10)$$

Mit den oben erwähnten Werten ergibt sich nun für $E_s = 138$ m.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

1. Die Breite hydrologischer Pufferzonen um unter Naturschutz stehenden Moorteilgebieten in den Niederlanden und in Norddeutschland kann aus der instationären Strömung während des Sommers errechnet werden. Für diese Berechnung führt das bequeme Iterationsverfahren nach PHILIP zu einfachen Lösungen.

2. Im Winter werden große Teile der Pufferzone, die im Sommer zum Schutz des geschützten Gebietes erforderlich ist, sich mit Wasser sättigen ($E_w \ll E_s$).

3. Die einfache Gleichung (8) ist für die meisten praktischen Fälle genau genug. Falls erwünscht, kann die Gleichung (10), die etwas höhere Werte ergibt, angewendet werden.

LITERATUR

EGGELSMANN, R. (1977): Bodenhydrologie und Moorschutz. - Mitt. Deutsch. Bodenkundl. Ges., 25, S. 705-708; Göttingen.

EGGELSMANN, R. u. SCHUCH, M. (1980): Moorhydrologie. - In: Göttlich, Kh. "Moor- und Torfkunde", 2. Aufl., S. 210-223; Verl. Schweizerbart, Stuttgart.

PHILIP, J.R. (1955): Numerical solution of equations of the diffusion type with diffusivity concentration-dependent. - Trans. Farad. Soc, 51, S. 885-892; London.

UHDEN, O. (1967): Niederschlags- und Abflußbeobachtungen auf unberührten, vorentwässerten und kultivierten Teilen eines nordwestdeutschen Hochmoores, der Esterweger Dose am Küstenkanal bei Papenburg. - Schriftenreihe des Kuratoriums für Kulturbauwesen, H. 15, S. 7 - 99; Verl. Wasser und Boden, Hamburg.

LIJST VAN VERSCHENEN MEDEDELINGEN

N.B.
De volgende nummers uit de serie Mededelingen van de Vakgroep Cultuurtechniek zijn niet meer in voorraad: 1, 6, 8, 11, 17, 18 en 25.

In de serie Mededelingen van de Vakgroep Cultuurtechniek verschenen tot nu toe:

no. 1* Ir. K.S. Voetberg
Verbetering van kattekleigronden, augustus 1969

no. 2* Ir. R.W.R. Koopmans
De bepaling van de verdamping met behulp van nomogrammen, augustus 1969.

no. 3* Ir. R.J. Sevenhuysen
Blotting paper models simulating groundwater flow, juli 1970.

no. 4* L.W. Walgemoed
Exploitatie Sport- en recreatieobjecten, december 1969.

no. 5* Ir. K.S. Voetberg
Aspecten van bodembescherming en erosiebestrijding in enkele landen om de Middellandse Zee, december 1970.

no. 6 Ir. M.J. Scheele
Inleiding in de mathematische benadering van oppervlakte afstroming, januari 1971.

no. 7 Ir. C.F. Jaarsma
Verslag van de pompproeven van de afdeling cultuurtechniek in het Hupselse Beekgebied, januari 1971.

no. 8* Ir. K.S. Voetberg en K. Rijniersce
Berekening van de maaiveldsdaling, januari 1974.

no. 9 Prof.Dr. K. Schäfer
Der Beitrag der Landwirtschaft zur räumlichen Entwicklung, augustus 1974.

no. 10* Ir. C.F. Jaarsma en Ir. J.L.M. van der Voet
Het gebruik van de Friese Meren route van de ANWB (verkeersonderzoek in Z.W. Friesland in de zomer van 1973), oktober 1974.

no. 11* J. Elsinga en Ir. G.A. Sparenburg
Ontwikkelingen in het grondgebruik in het overgangsgebied tussen stad en platteland, in het bijzonder met betrekking tot de landbouw, maart 1975.

no. 12 Dr. R.W.R. Koopmans en Ir. G.J.R. Soer
Numerieke oplossingen voor stationaire tweedimensionale grondwaterstromingen, maart 1975.

no. 13 Ir. G.A. Sparenburg
Publikatie in voorbereiding.

no. 14 Dr. R.W.R. Koopmans en Ir. G.J.R. Soer
Numerieke oplossingen voor niet-stationaire tweedimensionale grondwaterstromingen met een vrije waterspiegel, oktober 1975.

no. 15 Ir. C.F. Jaarsma en Ing. S. Oosterhaven
Verslag van de wegenenquêtes in Z.W. Friesland. Uitkomsten per telpunt, oktober 1975.

