

**Circular, Economy &
Environment**

Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrecht

www.tno.nl

T +31 88 866 42 56

TNO-rapport INTERNAL

TNO report R12145

**EMMA / MEPHISTO versie maart 2022
gebruikershandleiding**

**Machinery Emissions Prognosis Helped by
Information on Sales of Technology and Oils**

Datum	10 november 2022
Auteur(s)	S.N.C. Dellaert MSc.
Aantal pagina's	35 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	5
Opdrachtgever	PBL Netherlands Environmental Assessment Agency
Projectnaam	Update MEPHISTO
Projectnummer	060.43097

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Samenvatting

Dit rapport bevat een handleiding voor het gebruik van het gecombineerde emissiemodel EMMA / MEPHISTO, versie maart 2022. Dit emissiemodel kan zowel gebruikt worden voor het bepalen van historische emissies, als voor de prognose van emissies naar de lucht door mobiele werktuigen in Nederland. Het EMMA model wordt sinds 2008 toegepast om de emissies van mobiele werktuigen voor historische jaren te berekenen op grond van machineverkopen, gecombineerd met de afzet van brandstof. Waar het EMMA model zich richt op historische jaren, kan het MEPHISTO model gebruikt worden om een prognose maken van de emissies in toekomstige jaren.

Het MEPHISTO model kan prognoses maken tot het jaar 2050. Hierbij kan de invloed van een aantal factoren worden doorgerekend, zoals groeiscenario's voor de sectoren waarin de mobiele werktuigen worden toegepast, de incidentie van tampering met emissiereductiemaatregelen, en de snelheid van elektrificatie van het machinepark.

Deze handleiding geeft een beknopte achtergrond van de rekenmethodiek maar richt zich met name op de toepassing van het model door de gebruiker. De modelinvoer, het interne rekenmodel en de modeluitvoer worden toegelicht en de variabelen die door de gebruiker kunnen worden aangepast worden besproken. Voor een inhoudelijke bespreking van de rekenmethodiek en invoerdata wordt verwezen naar Hulskotte & Verbeek (2009).

Inhoudsopgave

Samenvatting	2
1 Inleiding	4
2 Algemene toelichting	6
2.1 Structuur van het model	6
2.2 Het MEPHISTO model doorlopen	7
3 Invoer	8
3.1 Invoer emissieberekening	8
3.1.1 Machines en kenmerken	8
3.1.2 Draaiuren	9
3.1.3 Belastingprofielen	9
3.1.4 Machine-aantallen	9
3.1.5 Efficiëntieverbeteringen	9
3.1.6 Emissiefactoren	10
3.1.7 Elektrificatie van het machinepark	11
3.1.8 Correctiefactoren	13
3.2 Invoer prognose	14
3.2.1 Emissiejaren	14
3.2.2 Groei van de sectoren waarin de mobiele werktuigen worden toegepast	14
3.2.3 Elektrificatie van het machinepark	15
3.3 Overige tabellen	16
4 Rekenmodel	17
4.1 Opzet emissieberekening	17
4.2 Formules	18
4.3 Prognose	20
5 Uitvoer	21
5.1 MEPHISTO	21
5.1.1 Aantallen machines in gebruik	21
5.1.2 Energiegebruik en Emissies	22
6 Referenties	24
7 Ondertekening	25
8 Bijlagen	26
A. Beschrijving tabellen, query's en relaties _ NIET MEER ACTUEEL	26
B. Overzicht van beschikbare variabelen in tabel Emissies_voor_rapportage	30
C. Overzicht van beschikbare variabelen in tabel Energie_voor_rapportage	31
D. Overzicht van beschikbare variabelen in tabel Actief_aantal	32
E. Logboek van wijzigingen tot versie MEPHISTO 2022_03	33

1 Inleiding

Dit rapport bevat een handleiding voor het gebruik van het gecombineerde emissiemodel EMMA / MEPHISTO, versie maart 2022. Dit emissiemodel kan zowel gebruikt worden voor het bepalen van historische emissies, als voor de prognose van emissies naar de lucht door mobiele werktuigen in Nederland. Het EMMA model wordt sinds 2008 toegepast om de emissies van mobiele werktuigen voor historische jaren te berekenen op grond van de machineverkopen, gecombineerd met de afzet van brandstof. Waar het EMMA model zich richt op historische jaren, kan het MEPHISTO model gebruikt worden om een prognose maken van de emissies in toekomstige jaren.

De algemene documentatie van het oorspronkelijke EMMA model is te vinden in het betreffende TNO-rapport (Hulskotte & Verbeek, 2009). Een bijgewerkte beschrijving van het EMMA / MEPHISTO model zal begin 2023 gepubliceerd worden. De laatste wijzigingen zijn te vinden in het methodiekrapport van de taakgroep Verkeer en vervoer (Geilenkirchen et al., 2022). Meer informatie over het machinepark gebruikt voor de containeroverslag is te vinden in een TNO-rapport (Dellaert, 2016). De herkomst van brandstofverbruik en emissies van grondmaterieel op vliegvelden wordt beschreven in een ander TNO-rapport (Hulskotte & Dellaert, 2017).

Het EMMA / MEPHISTO model betreft een samenvoeging van het EMMA model zoals gebruikt voor de Emissieregistratie ronde 2021, en MEPHISTO 1.6. Door deze samenvoeging zijn verbeteringen die in de Emissieregistratie worden doorgevoerd direct beschikbaar voor de prognose van emissies.

Een ander verschil ten opzichte van eerdere versies van MEPHISTO is dat een deel van de tabellen met modelparameters nu in het model is opgenomen, en niet langer in het MS Excel invoerbestand. Dit was nodig omdat de berekeningen, die gedetailleerder zijn dan in vorige versies, dan een stuk sneller kunnen worden uitgevoerd. Alleen tabellen met modelparameters waar regelmatig aanpassingen door de gebruiker worden gemaakt, zijn in het MS Excel invoerbestand opgenomen.

Een overzicht van alle wijzigingen per versienummer is te vinden in bijlage E van dit rapport. In MEPHISTO_Invoer.xlsx wordt ook een logboek van wijzigingen bijgehouden.

Een groot deel van de modelinvoer en rekenstappen zijn voor zowel de historische jaren als de prognose van toepassing. Pas nadat deze rekenstappen zijn voltooid, ontstaat er een splitsing in het model:

- De uitvoer van resultaten voor historische jaren voor de stoffen en het format zoals gebruikt voor de Emissieregistratie werkveld 76;
- Een extrapolatie van de resultaten naar toekomstige jaren met behulp van de prognosefactoren zoals gespecificeerd door de gebruiker.

Bij de prognose wordt ook een inschatting gegeven voor Ground Support Equipment (GSE), werktuigen die op vliegvelden worden gebruikt. In de Emissieregistratie vallen deze machines onder een ander werkveld en zijn daarom niet opgenomen in de uitvoer voor het Emissieregistratie werkveld 76.

Deze handleiding geeft een beknopte achtergrond van de rekenmethodiek maar richt zich met name op de toepassing van het model door de gebruiker. Na een korte algemene toelichting op het model (hoofdstuk 2) wordt de modelinvoer beschreven (hoofdstuk 3). In hoofdstuk 4 worden de belangrijkste rekenstappen in het model toegelicht, waarna in hoofdstuk 5 een beschrijving van de modeluitvoer wordt gegeven.

2 Algemene toelichting

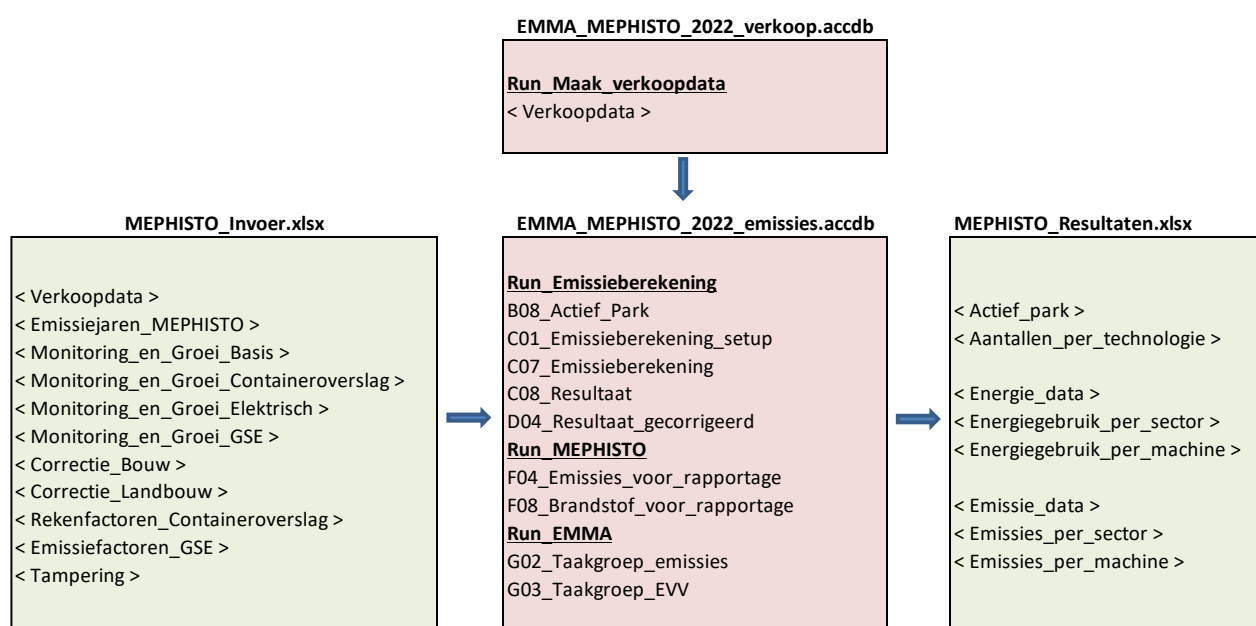
2.1 Structuur van het model

Het EMMA / MEPHISTO model zoals geleverd aan gebruikers bestaat uit drie bestanden:

1. Het bestand “MEPHISTO_Invoer.xlsx” bevat alle door de gebruiker te beïnvloeden invoergegevens waarmee de centrale rekenapplicatie de berekeningen uitvoert. Dit bestand bevat dus ook de definities van de verschillende scenario's die de door de gebruiker kunnen worden samengesteld. De gebruiker kan verschillende versies van dit bestand bewaren om de invoer van verschillende modelversies en scenario's te borgen.
2. Het bestand “EMMA_MEPHISTO_2022_emissies.accdb” bevat het centrale rekenmodel dat is uitgevoerd als MS-Access-applicatie.
3. Het bestand “MEPHISTO_Resultaten.xlsx” bevat enkele draaitabellen (pivot-tabellen) die zijn gekoppeld aan de resultaten van de berekeningen die in “EMMA_MEPHISTO_2022_emissies.accdb” worden uitgevoerd. Met deze draaitabellen kunnen de uitkomsten op verschillende aggregatieniveaus zichtbaar gemaakt worden.

