

32/446(238) 2e ex.

**BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW**

**Vergelijking van de uitspoeling berekend met de modellen
TRANSOL en PESTLA**

**J.G. Kroes
J.J.T.I. Boesten**

Rapport 238

DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1993

01 APR. 1993



18n571695^{ok}

REFERAAT

Kroes, J.G. en J.J.T.I. Boesten, 1992. *Vergelijking van de uitspoeling berekend met de modellen TRANSOL en PESTLA*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 238; 40 blz.; 9 fig.; 4 tab.; 12 ref.; 2 aanh..

De simulatiemodellen TRANSOL en PESTLA zijn onderling vergeleken. Met beide modellen zijn simulaties uitgevoerd voor een standaard-situatie. Vergelijking van de waterhuishouding vertoonde een goede overeenkomst. De stofhuishouding is vergeleken bij verschillende combinaties van sorptiecoëfficiënt en omzettingssnelheid. De uitspoeling over het vlak van 1 m beneden maaiveld gaf vrijwel identieke resultaten bij uitspoelingspercentages groter dan 1 % van de dosering. Bij lagere uitspoelingspercentages (0,01 - 1 %) berekent TRANSOL in het algemeen meer uitspoeling dan PESTLA, waarbij het verschil maximaal een factor 2 bedraagt. Een vergelijking van de maximale concentratie in de laag van 1 tot 2 m beneden maaiveld resulteerde in een goede overeenkomst van de resultaten van beide modellen.

Trefwoorden: simulatiemodel, TRANSOL, PESTLA, uitspoeling, pesticide.

ISSN 0927-4499

©1993 DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO)
Postbus 125, 6700 AC Wageningen
Tel.: 08370-74200; telefax: 08370-24812; telex: 75230 VISI-NL

DLO-Staring Centrum is een voortzetting van: het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW), het Instituut voor Onderzoek van Bestrijdingsmiddelen, afd. Milieu (IOB), de Afd. Landschapsbouw van het Rijksinstituut voor Onderzoek in de Bos- en Landschapsbouw "De Dorschkamp" (LB), en de Stichting voor Bodemkartering (STIBOKA).

DLO-Staring Centrum aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Niets uit deze uitgave mag worden veeveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO-Staring Centrum.

INHOUD

	Blz.
WOORD VOORAF	7
SAMENVATTING	9
1 INLEIDING	11
2 VERGELIJKING VAN DE MODELFORMULERINGEN	13
2.1 De modellen	13
2.2 Transport van water en opgeloste stoffen	15
2.3 Omzettingsprocessen	15
3 SIMULATIES MET DE INVOERGEGEVENS VAN DE CTB	17
3.1 Waterhuishouding	17
3.2 Stoffenhuishouding	18
3.3 Rekening	23
4 DISCUSSIE	27
5 CONCLUSIES	31
LITERATUUR	33
AANHANGSELS	
1 Invoer-gegevens voor een TRANSOL-simulatie met de CTB-dataset	35
2 Resultaten van TRANSOL voor 168 combinaties van H_{ref} en K_{om}	37
FIGUREN	
1 Schematisering van de water- en stofstroming in PESTLA en TRANSOL	14
2 De factor voor invloed van de diepte op de omzettingssnelheid; voor de modellen TRANSOL en PESTLA	18
3 Het temperatuursverloop in de tijd op 4 dieptes, zoals ingevoerd en gesimuleerd in de modellen PESTLA en TRANSOL	19
4 Het verloop in de tijd van de factor voor temperatuursinvloed op 4 dieptes, gesimuleerd door de modellen TRANSOL en PESTLA	20
5 Concentratieprofielen op 3 tijdstippen gesimuleerd met TRANSOL en PESTLA bij een halfwaardetijd van 60 dagen en een sorptiecoëfficiënt van $60 \text{ dm}^3/\text{kg}$	22
6 De maximale concentratie in de laag 1-2 m beneden maaiveld bij verschillende combinaties van halfwaardetijd en sorptiecoëfficiënt	23
7 Het uitspoelingspercentage (% van de dosering) over het vlak van 1 meter beneden maaiveld bij verschillende combinaties van halfwaardetijd en sorptiecoëfficiënt	24

8	Vergelijking van de maximale concentraties gesimuleerd door de modellen TRANSOL en PESTLA, in de laag 1 - 2 meter beneden maaiveld bij verschillende combinaties van halfwaardetijd en sorptiecoëfficiënt	24
9	Vergelijking van het uitspoelingspercentage (% van dosering) gesimuleerd door de modellen TRANSOL en PESTLA bij verschillende combinaties van halfwaardetijd en sorptiecoëfficiënt	25

TABELLEN

1	Waterbalans (mm/jaar) over de laag van 0-1 m - mv. van PESTLA en SWATRE/TRANSOL	17
2	Stofbalans (in % van toediening) van PESTLA en TRANSOL na 1 jaar simuleren; de balans is opgesteld voor de laag van 0-1 m - mv.	21
3	Resultaten van TRANSOL verkregen door de amplitude van het sinusmodel te variëren bij een halfwaardetijd van 60 dagen en een sorptiecoëfficiënt van $60 \text{ dm}^3/\text{kg}$	27
4	Resultaten van simulaties met PESTLA en TRANSOL voor een bestrijdingsmiddel met geringe omzetting ($H_{\text{ref}}=200 \text{ d}$) en hoge sorptie ($K_{\text{om}}=200 \text{ dm}^3/\text{kg}$)	29

WOORD VOORAF

DLO-Staring Centrum heeft in de loop van een aantal jaren de simulatiemodellen PESTLA en TRANSOL ontwikkeld, waarmee de uitspoeling van bestrijdingsmiddelen kan worden gekwantificeerd. Voor een aantal projecten van DLO-Staring Centrum bestaat de wens om het model TRANSOL als alternatief voor PESTLA te gebruiken omdat het beter te koppelen is aan bestaande hydrologische modellen. Dit vormde de aanleiding om PESTLA en TRANSOL te vergelijken.

Dit rapport is het verslag van de vergelijking van de modellen PESTLA en TRANSOL.

SAMENVATTING

De dynamische simulatiemodellen TRANSOL en PESTLA zijn onderling vergeleken, omdat er behoefte is aan een model dat de uitspoeling van bestrijdingsmiddelen naar grond- en oppervlaktewater kan simuleren. Met het model TRANSOL is dit mogelijk, met PESTLA niet. PESTLA simuleert de uitspoeling naar het grondwater en is door de CTB (Commissie Toelating Bestrijdingsmiddelen) gebruikt voor een standaard-situatie. Voor de vergelijking van de modellen is deze standaard-situatie met beide modellen gesimuleerd.

In eerste instantie is de gesimuleerde waterhuishouding vergeleken, die een goede overeenkomst vertoonde.

Vervolgens is de stofhuishouding vergeleken bij verschillende combinaties van sorptiecoëfficiënt en omzettingssnelheid. Voor één combinatie is het concentratieverloop met de diepte vergeleken op een drietal tijdstippen. Voor meerdere combinaties van sorptiecoëfficiënt en omzettingssnelheid is een vergelijking gemaakt van de uitspoeling over het vlak van 1 m beneden maaiveld. Deze uitspoeling uitgedrukt als percentage van de dosering levert bij percentages groter dan 1 % vrijwel identieke resultaten op. Voor lagere uitspoelingspercentages (0,01 - 1 %) berekent TRANSOL in het algemeen meer uitspoeling dan PESTLA; het verschil bedraagt maximaal een factor 2.

Er is tevens een vergelijking gemaakt van de gesimuleerde maximale concentratie die voorkomt in de laag van 1 tot 2 m beneden maaiveld. Deze vergelijking resulteerde in een goede overeenkomst van de resultaten van beide modellen.

1 INLEIDING

Het doel van deze studie is het zichtbaar maken en zo mogelijk kwantificeren van de eventuele verschillen tussen de modellen TRANSOL en PESTLA. Dit om na te gaan of het model TRANSOL ter vervanging van het model PESTLA kan worden gebruikt. In PESTLA wordt het gedrag van bestrijdingsmiddelen in de verzadigde zone niet beschreven, hetgeen een voorwaarde is voor het simuleren van uitspoeling naar het oppervlaktewater.

In de afgelopen twee jaar heeft DLO-Staring Centrum het model TRANSOL ontwikkeld. Het model TRANSOL (TRANsport of a SOLute) is geschikt voor de simulatie van de uitspoeling van bestrijdingsmiddelen naar grond- en oppervlaktewater. Door de Commissie Toelating Bestrijdingsmiddelen (CTB) is het model PESTLA (PESTicide Leaching and Accumulation) gebruikt voor de schatting van de uitspoeling van bestrijdingsmiddelconcentraties naar het grondwater.

In deze studie is de uitspoeling naar het grondwater vergeleken, zoals die is berekend met beide modellen. De vergelijking is uitgevoerd voor de invoergegevens waar de CTB normaliter vanuit gaat (zandgrond met maïs en weersgegevens van 1980; zie Boesten & Van der Linden, 1991).

Er is gesimuleerd met de volgende modellen:

- PESTLA versie 1.1, 13 March 1989 (Boesten & Van der Linden, 1991);
- TRANSOL versie 2.1 (Rijtema & Kroes, 1993; Kroes, 1991);
- SWATRE versie van december 1991 (Belmans et al., 1983; Feddes et al., 1978; Wesseling et al., 1991).

SWATRE is een hydrologisch model dat gebruikt is om de waterhuishouding te simuleren. De met SWATRE gesimuleerde waterhuishouding is als invoer gebruikt voor het model TRANSOL.

In hoofdstuk 2 wordt een beschrijving gegeven van de verschillen in de modelconcepten van de modellen PESTLA en TRANSOL. Hoofdstuk 3 beschrijft de simulaties van beide modellen met dezelfde set invoergegevens (de standaard situatie waar de CTB van uitgaat). Een discussie over de resterende verschillen wordt in hoofdstuk 4 gegeven, waarna in hoofdstuk 5 enkele conclusies worden getrokken.

2 VERGELIJKING VAN DE MODELFORMULERINGEN

Dit hoofdstuk beschrijft de modelconcepten van TRANSOL en PESTLA, waarbij de nadruk zal liggen op de verschillende aanpak van het water- en stoftransport en op de verschillen in de formulering en uitwerking van de omzettingsprocessen. Voor uitgebreide beschrijvingen van het model TRANSOL wordt verwezen naar Rijtema en Kroes (1993) en voor PESTLA naar Boesten en Van der Linden (1991).

