



Jo Van Caneghem
Chantal Block
Carlo Vandecasteele

Lucht, water en bodem

Een kwantitatieve benadering
van milieuproblemen
en hun oplossing

Lannoo
Campus

D/2026/45/198 – ISBN 978 90 599 6668 0 – NUR 973

Vormgeving cover: Keppie & Keppie
Vormgeving binnenwerk: banananas.net

© Jo Van Caneghem, Chantal Block, Carlo Vandecasteele & Uitgeverij Lannoo nv, Tielt, 2026.

Uitgeverij LannooCampus maakt deel uit van Lannoo Uitgeverij, de boeken- en
multimediativisie van Uitgeverij Lannoo nv.

Alle rechten voorbehouden.

Niets van deze uitgave mag veeveelvoudigd worden en/of openbaar gemaakt, door middel
van druk, fotokopie, microfilm, of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande
schriftelijke toestemming van de uitgever. Tekst- en datamining is niet toegestaan.

Uitgeverij LannooCampus
Vaartkom 41 bus 01.02
3000 Leuven
België
www.lannoocampus.com

Postbus 23202
1100 DS Amsterdam
Nederland

Inhoud

Voorwoord	13
Inleiding	15
Indeling van milieuproblemen	21
Indeling van dit boek	21
Inleiding tot de Vlaamse milieuwetgeving voor bedrijven	21
Deel 1 Luchtverontreiniging en -zuivering	25
Hoofdstuk 1 Inleiding	27
1.1 Historische achtergrond	27
1.2 De atmosfeer	28
1.2.1 Laagstructuur	28
1.2.2 Dispersie van luchtverontreinigende componenten	31
1.2.3 Samenstelling van de atmosfeer	35
1.3 Luchtverontreinigende stoffen	36
1.3.1 Verblijftijd van componenten in de atmosfeer	36
1.3.2 Definitie en indeling	37
1.4 De veranderende samenstelling van de atmosfeer	39
Hoofdstuk 2 Bronnen en algemeen belang van luchtverontreiniging	43
2.1 Natuurlijke bronnen	43
2.2 Antropogene bronnen	44
2.2.1 Energieproductie en gebouwenverwarming	44
2.2.2 Gemotoriseerd verkeer	45
2.2.3 Industrie	45
2.2.4 Verbranding van vaste afvalstoffen	45
2.3 Algemeen belang van luchtverontreiniging	47

Hoofdstuk 3 Eenheden en wetgeving in verband met luchtverontreiniging	49
3.1 Eenheden	49
3.2 Emissie en immissie	49
3.3 EU-richtlijnen in verband met luchtkwaliteit	50
3.4 VLAREM II in verband met beheersing van luchtverontreiniging	50
Hoofdstuk 4 Gasvormige luchtverontreinigende stoffen	55
4.1 Indeling	55
4.2 Zwavelbevattende gassen (hoofdzakelijk SO ₂)	56
4.2.1 Bronnen	56
4.2.2 Effecten van SO ₂ (SO ₃)	59
4.2.3 Emissienormen en evolutie van emissies	63
4.2.4 Immissienormen en concentraties in de omgevingslucht	67
4.2.5 Beheersing (reductie) van de emissie van SO ₂ ten gevolge van verbranding van fossiele brandstoffen	69
<i>Thema 1. Verzuring</i>	73
4.3 Koolstofbevattende gassen	76
4.3.1 CO, koolstofmonoxide	76
4.3.2 CO ₂ , koolstofdioxide	81
<i>Thema 2. Klimaatverandering</i>	102
4.4 Stikstofhoudende gassen	143
4.4.1 Stikstofoxiden	143
4.4.2 NH ₃ , ammoniak	151
<i>Thema 3. Het stikstofprobleem</i>	154
4.5 Vluchtige organische stoffen (VOS)	162
4.5.1 Inleiding	162
4.5.2 Bronnen, emissies	163
4.5.3 Reactiviteit; Photochemical Ozon Creation Potential (POCP)	164
4.5.4 Beleid	165
4.5.5 Maatregelen	165
4.5.6 Immissies	167
<i>Thema 4. Verkeer en vervoer</i>	168
4.6 Ozon en oxidantia	197
4.6.1 Effecten	197
4.6.2 Bestrijding	198
<i>Thema 5. Aantasting van de ozonlaag in de stratosfeer</i>	199
<i>Thema 6. Fotochemische mist</i>	206