Het bestand “EMMA_MEPHISTO_2022_verkoop.accdb” combineert verschillende databronnen tot een uniform overzicht van machineverkoop van historische jaren tot toekomstige jaren. Dit bestand wordt niet meegeleverd, maar de belangrijkste uitvoer is opgenomen in “MEPHISTO_Invoer.xlsx” tabblad <verkoopdata>.

In Figuur 1 wordt de structuur van het EMMA / MEPHISTO model weergegeven.



Figuur 1 Structuur van het EMMA / MEPHISTO model

2.2 Het MEPHISTO model doorlopen

Hieronder volgt een korte beschrijving van de stappen die worden doorlopen bij het draaien van het model. Een beschrijving van de functie van de individuele tabellen en query's in MEPHISTO en de onderlinge relaties daartussen is te vinden in bijlage A van dit rapport.

Klaarmaken modelinvoer

De gebruiker maakt een nieuwe versie van het invoerbestand (MEPHISTO_invoer.xlsx) en definieert hierin de emissiejaren, emissiefactoren en de groeiscenario's voor de verschillende sectoren. Als de invoer juist is, wordt het bestand opgeslagen en afgesloten.

Opmerking: het is af te raden om berekeningen op te starten terwijl MEPHISTO_Invoer.xlsx is geopend omdat de snelheid van de berekeningen hierdoor aanzienlijk vertraagd wordt.

Uitvoeren modelberekeningen

In "EMMA_MEPHISTO_2022_emissies.accdb" worden de modelberekeningen uitgevoerd en ook de (tijdelijke) rekenresultaten opgeslagen. Hiertoe dienen de volgende stappen te worden uitgevoerd:

- De macro "00_Run_Tabellen_leggen" wordt uitgevoerd. Hiermee worden resultaat tabellen geleegd om plaats te maken voor de nieuwe resultaten.
- Onder het menu "Database tools" wordt de functionaliteit "Compact and Repair Database" gestart. Dit is nodig om de bestandsgrootte van de database te verminderen.
- De macro "01_Run_Emissieberekening" wordt uitgevoerd. Hiermee worden de emissies en brandstofverbruik van het machinepark berekend, onafhankelijk van de groeiscenario's die door de gebruiker zijn ingevoerd.
- De macro "03_Run_Uitvoer_MEPHISTO" wordt uitgevoerd. De emissies en energietotalen worden geschaald op basis van de groeiscenario's in de gebruikersinvoer. Vervolgens worden de resultaat tabellen weggeschreven welke door "MEPHISTO_Resultaten.xlsx" kunnen worden gelezen.

Ophalen resultaten

De resultaten worden opgevraagd door eerst een reserve-kopie te maken van "MEPHISTO_Resultaten.xlsx" (om de bestaande gegevens te bewaren) en vervolgens met de rechtermuisknop op invoertabellen <emissie data>, <energie data> en <Actief park> te klikken en vervolgens op "Refresh". De nieuwe berekende data worden dan ingelezen uit respectievelijk de databasetabellen "Emissies voor rapportage", "Energie voor rapportage" en "Actief park" (deze staan in "EMMA_MEPHISTO_2022_emissies.accdb").

Overzichten van de berekende data staan in de draaitabellen op de volgende tabbladen: <Energiegebruik per sector>, <Energiegebruik per machine>, <Emissies per sector>, <Emissies per machine> en <Aantallen per technologie>. Ook deze gegevens kunnen worden verversd door met de rechtermuisknop op de draaitabellen te klikken en vervolgens op "Refresh".

3 Invoer

3.1 Invoer emissieberekening

Hieronder volgt een beschrijving van de verschillende tabellen met invoer- en rekenparameters die door het model worden gebruikt.

3.1.1 Machines en kenmerken

In het tabblad < Euromot machines > staat een overzicht van alle machinetypen die in het EMMA / MEPHISTO model kunnen voorkomen.

In het tabblad < Sector aandeel machines > is een toedeling opgenomen van alle machinetypen naar de verschillende sectoren (emissie-oorzaken), waarbij sommige machinetypen in meerdere sectoren kunnen worden ingezet. De betreffende sectoren staan in onderstaande tabel.

CODE	PROCES_OMSCHRIJVING
0401100	Mobiele werktuigen landbouw
0401102	Mobiele werktuigen, bouwsector
0401103	Mobiele werktuigen industrie
0401104	Mobiele werktuigen consumenten
0401105	Mobiele werktuigen HDO
0401107	Mobiele werktuigen containeroverslag

Tabblad < Kenmerken > bewaart de volgende kenmerken per machinetype :

- Het motortype: diesel, 2-takt benzine, 4-takt benzine of LPG.
- Of het een handheld machine betreft. Hiervoor gelden andere emissiefactoren.
- Het gemiddelde nominale motorvermogen (kW).
- Het gemiddelde aantal draaiuren per jaar (Actieve uren). Dit omvat ook stationair draaien.
- De mediaan van het totale aantal draaiuren dat een machine meegaat voordat deze uit het park verdwijnt (Mediane Levensduur), gebaseerd op de typische motorbelasting. Het aantal actieve uren, in combinatie met de uitvalfunctie, bepaalt na hoeveel jaar de machine uitvalt.
- Het belastingtype, een koppeling aan het typische motorbelastingprofiel van dit type machine.
- De basisbeschikbaarheid van dit machinetype als elektrische variant (%) (anno 2020). Deze beschikbaarheid kan oplopen in de prognosejaren, afhankelijk van de "B" parameter (Aanvulling EV Beschikbaarheid) in tabel <Monitoring en groei Elektrisch>.
- Of de machine als kabel-elektrische variant kan worden uitgevoerd (ja/nee).
- De benodigde accucapaciteit voor één werksessie (kWh). Er is een standaardwaarde afgeleid door het vermogen te vermenigvuldigen met een gemiddelde motorbelasting van 30% en het jaarlijkse aantal draaiuren gedeeld door 200 inzetdagen.
- De typische inzet (dagen) van het machinetype tijdens een project/klus.

3.1.2 *Draaiuren*

Het aantal jaarlijkse draaiuren van een machine wordt bepaald door het gemiddelde aantal draaiuren per jaar, de leeftijd van de machine en de draaiuren correctiefactor die is opgenomen in de tabel < ScrapFunctie >. Een nieuwe machine zal typisch 33% meer worden ingezet dan de gemiddelde waarde, terwijl een machine na 1 nominale levensduur nog slechts 90% van deze gemiddelde waarde draait. Na 3 nominale levensduren draaien de overgebleven machines nog slechts 5% van de gemiddelde waarde.

3.1.3 *Belastingprofielen*

Machines worden typisch niet continue op volledige motorbelasting gebruikt, maar vaak een deel van de tijd op lagere belasting en zelfs een deel van de tijd stationair. Per machinetype kunnen typische motorbelastingprofielen worden afgeleid, bijvoorbeeld uit geanalyseerde motordata. Omdat emissiekenmerken ook afhangen van de specifieke motorbelasting, kunnen deze profielen worden gecombineerd met specifieke emissiefactoren om zo nauwkeuriger de emissies tijdens typisch gebruik in te schatten. Vier tabbladen zijn hier van belang:

- In de tabel < belasting profielen > staat een korte omschrijving van de verschillende motorbelastingprofielen die reeds in het model zijn gedefinieerd.
- In de tabel < belasting bins > staan de motorbelastingpunten waarvan voor ieder profiel de tijdsfracties zijn gedefinieerd.
- In de tabel < belasting waarden > staat per belastingprofiel en per motorbelastingpunt (bin), het aandeel van de totale draaitijd die rond deze motorbelasting wordt gedraaid. De fracties tellen per profiel op tot 1.
- In de tabel < belasting gemiddeld > staat per belastingprofiel de gemiddelde motorbelasting.

3.1.4 *Machine-aantallen*

De tabel < verkoopdata > bevat een overzicht van het aantal machines per type, dat jaarlijks het park in komt. Deze verkoopdata is samengesteld uit een combinatie van monitoring van machineverkoop door brancheverenigingen, commercieel aangekochte verkoopdata, inschattingen op basis van sectorrapporten en een enquête (zie Dellaert et al., 2021). Vervolgens wordt er een eenvoudige extrapolatie uitgevoerd, zowel naar de toekomst als naar historische jaren.

De verkoopdata wordt samengesteld in de MS Access database "EMMA_MEPHISTO_2022_verkoop.accdb" welke niet standaard wordt meegeleverd voor het uitvoeren van prognoses. De belangrijkste uitvoer van deze database wordt echter opgenomen in de "MEPHISTO_invoer.xlsx" zodat het model hier mee kan rekenen.

Tabel < ScrapFunctie > geeft het aandeel machines uit de totale introductie in een bepaald bouwjaar, dat nog actief is na een bepaald aantal nominale levensduren. Bijvoorbeeld, na 1 maal de nominale levensduur is nog 50% van de machines actief. Samen met de verkoopdata, de mediane levensduur van machines en de jaarlijkse draaiuren bepaalt de functie de samenstelling van het actieve park.

3.1.5 *Efficiëntieverbeteringen*

Het MEPHISTO model gaat uit van een continue verbetering van de motorefficiëntie voor mobiele machines van ca. 1% per (bouw)jaar. Deze efficiëntieverbetering is gedefinieerd in de tabel < Efficiency motor >. Deze verbetering geldt voor alle motortypen, behalve elektrische motoren.