2.1 De modellen

De modellen PESTLA en TRANSOL zijn beide dynamische simulatiemodellen, hetgeen betekent dat in beide modellen transport- en omzettingsprocessen variëren in de tijd.

PESTLA is opgezet om het gedrag van bestrijdingsmiddelen in de onverzadigde zone te beschrijven en berekent de uitspoeling over het vlak van 1 m beneden maaiveld (figuur 1 A); simulaties worden uitgevoerd met een vaste grondwaterstand van 1 m beneden maaiveld.

TRANSOL is ontworpen voor stoftransport in de onverzadigde en de verzadigde zone (figuur 1 B), waarbij in de verzadigde zone afvoer naar een drietal ontwateringsmiddelen kan worden gesimuleerd. Bij de afvoer naar ontwateringsmiddelen wordt rekening gehouden met de, per ontwateringsmiddel, verschillende verblijftijd die het bestrijdingsmiddel heeft in de verzadigde zone. De waterhuishouding wordt apart gesimuleerd, waarbij voor deze toepassing het hydrologisch model SWATRE is gebruikt. Alle mogelijke opties van SWATRE behoren daarmee tevens tot de toepassingsmogelijkheden van TRANSOL, zoals: een dynamisch grondwaterstandsverloop, oppervlakteafvoer (surface runoff), schijngrondwaterstanden, diverse verdampingsopties, koppeling met de Staringreeks (Wösten et al., 1987).

In het model TRANSOL zijn voor de omzetting van het bestrijdingsmiddel dezelfde relaties geïmplementeerd als in het model PESTLA. Dit betekent dat de halfwaardetijd een functie is van temperatuur, vochttoestand en diepte beneden maaiveld. De sorptie aan de vaste fase in de bodem wordt zowel in TRANSOL als in PESTLA met een Freundlich isotherm beschreven.

De computerprogramma's van de modellen TRANSOL en SWATRE zijn geschreven in FORTRAN-77, het model PESTLA is in CSMP (Continuous System Modelling Program) geschreven.

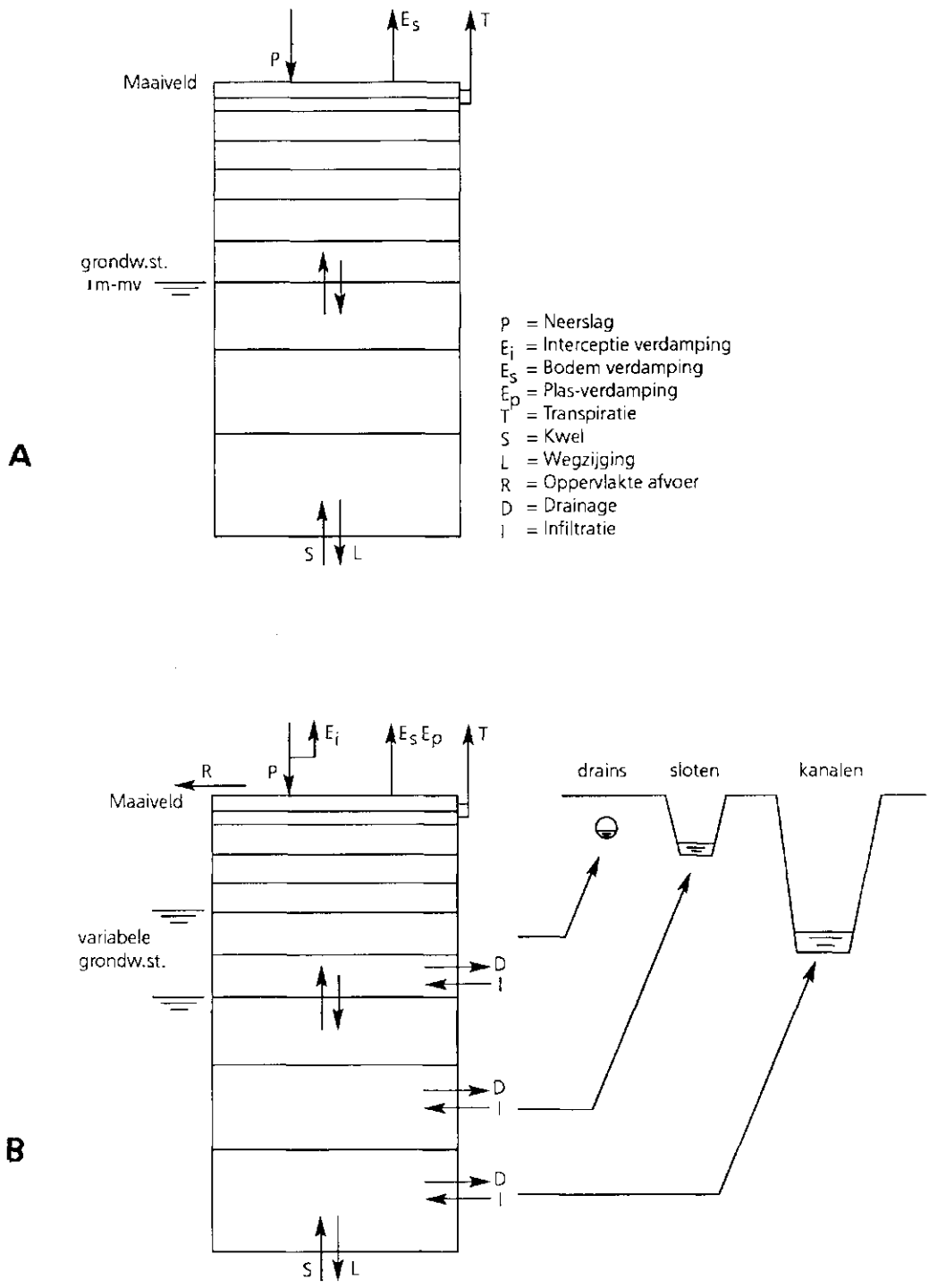


Fig. 1 Schematisering van de water- en stofstroming in PESTLA (A) en TRANSOL (B)

2.2 Transport van water en opgeloste stoffen

Het model PESTLA simuleert tevens de waterhuishouding. De waterhuishouding voor TRANSOL moet met een apart model worden gesimuleerd, in dit geval het hydrolo-

gische model SWATRE. De simulaties met SWATRE dienen eerst te worden afgerond alvorens de stoftransportberekeningen met TRANSOL kunnen worden uitgevoerd. De stroming van opgeloste stoffen wordt in PESTLA beschreven met een combinatie van convectief transport, dispersie en diffusie. De numerieke oplossingsmethode van PESTLA is zodanig dat de rekenkundige dispersie vrijwel wordt opgeheven. Vervolgens wordt de dispersie-lengte als parameter ingevoerd. De stroming van opgeloste stoffen wordt in TRANSOL beschreven met een gecombineerde transport- en transformatie-formule, waarbij alleen met convectief transport rekening wordt gehouden. De natuurlijke (fysische) dispersie wordt gesimuleerd door de keuze van de laagindeling (dikte van de modellen) en de tijdstapgrootte. Door de, gedeeltelijk analytische, oplossingen is de invloed van de tijdstapgrootte minimaal. Als maat voor de dispersie geldt: $L_{dis} = 0,5 \cdot L$ waarin L is de laagdikte en L_{dis} is de dispersie-lengte.

2.3 Omzettingsprocessen

Omzetting vindt in beide modellen plaats via eerste orde kinetiek. Daarbij wordt de omzettingssnelheidscoëfficiënt, k , berekend door de omzettingssnelheidscoëfficiënt onder referentie-condities, k_{ref} , te corrigeren voor de invloed van temperatuur, vochttoestand en diepte in de bodem, ofwel:

$$k = f_{\theta} \cdot f_z \cdot f_T \cdot k_{ref}$$

waarin:

- f_{θ} = factor voor de vochttoestand;
- f_z = factor voor de diepte;
- f_T = factor voor temperatuursinvloed;
- k_{ref} = omzettingssnelheidscoëfficiënt bij referentiecondities (d^{-1})
(temp. = 20 °C, pF = 2.0, bouwvoormateriaal).

De coëfficiënt k_{ref} wordt in beide modellen berekend uit de halfwaardetijd onder referentiecondities, H_{ref} , via de formule:

$$k_{ref} = \ln 2.0 / H_{ref}$$

De factor f_{θ} wordt in beide modellen met een identieke functie berekend. De factor f_z wordt in beide modellen ingevoerd als een numerieke functie, die in PESTLA met 4 waarden wordt beschreven en in TRANSOL met 2 waarden. De factor voor de temperatuursinvloed f_T wordt in beide modellen verschillend bepaald. In PESTLA worden bodemtemperaturen, gemeten op een viertal dieptes, ingevoerd; door middel van lineaire inter- en extrapolatie worden bodemtemperaturen voor de overige dieptes tot 3 m - mv. berekend, beneden de 3 m - mv. wordt de temperatuur constant verondersteld op 10 °C. Vervolgens wordt in PESTLA de volgende benadering van de Arrhenius vergelijking gebruikt (Boesten, 1986):

$$f_T = \exp\{ \gamma \cdot (T - T_{ref}) \}$$

waarin:

- γ = een parameter ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
- T = bodemtemperatuur ($^{\circ}\text{C}$)
- T_{ref} = bodemtemperatuur bij referentiecondities (= 20 $^{\circ}\text{C}$)

In TRANSOL wordt het temperatuursverloop in de diepte en in de tijd beschreven met het volgende sinusmodel:

$$T(z,t) = T_a + A_0 \cdot \exp(-z/D_m) \cdot \cos(\omega t + \phi - z/D_m)$$

waarin:

- $T(z,t)$ = temperatuur op diepte z en tijd t ($^{\circ}\text{C}$)
- T_a = gemiddelde jaarlijkse temperatuur ($^{\circ}\text{C}$)
- A_0 = amplitude van de temperatuursgolf ($^{\circ}\text{C}$)
- D_m = dempingsdiepte (m)
- ω = hoeksnelheid van de temperatuursgolf (rad d^{-1})
- ϕ = faseverschuiving (rad)

In TRANSOL wordt de temperatuursinvloed met de Arrhenius-vergelijking beschreven:

$$f_T = \exp\{ -a/R \cdot [1/(T+273) - 1/(T_{\text{ref}}+273)] \}$$

waarin:

- a = molaire activeringsenergie (J mol^{-1})
- R = gasconstante ($\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$)

3 SIMULATIES MET DE INVOERGEGEVENS VAN DE CTB

In dit hoofdstuk wordt een beschrijving gegeven van simulaties met de standaard-situatie zoals die in PESTLA wordt gebruikt en waarvan uitgebreide beschrijvingen zijn gepubliceerd (Boesten & Van der Linden, 1991 en Van der Linden & Boesten, 1989). Het betreft een voorjaarstoediening van 1 kg/ha bestrijdingsmiddel aan een maisperceel op een zandgrond. De meteorologische omstandigheden van De Bilt voor het natte jaar 1980 (72 % nat jaar) zijn ingevoerd via dagelijkse gemiddelde waarden van neerslag en verdamping. De grondwaterstand is constant op 1 m beneden maaiveld. In PESTLA zijn op dagbasis bodemtemperatuur-gegevens ingevoerd voor 5, 20, 50 en 100 cm diepte in een graslandperceel in De Bilt.