Hoofdstuk 5	Zwevend stof	215
5.1	Bronnen	215
5.1.1	Antropogene bronnen	215
5.1.2	Natuurlijke bronnen	216
5.2	Samenstelling	216
5.3	Afmetingen en eigenschappen	217
5.4	Effecten	219
5.4.1	Op de menselijke gezondheid	219
5.4.2	Op planten	220
5.4.3	Op materialen en cultuurpatrimonium	220
5.4.4	Op het klimaat	220
5.5	Emissienormen en evolutie van de emissies	221
5.6	Immissienormen en concentraties in de omgevingslucht	223
Hoofdstuk 6	Beheersing van luchtverontreiniging	229
6.1	Natuurlijke zuiveringsprocessen van de atmosfeer	229
6.2	Benaderingen voor de beheersing van luchtverontreiniging	231
6.2.1	Schoorstenen	231
6.2.2	Beheersing bij de bron, preventie	231
6.3	Apparaten en technieken voor beheersing van emissies naar de lucht	232
6.3.1	Stof- en nevelafscidders	232
6.3.2	Afscheiding van gasvormige verontreinigingen	252
6.3.3	Geurhinder	265
Deel 2	Waterverontreiniging en -zuivering	269
Hoofdstuk 1	Definitie	271
Hoofdstuk 2	Verontreiniging en verontreinigende stoffen in afval-, oppervlakte- en grondwater	273
2.1	Zuurstofverbruikende stoffen	273
2.2	Nutriënten	274
2.3	Zouten	274
2.4	Zuren en basen	275
2.5	Weinig oplosbare stoffen	276
2.6	Zware metalen	276
2.7	Oppervlakteactieve stoffen	276
2.8	Organische micropolluenten	277
2.8.1	Vluchtige organische stoffen	277

2.8.2	Pesticiden	278
2.8.3	Microplastics	278
2.8.4	PFAS	280
2.9	Pathogenen	281
2.10	Thermische verontreiniging	282
2.11	Samenvatting	283

Hoofdstuk 3 **Vervuilingsparameters** **285**

3.1	Droogrest, zwevende stoffen, opgeloste en bezinkbare stoffen, gloeirest	285
3.2	Zuurtegraad, pH	286
3.3	Opgeloste zuurstof	286
3.4	Stikstof	287
3.5	Zuurstofverbruikende stoffen	287
3.5.1	Biochemisch zuurstofverbruik (BZV of BOD)	288
3.5.2	Chemisch zuurstofverbruik (CZV of COD)	293
3.6	Total Organic Carbon, TOC	294
3.7	Hygiënische aspecten	295

Hoofdstuk 4 **Bronnen van waterverontreiniging** **297**

4.1	Sanitair afvalwater (huizen en bedrijven); regenwater	297
4.2	Industrieel afvalwater	299
4.2.1	Koelwater	299
4.2.2	Voornamelijk organisch verontreinigd afvalwater	300
4.2.3	Voornamelijk anorganisch verontreinigd afvalwater	300
4.2.4	Organisch en anorganisch verontreinigd afvalwater	300
4.3	Verontreiniging door de landbouw	300
4.4	Onrechtstreekse bronnen	301
4.4.1	Energievoorziening	301
4.4.2	Transport	301
4.4.3	Opslag	301
4.4.4	Blussen van branden en blusoefeningen	301

Hoofdstuk 5 **Inwonerequivalent; vuilvracht; heffing op de waterverontreiniging** **303**

5.1	Huishoudelijk afvalwater	303
5.2	Bedrijfsafvalwater	303

Hoofdstuk 6 Situatie in verband met oppervlaktewater en afvalwater in Vlaanderen **309**