De jaarlijkse verbetering is afhankelijk van de grootte van de motor (grotere motoren worden sneller efficiënter). Onderstaande tabel toont per bouwjaar en nominaal motorvermogen de motorefficiëntie in MJ brandstof per MJ arbeid geleverd, bij een gemiddelde motorbelasting van 35%. Deze waarden gelden voor dieselmotoren en zijn afhankelijk van het motorbelastingprofiel. Voor benzine- en LPG-motoren zijn deze waarden standaard 17% hoger.

jaar	MJ stookwaarde/MJ arbeid bij maximaal vermogen (kW)														
	5	10	20	30	50	75	100	150	200	250	300	400			
1960	9.468	6.611	5.179	4.795	4.529	4.400	4.336	4.272	4.240	4.221	4.208	4.192			
1965	9.468	6.611	5.179	4.795	4.529	4.400	4.336	4.272	4.240	4.221	4.208	4.192			
1970	9.468	6.611	5.179	4.795	4.529	4.400	4.336	4.272	4.240	4.221	4.208	4.192			
1975	9.086	6.330	4.948	4.577	4.319	4.194	4.132	4.070	4.039	4.020	4.007	3.992			
1980	8.722	6.062	4.729	4.370	4.119	3.998	3.937	3.877	3.847	3.829	3.817	3.801			
1985	8.376	5.808	4.521	4.172	3.929	3.811	3.752	3.694	3.664	3.647	3.635	3.620			
1990	8.047	5.566	4.323	3.985	3.748	3.634	3.576	3.519	3.491	3.474	3.462	3.448			
1995	7.734	5.335	4.134	3.806	3.576	3.465	3.409	3.353	3.325	3.309	3.298	3.284			
2000	7.436	5.116	3.954	3.636	3.412	3.304	3.250	3.195	3.168	3.152	3.141	3.128			
2005	7.152	4.908	3.783	3.475	3.256	3.151	3.098	3.045	3.019	3.003	2.992	2.979			
2010	6.882	4.709	3.621	3.321	3.108	3.005	2.954	2.902	2.876	2.861	2.851	2.838			
2015	6.623	4.519	3.465	3.173	2.966	2.865	2.815	2.765	2.740	2.725	2.715	2.702			
2020	6.377	4.338	3.316	3.032	2.830	2.732	2.683	2.634	2.610	2.595	2.585	2.573			
2025	6.142	4.165	3.175	2.899	2.702	2.606	2.558	2.510	2.486	2.472	2.462	2.450			
2030	5.919	4.001	3.041	2.772	2.579	2.485	2.439	2.392	2.368	2.354	2.345	2.333			
2035	5.707	3.845	2.913	2.651	2.463	2.371	2.325	2.280	2.257	2.243	2.234	2.222			
2040	5.505	3.697	2.791	2.536	2.352	2.262	2.217	2.173	2.150	2.137	2.128	2.117			
2045	5.314	3.556	2.676	2.427	2.247	2.159	2.115	2.071	2.049	2.036	2.027	2.016			
2050	5.131	3.422	2.566	2.323	2.146	2.060	2.017	1.974	1.953	1.940	1.932	1.921			

Voor de mobiele werktuigen gebruik in de luchtvaart (ground support equipment) kan de gebruiker zowel de totale brandstofhoeveelheid als de hoeveelheid benodigde brandstof per eenheid activiteit aanpassen.

Bij mobiele werktuigen voor containeroverslag kan het aantal geleverde kWh per overgeslagen container, het aandeel containeroverslag dat met elektrische machines wordt uitgevoerd en het aandeel lege containers worden aangepast. Hiervoor kunnen de tabellen <Monitoring en Groei ConOverslag> en <Rekenfactoren ConOverslag> worden aangepast. Het opgegeven aandeel van geëlektrificeerd overgeslagen containers wordt niet meegenomen in de emissies. De overslag van een lege container veroorzaakt naar schatting slechts 1/3 van de emissies en brandstofverbruik in vergelijking met een volle container.

3.1.6 Emissiefactoren

Voor de energie- en emissieberekeningen zijn in de modelinvoer verschillende tabbladen met rekenparameters opgenomen:

- In het tabblad < Technologie per Bouwjaar > staat aangegeven welke technologie (= eisen aan emissies) volgens de Europese emissienormering moet worden toegepast op motoren (Motor Cat ID) die in een bepaalde groep vallen vanaf een bepaald bouwjaar.
- Tabblad < Technologie per Bouwjaar aggregaten > is vergelijkbaar met de hierboven genoemde tabel, echter deze laat de nieuwe emissie-eisen voor aggregaten met een vertraging introduceren, een fenomeen dat in de praktijk veelvuldig voorkomt.
- In het tabblad < Emissiefactoren > staat per motorcategorie, per motortype, per technologie, en per motorbelastingpunt aangegeven wat de emissiefactoren (in g/s/kW) per stof zijn. Hierin zijn inzichten uit recente meetcampagnes meegenomen.

- In het tabblad < Emissiefactoren tampered > staan de NO_x en PM emissiefactoren (in g/s/kW) voor moderne motoren waar de emissiereductietechnologie is verwijderd of uitgeschakeld. Het percentage machines waar met de emissiereductietechnologie is “getampered” kan worden ingevoerd in tabblad < Tampering >.
- In het tabblad < Emissiefactoren brandstof > staan de emissiefactoren (in g/MJ) vermeld, die niet afhankelijk zijn van de technologie maar van de brandstofeigenschappen zoals SO₂ en CO₂. Omdat het zwavelgehalte jaarafhankelijk is, staan er bij SO₂ meerdere keren een Invoerjaar en een Eindjaar vermeld.
- In het tabblad < Brandstof > staat de energie-inhoud per gewichtshoeveelheid (MJ/kg) en de dichtheid van de brandstoffen vermeld.

3.1.7 Elektrificatie van het machinepark

De elektrificatie van het machinepark wordt gemodelleerd middels het aandeel in de jaarlijkse verkoop van machines dat niet met brandstofmotor, maar kabel-elektrisch of accu-elektrisch is uitgevoerd. Dit aandeel elektrische machines in de jaarlijkse verkoop wordt per machinetype ingegeven door de machinekenmerken in tabel < kenmerken > en de prognosefactoren in tabel < Monitoring en groei Elektrisch >.

In tabel < kenmerken > zijn per machinetype 4 machinekenmerken gedefinieerd die invloed kunnen hebben op het tempo van elektrificatie. Deze kenmerken zijn in principe statisch. Alleen de beschikbaarheid van elektrische varianten kan middels prognosefactoren aangepast worden voor toekomstige jaren. De elektrische machines hebben in deze modelversie dezelfde kenmerken (vermogen, draaiuren, levensduur etc.) als de brandstofvarianten.

De 4 kenmerken die elektrificatie beïnvloeden zijn:

1. Huidige beschikbaarheid van elektrische variant (%)

Typisch geldt:

- a. Gangbare machines (mobiele kranen, wielladers, trekkers, etc.) zijn vaker in elektrische varianten beschikbaar dan specialistische machines (bv. bietenrooiers).
 - b. Vooral kleinere machines (<30 kW) zijn in elektrische varianten beschikbaar, en hele grote machines nauwelijks.
2. Bekabelbaar (ja/nee). Is er sprake van stilstaande apparaten, of met beperkte verplaatsing, zodat een machine bekabeld, ofwel aan een stroomdraad kan worden gehouden.
Machines die bekabeld kunnen worden zijn beter geschikt voor elektrificatie, als de inzet in dagen voldoende lang is.
 3. De benodigde accugrootte per werksessie (kWh). Deze wordt afgeleid o.b.v. 1 dag werk met een gemiddelde motorbelasting van 30% en een verdeling van de jaarlijkse draaiuren over 200 werkdagen per jaar.
 4. De typische inzet (in dagen) dat dit type machine achtereenvolgens wordt ingezet op locatie tijdens een klus/project.

Dan zijn er in tabel <Monitoring en groei Elektrisch> 6 algemene factoren gedefinieerd die het potentieel aan inzet van elektrische machinevarianten in Nederland beïnvloeden:

1. Stroomvoorziening is essentieel voor de inzet van elektrische machines, ook voor opladen op locatie. Een break-even van X dagen inzet op dezelfde locatie maakt elektrificatie rendabel (zowel bekabeling als accu).

De aanname is dat groter materieel, dat speciaal transport vereist, langer op een locatie is dan klein materieel dat bijvoorbeeld met een BE-trekker of busje aangevoerd kan worden.

2. Voor grote machines met veel draaiuren zijn de accukosten navenant hoger. De factor **Y kWh per dag** is de break-even voor machines met een accu (de maximale grootte van de accu waarmee nog rendabel een verbrandingsmotor kan worden vervangen).
3. De aanname is dat bekabelbare machines in een **fractie Z met accu (%)** worden uitgerust, en dat in **(1-Z)** van de gevallen een kabel gebruikt wordt (Bij niet-bekabelbaar geldt Z=1).
4. Bij een lage inzet en een voldoende accucapaciteit, hoeft het materieel niet op locatie opgeladen te worden, en dat biedt een elektrificatie-alternatief in de vorm van "thuisladen". **L energie voor de dagen inzet** (kWh) geeft de maximale gevraagde arbeid dat nog gemakkelijk getransporteerd kan worden naar de werklocatie.
5. De **groei van de EV beschikbaarheid B** (Huidige → 100% beschikbaarheid). Deze prognosefactor zorgt van de overbrugging van de huidige geschatte beschikbaarheid (zoals gegeven in tabel < kenmerken >) naar 100% beschikbaarheid van elektrische varianten van alle machinetypen. Deze factor heeft dus invloed op alle machinetypen in het model (met uitzondering van machines voor containeroverslag, welke een apart elektrificatieverloop kennen).

Factor 1 t/m 5 bepalen het potentieel (%), oftewel het aandeel dat rendabel kan worden vervangen, als de elektrische variant geaccepteerd is als equivalent aan de traditionele machines, inclusief gebruikslevensduur en vermogen.

Dan volgt er nog één factor:

6. **Acceptatie A [%]** is de fractie van mensen dat bij een rendabele elektrische variant, daar ook voor kiest.

Deze factoren krijgen ieder een prognosereeks (een jaarlijkse waarde van 1990 tot 2050). Samen met de 4 factoren per machinetype gaan deze een formule in die per verkoopjaar het aandeel van elektrische machines in de verkoop bepaalt (we onderscheiden batterij- en kabel-elektrische machines).

De 6 factoren (X, Y, Z, L, B, A) zullen over de loop van de tijd veranderen als gevolg van autonome ontwikkelingen maar kunnen ook beïnvloed worden door concreet beleid voor elektrificatie van mobiele werktuigen. Daarmee zal het aandeel elektrische machines in de verkoop vermoedelijk stijgen, en daarmee in de loop van de tijd ook in het machinepark.

De verwachting is dat huidige en toekomstige waarden voor factoren X en L kunnen worden uitgevraagd in interviews met aannemers. Factor Y kan worden onderzocht door kostencurves van elektromotor/batterijsystemen te vergelijken met brandstof-motorsystemen. Alle factoren, maar zeker X, B en A, kunnen worden beïnvloed door overheidsbeleid, welke het aanleggen van stroomvoorziening, of het gebruik van elektrische machines wanneer deze op de markt zijn, zouden kunnen afdwingen.

De standaard ingevulde waarden zijn niet gebaseerd op uitgebreid onderzoek. Betere invulling van de elektrificatiefactoren zal aanvullend onderzoek vragen.

Elektrische machines lopen mee in de prognose van activiteit (< Monitoring en groei basis >) in de verschillende sectoren op basis van de geleverde arbeid in kWh. In tabblad < Kenmerken EV > kan per machinetype en per verkoopjaar worden afgelezen welk aandeel van de verkoop accu-elektrisch of batterij-elektrisch wordt verondersteld.