In eerste instantie zijn de simulaties van de waterhuishouding vergeleken. Daarna is een vergelijking uitgevoerd van transport en omzetting van het bestrijdingsmiddel bij een sorptiecoëfficiënt op organische-stofbasis (K_{om}) van 60 dm³/kg en een halfwaardetijd (H_{ref}) van 60 dagen. Vervolgens zijn 168 combinaties van K_{om} en H_{ref} gesimuleerd. Boesten (1991) beschrijft een gevoeligheidsanalyse van het model PESTLA met deze combinaties van K_{om} en H_{ref} .

De invoer-bestanden voor TRANSOL ($K_{om}=60$ dm³/kg, $H_{ref}=60$ d) zijn als bijlage 1 bijgevoegd, m.u.v. het invoer-bestand dat door het model SWATRE is aangemaakt. Laatstgenoemd bestand bevat de volledige waterhuishouding van elke tijdstap en is daardoor omvangrijk. Een beschrijving van de invoerbestanden is gegeven door Kroes (1991). De invoer voor PESTLA is onderdeel van het programma PESTLA.

3.1 Waterhuishouding

In tabel 1 is de waterbalans van beide modellen gegeven zoals die eruit ziet na 1 jaar simuleren. De balans is gegeven in mm water en opgesteld voor het modelprofiel van 0 - 1 m beneden maaiveld.

Tabel 1 Waterbalans (mm/jaar) over de laag van 0-1 m - mv. van PESTLA en SWATRE/TRANSOL

Model	Neer-slag	Bodem verd.	Trans-piratie	Capill. opst.	Uitspoe-ling	Bergings-verandering
PESTLA	862	229	254	138	521	-4
SWATRE/ TRANSOL	862	229	254	167	546	0

Er treden vrijwel uitsluitend verschillen op in de gesimuleerde verticale waterfluxen over het vlak van 1 m beneden maaiveld: de capillaire opstijging en de uitspoeling. Aangezien alle overige termen van de waterbalans goed overeenstemmen en de grondwaterstand constant is op 1 m diepte, zal deze afwijking voornamelijk worden ver-

oorzaakt door een afwijking in de gehanteerde pF-curves. In PESTLA wordt de pF-curve ingelezen in tabel-vorm, in SWATRE/TRANSOL is voor de beschrijving van de pF-curve gebruik gemaakt van zgn. Van Genuchten functies (Wesseling et al., 1991).

3.2 Stoffenhuishouding

Voor het beschrijven van het stoftransport is de dispersie een belangrijke parameter. In het model PESTLA wordt een dispersie-lengte gehanteerd van 5 cm. Om de invloed van dispersie in TRANSOL even groot te laten zijn is gekozen voor een vaste laagindeling met modellagen van elk 10 cm dik. Het bestrijdingsmiddel wordt in PESTLA aan de eerste modellaag van 5 cm toegediend. Om dit in TRANSOL op dezelfde manier te kunnen simuleren is de eerste 10 cm bodem geschematiseerd in 2 modellagen van elk 5 cm dik.

De halfwaardetijd H_{ref} wordt gecorrigeerd voor temperatuur, diepte en vocht (paragraaf 2.3). De vochtcorrectie zal enigszins afwijken doordat de pF-curves niet identiek zijn. De (ingevoerde) diepte-correctie in PESTLA en TRANSOL is gegeven in figuur 2.

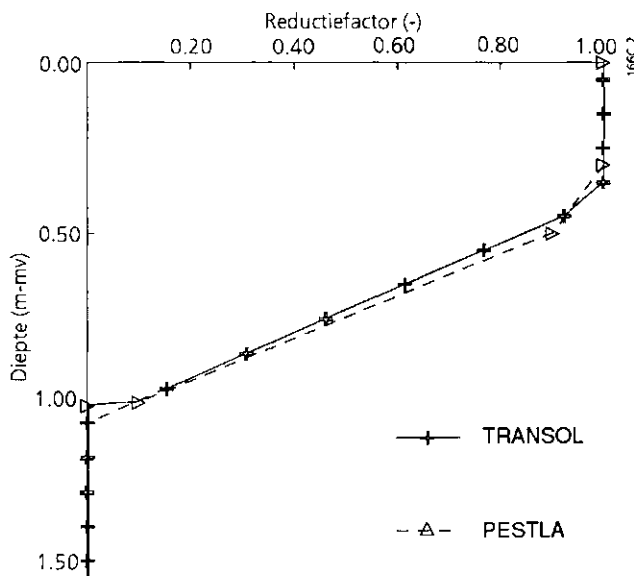


Fig. 2 De factor voor invloed van de diepte (f_z) op de omzettingssnelheid van het bestrijdingsmiddel, zoals die in de modellen TRANSOL en PESTLA wordt gebruikt

Voor de temperatuurscorrectie zijn in PESTLA bodemtemperaturen ingevoerd gemeten in 1980 op 4 dieptes. In TRANSOL wordt een sinusmodel gebruikt voor het beschrijven van de bodemtemperatuur (paragraaf 2.3). Het door beide modellen gesimuleerde temperatuursverloop is voor 4 bodemlagen gegeven in de figuren 3 A t/m D. Voor de gesimuleerde omzetting is de factor voor temperatuursinvloed (f_T) van belang. In de figuren 4 A t/m D is deze factor gegeven voor beide modellen. Deze vergelijking geeft aan dat de f_T waarden, berekend door beide modellen, in het algemeen redelijk goed overeenkomen.

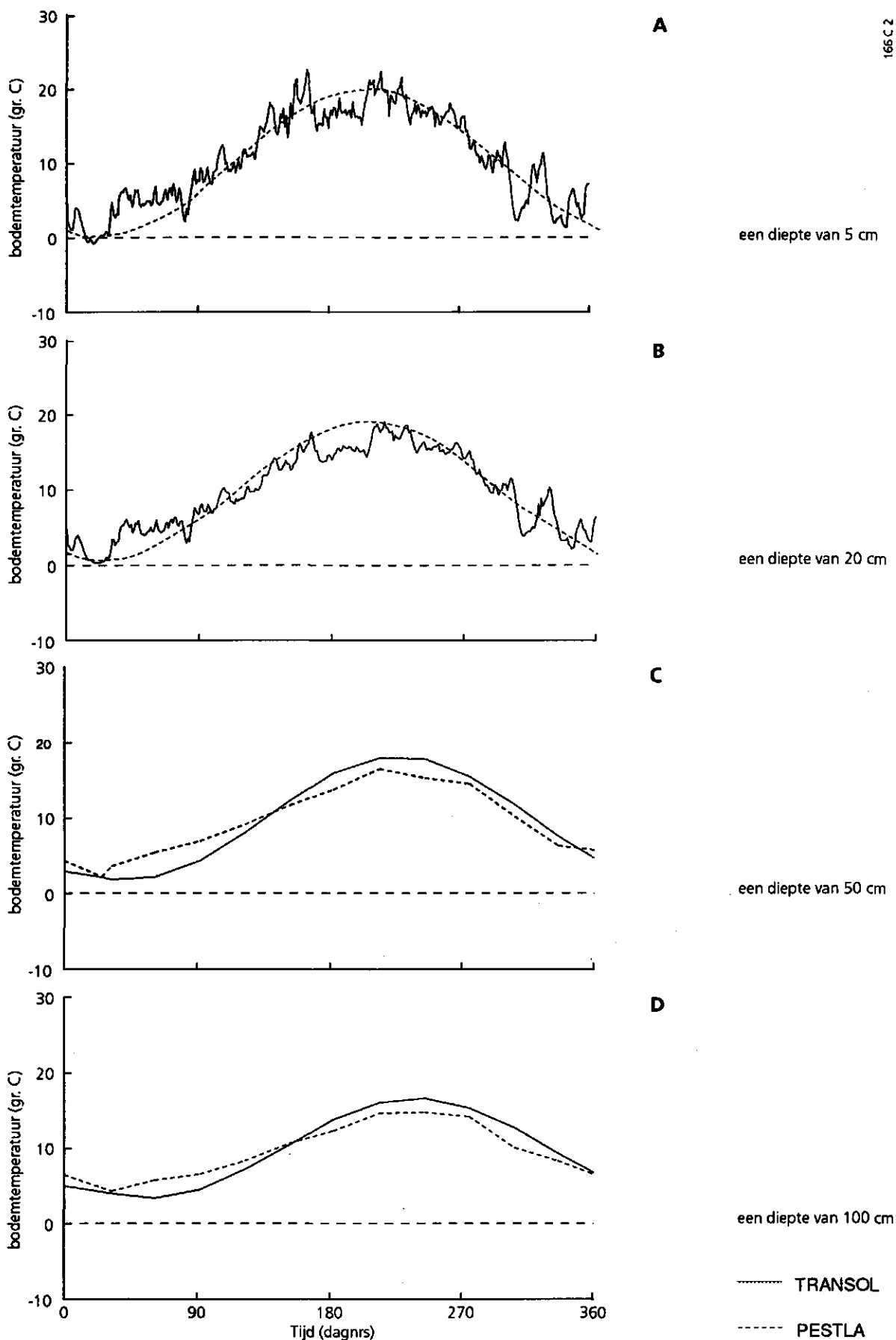


Fig. 3 Het temperatuursverloop ($^{\circ}\text{C}$) in de tijd op een diepte van 5 cm (A), 20 cm (B), 50 cm (C) en 100 cm (D), zoals ingevoerd en gesimuleerd in de modellen PESTLA en TRANSOL