6.1	Lozingsnormen, geloosde vuilvrachten naar het oppervlaktewater in Vlaanderen	309
6.1.1	Lozingsnormen voor bedrijfsafvalwater	309
6.1.2	Lozingsnormen voor rioolwaterzuiveringsinstallaties	311
6.1.3	Geloosde vuilvrachten naar oppervlaktewater in Vlaanderen	312
6.2	Kwaliteitsnormen voor oppervlaktewater	316
6.3	Ecologische en fysisch-chemische kwaliteit van oppervlaktewater	318
6.3.1	Ecologische en fysisch-chemische kwaliteit van oppervlaktewater in Vlaanderen	318
6.3.2	Maatregelen en beleid	324
6.4	Situatie in verband met zuivering van huishoudelijk afvalwater	325

Hoofdstuk 7 Afvalwater in het milieu **329**

7.1	Inleiding	329
7.2	Zelfreinigend vermogen	330
	<i>Thema 7. Eutrofiëring</i>	334

Hoofdstuk 8 Zuiveren van huishoudelijk afvalwater in een rioolwaterzuiveringsinstallatie en van organisch belast industrieel afvalwater **337**

8.1	Grootschalige waterzuivering	337
8.1.1	Technieken voor grootschalige waterzuivering	338
8.1.2	Mechanische zuivering	340
8.1.3	Biologische zuivering	346
8.1.4	Nutriëntverwijdering (N en P)	358
8.1.5	Tertiaire zuivering	364
8.1.6	Slibverwerking	365
8.2	Kleinschalige waterzuivering	373
8.2.1	Wortelzonerietveld	373
8.2.2	Biorotor	374
8.2.3	Individuele behandelingsinstallatie voor afvalwater, IBA	375

Hoofdstuk 9 Zuivering van industrieel afvalwater **379**

9.1	Biologische behandeling	380
9.2	Fysische behandeling	382
9.2.1	Bezinking en opdrijven; flotatie	382
9.2.2	Coagulatie-flocculatie	384
9.2.3	Zandfiltratie	389

9.2.4	Adsorptie	392
9.2.5	Vervluchtiging; stripping	395
9.2.6	Membraanprocessen	396
9.3	Chemische behandeling	406
9.3.1	Neutralisatie	406
9.3.2	Neerslagvorming of precipitatie	407
9.3.3	Reductie en oxidatie	410
9.3.4	Ionenuitwisseling	413
9.3.5	Desinfectie of ontsmetting	418
9.4	Behandeling van vaste restproducten van waterzuivering	419
	<i>Thema 8. Waterhergebruik, gebruik van oppervlakte- en hemelwater</i>	420

Deel 3 Bodemverontreiniging en -sanering 427

Hoofdstuk 1 Bodem 429

1.1	Samenstelling	429
1.1.1	Vaste fase	429
1.1.2	Vloeistoffase	432
1.1.3	Gasfase	433
1.2	Transport in de bodem	433
1.3	Processen in de bodem	436

Hoofdstuk 2 Bodemverontreiniging 439

2.1	Verontreinigende componenten	439
2.1.1	Zware metalen	439
2.1.2	Anorganische verbindingen	440
2.1.3	Solventen	440
2.1.4	Polycyclische aromatische koolwaterstoffen	442
2.1.5	Bestrijdingsmiddelen, pesticiden	443
2.1.6	PFAS	444
2.1.7	Asbest	444
2.1.8	Overige verontreinigingen	445
2.2	Wettelijk kader en normering	445

Hoofdstuk 3 Beschrijvend bodemonderzoek 451

Hoofdstuk 4	Toestand bodemverontreiniging in Vlaanderen	455
4.1	Bodemverontreiniging door zware metalen	455
4.2	Bodemverontreiniging door PFAS	457
4.3	Bodemverontreiniging door pesticiden	461
4.4	Sanering van brownfields	461
Hoofdstuk 5	Bodemsaneringstechnieken	463
5.1	Indeling	463
5.2	Isolatie- en immobilisatietechnieken	463
5.2.1	Isolatie	463
5.2.2	Immobilisatie	465
5.3	Deeltjesscheidingstechnieken	466
5.4	Thermische grondreinigingstechnieken	468
5.5	Fysicochemische grondreinigingstechnieken	470
5.5.1	Vloeistofextractie	470
5.5.2	Bodempluchextractie	472
5.5.3	Andere methoden	474
5.6	Microbiologische grondreiniging	474
5.7	Fytoremediatie	477
Hoofdstuk 6	Preventie van bodemverontreiniging	481
Deel 4	Overwegingen en besluit	489
Literatuurlijst		499

Voorwoord

‘Vroeger was de lucht veel zuiverder dan nu.’