3.1.8 *Correctiefactoren*

De bouw is een sector die sterk wordt beïnvloed door economische ontwikkelingen. De activiteit in de sector kan van jaar tot jaar relatief sterk wisselen afhankelijk van de economische conjunctuur, een effect dat niet voldoende kan worden afgevangen met veranderende verkoopaantallen van machines. De tabel < Correctie bouw > geeft de jaarlijkse correctiewaarde op de totale activiteit en emissies van de bouwsector.

Deze correctiewaarde is afgeleid van de CBS statistiek "*Productie- en inkomenscomponenten bbp; bedrijfstak; nationale rekeningen. Toegevoegde waarde vanuit productie, Volumemutatie t.o.v. voorafgaand jaar, Output basisprijzen*".

Deze correctie geldt voor alle motortypen en brandstoffen in de bouw.

De tabel < Correctie landbouw > geeft de jaarlijkse dieselplas als gevolg van gebruik van mobiele machines in de landbouw. Hiervoor worden schattingen van het LEI en CUMELA gebruikt. Op basis hiervan wordt het ruwe resultaat voor diesel-aangedreven landbouwmachines gecorrigeerd.

3.2 Invoer prognose

3.2.1 *Emissiejaren*

In tabblad < Emissiejaren MEPHISTO > kan een selectie worden gemaakt voor welke jaren de emissies worden bepaald en uitgevoerd.

3.2.2 *Groei van de sectoren waarin de mobiele werktuigen worden toegepast.*

Met het MEPHISTO model kunnen prognoses tot het jaar 2050 gemaakt worden. Een belangrijke invoer voor het MEPHISTO model zijn de groeiscenario's voor het gebruik van mobiele werktuigen in de verschillende sectoren die worden onderscheiden. Deze groeiscenario's worden ingevoerd in het bestand "MEPHISTO Invoer.xlsx", op de volgende tabbladen:

- in tabblad <Monitoring en Groei Basis> voor de sectoren landbouw, industrie, bouw, consumenten en HDO.
- in tabblad < Monitoring en Groei Containeroverslag > voor mobiele machines gebruikt voor containeroverslag.
- in tabblad < Monitoring en Groei GSE> voor mobiele machines in de luchtvaartsector.

In tabblad < Monitoring en Groei Basis > kan de geleverde arbeid (uitgedrukt in MWh) van mobiele werktuigen in de sectoren landbouw, industrie, bouw, consumenten en HDO worden opgegeven per jaar. Dit betreft dus de arbeid die wordt geleverd, onafhankelijk van motorefficiëntie en energetische omzettingen. Deze geleverde arbeid is onafhankelijk van de gebruikte brandstoffen (of elektriciteit). De verhouding tussen brandstoffen, motor- of machinetypen wordt bepaald door de ontwikkeling van het machinepark.

Voor de prognose voor toekomstige jaren kan direct de geleverde arbeid per jaar ingevuld worden, of een groeipercentage ten opzichte van het vorige jaar. Het model schaaft de autonome ontwikkeling van de emissies en het energiegebruik met de hoeveelheid geleverde arbeid die door het scenario wordt opgelegd. De cijfers over de historische jaren kunnen in beginsel niet worden gewijzigd tenzij andere invoergegevens worden aangeboden. Deze cijfers lopen in deze versie t/m 2020 en bevatten de uitkomsten van de EMMA versie gebruikt voor de laatste officiële levering aan de Emissieregistratie. De cijfers over de historische jaren dienen jaarlijks aangevuld en bijgewerkt te worden.

De autonome ontwikkeling van emissies en energiegebruik is het gecombineerde resultaat van de historische machineverkoop (die worden doorgetrokken naar de toekomst), de introductie van elektrische machines, de resulterende jaarlijkse samenstelling van het machinepark en representatieve emissiefactoren. In het huidige model worden de toekomstige verkoopcijfers gelijk verondersteld aan de gemiddelde verkoop van de laatste 3 bekende verkoopcijfers die zijn opgenomen in het EMMA model. Een machine die in een bepaald jaar verkocht wordt, komt dan in het totale machinepark terecht. Een uitvalfunctie die de verwachte mediane levensduur van de machine meeneemt, zorgt ervoor dat oude machines na verloop van tijd weer uit het park verdwijnen.

De groeicijfers bij luchtvaart (tabblad < Monitoring en Groei GSE>) worden ingevoerd middels een geschatte jaarlijkse groei van het totale maximale opstijggewicht (MTOW¹) van de vliegtuigen per luchthaven. Hoewel er op sommige luchthavens een plafond op het aantal vliegbewegingen zit, kan het MTOW nog steeds stijgen doordat gemiddeld grotere vliegtuigen worden ingezet. Bij havenmachines wordt de groei bepaald door een groeipercentage op te geven van het jaarlijkse aantal overgeslagen containers (in TEU²) in tabblad < Monitoring en Groei Containeroverslag>.

De standaard ingevulde groeipercentages zijn niet gebaseerd op enig model en betere invulling van de groeipercentages zal aanvullend onderzoek vragen.

- 3.2.3 *Elektrificatie van het machinepark*
Zie paragraaf 3.1.7.

¹ MTOW staat voor Maximum Take-off Weight van alle vliegbewegingen

² TEU staat voor Twenty foot Equivalent Unit

3.3 Overige tabellen

Tabel 1 geeft een overzicht van de overige tabellen in het EMMA / MEPHISTO model.

Tabel 1 Inhoud en functie van overige tabellen in EMMA_MEPHISTO_2022_emissies.accdb

Tabblad	Bevat
Brandstof	Brandstoffenlijst. Bevat energiedichtheid en massadichtheid
Brandstof per technologie	Hierin ligt per technologie vastgelegd wanneer is overgegaan van rode diesel naar EN-590
EVE	Overzicht van emissie verklarend variabelen. Deze zijn gekoppeld aan brandstofverbruik per brandstofsoort en zijn relevant voor rapportage naar de Emissieregistratie
Emissiejaren EMMA	Selectie van jaren waarvoor een emissieberekening wordt uitgevoerd voor de Emissieregistratie
Jaren	Lijst van alle bouwjaren van machines
Perioden	Indeling van jaren in groepen van 5 (historische jaren) of 10 (toekomstige jaren vanaf 2020)
Emissieoorzaak	Lijst van emissieoorzaken die worden gebruikt in de Emissieregistratie
Stofstroomtype	Het type proces dat leidt tot de uitstoot van emissies. Relevant voor rapportage naar de Emissieregistratie
Sectoren	Opsomming van de sectoren waarin machines worden gebruikt
Motortype	Indeling van motoren volgens werkingsprincipe. Bepaalt mede de geldende emissiefactor
Motor Categorie	Motorgroepering naar vermogen in de Europese emissiewetgeving. Bepaalt mede de geldende emissiefactor
Technologie	Overzicht van technologie-niveaus die volgen uit de Europese emissiewetgeving rondom mobiele machines. Bepaalt mede de geldende emissiefactor
Stoffen	De stoffen en de codering inclusief koppelingen naar geregistreerde stoffen in Emissieregistratie (gsf code)
Geregistreerde stof	Indeling van stoffen gebruikt voor de Emissieregistratie, betreft de stoffen zoals deze worden berekend
Gepresenteerde stof	Indeling van stoffen gebruikt voor de Emissieregistratie, betreft de stoffen zoals deze worden geaggregeerd en gepresenteerd
Omstoffen filter	Toedeling van gepresenteerde stoffen aan de compartimenten waar deze voorkomen (lucht, water etc.)
Fijnstof toedeling	Toedeling van het aandeel van verschillende fijnstofcomponenten (bijv. EC2.5) binnen het totaal aan PM10, per sector/ activiteit/ brandstof
Verbrandingswaarde	De verbrandingswaarde van iedere brandstof per jaar
Referenties Activiteiten data	De referenties behorende bij de Verkoopdata
Referenties Emissiefactoren	De referenties van de emissiefactoren

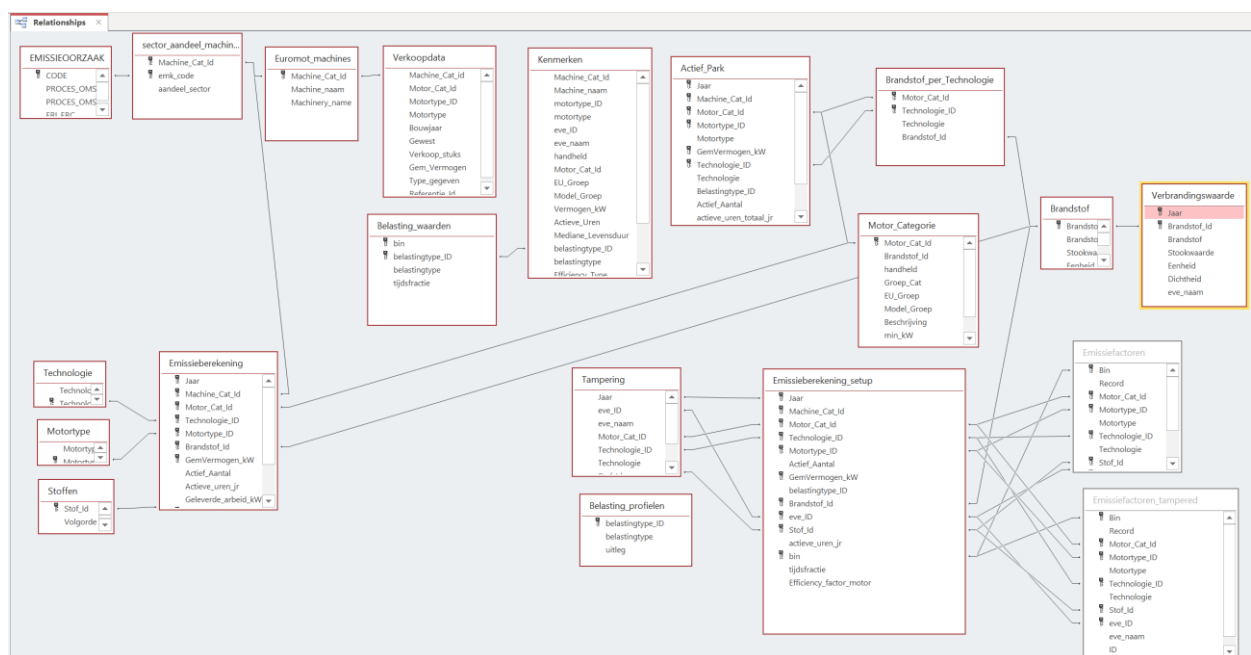
4 Rekenmodel

4.1 Opzet emissieberekening

Ondanks de vele variabelen die een rol spelen, blijft de essentie van het rekenmodel relatief eenvoudig. Het model berekent de emissies en het energiegebruik van de actieve machines in het machinepark, uitgaande van een bepaalde inzet.