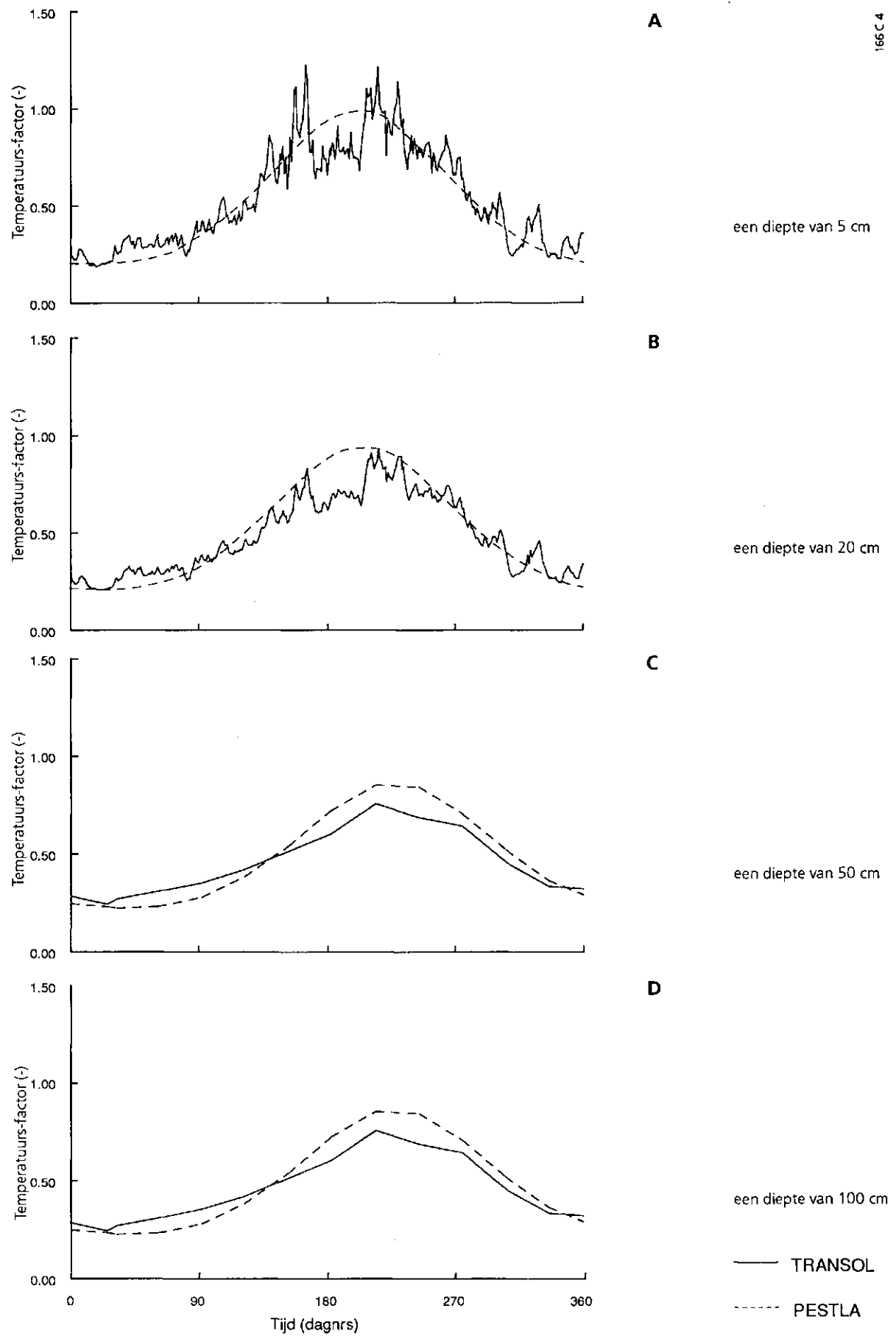


Fig. 4 Het verloop in de tijd van de factor voor temperatuursinvloed (f_T) gesimuleerd door de modellen TRANSOL en PESTLA. De factor is gegeven voor de dieptes van 5 cm (A), 20 cm (B), 50 cm (C) en 100 cm (D)

Op dagnr 145 is 1 kg/ha toegediend aan de eerste modellaag. De stofbalans na 1 jaar simuleren met een K_{om} van $60 \text{ dm}^3/\text{kg}$ en een H_{ref} van 60 dagen wordt van beide modellen gegeven in tabel 2; de balans is opgesteld over de eerste meter van het modelprofiel.

Tabel 2 Stofbalans (in % van toediening) van PESTLA en TRANSOL na 1 jaar simuleren; de balans is opgesteld voor de laag van 0-1 m - mv.

Model	Gewas- opname	Omzetting	Uitspoeling	Restant
PESTLA	5,6	83,9	0,0	10,5
TRANSOL	5,8	81,0	0,0	13,1

Van beide modellen zijn de concentraties uitgezet tegen de diepte voor een drietal tijdstippen gedurende het eerste simulatiejaar (fig. 5 A t/m D). Dertig dagen na de dosering (fig. 5 A) blijkt er een concentratie-verschil te zijn in de bovenste modellagen. Dit verschil blijkt 180 dagen na de dosering nog aanwezig. De PESTLA-simulaties resulteren in alle drie de tijdstippen in gemiddeld hogere concentraties, hetgeen bevestigd wordt in de jaarbalans (tabel 2) waaruit blijkt dat PESTLA 2,6 % minder bestrijdingsmiddel als restant in het modelprofiel achterlaat dan TRANSOL.

Met beide modellen is doorgerekend tot er vrijwel geen bestrijdingsmiddel ($<0,001$ % van de dosering) resteert in de eerste meter van het modelprofiel. Voor PESTLA bleek dit na een periode van ruim 5 jaar (1911 dagen) te zijn bij deze combinatie van sorptie en omzetting. De simulaties met SWATRE/TRANSOL zijn voor een constante periode van 9 jaar uitgevoerd.

Vervolgens zijn met beide modellen simulaties uitgevoerd met 168 combinaties van sorptiecoëfficiënt en halfwaardetijd. Van de resultaten van beide modellen zijn vergelijkingen gemaakt voor de fractie uitspoeling (in % van de dosering) over het vlak van 1 m - mv. en voor de maximale concentratie (C_{max}) in de laag 1-2 m - mv. De maximale concentratie is daarbij per tijdstap bepaald als een, naar laagdikte gewogen, gemiddelde van de concentraties in de modellagen tussen 1 en 2 m beneden maaiveld. Resultaten voor de maximale concentratie zijn gegeven in de figuren 6 A en 6 B en leveren een goede vergelijking op. De resultaten voor uitspoeling zijn gegeven in de figuren 7 A en 7 B. Bij een K_{om} van $60 \text{ dm}^3/\text{kg}$ (figuur 7 B) komt de gesimuleerde uitspoeling van beide modellen goed overeen, bij een H_{ref} van 60 dagen neemt het verschil in uitspoeling toe met de K_{om} -waarde.

De resultaten van beide modellen voor meerdere combinaties van K_{om} en H_{ref} zijn gegeven in de figuren 8 en 9. In bijlage 2 zijn de berekende waarden opgenomen evenals het procentuele verschil in gesimuleerde waarden dat is bepaald als het simulatie-verschil tussen TRANSOL en PESTLA, uitgedrukt in procenten ten opzichte van de PESTLA-resultaten.

De gesimuleerde maximale concentratie van beide modellen komen goed overeen indien deze concentraties groter zijn dan $0,01 \mu\text{g/l}$ (fig. 8). De maximale afwijking

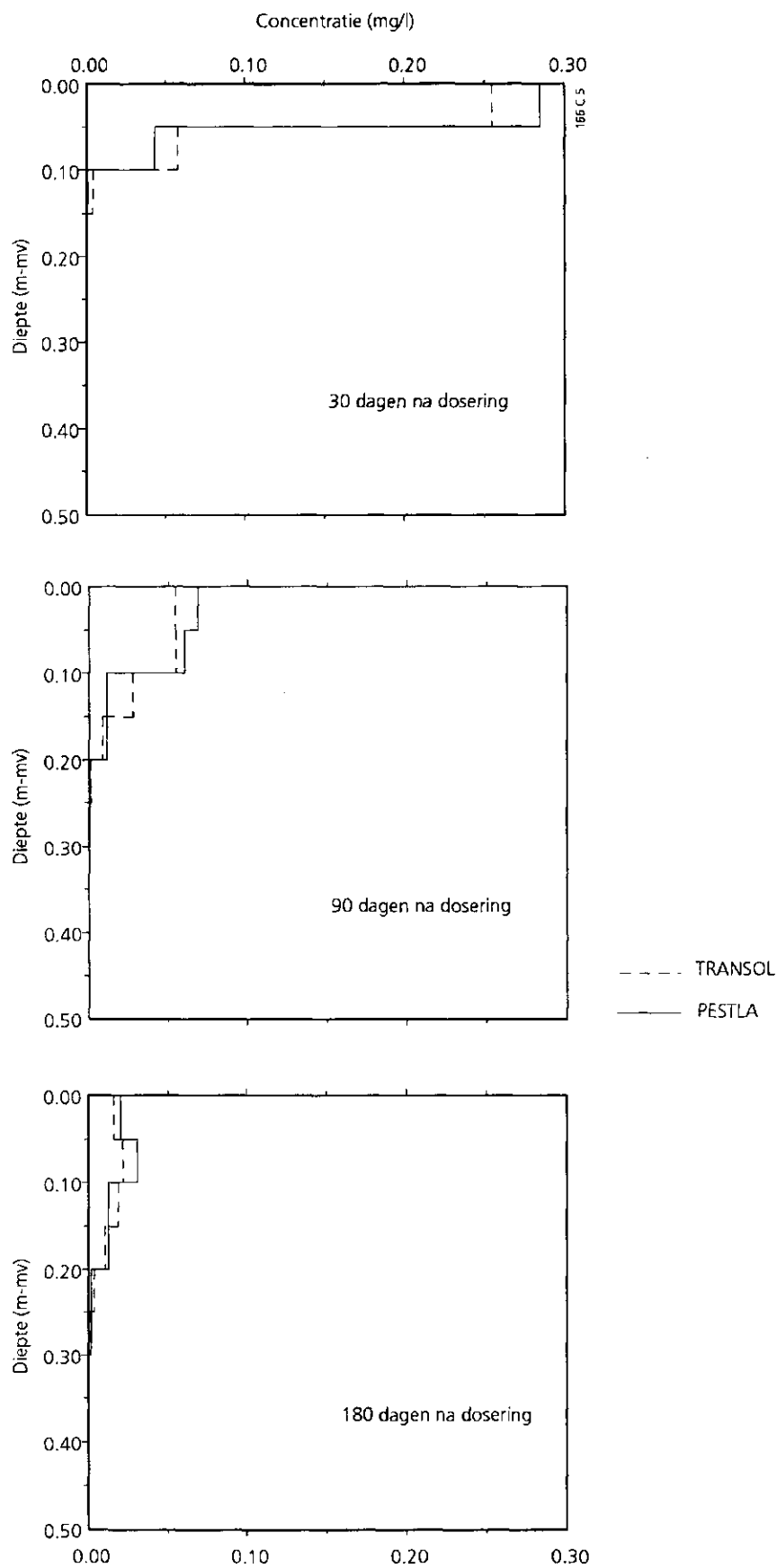


Fig. 5 Concentratieprofielen op 3 tijdstippen gesimuleerd met TRANSOL en PESTLA. Simulaties met een H_{ref} van 60 dagen en een K_{om} van $60 \text{ dm}^3/\text{kg}$, profielen respectievelijk 30, 90 en 180 dagen na toediening van het bestrijdingsmiddel