‘Onze luchtkwaliteit is vreselijk slecht door de uitstoot van de industrie. Wat blazen al die fabrieken wel niet de lucht in?’

‘Vroeger waren onze rivieren veel properder. Wij konden er als kind immers gewoon in gaan zwemmen.’

‘Er is geen klimaatbeleid, broeikasgasemissies blijven maar stijgen en onze planeet gaat naar de verdoemenis zonder dat wij er iets aan kunnen doen.’

‘Onze bodem zit vol toxische stoffen zoals zware metalen en PFAS die we via onze voeding binnenkrijgen.’

‘De overheid? Die laat al die grote bedrijven maar begaan en wij mogen zelfs geen vuurtje meer maken in onze tuin.’

Dit zijn maar enkele uitspraken die u als lezer wellicht herkent. Maar kloppen ze ook? Is het werkelijk zo slecht gesteld met het leefmilieu in Vlaanderen? Is het beleid onvoldoende effectief en is de industrie de grootste bron van milieuverontreiniging?

Dit boek biedt een duidelijk antwoord op deze en andere vragen over milieuvervuiling op basis van data en feiten. Het bespreekt de meest voorkomende milieuproblemen, hun bronnen en oorzaken, relevante wetgeving en maatregelen evenals technologische oplossingen. De focus ligt hierbij op Vlaanderen, maar er wordt ook informatie aangereikt over en vergeleken met Europa en andere delen van de wereld. Het zal blijken dat de in het begin vermelde uitspraken minstens niet volledig juist zijn, en zeker meer genuanceerd dienen te worden.

‘Lucht, water en bodem. Een kwantitatieve benadering van milieuproblemen en hun oplossing’ bouwt verder op het succesvolle concept van het in 2006 uitgegeven ‘Milieuproblemen en -technologie’ dat in 2012 werd geüpdatet als ‘Lucht, water en bodem. Over milieuproblemen en hun oplossingen’. Het werd volledig herwerkt en geactualiseerd met de meest recente milieudata, -wetgeving en wetenschappelijke inzichten. Zo bespreekt dit boek uitgebreid de stikstofproblematiek en besteedt het meer aandacht aan klimaatverandering en de gevolgen ervan, aan fijn stof in de omgevingslucht, evenals aan de sector ‘verkeer en

vervoer' met onder meer elektrische voertuigen en voertuigen op waterstof. Ook komen "nieuwe pollutanten" zoals microplastics en PFAS aan bod. Daarnaast worden de besproken technieken geïllustreerd met recente voorbeelden uit de industriële praktijk. Ten slotte bevat dit boek bijna dubbel zoveel figuren en foto's als eerdere versies.

Het boek blijft uniek omdat het zowel lucht- water en bodemverontreiniging en de remediëring ervan samenhangend behandelt in een Vlaamse en bij uitbreiding Europese en mondiale context. Het is het resultaat van samen meer dan zeventig jaar ervaring met het doceren van de cursussen 'Milieuproblemen en -technieken' en 'Milieutechnologie' en van intensieve onderzoekssamenwerking met de industrie. Vorige versies van dit boek werden aan de faculteit ingenieurswetenschappen van de KU Leuven meermaals bekroond met het 'gouden krijtje voor de beste zelfgeschreven cursus', evenals aan de faculteit industriële ingenieurswetenschappen met een 'gouden T' voor het 'beste cursusmateriaal Chemie/Biochemie – Campus Groep T'.

'Lucht, water en bodem' is als studieboek of als achtergrondinformatie bruikbaar voor alle bachelor- of masteropleidingen waar een algemene milieucursus wordt gedoceerd, onder andere industriële ingenieurswetenschappen, bio-ingenieurswetenschappen, ingenieurswetenschappen, milieu- en natuurwetenschappen, biowetenschappen, biochemie en biotechnologie, biologie, chemie, geografie. Het boek vereist enige voorkennis van chemie en fysica.