De emissies worden berekend als het product van het aantal machines, het aantal draaiuren, het aandeel van de tijd dat de machine in een specifieke belastingpunt draait en de emissiefactoren voor de verschillende stoffen per belastingpunt. De te leveren arbeid is het product van tijd maal vermogen. Totale draaiuren zijn gelijk aan het aantal machines maal het aantal draaiuren per jaar per machine. Het vermogen is belasting maal het nominaal vermogen.

In Figuur 2 staan de relaties weergegeven tussen de belangrijkste variabelen die een rol spelen in de emissieberekening die wordt uitgevoerd door de query “C02a_Emissieberekening_motor”. In deze query wordt de berekening van de emissies gespecificeerd voor de techniek-afhankelijke stoffen.



Figuur 2 De relaties tussen variabelen in de emissieberekening

4.2 Formules

Het brandstofverbruik van machines wordt berekend met behulp van een Willanslijn aanpak (zie o.a. Ligterink et al. 2016). Hieruit volgt een formule waarin het vermogen en de motorbelasting van de machine worden meegewogen in het specifieke verbruik.

Formule 1 – Brandstofberekening:

Geleverde arbeid = Aantal machines x Actieve uren x Vermogen x gemiddelde belasting

Brandstoffactor = ($c_1 \times (1 + \text{Efficiency}) \times (c_2 + c_3 \times \text{Vermogen}) / c_4 + \text{Efficiency} \times (1 + \text{Exp}(-\text{Vermogen} / c_5)) \times \text{Vermogen} \times \text{gemiddelde belasting}) / (\text{Vermogen} \times \text{gemiddelde belasting} \times c_6) \times c_7$

Brandstof = Geleverde arbeid x brandstoffactor x conversie MJ/kWh

Aantal machines: Het aantal machines van een bepaald bouwjaar met emissiefactoren passend bij het bouwjaar van de machine (.)

Actieve uren: Het aantal uren dat dit machinetype in dit jaar draait (omvat ook stationair draaien) (uur)

Vermogen: Het gemiddelde nominale vermogen van dit machinetype (kW)

Gemiddelde belasting: De gemiddelde motorbelasting die volgt uit het motorbelastingprofiel (./.)

Gemiddelde belasting: De gemiddelde motorbelasting die volgt uit het motorbelastingprofiel (./.)

Brandstoffactor: brandstofverbruik (MJ) per MJ geleverde arbeid (MJ/MJ)

Efficiency: Relatieve motorefficiëntie, met efficiëntie in 2010 geïndexeerd op 1 (./.)

c1: Gereduceerde verbetering stationaire verliezen (5)

c2: Constante stationaire verliezen (0,4 gram/seconde)

c3: Vermogensafhankelijkheid stationaire verliezen (0,0025 g/s*kW)

c4: CO₂/kW (0,2 g/s*kW)

c5: Gereduceerde efficiëntie bij kleinere motoren (5 kW)

c6: Optimale efficiëntie (37%)

c7: Brandstofcorrectie (1 voor diesel, 1,17 voor benzine en LPG)

De emissies van NO_x, PM, NH₃, CO en HC worden berekend aan de hand van de motorkenmerken en de belastingprofielen.

Formule 2 – Emissieberekening o.b.v. motorkenmerken:

Emissie = Aantal machines x Actieve uren x Belastingpunt x Aandeel tijd op belastingpunt x Vermogen x Emissiefactor

Emissie: Totale uitstoot (gram)

Belastingpunt: Motorbelasting als fractie van volledige belasting (./.)

Aandeel tijd op belastingpunt: Het gedeelte van de tijd dat bij deze motorbelasting wordt gedraaid (./.)

Emissiefactor: de gemiddelde emissiefactor behorend bij het bouwjaar en het belastingpunt (g/s/kW nominaal)

Voor emissies van PM en NO_x wordt bij nieuwe machines rekening gehouden met tampering in een deel van de machines. Voor het deel niet-getamperde machines wordt bovenstaande berekening aangehouden, voor de fractie getamperde machines wordt de emissiefactor vervangen door een hogere emissiefactor die representatief is voor een situatie waar de emissiereductietechnologie is uitgeschakeld of verwijderd.

Een afwijkende categorie in de emissieberekening vormen de stoffen waarvan de emissies worden berekend op basis van het brandstofgebruik. Dit zijn de emissies van stoffen zoals CO₂ en SO₂ en metalen. Het brandstofgebruik (hoeveelheid brandstof (kg) maal de stookwaarde (MJ/kg) wordt eerst berekend met formule 1. In formule 3 is de emissiefactor de hoeveelheid emissie die specifiek geldt voor de stof en de betreffende brandstof (in g/MJ brandstof).

De formule die hierbij wordt toegepast is:

Formule 3 – Emissieberekening o.b.v. brandstofkenmerken en verbruik:

Emissie = Brandstofgebruik x Emissiefactor

Voor elektrische machines worden geen emissies of brandstofgebruik berekend, alleen het elektriciteitsgebruik geleverd via de stroomkabel, direct of voor het opladen van de accu.

Formule 4 – Berekening elektriciteitsgebruik

Elektriciteitsgebruik = Aantal machines x Actieve uren x Vermogen x gemiddelde belasting x efficiëntiefactor

Efficiëntiefactor: Het aandeel van de elektriciteit die is geladen in een batterij elektrische machine, die ook nuttig wordt toegepast. Corrigeert voor laad- en accuverliezen. Inschatting is 20% verliezen voor accu-elektrische machines.

Query's

- De berekening van de brandstofhoeveelheid vindt plaats in query "C04_Berekening_Brandstofgebruik".
- De emissieberekening van de motor-afhankelijke stoffen wordt uitgevoerd in de query "C02_Emissieberekening_motor".
- De emissieberekening van de brandstofafhankelijke stoffen wordt uitgevoerd in de query "C05_Emissieberekening_brandstof_emissies".
- De berekening van het elektriciteitsgebruik vindt plaats in query "C03_Berekening_elektriciteitsgebruik".

De resultaten van de query's worden samengevoegd in één tabel door "C06_Emissieberekening_Union". Vervolgens worden nog enkele presentatie-attributen toegevoegd in de query "C08b_Resultaat".

4.3 Prognose

Voor de prognose wordt de ongecorrigeerde geleverde arbeid per sector (in MWh) vergeleken met de opgelegde waarde in het scenario in tabblad <Monitoring_en_Groei Basis> . Hieruit worden correctiefactoren bepaald per sector, die worden toegepast op de emissies, het brandstofgebruik, het aantal draaiuren en de geleverde arbeid van de machines in het betreffende jaar. De resulterende tabellen worden weggeschreven door query's "F04_Emissie_voor_rapportage" en "F08_Energie_voor_rapportage".

5 Uitvoer

5.1 MEPHISTO

5.1.1 Aantallen machines in gebruik

In het bestand “MEPHISTO_Resultaten.xlsx” is het tabblad <Aantallen per technologie> opgenomen waarmee verschillende aggregaties van de actieve aantallen machines getoond kunnen worden. Per brandstof en eventueel per vermogenscategorie kunnen de actieve aantallen machines worden getoond en hun onderverdeling binnen de Europese emissienormering. De gegevens worden berekend door de query “B08e ActiefPark presentatie” in het model (zie Figuur 3).

Invoerstempel	Versie 1.1 : 12-01-16 Standaard geleverd door TNO									
Query	AktiefPark_presentatie									
Brandstofnaam	Diesel									
EU_Groep	(All)									
Sum of Actief_Aantal		Jaar								
Machine_naam	Technologie	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2030	
= landbouwtrekkers	<= 1980	90735	74395	44849	20701	10959	5134	1525	0	
	1981-1990	56315	56641	49863	32473	14269	6498	2553	0	
	1991-STAGE I		15758	30676	28742	24962	14970	6156	1040	
	STAGE I				11463	10809	9625	6648	1162	
	STAGE II				7376	15526	14407	12431	2820	
	STAGE IIIA					10254	15741	14321	6772	
	STAGE IIIB						8775	8271	5601	
	STAGE IV						570	14965	39109	
landbouwtrekkers Total		147050	146794	125388	100755	86779	75720	66870	56504	
Grand Total		147050	146794	125388	100755	86779	75720	66870	56504	

Figuur 3 Overzicht van beschikbare variabelen in het tabblad Aantallen per technologie

In het rapportfilter kan de brandstof worden gekozen en de EU-groep. Verder kan worden gefilterd op de Machine naam (in dit geval is op “landbouwtrekkers” gefilterd). Opgemerkt moet worden dat de aantallen actieve machines op luchthavens niet worden berekend door

“EMMA_MEPHISTO_2022_emissies.accdb” omdat deze berekeningen een andere systematiek volgen waarbij de activiteiten data de vorm heeft van geleverde arbeid: het aantal MTOW aan vliegtuigen bediend voor luchthavens. Een herberekening van de gegevens in de draaitabellen kan worden getriggerd door met de rechtermuisknop op de draaitabel te klikken en op “Refresh” te klikken.

Een lijst van alle variabelen in de query “B04_ActiefPark_presentatie” die eventueel gebruikt kunnen worden in een alternatieve pivot-tabel staan in bijlage D van deze handleiding.

De versie van “MEPHISTO_Invoer.xlsx” die is toegepast in de berekening wordt getoond in de “invoerstempel” die in het rapportfilter staat. Hierdoor kan er in principe geen misverstand ontstaan over de invoer die is gebruikt. De voorwaarde is wel dat de gegevens in het tabblad <versie> in “MEPHISTO_Invoer.xlsx” goed worden bijgehouden.

5.1.2 *Energiegebruik en Emissies*

Het bestand “MEPHISTO_Resultaten.xlsx” bevat een drietal standaard draaitabellen in drie afzonderlijke tabbladen waarmee de uitkomsten van de berekeningen die in “EMMA_MEPHISTO_2022_emissies.accdb” zijn gespecificeerd op geaggregeerde wijze worden gepresenteerd. Ook deze tabbladen zijn voorzien van een “invoerstempel”.

In het tabblad <Energiegebruik per machine> wordt het energieverbruik per brandstof, per machine per jaar weergegeven. De gegevens worden berekend door de query “F08_Energie voor rapportage” in het model.

[illegible]

Figuur 4 Overzicht van beschikbare variabelen in tabblad Energiegebruik per machine

In het rapportfilter kan de brandstof worden gekozen via de variabele eve naam. In het rapport kan worden gefilterd op sector (Sector Omschrijving), machine (Machine naam) en jaar.