bedraagt 29 % en komt voor bij een K_{om} van $0 \text{ dm}^3/\text{kg}$ en een H_{ref} van 5 dagen (bijlage 2), dit zijn stoffen zonder sorptie en met een hoge omzettingssnelheid. Het gesimuleerde uitspoelingspercentage vertoont afwijkingen in het traject 0,01 - 0,1 %, waarbij de simulatie resultaten van TRANSOL hoger zijn dan die van PESTLA. De maximale afwijking bedraagt 93 % bij een K_{om} van $100 \text{ dm}^3/\text{kg}$ en een H_{ref} van 60 dagen (bijlage 2).

3.3 Rekening

De simulaties zijn uitgevoerd op een DEC-computer, type VAX3600. Een simulatie met PESTLA voor de CTB-dataset ($K_{om}=60 \text{ dm}^3/\text{kg}$, $H_{ref}=60 \text{ d}$) duurde 9 min, en 37 sec, de tijdstap-grootte bedroeg 0,02 dag. Een simulatie met SWATRE voor de waterhuishouding van de CTB-dataset duurt 5 min en 47 sec; er zijn dan 9 jaren gesimuleerd met een variabele tijdstap-grootte ($< 1 \text{ dag}$) en er is een uitvoer-bestand gecreëerd met gegevens per dag.

Een simulatie met TRANSOL voor het stoftransport van de CTB-dataset duurt 1 min en 19 sec; er zijn dan 9 jaren gesimuleerd met een tijdstap-grootte van 1 dag. Het simuleren van de 168 combinaties van halfwaardetijd en sorptiecoëfficiënt met PESTLA duurt 26 uur en 50 minuten, waarbij is uitgegaan van de benodigde rekening voor de combinatie $K_{om}=60$ en $H_{ref}=60$. De 168 combinaties simuleren met TRANSOL/SWATRE duurt 3 uur en 50 minuten.

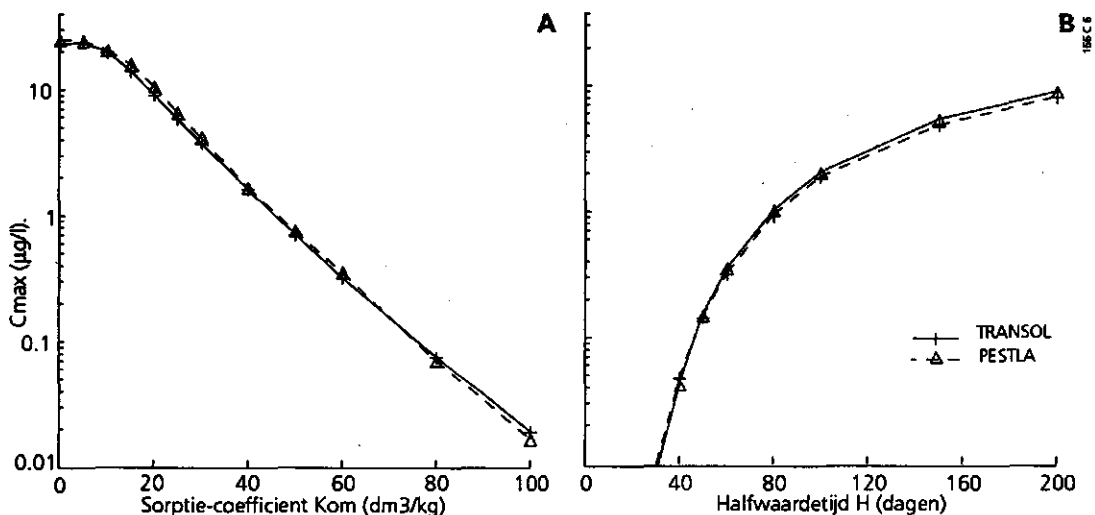


Fig. 6 De maximale concentratie C_{max} ($\mu\text{g/l}$) in de laag 1 - 2 m beneden maaiveld bij een combinatie van:
A. een halfwaardetijd (H_{ref}) van 60 dagen en sorptiecoëfficiënten van 0 - $100 \text{ dm}^3/\text{kg}$,
en
B. een sorptiecoëfficiënt (K_{om}) van $60 \text{ dm}^3/\text{kg}$ en halfwaardetijden van 0 - 100 dagen.

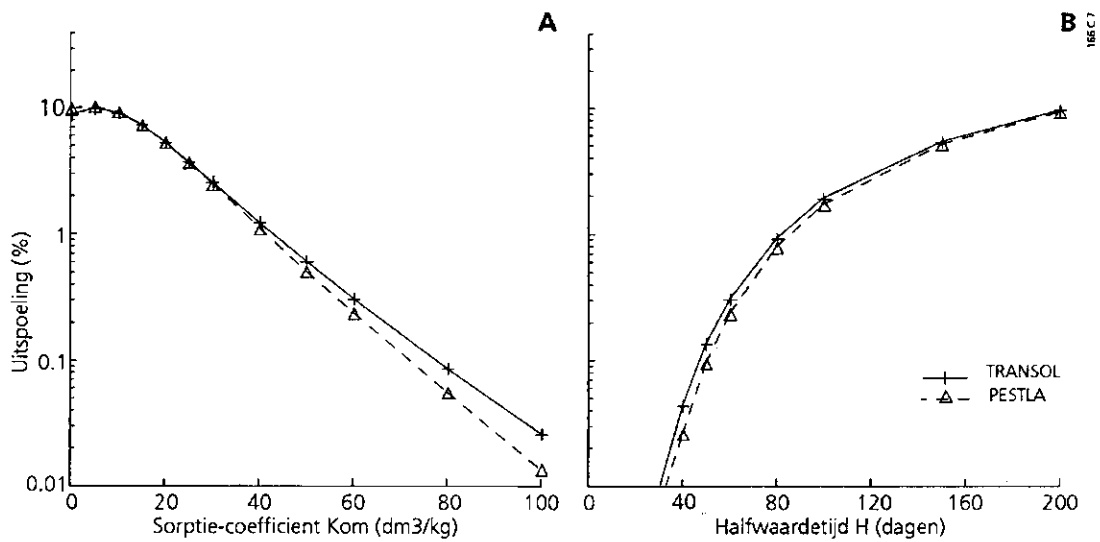


Fig. 7 Het uitspoelingspercentage (in % van de dosering) over het vlak van 1 meter beneden maaiveld bij een combinatie van:
A. een halfwaardetijd (H_{ref}) van 60 dagen en sorptiecoëfficiënten van 0 - 100 dm^3/kg , en
B. een sorptiecoëfficiënt (K_{om}) van 60 dm^3/kg en halfwaardetijden van 0 - 100 dagen

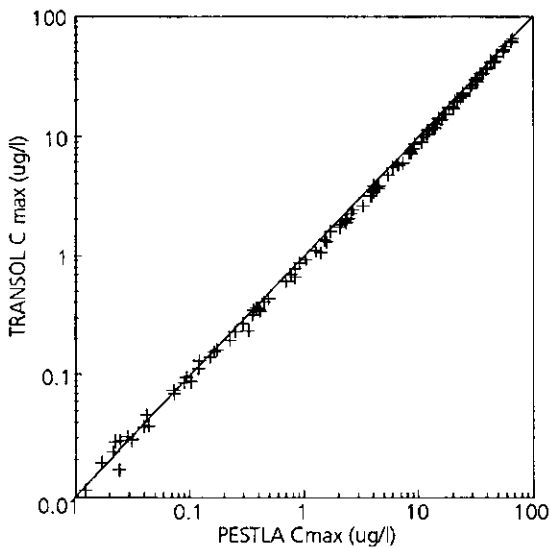


Fig. 8 De maximale concentraties C_{max} ($\mu\text{g/l}$), gesimuleerd door de modellen TRANSOL en PESTLA, in de laag 1 - 2 meter beneden maaiveld. De max. concentraties zijn verkregen door simulaties uit te voeren met 168 verschillende combinaties van H_{ref} en K_{om}

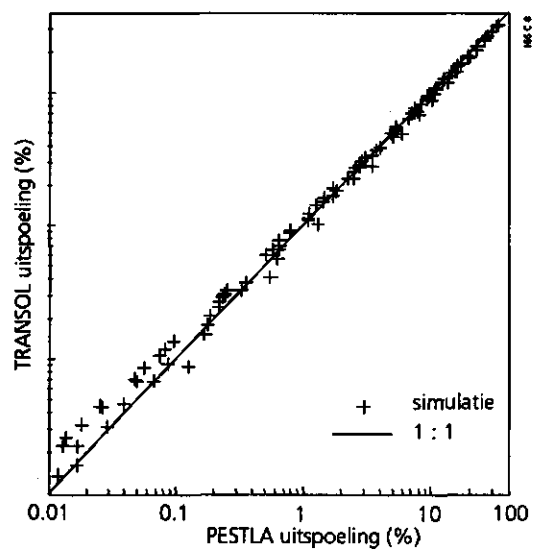


Fig. 9 Uitspoelingspercentage (% van dosering) gesimuleerd door de modellen TRANSOL en PESTLA. De uitspoelingspercentages zijn verkregen door simulaties uit te voeren met 168 verschillende combinaties van H_{ref} en K_{om}

4 DISCUSSIE

De afwijkingen in de gesimuleerde resultaten moeten, voor deze gesimuleerde dataset, worden gezocht in de volgende verschillen:

- a) temperatuurscorrectie (TRANSOL: sinusmodel versus PESTLA: metingen)
- b) dikte van de modellagen (TRANSOL: constant versus PESTLA: variabel)
- c) waterflux over 1 m-mv. door afwijkende pF (TRANSOL: Van Genuchten versus PESTLA: tabel)
- d) dispersielengte in laag 0-10 cm-mv. (TRANSOL: 2.5 cm versus PESTLA: 5 cm)
- e) stopkriterium (TRANSOL: variabel versus PESTLA: constant)

a) temperatuurscorrectie.