no. 16 J.J. Verweij
Oorzaken van verminderde afvoer en het droogvallen van de Renkumse beken, december 1975.

no. 17 Ir. C.F. Jaarsma
Verslag van het verkeersonderzoek in de Wieringermeer in de jaren 1971 en 1972, december 1975.

no. 18 T.P. Koeman
Onderzoek naar de relatie tussen weersomstandigheden en verkeersintensiteiten in Z.W. Friesland met behulp van meervoudige regressieanalyse, januari 1976.

no. 19 Ir. S. Middelkamp
Landinrichting in Zuid-Duitsland. Ruimtelijke ordening in het landelijk gebied, ruilverkaveling van landbouwgronden en wijnbouwgronden en gebruik van "Grenzertragsboden" in Bayern en Baden-Württemberg, maart 1976.

no. 20* Ir. C.F. Jaarsma
Gemiddelde voertuigbezetting in Z.W. Friesland in 1973, april 1976.

no. 21 W.P. Spaan
Beschrijving van erosiemeetapparatuur, december 1976.

no. 22 H.B. Wind
De verkeersproduktie van kampeerterreinen, mei 1977.

no. 23 P.W.B. Verheul
Ontwikkeling van een methodiek voor het inschatten van ontbrekende etmaalintensiteiten, met behulp van metingen op andere verkeerstelpunten, toegepast door Z.W. Friesland, oktober 1977.

no. 24 Ir. C.F. Jaarsma
Methodiek van de huis-en bedrijfsenquêtes in Z.W. Friesland. Uitkomsten karakteristieken van geënquêteerde huishoudens, personen en bedrijven, december 1977.

no. 25* Dr.Ir. J.W. de Zeeuw
Peat and the Dutch Golden Age, mei 1978.

no. 26 F.J. Minnaard
Ritproduktie en ritkarakteristieken, verkenning op basis van huisenquêtes. Vergelijking van enkele Nederlandse verkeersonderzoeken met de uitkomsten van een huisenquête in Z.W. Friesland, januari 1978.

no. 27 Ir. S. van der Schaaf
Geautomatiseerde verwerking van grondwaterstandswaarnemingen, mei 1978.

no. 28 Ir. C.F. Jaarsma en Ing. S. Oosterhaven
Verslag van de wegenquêtes in Z.W. Friesland: analyse en vergelijking van de telpunten, juli 1978.

no. 29 J.C.M. Schoenmakers
Indeling van wegvakken in landelijke gebieden op basis van analyse van gemiddelde verkeersintensiteiten per etmaal, december 1978.

no. 30 Ir. C.F. Jaarsma
Verslag van de intensiteitstellingen in Z.W. Friesland, 1972-1976, december 1978.

no. 31 Ir. S. van der Schaaf, Ir. J.M. Schouwenaars en Ing. W.P. Spaan
Excursieverslag Ierland, februari 1979.

no. 32 A.C. Distel
De vervoerswijzekeuze (modal split) in het recreatieverkeer, september 1979.

no. 33 C. Groenewoud en B. Hermans
Landinrichting en ruimtelijke ordening in Zwitserland, februari 1980.

no. 34 Dr.Ir. J.W. de Zeeuw
Commoditeitenkunde, juni 1980.

no. 35 Ir. C.F. Jaarsma en Ir. Th. Michels
Opzet, uitvoering en verwerking van wegenquêtes in Midden-Brabant, november 1980.

no. 36 W.P. Koppe
De berekening van kortste en op N- na kortste paden in een wegennetwerk. Computerberekening ten behoeve van een verkeers- en vervoersmodel, november 1980.

no. 37 Ir. J.M.Schouwenaars
Enkele aspecten van natuurbouw in de Bondsrepubliek Duitsland en in Zwitserland, november 1980.

no. 38 P.C.M. Brussel
Cultuurtechnisch beheer; een onderzoek naar het beheer en het gebruik van de cultuurtechnische inrichting in landelijke gebieden, mei 1981.

no. 39 Nico van Doorn & Ton Geraedts
An alternative approach to improve farming in the West of Ireland; involving groups of farmers and combining improvements, May 1981.

no. 40* W.H. van der Molen
Uber die Breite hydrologischer Schutzzonen um Naturschutzgebiete im Mooren.

* Deze mededelingen zijn overdrukken van eerder verschenen publikaties. (re-prints)