Een herberekening van de gegevens in de draaitabellen kan worden getriggerd door met de rechtermuisknop op de draaitabel te klikken en op “Refresh” te klikken.

Het tabblad “Emissies per sector” presenteert de emissies van een aantal geselecteerde stoffen per brandstof, per sector en per jaar. De gegevens worden berekend door de query “F04_Emissies_voor_rapportage” in “EMMA MEPHISTO 2022 emissies.accdb”.

[illegible]

Figuur 5 Overzicht van beschikbare variabelen in tabblad Emissies per sector

In het rapport kan worden gefilterd op Stof (Stofnaam), brandstof (= eve naam), Sector (Sector omschrijving) en jaar (der emissiejaar). Een lijst van alle variabelen in de query “F04_Emissies_voor_rapportage” die eventueel gebruikt kunnen worden in een alternatieve pivot-tabel staan in bijlage B van deze handleiding. De variabelen in query “F08_Energie_voor_rapportage” staan in bijlage C.

Het tabblad “Emissies per machine” presenteert de emissies van één geselecteerde stof en één of meer geselecteerde brandstoffen, per machinenaam, per jaar. De gegevens worden berekend door de query “F04_Emissies_voor_rapportage” in “EMMA MEPHISTO 2022 emissies.accdb” (zie Figuur 6).

Invoerstempel	Versie 1.3 : 06-06-19 Standaard geleverd door TNO																			
Tabel	Emissies_voor_rapportage																			
Stofnaam	Stikstofoxiden (als NO2)																			
eve_naam	diesel																			
Sum of Emissie_ton	Column Labels																			
Row Labels		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2030	2040	2050									
landbouwtrekkers		13,715	13,038	12,571	11,085	9,512	8,643	6,065	2,811	1,642	1,504									
graafmachines		6,371	6,990	7,226	4,880	3,321	2,289	1,573	1,058	1,167	1,290									
laadschoppen		4,956	5,900	6,230	4,551	2,787	2,118	1,387	1,026	1,130	1,249									
vorkheftrucks		2,183	2,806	3,156	2,143	1,048	582	320	307	340	376									
container-overslagmachines		928	1,107	1,318	1,609	1,534	1,150	610	189	147	160									
generatoren, industrie		1,246	926	1,035	961	780	832	823	693	605	621									
generatoren, bouw		1,120	816	889	815	643	680	658	517	449	450									
generatoren, HDO		1,021	986	960	826	631	468	346	227	199	212									
dumpers		1,169	1,318	1,350	858	298	147	82	51	55	61									
maishakselaars		406	692	740	606	401	279	158	72	74	79									
grondmaterieel-GSE		184	272	395	365	343	248	241	285	328	361									
compacttrekkers		83	160	231	277	314	311	318	343	370	418									
bulldozers		526	644	688	448	161	84	54	32	34	38									
mestinjecteur		235	406	454	381	259	184	107	49	49	52									
bronbemalingspompen		596	289	250	198	138	140	146	137	134	144									
overslagmachines		419	456	465	318	176	133	59	27	29	32									
bietenrooiers		173	296	316	259	171	119	67	31	32	34									
ruw terrein heftrucks		146	194	221	141	101	76	88	138	153	169									
maaidorsers		139	149	171	182	175	183	161	112	64	35									
sputmachines		116	219	252	207	135	106	64	24	24	25									
walsen		77	106	157	158	126	118	92	46	28	28									
asfalt afwerkinstallaties		63	92	140	148	114	105	84	41	24	23									
trilplaten/stampers		29	32	34	46	103	126	133	83	90	100									
hoogwerkers		22	32	47	48	37	44	50	46	43	46									
graaf-laadcombinaties		45	69	87	68	30	14	9	8	8	9									
asfaltfreemachines		44	36	35	21	9	8	4	3	3	3									
graders		9	14	20	20	13	10	6	2	1	2									
Grand Total		36.020	38.044	39.437	31.622	23.359	19.197	13.705	8.357	7.223	7.551									

Figuur 6 Overzicht van beschikbare variabelen in tabblad Emissies per machine

In het rapportfilter kan de stof worden gekozen via Stofnaam en de brandstof worden gekozen via de variabele eve naam. In het rapport kan worden gefilterd op machine (Machine naam) en Jaar (der emissiejaar).

6 Referenties

Dellaert, S.N.C. (2016), *Emission of mobile machinery at Dutch container terminals*, TNO rapport TNO-2016-R10160 (vs.2), oktober 2016.

Dellaert, S.N.C., van Mensch, P., Boraskar, A., van der Mark, P. (2021), *Eindrapport data onderzoek mobiele machines in Nederland*, TNO 2021 R11086, TNO, Den Haag.

Van Eijk, E., Verbeek, M., van Gijlswijk, R., Daey Ouwens, J., Verbeek, R., Hulskotte, J., de Wilde, H. (2019), *TNO Kennisinbreng Mobiliteit voor Klimaat- en Energieverkenning (KEV) 2019: NRMM, Binnenvaart en Zeevaart*, TNO rapport TNO 2019 P12134, februari 2020.

Hulskotte, J.H.J., Dellaert, S.N.C. (2017), *Emissions of air pollutants from civil aviation in the Netherlands*, TNO rapport TNO-2017-R10055, januari 2017.

Hulskotte, J.H.J., Dellaert, S.N.C. (2021), *EMMA emission model mobile machinery based on sales of machinery in combination with fuel sales, update 2021*, TNO rapport, in voorbereiding.

Hulskotte, J.H.J., Verbeek, R. (2009), [*EMMA emission model mobile machinery based on sales of machinery in combination with fuel sales*](#), TNO rapport TNO-034-UT2009-0178, november 2009.

Geilenkirchen et al. (2022), [*Methods for calculating the emissions of transport in the Netherlands*](#), PBL publicatie 4923, maart 2022.

Ligterink, N., Smokers, R., Spreen, J., Mock, P., Tietge, U. (2016), *Supporting analysis on real-world light-duty vehicle CO2 emissions*, TNO rapport TNO 2016 R10419v3, september 2016.

7 Ondertekening

Naam en adres van de opdrachtgever:
PBL Netherlands Environmental Assessment Agency

Namen van de projectmedewerkers:
S.N.C. Dellaert MSc.

Naam en paraaf tweede lezer:

Jan Hulskotte

Ondertekening:

Bart Jansen
Projectleider

Autorisatie vrijgave:



Sam van Goethem
Deputy Research Manager

8 Bijlagen

A. Beschrijving tabellen, query's en relaties _ NIET MEER ACTUEEL

Nr.	type	Query of tabelnaam, met codering uit Access database	Functie	Relatie tabellen/query's met	
				Maakt gebruik van	Wordt gebruikt door of produceert
C16	Q	Brandstof voor rapportage		C15, T29	gebruiker
C15	Q	Brandstof voor rapportage_	Samenvoeging van eindresultaten	C12, C13, C14	C16
C14	Q	Brandstof voor rapportage Overig		C04, C06, T09	C15
C13	Q	Brandstof voor rapportage GSE		T05, T31	C15
C12		Brandstof voor rapportage Containeroverslag		T06, T30	C15
C11	Q	Emissies voor rapportage		C10, T29	gebruiker
C10	Q	Emissies voor rapportage_	Samenvoeging van eindresultaten	C09, C08, C07	C11
C09	Q	Emissies voor rapportage Overig	Emissies worden gecorrigeerd om op het geregistreerde/geprognostiseerde energiegebruik uit te komen. Tevens wordt voor de berekening van sommige stoffen gebruik gemaakt van emissieprofielen van de Emissieregistratie	C06, C04, T09, T11, T17, T23	C10
C08	Q	Emissies voor rapportage GSE	Emissies van grondmateriaal worden berekend. Tevens wordt voor de berekening van sommige stoffen gebruik gemaakt van emissieprofielen van de Emissieregistratie	T05, T31, T11, T17, T23, E01	C10
C07	Q	Emissies voor rapportage Containeroverslag	Emissies van containeroverslag worden berekend. Tevens wordt voor de berekening van sommige stoffen gebruik gemaakt van emissieprofielen van de Emissieregistratie	T06, T30, T11, T17, T23, E01	C10
C06a	Q	Correctiefactoren	Berekent correctiefactoren om op geregistreerd of geprognostiseerd energiegebruik uit te komen	C05, T15	C09, C14
C06b	Q	Hulptabel_IDLE_effect	Maakt een overzicht van de emissies met en zonder stationair draaien	C04	T34
C05	Q	Energietotalen ncorr per Sector	Berekent ongecorrigeerd energiegebruik getotaliseerd per sector en brandstof	C04	C06
C04	Q	Resultaat	Met attributen aangevuld resultaat van emissieberekening zonder correctie voor het energiegebruik	C03, T01, T02, T08, T10, T16, T22, T24	C09, C14
C03	Q	Emissieberekening_3	Samenvoeging van emissieberekening van aan techniek en brandstof gerelateerde stoffen	C01, C02	C04
C02	Q	Emissieberekening_2	Emissieberekening van aan brandstof gerelateerde stoffen	C01, T04, T01, T24	C03
C01	Q	Emissieberekening_1	Emissieberekening van aan techniek gerelateerde stoffen	B03, T03, T04, T14, T32, T33,	C03

Nr.	type	Query of tabelnaam, met codering uit Access database	Functie	Relatie met tabellen/query's	
				Maakt gebruik van	Wordt gebruikt door of produceert
				T16, T24, T25	
B04	Q	ActiefPark presentatie	Berekent actieve aantallen machines met brandstof, motorcategorie emissienormering en voor presentatie	B03, T01, T08, T10, T16, T29	gebruiker
B03	Q	ActiefPark	Sommatie van het actieve park van machines per jaar	B01	B04, C01, C02
B01	Q	Parkopbouw_p	Berekent het actieve park van machines per jaar	A07, T13, T14, T27	B03
A07	Q	Verkoop	Samenvoeging van historische geëxtrapolerde, geregistreerde en geprognoteerde verkoopcijfers	A03, A06, T28	B01
A06	Q	Verkoopprognoses	Extrapolatie van laatst bekende verkoopcijfers naar jaren daarna	A04, A05, T13	A07
A05	Q	Laatste_3_verkoopdata	Berekent gemiddeld verkoop van laatste 3 jaren waarvoor verkoopdata beschikbaar is	A04, T10, T28	A06
A04	Q	Laatste Verkoopdata	Zoekt laatst bekende verkoopjaar op in Verkoopdata	T28	A06
A03	Q	Verkoop historisch	Extrapolatie van vroegst bekende verkoopcijfers naar jaren daarvoor	A01, A02, T13	A07
A02	Q	Eerste_3_verkoopdata	Berekent gemiddeld verkoop van eerste 3 jaren waarvoor verkoopdata beschikbaar is.	A01, T10, T28	A03
A01	Q	Eerste verkoopdata	Zoekt eerst bekende verkoopjaar op in Verkoopdata	T28	A02, A03
T01	T	Brandstof	Brandstoffenlijst		B03, B04, C02, C04
T02	T	Coding SNAP_CRF_NFR	Indelingen van de verschillende sectoren t.b.v. internationale rapportages		B03, C04
T03	T	Emissiefactoren	Emissiefactoren en brandstofgebruik per Motor Categorie en Motortype		C01, C02
T04	T	Emissiefactoren brandstof	Emissiefactoren afhankelijk van de brandstofeigenschappen		C01, C02
T05	T	Emissiefactoren GSE	Emissiefactoren havenmachines (zowel registratie als prognose)		C08, C13
T06	T	Emissiefactoren haven machines	Emissiefactoren havenmachines (zowel registratie als prognose)		C07, C12
T08	T	Emissiejaren	Selectie van jaren waarvoor een emissieberekening wordt gevraagd		B03, B04, C04
T09	T	EMISSIEOORZAAK	Bevat de codes en de namen van emissie-oorzaken uit Emissieregistratie		C09, C14
T10	T	Euromot machines	Definitie van alle machines die worden onderscheiden door EUROMOT		A02, A05, B03, B04, C04