We zijn ervan overtuigd dat het boek niet enkel als studieboek kan dienen, maar ook als informatiebron voor al wie in de beroepspraktijk met milieuproblemen wordt geconfronteerd. Milieucoördinatoren zal het toelaten de kennis die hen aangereikt wordt tijdens hun vorming en tijdens de bijscholingen, in perspectief te plaatsen.

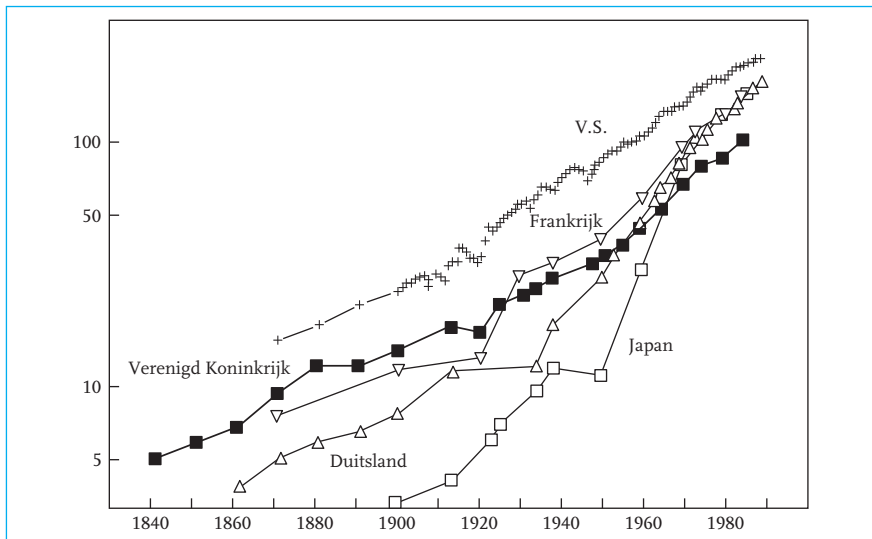
Elke geïnteresseerde lezer, met enige voorkennis van chemie en fysica, kan door de lectuur van dit boek een beeld krijgen van en meer inzicht verwerven in het boeiende domein van de milieuproblematiek en de milieutechnologie.

Ten slotte danken we Simon Loose van KU Leuven en Els De Putter van de VMM voor het aanreiken van relevante en praktische informatie. Bijzondere dank gaat uit naar Mathias en Michaël Peeters voor hun gen Z-inzichten en snelle hulp bij de steeds op cruciale momenten optredende IT-problemen.

Prof. Dr. Ing. Jo Van Caneghem Prof. Em. Chantal Block Prof. Em. Carlo Vandecasteele

Inleiding

Milieu problemen zijn geen recente fenomenen, maar treden al op van in de oudheid. Toen waren milieu problemen echter enkel van *lokale* of *regionale* aard! Sinds het begin van de industriële revolutie (ca. 1750) vond een sterke verhoging van de *arbeidsproductiviteit* plaats in de industrie ten gevolge van allerlei technologische ontwikkelingen (steenkool, ijzer, stoommachine, betere gereedschappen en machines, betere bruggen en schepen, ...) en in de landbouw (mechanisatie). In de periode van 1840 tot 1990 steeg de arbeidsproductiviteit in het Verenigd Koninkrijk met een factor van ca. 20. In Frankrijk, Duitsland en Japan was de stijging nog aanzienlijker (Figuur 1). In de westerse geïndustrialiseerde landen evenals in de VS nam de arbeidsproductiviteit de laatste decennia verder toe, zij het minder spectaculair. Zo steeg de arbeidsproductiviteit in België, Frankrijk, Duitsland en het Verenigd Koninkrijk met een factor van ca. 1,7 tussen 1990 en 2023. In landen met een meer recente industriële en economische ontwikkeling, steeg de arbeidsproductiviteit dan weer wel spectaculair, bijvoorbeeld met een factor 12 tussen 1990 en 2023 in China en met een factor 5 voor dezelfde periode in India.