Uit figuur 3 valt af te lezen dat er vooral in de zomerperiode verschillen zijn in de halfwaardetijd die de beide modellen berekenen. De halfwaardetijd en daarmee de omzetting is in beide modellen gevoelig voor variaties in de bodemtemperatuur. Deze gevoeligheid is voor het model PESTLA aangetoond (Boesten, 1991). Voor het model TRANSOL is een eenvoudige gevoeligheidsanalyse uitgevoerd, door de amplitude van het sinusvormige temperatuursverloop te variëren van 8-12 °C bij een halfwaardetijd van 60 dagen en een sorptiecoëfficiënt van 60 dm³/kg. Uit de resultaten (tabel 3) blijkt dat elke graad temperatuurverandering, bij deze combinatie van sorptie en omzetting, resulteert in circa 13 % verandering van zowel de C_{max} als het percentage uitspoeling, waarmee de gevoeligheid van TRANSOL voor variaties in het temperatuursmodel is aangetoond.

Tabel 3 Resultaten van TRANSOL verkregen door de amplitude van het sinusmodel te variëren bij een halfwaardetijd van 60 dagen en een sorptiecoëfficiënt van 60 dm³/kg; tussen haakjes zijn de resultaten vermeld als percentage van het resultaat bij een amplitude van 10 °C.

Amplitude (°C)	C _{max} (µg/l)	Uitspoeling (% v. dosering)
8	0,406 (126 %)	0,392 (127 %)
9	0,363 (113 %)	0,350 (113 %)
10	0,321 (100 %)	0,309 (100 %)
11	0,280 (87 %)	0,270 (87 %)
12	0,243 (76 %)	0,233 (75 %)

De dosering van het bestrijdingsmiddel gebeurt in beide modellen op een tijdstip (dagnummer 145), dat wordt gevolgd door perioden met enerzijds lagere temperaturen net na het doseringstijdstip (figuur 3 A) en anderzijds hogere temperaturen (figuur 3 A vanaf dagnr 168, figuren 3 B, C en D). Gezien de gevoeligheid van beide modellen voor temperatuurvariaties is het vooralsnog niet duidelijk welke kant de verschillen in temperatuurscorrectie uitwerken.

b) dikte van de modellagen.

De dikte van de modellagen bepaalt mede de kwaliteit van de numerieke oplossing. Te dikke lagen leiden tot afwijkingen van de werkelijke oplossing van de transportvergelijkingen. Koopmans (1991) heeft aangetoond dat de berekende oplossing met PESTLA onafhankelijk was van de laagdikte tot een percentage uitspoeling van 0,01 %. Bij lagere percentages en met de standaard-laagdiktes (5 cm bovenin) leveren de berekeningen met PESTLA te hoge percentages uitspoeling op. TRANSOL rekent in vrijwel de hele bovenste meter met laagdiktes van 10 cm. Het valt te verwachten dat dit tot te hoge berekende uitspoeling leidt. In TRANSOL correspondeert een laagdikte van 10 cm met een dispersielengte van 5 cm, maar vanwege het reken-schema wordt een extra dispersie geïntroduceerd door het berekenen van gemiddeldes over de tijdstap. Deze extra dispersie kan gekwantificeerd worden (Rijtema & Kroes, 1993). Een laagdikte van 10 cm bij een kleine tijdstap correspondeert met een dispersielengte van 5 cm. Bij grotere tijdstappen correspondeert een laagdikte van 10 cm met een grotere dispersielengte van bijvoorbeeld 6 cm. Een grote tijdstap is in dit verband een tijdstap waarbij meer dan 10 % van de vochtinhoud van een laag wordt ververst binnen een tijdstap.

c) waterflux over 1 m-mv.

Om de waterflux over het vlak van 1 m-mv. bij TRANSOL en PESTLA minder te laten afwijken (tabel 1) is een simulatie uitgevoerd met een aangepaste pF-curve in SWATRE/TRANSOL. Op een afwijking van 2 mm in capillaire opstijging en bergingsverandering na was de waterbalans nu identiek. Bij een H_{ref} van 60 dagen en een K_{om} van $100 \text{ dm}^3/\text{kg}$ bleek een geringe invloed van de aangepaste pF-curve op de C_{max} en op het percentage uitspoeling; beide daalden met 5 %. Afwijkingen in de waterbalans kunnen tot een hogere uitspoeling leiden van maximaal 5 %.

d) dispersie in laag 0-10 cm-mv.

De toediening van het bestrijdingsmiddel wordt in beide modellen op identieke wijze gesimuleerd. Hiervoor is de eerste 10 cm in TRANSOL verdeelt in 2 modellagen van elk 5 cm, waarmee in feite een afwijkende dispersielengte is geïntroduceerd voor de eerste twee modellagen. In TRANSOL wordt met een L_{dis} van 2,5 cm gerekend, tegen 5 cm in PESTLA voor de eerste twee modellagen. Dit leidt tot een geringere uitspoeling berekend met TRANSOL (Koopmans, 1991).

e) stopkriterium.

In het model PESTLA wordt doorgerekend tot er minder dan 0,001 % van het bestrijdingsmiddel aanwezig is in de laag van 0-1 m - mv. In TRANSOL worden constant 9 jaren gesimuleerd. Om na te gaan of er in TRANSOL wel voldoende lang is doorgerekend, is de meest extreme simulatie geanalyseerd: een bestrijdingsmiddel met een zeer hoge sorptie en geringe omzetting ($H_{ref} = 200$ dagen en $K_{om} = 200 \text{ dm}^3/\text{kg}$). De resultaten zijn gegeven in tabel 4.

In tabel 4 is naast C_{max} het tijdstip (T_{max}) gegeven waarop deze C_{max} wordt bereikt. Naast het uitspoelingspercentage is tevens weergegeven welk deel van de toediening, aan het eind van de simulatieperiode, nog resteert in de laag van 0-1 m - mv. Het blijkt dat de C_{max} zelfs in het ongunstigste geval nog binnen de gesimuleerde periode van 9 jaar wordt bereikt; dus een langere simulatie zal geen andere C_{max}

Tabel 4 Resultaten van simulaties met PESTLA en TRANSOL voor een bestrijdingsmiddel met geringe omzetting ($H_{ref}=200$ d) en hoge sorptie ($K_{om}=200$ dm³/kg).

Model	Simulatieperiode (jr)	C _{max} (µg/l)	T _{max} (jr)	Uitspoeling (%)	Rest (laag 0-1m) (0-1m) (%)
PESTLA	9,0	0,117	6,165	0,187	0,279
PESTLA	17,6	0,117	6,165	0,218	<0,001
TRANSOL	9,0	0,114	7,88	0,248	0,457
TRANSOL	18,0	0,114	7,88	0,300	0,0009

opleveren. Het uitspoelingspercentage zal bij TRANSOL toenemen indien langer wordt doorgerekend.

Uit tabel 4 blijkt dat het percentage uitspoeling berekend met PESTLA na 17,6 jr simuleren 17 % hoger was dan dat na 9 jr simuleren. Het percentage uitspoeling berekend met TRANSOL was na 18 jr simuleren 21 % hoger dan na 9 jr simuleren. De maximale fout ten gevolge van het stopcriterium van 9 jr in TRANSOL was dus 21 %.

5 CONCLUSIES

Voor uitspoelingspercentages groter dan 1 % leveren de modellen PESTLA en TRANSOL vrijwel identieke resultaten op.

Voor lagere uitspoelingspercentages berekent TRANSOL in het algemeen meer uitspoeling dan PESTLA maar het verschil bedraagt maximaal ongeveer een factor 2.

Gezien alle verschillen in invoer en schematisering is de overeenkomst van de simulatie-resultaten van de modellen PESTLA en TRANSOL als bevredigend te beschouwen. Grotere overeenkomst tussen de resultaten van beide modellen is te verkrijgen tegen een relatief grote inspanning.

LITERATUUR

BELMANS, C., J.G. WESSELING and R.A. FEDDES, 1983. *Simulation model of the water balance of a cropped soil : SWATRE*. In: J. of hydrol. 63, 3/4: 271-286.

BOESTEN, J.J.T.I., 1986. *Behaviour of herbicides in soil: simulation and experimental assessment*. Thesis Agricultural University, Wageningen: 263 pp.

BOESTEN, J.J.T.I., 1991. *Sensitivity analysis of a mathematical model for pesticide leaching to groundwater*. In: Pestic. Sci. 1991, 31: 375-388.

BOESTEN, J.J.T.I. & A.M.A. VAN DER LINDEN, 1991. *Modeling the influence of sorption and transformation on pesticide leaching and persistence*. In: J. of Environmental Quality 20: 425-435.

FEDDES, R.A., P.J. KOWALIK & H. ZARADNY, 1978. *Simulation of field water use and crop yield*. Simulation Monographs: 189 pp Pudoc, Wageningen, The Netherlands.

LINDEN, A.M.A. VAN DER & J.J.T.I. BOESTEN, 1989. *Berekening van de mate van uitspoeling en accumulatie van bestrijdingsmiddelen als functie van hun sorptiecoëfficiënt en omzettingssnelheid in bouwvoor materiaal*. Rapport nr 728800003: 52 pp RIVM, Bilthoven, The Netherlands.

WÖSTEN, J.H.M., BANNINK, M.H. en J. BEUVING, 1987. *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks*. ICW-rapport 18 en Stiboka-rapport 1932, Wageningen.

NIET-GEPUBLICEEERDE BRONNEN

ELBERS, J.A., 1990b. *Wijzigingen SWACROP*. Van SWACROP versie "maart 1989" naar SWACROP versie "september 1990".