Nr.	type	Query of tabelnaam, met codering uit Access database	Functie	Relatie met tabellen/query's	
				Maakt gebruik van	Wordt gebruikt door of produceert
T11	T	GEPRESENTEERDE_STOF	Bevat de namen van de gepresenteerde stoffen uit Emissieregistratie		C07, C08, C09
T13	T	Jaren	Lijst van alle bouwjaren van machines		A03, A06, B01
T14	T	Kenmerken_Idle	De machinekenmerken behorend bij de combinatie van machine en Motor Categorie		B01, B02, C01, C02
T15	T	Monitoring en Groei	Waargenomen en geprognostiseerd energiegebruik per sector en brandstof		C06
T16	T	Motor Categorie	Motorgroeping in de Europese emissienormering		B03, B04, C01, C04
T17	T	Omstoffen filter	Bevat een filter op lijst van gepresenteerde stoffen uit Emissieregistratie		C07, C08, C09
T21	T	Sectoren	Opsomming van de sectoren waarin machines worden gebruikt		B03, C04
T22	T	SNAP	Gedetailleerde indeling per machine		B03, C04
T23	T	STOF_TOEDELING	Bevat omrekenfactoren voor stofprofielen en sommaties van stoffen uit Emissieregistratie		C07, C08, C09
T24	T	Stoffen	De stoffen en de codering inclusief koppelingen naar geregistreerde stoffen in Emissieregistratie		B03, C01, C04
T25	T	TAF factoren	De transiënte aanpassingsfactoren voor emissiefactoren		C01, C02
T27	T	Technologie per Bouwjaar	De koppeling van de bouwjaren per Motor Categorie aan de verschillende trappen van de Europese emissienormering		B01
T28	T	Verkoopdata	Verkoopcijfers van machines met onderscheid naar Motor Categorie		A01, A02, A04, A05, A07
T29	T	Versie	Legt invoerstempel vast		B04, C11, C16
T30	T	Volume Containeroverslag	Registratie en prognose van containeroverslag		C07, C12
T31	T	Volume_tbv_GSE	Registratie en prognose van vliegverkeer		C08, C13
T32	T	Emissiefactoren_Idle	Emissiefactoren voor stationair lopende dieselmotoren		C01
T33	T	Verbrandingswaarde	Stookwaarde van brandstoffen met verloop in de tijd		C01
T34	T	Hulptabel_IDLE_effect	Hulptabel voor Idle-effect		
Onderstaande query's maken geen deel uit van het emissiemodel maar dienen slechts ter ondersteuning van de gebruiker					
A08	Q	Verkoop overzicht	Toont per verkoopdata per groep van jaren		informatief
B06	Q	Aantal machines per jaar	Toont aantal actieve machines en kenmerken		informatief

Nr.	type	Query of tabelnaam, met codering uit Access database	Functie	Relatie met tabellen/query's	
				Maakt gebruik van	Wordt gebruikt door of produceert
B07	Q	Aantal machines rapport	Toont overzicht actieve machines zoals in rapport		informatief
D00	Q	EF Benzine	Toont de emissiefactoren gekoppeld aan benzine		informatief
D00	Q	EF Diesel	Toont de emissiefactoren gekoppeld aan diesel		informatief
D00	Q	EF_S	Toont de SO2-emissiefactoren per jaar		informatief
D00	Q	Herkomst verkoopdata	Toont de herkomst van de verkoopdata		informatief
D00	Q	Overzicht TAF factoren	Toont de TAF-factoren per stof		informatief
D00	Q	Present_EF_benzine_2takt	Toont de emissiefactoren van 2-taktmotoren		informatief
D00	Q	Present_EF_benzine_4takt	Toont de emissiefactoren van 4-taktmotoren		informatief
D00	Q	Present EF diesel	Toont de emissiefactoren van dieselmotoren		informatief
D00	Q	Present_EF_LPG_4takt	Toont de emissiefactoren van LPG-motoren		informatief
D00	Q	Toon Technologie Per Bouwjaar	Toont de koppeling van normstellingsgroepen met de bouwjaar		informatief
E00	Q	Check vulling emissiefactoren	Toont de emissiefactoren per bouwjaar		informatief
C06c	Q	IDLE_ophoging	Berekent ophogingsfactoren IDLE-effect		informatief

**B. Overzicht van beschikbare variabelen in tabel
Emissies_voor_rapportage**

Variabele	Voorbeeld	Toelichting
Invoerstempel	Versie 1.5 : 02-12-20 Standaard geleverd door TNO	Verwijst naar MEPHISTO_Invoer.xlsx Versie, datum en aanduiding van het soort invoer
Tabel	Emissies voor rapportage	Brontabel
Jaar	1990	Jaar waarvoor emissies zijn berekend
Machine naam	bietenrooiers	Naam van de machine
Brandstofnaam	Diesel	Naam van de brandstof
Eve naam	diesel	Naam van de emissie verklarende variabele in Emissieregistratie (=brandstofnaam in dit geval)
EU Groep	130-300 kW	Omschrijving van de motorgroep in de Europese emissienormering
Motortype	diesel	Omschrijving van het motortype
Technologie	1981-1990	Trap (STAGE) waaraan de machine moet voldoen in de Europese emissienormering
Stofnaam	Koolstofdioxide	Naam van de stof die geëmitteerd wordt
Emissie	11233,26	Ongecorrigeerde hoeveelheid emissie (kg/jaar)
Eenheid	KG	Eenheid van de emissiewaarde
EMK code	0401100	Code van de emissieoorzaak in Emissieregistratie
PROCES_OMSCHRIJVING	Mobiele werktuigen landbouw	Omschrijving van de emissieoorzaak in Emissieregistratie

**C. Overzicht van beschikbare variabelen in tabel
Energie_voor_rapportage**

Variabele	Voorbeeld	Toelichting
Invoerstempel	Versie 1.5 : 2-12-20 Standaard geleverd door TNO	Verwijst naar MEPHISTO_Invoer.xlsx Versie, datum en aanduiding van het soort invoer
Tabel	Emissies voor rapportage	Brontabel
Jaar	1990	Jaar waarvoor brandstof is berekend
Machine naam	bietenrooiers	Naam van de machine
Brandstofnaam	Diesel	Naam van de brandstof
Eve naam	diesel	Naam van de emissie verklarende variabele in Emissieregistratie (=brandstofnaam in dit geval)
EU Groep	130-300 kW	Omschrijving van de motorgroep in de Europese emissienormering
Motortype	diesel	Omschrijving van het motortype
Technologie	1981-1990	Trap (STAGE) waaraan de machine moet voldoen in de Europese emissienormering
Stofnaam	Energie (PJ)	Naam van de stof die geëmitteerd wordt. In dit geval energiegebruik
Energiegebruik	11233,26	Ongecorrigeerde hoeveelheid brandstof (TJ/jaar)
Eenheid	TJ	Eenheid van de energiewaarde
EMK code	0401100	Code van de emissieoorzaak in Emissieregistratie
PROCES_OMSCHRIJVING	Mobiele werktuigen landbouw	Omschrijving van de emissieoorzaak in Emissieregistratie

D. Overzicht van beschikbare variabelen in tabel Actief_aantal

Variabele	Voorbeeld	Toelichting
Invoerstempel	Versie 1.5 : 2-12-20 Standaard geleverd door TNO	Verwijst naar MEPHISTO_Invoer.xlsx Versie, datum en aanduiding van het soort invoer
Jaar	2030	Jaar waarvoor het Actief aantal is berekend
Machine Cat ID	42	Code van de machine
Machine naam	landbouwtrekkers	Naam van de machine
Brandstofnaam	Diesel	Brandstof die de machine gebruikt
Motor Cat ID	3	Code van de motorgroep in de Europese emissienormering
EU Groep	37-75 kW	Omschrijving van de motorgroep in de Europese emissienormering
Motortype	2-takt	Specificatie motortype
GemVermogen_kW	80	Gemiddelde nominale vermogen van de machinegroep
Technologie	STAGE I	Trap (Stage) waaraan de machine moet voldoen in de Europese emissienormering
Actief aantal	917	Resterend actief aantal machines van de oorspronkelijk verkochte hoeveelheid