Figuur 1. Stijging van de arbeidsproductiviteit in vijf landen. De ordinaat is uitgedrukt in equivalente US-dollars per werkuur

Bron: Graedel en Allenby (1995)

Deze toename van de arbeidsproductiviteit ging gepaard met een zeer sterke groei van de *wereldbevolking*. Tot het begin van de 19de eeuw steeg de wereldbevolking slechts traag; de stijging werd beperkt door ziekten, epidemieën en hongersnood. In het begin van de 19de eeuw ontdekte Pasteur dat veel ziekten worden veroorzaakt door ziektekiemen die worden overgedragen via voedsel, water, insecten, ... Deze ontdekking had een aanzienlijke verbetering van de gezondheidszorg en van de persoonlijke hygiëne tot gevolg en leidde tot belangrijke ontwikkelingen op het gebied van de geneeskunde (vaccins, antibiotica, ...). Samen met meer en beter voedsel (door gebruik van pesticiden, meststoffen, ...) leidde dit alles tot een drastische daling van de mortaliteit en tot een exponentiële groei van de bevolking: in 1830 bedroeg de wereldbevolking ongeveer 1,2 miljard, 100 jaar later was ze bijna verdubbeld, in 1998 werd 6 miljard overschreden, rond 2050 wordt (vanzelfsprekend afhankelijk van het scenario) een wereldbevolking van bijna 10 miljard verwacht. Modellen voorspellen een maximale wereldbevolking van 10,3 miljard rond 2080, daarna zou het aantal mensen op aarde langzaam terug beginnen afnemen.

Ten gevolge van de toegenomen arbeidsproductiviteit en de groei van de wereldbevolking nam het belang van milieuproblemen toe en treden nu, naast lokale en regionale problemen, ook *mondiale* milieuproblemen op. Meer en meer worden we geconfronteerd met de vraag of ten gevolge van het toenemende bevolkingsaantal gepaard met toegenomen arbeidsproductiviteit en consumptie, de *draagkracht* van de aarde niet overschreden is of zal worden.

Interessant in deze context is de geschiedenis van het *Paaseiland*. Dit is een dor, geërodeerd eiland in de Stille Zuidzee op 1900 km van het dichtste eiland en 3700 km van de Zuid-Amerikaanse kust. Het heeft een oppervlakte van 166 km² en werd ontdekt in 1722. Op het eiland werden zeer grote stenen hoofden (Figuur 2) aangetroffen, wat erop wijst dat er ooit een welvarende cultuur bestond. Men kan zich afvragen of de geschiedenis van het Paaseiland geen parabel is voor onze moderne beschaving.



Figuur 2. Een zicht op het Paaseiland met enkele grote stenen hoofden

Ooit, tussen 400 en 800 n.C., toen de eerste inwoners, Polynesiërs, toekwamen, was dit eiland dicht bebost. Naarmate de bevolking groeide werden meer en meer bomen omgehakt om plaats te maken voor de landbouw, om te dienen als constructiemateriaal, maar hoofdzakelijk om de grote stenen hoofden te transporteren van de steengroeven waar ze werden gemaakt naar de plaats waar ze werden opgetrokken. Tegen 1600 waren alle bomen verdwenen. Zonder boomwortels hield de grond geen water meer vast en werd de bodem weggespoeld naar de zee. De geërodeerde grond werd na regen zeer hard en droog, zodat landbouw moeilijk werd en men harder moest werken om te overleven. De kloof tussen de werknemers en de (religieuze) elite werd alsmaar groter. In de 17de eeuw kwamen de werknemers in opstand en moordden de regerende klasse uit. Er heerste anarchie en men leed onder ontbering en ziekte. Omdat er geen bomen meer groeiden op het eiland, kon niemand per boot ontsnappen van het eiland (let op de analogie met de aarde: wij kunnen evenmin van de aarde ontsnappen). Ondertussen nam het bevolkingsaantal af: dat bedroeg ooit tientot twintigduizend, was gedaald tot enkele duizenden bij de ontdekking door de Nederlanders in 1722, en zou verder dalen tot een honderdtal rond 1880. De les die men uit dit triest verhaal kan trekken, is: wanneer een samenleving geen aandacht heeft voor het leefmilieu, wanneer het bevolkingsaantal toeneemt tot boven de draagkracht (het vermogen van het land en het water om voedsel voor allen te leveren) en wanneer de ongelijkheid tussen rijken en armen te groot wordt (sociale ongelijkheid), resulteert dit in een ramp, stort de beschaving in.