KOOPMANS, C.J., 1991. *Semi-analytical interpretation of pesticide leaching to groundwater as calculated with a numerical model*. M.Sc.thesis, four months research. Department of theoretical production ecology, Agricultural University Wageningen, Febr. 1991, Wageningen.

KROES, J.G., 1991. *TRANSOL Version 2.1. A dynamic simulation model for transport and transformation of solutes in soils*. Interne Mededeling 110, October 1991, Winand Staring Centre, Wageningen.

RIJTEMA, P.E. & J.G. KROES, 1993. *TRANSOL, a dynamic simulation model for transport and transformation of solutes in soils*. Report in preparation, DLO-Winand Staring Centre, Wageningen, The Netherlands.

WESSELING, J.G., J.A. ELBERS, P. KABAT, B.J. VAN DEN BROEK, 1991. *SWATRE, Instructions for input*. December 1991, Winand Staring Centre, Wageningen.

**AANHANGSEL 1 INVOER-GEGEVENS VOOR EEN TRANSOL-SIMULATIE
MET DE CTB-DATASET.**

TRANSOL-invoerbestand GENERAL.INP

>hydmod: ----- kind of waterquantity model -----
2

>simper: ----- simulation period -----
10

>sophys: ----- soil physical parameters -----
10.0 10.0 0.01726 0.05184 3.457
1310. 1540. 1650. 1650.

>sochem: ----- soil chemical parameters -----
0.047 0.008 0.002 0.0015

>rdepth: ----- depth-decomposition parameters -----
0.4 1.05 0.0
0 1.0

>rvdose: ----- reservoir for additions to soil system -----
0.025

>sorpti: ----- sorption-parameters -----
3
0.060 0.001 0.9

>transf: ----- transformation rates or halflifetimes -----
3
1 1 0
60.0 60.0 0.3

>metabo: -----metabolite-param.; sorption- and decomp.-rate
0

>uptake: -----crop parameters -----
0.5

>boucon: -----boundary conditions -----
0.0
0.0
0.0

>inicon: -----initial conditions -----
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00

>outopt: ----- output options -----
1
1 0 000
1 1 111
0 11 144.0
0

----- End Of File GENERAL.INP -----

TRANSOL-invoerbestand ADDIT.INP:

>add001: ----- 1st addition -----
145.0
1.0 1 0
9999.

----- End Of File ADDIT.INP -----

AANHANGSEL 2 RESULTATEN VAN TRANSOL VOOR 168 COMBINATIES
VAN H_{REF} EN K_{OM}

H _{ref} (d)	K _{om} (dm ³ /kg)	Maximale concentratie		Uitspoeling als percentage van de toediening		Procentuele verschillen	
		C _{max}		de toediening		100(B-A)	100(D-C)
		PESTLA A (µg/l)	TRANSOL B (µg/l)	PESTLA C (%)	TRANSOL D (%)	A (%)	C (%)
5	0	0.240E-01	0.170E-01	0.523E-02	0.300E-02	-29.367	
5	5	0.543E-03	0.751E-03	0.146E-03	0.190E-03		
5	10	0.976E-05	0.337E-04	0.375E-05	0.140E-04		
5	15	0.279E-06	0.266E-05	0.113E-06	0.130E-05		
5	20	0.980E-08	0.444E-06	0.418E-08	0.202E-06		
5	25	0.427E-09	0.172E-06	0.176E-09	0.758E-07		
5	30	0.209E-10	0.993E-07	0.791E-11	0.419E-07		
5	40	0.530E-13	0.435E-07	0.183E-13	0.169E-07		
5	50	0.172E-15	0.229E-07	0.579E-16	0.927E-08		
5	60	0.850E-18	0.111E-07	0.283E-18	0.433E-08		
5	80	0.810E-22	0.365E-08	0.268E-22	0.152E-08		
5	100	0.360E-25	0.142E-08	0.100E-25	0.623E-09		
5	150	0.100E-32	0.173E-09	0.100E-32	0.820E-10		
5	200	0.100E-36	0.360E-10	0.100E-36	0.190E-10		
10	0	0.325E+00	0.240E+00	0.125E+00	0.886E-01	-26.305	-29.369
10	5	0.398E-01	0.379E-01	0.166E-01	0.164E-01	-4.749	-1.143
10	10	0.771E-02	0.857E-02	0.317E-02	0.388E-02		
10	15	0.216E-02	0.238E-02	0.821E-03	0.112E-02		
10	20	0.589E-03	0.667E-03	0.221E-03	0.347E-03		
10	25	0.158E-03	0.195E-03	0.568E-04	0.110E-03		
10	30	0.395E-04	0.660E-04	0.138E-04	0.377E-04		
10	40	0.200E-05	0.194E-04	0.690E-06	0.786E-05		
10	50	0.873E-07	0.912E-05	0.308E-07	0.356E-05		
10	60	0.340E-08	0.499E-05	0.130E-08	0.197E-05		
10	80	0.520E-11	0.262E-05	0.271E-11	0.107E-05		
10	100	0.145E-13	0.125E-05	0.776E-14	0.531E-06		
10	150	0.496E-19	0.320E-06	0.255E-19	0.153E-06		
10	200	0.236E-23	0.901E-07	0.119E-23	0.486E-07		
15	0	0.137E+01	0.108E+01	0.544E+00	0.411E+00	-21.372	-24.503
15	5	0.401E+00	0.362E+00	0.167E+00	0.154E+00	-9.676	-8.064
15	10	0.170E+00	0.165E+00	0.672E-01	0.691E-01	-2.847	2.834
15	15	0.734E-01	0.711E-01	0.288E-01	0.314E-01	-3.188	9.162
15	20	0.311E-01	0.294E-01	0.117E-01	0.138E-01	-5.611	18.326
15	25	0.122E-01	0.115E-01	0.448E-02	0.598E-02	-6.268	
15	30	0.447E-02	0.434E-02	0.162E-02	0.257E-02		
15	40	0.508E-03	0.619E-03	0.190E-03	0.486E-03		
15	50	0.491E-04	0.113E-03	0.205E-04	0.989E-04		
15	60	0.433E-05	0.287E-04	0.217E-05	0.210E-04		
15	80	0.471E-07	0.105E-04	0.253E-07	0.549E-05		
15	100	0.618E-09	0.527E-05	0.324E-09	0.276E-05		
15	150	0.197E-13	0.181E-05	0.111E-13	0.102E-05		
15	200	0.240E-17	0.675E-06	0.150E-17	0.434E-06		
20	0	0.324E+01	0.265E+01	0.130E+01	0.102E+01	-18.086	-21.391
20	5	0.149E+01	0.137E+01	0.616E+00	0.565E+00	-8.165	-8.204

VERVOLG AANHANGSEL 2

H _{ref} (d)	K _{om} (dm ³ /kg)	Maximale concentratie		Uitspoeling als percentage van de toediening		Procentuele verschillen	
		C _{max}		PESTLA	TRANSOL	100(B-A)	100(D-C)
		A (µg/l)	B (µg/l)	C (%)	D (%)	A (%)	C (%)
20	10	0.827E+00	0.789E+00	0.322E+00	0.333E+00	-4.595	3.277
20	15	0.440E+00	0.415E+00	0.175E+00	0.182E+00	-5.636	4.129
20	20	0.221E+00	0.198E+00	0.851E-01	0.932E-01	-10.186	9.483
20	25	0.102E+00	0.889E-01	0.389E-01	0.462E-01	-12.789	18.771
20	30	0.439E-01	0.383E-01	0.170E-01	0.226E-01	-12.743	33.478
20	40	0.700E-02	0.755E-02	0.296E-02	0.548E-02		
20	50	0.980E-03	0.164E-02	0.489E-03	0.139E-02		
20	60	0.151E-03	0.375E-03	0.811E-04	0.373E-03		
20	80	0.441E-05	0.532E-04	0.241E-05	0.377E-04		
20	100	0.141E-06	0.184E-04	0.780E-07	0.122E-04		
20	150	0.260E-10	0.442E-05	0.193E-10	0.348E-05		
20	200	0.123E-13	0.185E-05	0.891E-14	0.149E-05		
30	0	0.851E+01	0.735E+01	0.342E+01	0.285E+01	-13.655	-16.777
30	5	0.588E+01	0.556E+01	0.244E+01	0.228E+01	-5.391	-6.541
30	10	0.404E+01	0.390E+01	0.170E+01	0.169E+01	-3.515	-0.605
30	15	0.264E+01	0.243E+01	0.108E+01	0.110E+01	-7.822	1.399
30	20	0.154E+01	0.133E+01	0.633E+00	0.657E+00	-13.721	3.844
30	25	0.823E+00	0.674E+00	0.348E+00	0.378E+00	-18.108	8.651
30	30	0.412E+00	0.347E+00	0.184E+00	0.214E+00	-15.825	16.240
30	40	0.932E-01	0.972E-01	0.489E-01	0.686E-01	4.335	40.256
30	50	0.224E-01	0.287E-01	0.128E-01	0.228E-01	28.304	77.982
30	60	0.582E-02	0.867E-02	0.346E-02	0.798E-02		
30	80	0.481E-03	0.914E-03	0.280E-03	0.113E-02		
30	100	0.362E-04	0.140E-03	0.247E-04	0.188E-03		
30	150	0.874E-07	0.227E-04	0.656E-07	0.200E-04		
30	200	0.212E-09	0.941E-05	0.203E-09	0.902E-05		
40	0	0.143E+02	0.128E+02	0.576E+01	0.496E+01	-10.601	-13.949
40	5	0.119E+02	0.114E+02	0.497E+01	0.471E+01	-3.981	-5.207
40	10	0.909E+01	0.881E+01	0.392E+01	0.389E+01	-3.124	-0.679
40	15	0.645E+01	0.588E+01	0.276E+01	0.278E+01	-8.853	0.699
40	20	0.404E+01	0.342E+01	0.178E+01	0.182E+01	-15.359	2.165
40	25	0.232E+01	0.192E+01	0.109E+01	0.114E+01	-17.198	4.759
40	30	0.125E+01	0.111E+01	0.645E+00	0.706E+00	-11.108	9.440
40	40	0.376E+00	0.375E+00	0.218E+00	0.270E+00	-0.372	23.933
40	50	0.119E+00	0.133E+00	0.744E-01	0.107E+00	11.022	43.754
40	60	0.421E-01	0.475E-01	0.263E-01	0.442E-01	12.850	68.071
40	80	0.548E-02	0.740E-02	0.359E-02	0.849E-02		
40	100	0.705E-03	0.125E-02	0.526E-03	0.185E-02		
40	150	0.574E-05	0.786E-04	0.491E-05	0.777E-04		
40	200	0.521E-07	0.265E-04	0.506E-07	0.288E-04		
50	0	0.197E+02	0.180E+02	0.797E+01	0.701E+01	-8.668	-12.098
50	5	0.182E+02	0.176E+02	0.769E+01	0.734E+01	-3.278	-4.494
50	10	0.148E+02	0.144E+02	0.653E+01	0.649E+01	-3.016	-0.597
50	15	0.110E+02	0.999E+01	0.491E+01	0.493E+01	-9.447	0.385
50	20	0.720E+01	0.602E+01	0.339E+01	0.343E+01	-16.403	1.200
50	25	0.430E+01	0.372E+01	0.223E+01	0.229E+01	-13.442	2.881