E. Logboek van wijzigingen tot versie MEPHISTO 2022_03

Versie	Datum	Onderwerp	Aanpassingen
1.2	27-3-2018	Invoer	Invoer voor alle sectoren aangevuld met activiteitendata voor 2015 en 2016. Ook machineverkoop is aangevuld t/m 2016.
1.2	27-3-2018	Invoer	Luchthaven Lelystad is toegevoegd aan de luchthavens waarvoor de emissies van mobiele werktuigen (ground support equipment) worden berekend.
1.2	27-3-2018	Machinetypen	Generatoren en bronbemalingen toegevoegd.
1.2	27-3-2018	Opties	Het model kan nu rekenen tot 2050.
1.2	27-3-2018	Opties	Bij containeroverslag kan nu ook het percentage containers dat leeg wordt overgeslagen worden opgegeven. Hiervoor wordt slechts 1/3 van het brandstofverbruik en emissies gerekend.
1.2	27-3-2018	Machine-aantallen	Berekening historische verkoop machines is gewijzigd. Nu wordt het gemiddelde van de eerste drie jaren gebruikt waarvan verkoopdata beschikbaar is. Dit is overeenkomstig met hoe het EMMA model de historische verkoop schat.
1.2	27-3-2018	Machine-aantallen	Berekening toekomstige verkoop machines is gewijzigd. Nu wordt het gemiddelde van de laatste drie jaren gebruikt waarvan verkoopdata beschikbaar is. Dit is overeenkomstig met hoe het EMMA model de toekomstige verkoop schat.
1.2	27-3-2018	Emissiefactoren	STAGE V emissienorm toegevoegd voor diesel, benzine en LPG machines.
1.2	27-3-2018	Emissiefactoren	Emissiefactoren PM toegevoegd voor een aantal benzinemotoren waar deze nog misten.
1.2	27-3-2018	Emissiefactoren	Aanpassing motorcategorieën, categorie 3 (37 - <75 kW) is nu opgesplitst in categorie 20 (37 - <56 kW) en categorie 21 (56 - <75 kW) om zo beter aan te sluiten aan de categorieën uit de emissienormering.
1.2	27-3-2018	Emissieberekening	In lijn met een aanpassing in het EMMA model wordt het gemiddelde vermogen van verkochte machines gebruikt in de emissieberekening, in plaats van het typische vermogen uit de 'kenmerken' tabel. Voor een aantal machinetypen (vooral trilstampers) zorgt dit voor een veel lager brandstofverbruik.
1.3	19-6-2019	Efficiency	Het rekenmodel neemt naast verbeterde motorefficiency (zie vorige aanpassing) ook efficiëntieverbetering in de machinecomponenten mee (bijv. hydrauliek) richting toekomstige jaren. Afhankelijk van de aanwezige machinecomponenten wordt 1 van de 3 efficiencyprofielen toegekend (zie kolom 'efficiency_type' in tabblad 'kenmerken'). De jaarlijks efficiëntieverbetering is gegeven in tabblad 'efficiency_toename'.
1.3	19-6-2019	Efficiency	Het specifieke brandstofgebruik (in gram/kWh) van dieselmotoren is aangepast in tabblad 'Emissiefactoren'. Daarbij is uitgegaan van een gemiddelde verbetering van 0.3 procent per jaar (zie berekening in tabblad 'Specifiek verbruik_diesel').
1.3	19-6-2019	Machinekenmerken	De lastfactoren van machinecategorieën 25, 27, 27a en 30 zijn verlaagd n.a.v. metingen aan actieve machines. Zie tabblad 'Kenmerken'.
1.3	19-6-2019	Modellering	Het rekenmodel berekent separaat het brandstofgebruik en de emissies van stationair draaiende motoren en van motoren die arbeid verrichten. Emissiefactoren voor stationair draaiende motoren zijn toegevoegd (zie tabblad 'Emissiefactoren_idle'). De dimensie is: gram/Liter cilinderinhoud/uur

1.3	19-6-2019	Emissiefactoren	Aanpassing enkele emissiefactoren o.b.v. expertkennis TNO.
1.4	1-10-2019	Invoer	Invoer voor alle sectoren aangevuld met activiteitendata voor 2017 en 2018. Ook de machineverkoop is aangevuld t/m 2018.
1.4	1-10-2019	Invoer	Aanpassing brandstofverbruik GSE Schiphol voor 1990 - 2001 n.a.v. wijzigingen in het CLEO model.
1.4	1-10-2019	Invoer	Verkoopdata bouwmachines geüpdatet (vooral 2015 t/m 2018), waarbij de extrapolatie is gebaseerd op verkoop bouwmachines in België zoals gepubliceerd door Bouwmat
1.4	1-10-2019	Invoer	Model en invoer opgeschoond
1.4	1-10-2019	Invoer	Aangepaste TechnologiePerBouwjaar voor aggregaten ingevoerd (nu gelijk aan EMMA). Voor aggregaten wordt aangenomen dat de introductie van nieuwe STAGE klassen iets achterloopt op de overige machines.
1.4	23-10-2019	Invoer	Aanpassing brandstof/MTOW voor alle vliegvelden behalve Schiphol n.a.v. wijzigingen in het CLEO model.
1.4	24-10-2019	Emissiefactoren	Aanpassing van enkele emissiefactoren n.a.v. controle door TNO STL
1.4	24-10-2019	Emissiefactoren	Update NOx emissiefactoren havenmachines na gelijktrekken emissiefactoren tussen MEPHISTO en het havenmachine model.
1.4	30-10-2019	Invoer	Monitoring en groei, brandstofgebruik bijgewerkt naar 2018 met cijfers uit EMMA
1.4	30-10-2019	Invoer	Monitoring en groei uitgebreid naar 5 sectoren (sluit hiermee aan op de indeling in EMMA)
1.4	10-2-2020	Invoer	Efficiëntie-toename door verbetering machinecomponenten is voor 2018 op 0% gezet, alleen positief voor toekomstige jaren
1.4	25-2-2020	Emissiefactoren	De NOx emissiefactoren zijn aangepast voor cat.7, Stage IV en cat.20 Stage IIIa tot V. De trend in de factoren is nu meer consistent.
1.5	13-5-2020	Verbrandingswaarde	Aanvulling verbrandingswaarden brandstoffen voor jaar 2019, kopie van 2018.
1.5	13-5-2020	Emissiefactoren	Correctie PM emissiefactoren diesel o.b.v. advies TNO STL. De trend in de factoren is nu meer consistent. Ook is rekening gehouden met de laatste inzichten over de efficiëntie van roetfilters bij STAGE V motoren.
1.6	19-1-2021	Machine-aantallen	Verkoopdata van Off-highway research is aangekocht en meegenomen. Update verkoopaantal tot 2050 (is incl. EMMA prognose).
1.6	19-1-2021	Kenmerken	Tabellen 'kenmerken' en 'Euromot machines' aangevuld met nieuwe machinetypen uit OHR data
1.6	19-1-2021	Invoer	Invoerdata (Monitoring en groei; Volume tbv GSE; Volume containeroverslag) bijgewerkt naar 2019 met cijfers uit EMMA en CLEO modellen
1.6	19-1-2021	Emissiefactoren	Emissiefactoren aangepast naar factoren in gram/seconde * kW rated vermogen
1.6	19-1-2021	Emissiefactoren	Emissiefactoren bij tampering toegevoegd (incl. percentages machines waarmee is getamperd)
1.6	28-1-2021	Kenmerken	Tabel 'belastingprofielen' toegevoegd. Hierin worden een aantal verschillende belastingprofielen beschreven in termen van tijd besteed bij een bepaalde fractie van het nominale motorvermogen.
1.6	28-1-2021	Invoer	Invoerdata Monitoring en groei toegevoegd op basis van geleverde arbeid in MegaWatt uur (MWh).
1.6	28-1-2021	Machine-aantallen	Tabel 'sector_aandeel_machines' toegevoegd. Hierin wordt voor sommige machinetypen het aandeel dat actief is in een bepaalde sector opgegeven.

1.6	28-1-2021	Brandstof	Tabel 'BrandstofPerTechnologie' toegevoegd. Deze tabel geeft aan welke brandstof wordt toegepast bij welke motortechnologieën.
1.6	24-3-2021	Invoer	Invoerdata Monitoring en groei in MWh geüpdatet n.a.v. wijziging correctiefactor bouw in EMMA.
1.6	24-3-2021	Invoer	Niet-gebruikte tabbladen verwijderd uit invoerbestand
2.0	21-12-2021	Invoer	Alle invoertabellen geüpdatet. Conform ER ronde 2021 (inclusief schaling). O.a. update invoerwaarden mobiele werktuigen, containeroverslag en GSE, aanvulling machinetypen, aanvulling verkoopdata, correcties emissiefactoren, correcties motorbelastingprofielen.
2022_2	17-2-2022	Index	Tabblad "Index" toegevoegd, met een overzicht van alle tabbladen, inclusief een directe link naar ieder tabblad.
2022_2	17-2-2022	Invoer	Groot deel tabellen uit MEPHISTO_Invoer.xlsx worden niet meer gebruikt. De tabellen zijn opgenomen in de MS Access database. Dit maakt de modelberekeningen een stuk sneller en stabiel. De tabellen waar wijzigingen door gebruikers worden verwacht, zijn blauw in het invoerbestand.
2022_2	17-2-2022	Invoer	Nieuwe tabel "Tampering". Hierin kan per stof (Nox en PM), per jaar en per STAGE klasse het aandeel machines worden opgegeven, waarmee is getamperd.
2022_2	17-2-2022	Invoer	Tabellen "Correctie_Landbouw" en "Correctie_Bouw" toegevoegd aan invoerbestand. Deze correctiefactoren hebben voor prognosejaren in principe geen invloed in de uitvoer van MEPHISTO.
2022_2	17-2-2022	Invoer	Tabel "Emissiejaren" hernoemd naar "Emissiejaren_MEPHISTO". Bepaalt de jaren die worden getoond in de uitvoer van MEPHISTO.
2022_2	17-2-2022	Invoer	Tabellen "Volume_tbv_GSE" en "Volume_Containeroverslag" hernoemd naar respectievelijk "Monitoring_en_Groei_GSE" en "Monitoring_en_Groei_ConOverslag"
2022_2	17-2-2022	Invoer	Tabel "Monitoring_en_Groei" hernoemd naar "Monitoring_en_Groei_Basis"
2022_2	17-2-2022	Emissiefactoren	Tabel "Emissiefactoren_haven_machines" verwijderd. Deze machines zijn binnen het model gebracht en hebben geen afwijkende emissiefactoren meer.
2022_3	30-2-2022	Invoer	Tabel "Rekenfactoren_ConOverslag" toegevoegd. Hiermee worden de aantallen overgeslagen containers ("Monitoring en groei ConOverslag") gerelateerd aan de geleverde arbeid van machines.
2022_3	30-2-2022	Elektrische machines	Tabel "Monitoring en groei Elektrisch" toegevoegd. In combinatie met de machinekenmerken bepalen deze factoren de jaarlijkse introductie van elektrische mobiele machines in het park.
2022_3	30-2-2022	Elektrische machines	Tabel "Kenmerken_EV" toegevoegd. Hier kan de gebruiker een jaar kiezen waarna per machinetype het aandeel in de totale verkoop wordt getoond dat ofwel kabel-elektrisch ofwel accu-elektrisch wordt verkocht, afhankelijk van de gekozen waarden in tabblad "Monitoring en groei Elektrisch". Deze tabel is slechts ter illustratie, en wordt niet door het model gebruikt.
2022_3	30-2-2022	Invoer	De tabel "Monitoring en groei Basis" is aangepast en niet langer brandstofspectief. Nu wordt per sector de totale geleverde arbeid in MWh geraamd. Zodoende kan deze activiteit ook worden ingevuld door elektrische machines, waarvan de marktpenetratie wordt ingegeven door de prognose in tabel "Monitoring en groei Elektrisch".