VERVOLG AANHANGSEL 2

H _{ref} (d)	K _{om3} (dm ³ /kg)	Maximale concentratie		Uitspoeling als percentage van de toediening		Procentuele verschillen	
		C _{max}		de toediening		100(B-A)	100(D-C)
		PESTLA	TRANSOL	PESTLA	TRANSOL	A	C
		A (µg/l)	B (µg/l)	C (%)	D (%)	A (%)	C (%)
50	30	0.253E+01	0.228E+01	0.142E+01	0.151E+01	-9.921	6.207
50	40	0.907E+00	0.890E+00	0.567E+00	0.657E+00	-1.841	15.881
50	50	0.356E+00	0.356E+00	0.229E+00	0.295E+00	0.112	28.619
50	60	0.150E+00	0.144E+00	0.959E-01	0.137E+00	-3.941	42.877
50	80	0.245E-01	0.289E-01	0.181E-01	0.327E-01	18.122	80.277
50	100	0.460E-02	0.616E-02	0.362E-02	0.862E-02		
50	150	0.769E-04	0.219E-03	0.732E-04	0.431E-03		
50	200	0.155E-05	0.585E-04	0.164E-05	0.745E-04		
60	0	0.246E+02	0.228E+02	0.994E+01	0.887E+01	-7.163	-10.730
60	5	0.242E+02	0.235E+02	0.103E+02	0.991E+01	-2.689	-3.895
60	10	0.206E+02	0.199E+02	0.922E+01	0.918E+01	-3.016	-0.448
60	15	0.158E+02	0.142E+02	0.728E+01	0.729E+01	-10.095	0.135
60	20	0.106E+02	0.906E+01	0.528E+01	0.532E+01	-14.405	0.699
60	25	0.655E+01	0.586E+01	0.366E+01	0.373E+01	-10.489	1.958
60	30	0.417E+01	0.377E+01	0.247E+01	0.258E+01	-9.616	4.539
60	40	0.169E+01	0.162E+01	0.111E+01	0.124E+01	-4.083	11.473
60	50	0.757E+00	0.708E+00	0.506E+00	0.609E+00	-6.539	20.301
60	60	0.352E+00	0.321E+00	0.238E+00	0.309E+00	-8.864	29.805
60	80	0.712E-01	0.763E-01	0.557E-01	0.864E-01	7.163	55.036
60	100	0.167E-01	0.193E-01	0.136E-01	0.263E-01	15.389	93.377
60	150	0.479E-03	0.858E-03	0.474E-03	0.176E-02		
60	200	0.154E-04	0.107E-03	0.180E-04	0.172E-03		
80	0	0.325E+02	0.308E+02	0.131E+02	0.120E+02	-5.354	-8.807
80	5	0.345E+02	0.338E+02	0.149E+02	0.145E+02	-1.969	-3.059
80	10	0.310E+02	0.300E+02	0.143E+02	0.143E+02	-3.258	-0.307
80	15	0.247E+02	0.220E+02	0.121E+02	0.121E+02	-10.722	-0.011
80	20	0.171E+02	0.153E+02	0.939E+01	0.941E+01	-10.345	0.225
80	25	0.117E+02	0.106E+02	0.700E+01	0.708E+01	-9.641	1.110
80	30	0.801E+01	0.732E+01	0.512E+01	0.525E+01	-8.664	2.624
80	40	0.391E+01	0.361E+01	0.270E+01	0.289E+01	-7.647	7.084
80	50	0.205E+01	0.176E+01	0.145E+01	0.162E+01	-14.146	12.135
80	60	0.103E+01	0.936E+00	0.791E+00	0.930E+00	-9.155	17.577
80	80	0.286E+00	0.274E+00	0.248E+00	0.324E+00	-4.231	30.762
80	100	0.892E-01	0.888E-01	0.807E-01	0.120E+00	-0.448	49.233
80	150	0.504E-02	0.628E-02	0.546E-02	0.124E-01		
80	200	0.324E-03	0.611E-03	0.408E-03	0.160E-02		
100	0	0.385E+02	0.369E+02	0.156E+02	0.144E+02	-4.005	-7.615
100	5	0.428E+02	0.421E+02	0.187E+02	0.182E+02	-1.565	-2.620
100	10	0.397E+02	0.383E+02	0.187E+02	0.187E+02	-3.451	-0.188
100	15	0.323E+02	0.287E+02	0.165E+02	0.165E+02	-10.971	-0.110
100	20	0.231E+02	0.212E+02	0.135E+02	0.135E+02	-8.016	0.057
100	25	0.168E+02	0.153E+02	0.106E+02	0.106E+02	-8.858	0.717
100	30	0.121E+02	0.112E+02	0.812E+01	0.828E+01	-7.694	1.913
100	40	0.660E+01	0.596E+01	0.476E+01	0.500E+01	-9.682	5.087

VERVOLG AANHANGSEL 2

H _{ref} (d)	K _{om} (dm ³ /kg)	Maximale concentratie		Uitspoeling als percentage van de toediening		Procentuele verschillen	
		C _{max}		de toediening		100(B-A)	100(D-C)
		PESTLA	TRANSOL	PESTLA	TRANSOL	A	C
		A (µg/l)	B (µg/l)	C (%)	D (%)	A (%)	C (%)
100	50	0.375E+01	0.321E+01	0.282E+01	0.306E+01	-14.507	8.644
100	60	0.203E+01	0.186E+01	0.170E+01	0.191E+01	-8.522	12.181
100	80	0.693E+00	0.626E+00	0.640E+00	0.772E+00	-9.740	20.596
100	100	0.247E+00	0.234E+00	0.248E+00	0.328E+00	-5.101	32.161
100	150	0.214E-01	0.235E-01	0.255E-01	0.453E-01	9.953	77.455
100	200	0.213E-02	0.294E-02	0.292E-02	0.738E-02		
150	0	0.483E+02	0.472E+02	0.197E+02	0.185E+02	-2.298	-6.004
150	5	0.570E+02	0.565E+02	0.254E+02	0.249E+02	-0.947	-1.963
150	10	0.552E+02	0.532E+02	0.270E+02	0.270E+02	-3.730	-0.174
150	15	0.461E+02	0.422E+02	0.254E+02	0.254E+02	-8.393	-0.118
150	20	0.358E+02	0.334E+02	0.223E+02	0.222E+02	-6.896	-0.203
150	25	0.279E+02	0.258E+02	0.188E+02	0.189E+02	-7.425	0.238
150	30	0.217E+02	0.201E+02	0.156E+02	0.158E+02	-7.373	0.968
150	40	0.137E+02	0.118E+02	0.107E+02	0.110E+02	-13.453	2.830
150	50	0.842E+01	0.751E+01	0.735E+01	0.770E+01	-10.867	4.720
150	60	0.535E+01	0.484E+01	0.509E+01	0.542E+01	-9.477	6.562
150	80	0.237E+01	0.208E+01	0.249E+01	0.275E+01	-12.447	10.507
150	100	0.103E+01	0.936E+00	0.124E+01	0.143E+01	-9.087	15.550
150	150	0.162E+00	0.159E+00	0.235E+00	0.306E+00	-2.160	30.392
150	200	0.289E-01	0.311E-01	0.477E-01	0.714E-01	7.716	49.623
200	0	0.542E+02	0.535E+02	0.221E+02	0.210E+02	-1.402	-5.128
200	5	0.658E+02	0.654E+02	0.296E+02	0.291E+02	-0.608	-1.678
200	10	0.651E+02	0.626E+02	0.326E+02	0.326E+02	-3.853	-0.116
200	15	0.552E+02	0.516E+02	0.318E+02	0.318E+02	-6.364	-0.171
200	20	0.450E+02	0.421E+02	0.290E+02	0.289E+02	-6.335	-0.259
200	25	0.364E+02	0.339E+02	0.256E+02	0.256E+02	-6.819	0.027
200	30	0.295E+02	0.272E+02	0.222E+02	0.223E+02	-7.867	0.550
200	40	0.199E+02	0.173E+02	0.165E+02	0.168E+02	-13.096	1.958
200	50	0.130E+02	0.118E+02	0.123E+02	0.127E+02	-9.385	3.173
200	60	0.894E+01	0.804E+01	0.920E+01	0.959E+01	-10.045	4.286
200	80	0.444E+01	0.394E+01	0.520E+01	0.554E+01	-11.261	6.448
200	100	0.225E+01	0.201E+01	0.298E+01	0.323E+01	-10.711	8.556
200	150	0.485E+00	0.443E+00	0.782E+00	0.880E+00	-8.639	12.595
200	200	0.117E+00	0.114E+00	0.218E+00	0.248E+00	-2.239	13.678

DLO-Staring Centrum, Wageningen

Erratum bij:

J.G. Kroes & J.J.T.I. Boesten: *Vergelijking van de uitspoeling berekend met de modellen TRANSOL en PESTLA*. 1993. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 238.

In fig. 3 t/m 6 is de verklaring voor de curven veelal niet correct:

- in fig. 3A en 3B staat de niet-onderbroken curve (—) voor PESTLA, de onderbroken curve (---) voor TRANSOL;
 - in fig. 4 (A t/m D) staat de niet-onderbroken curve (—) voor PESTLA, de onderbroken curve (---) voor TRANSOL;
 - in fig. 5 staat de niet-onderbroken curve (—) voor TRANSOL, de onderbroken curve (---) voor PESTLA;
 - in fig. 6B staat de niet-onderbroken curve (—) voor TRANSOL, de onderbroken curve (---) voor PESTLA.
- N.B.: fig. 6A is correct.