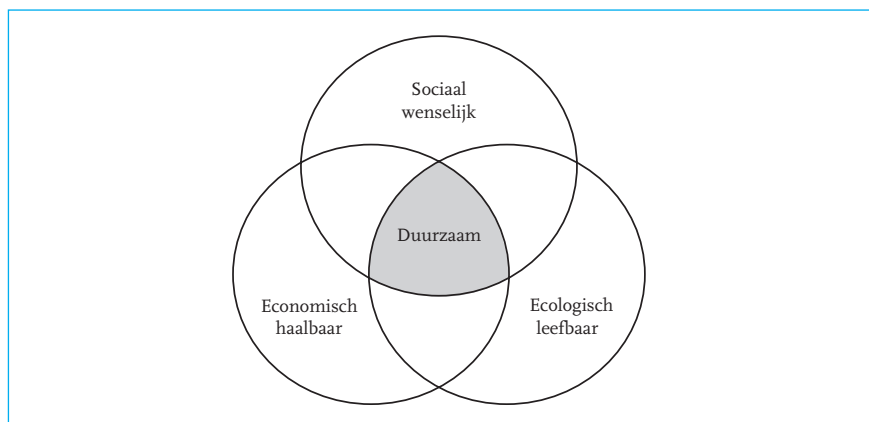
Om te vermijden dat de aarde in een analoge situatie zou terechtkomen als het Paaseiland, dienen we te streven naar 'duurzame ontwikkeling'. Deze term werd voor het eerst gebruikt door de World Commission on Environment and Development, ingesteld door de Verenigde Naties. Het in 1987 verschenen eindrapport van deze commissie, getiteld 'Our Common Future', ook het Brundlandrapport genoemd naar de voorzitter van de commissie, de toenmalige eerste minister van Noorwegen, mevrouw Brundland, ging over duurzame ontwikkeling. Duurzame ontwikkeling werd gedefinieerd als 'ontwikkeling die tegemoetkomt aan de noden van vandaag zonder de mogelijkheden van toekomstige generaties om aan hun noden tegemoet te komen in het gedrang te brengen'. Het begrip ontstond in het kader van een debat tussen, aan de ene kant, landen bezorgd over het leefmilieu (vooral geïndustrialiseerde landen) en, aan de andere kant, landen bezorgd over economische ontwikkeling (vooral ontwikkelingslanden die door economische groei hun levensstandaard trachten te verhogen). Uiteindelijk stonden zowel ontwikkelde landen als ontwikkelingslanden achter duurzame ontwikkeling. Voortbouwend op het concept van duurzame ontwikkeling geïntroduceerd in het Brundlandrapport, lanceerde de Verenigde Naties in 2015 zeventien mondiale duurzame ontwikkelingsdoelstellingen of 'Sustainable Development Goals (SDGs)' die verschillende thema's omvatten zoals onderwijs, industrie en economie, sociale gelijkheid, milieu, klimaat, gezondheid en welzijn (zie Figuur 3). Deze doelstellingen en hun 169 onderliggende 'targets' zijn van kracht tot 2030 en beogen in het algemeen vrede en welvaart voor mens en planeet nu en in de toekomst.



Figuur 3. De zeventien duurzame ontwikkelingsdoelstellingen van de Verenigde Naties

Bron: Wikimedia Commons; https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sustainable_Development_Goals.png
(Public domain)

Het begrip duurzame ontwikkeling is ondertussen zodanig ingeburgerd in internationale kringen, dat het bijna een geloofsartikel geworden is. Onder duurzame ontwikkeling wordt echter iets anders verstaan door verschillende groepen mensen. Economisten zijn hoofdzakelijk bezorgd over groei, efficiëntie en goed gebruik van grondstoffen; sociologen focussen op onder meer rechtvaardigheid, sociale cohesie, culturele identiteit, ...; ecologen zijn vooral bezorgd over behoud van de integriteit van natuurlijke systemen, leven binnen de draagkracht van het leefmilieu, efficiënte aanpak van milieuverontreiniging, ... Duurzame ontwikkeling wordt echter enkel gerealiseerd op de doorsnede van wat sociaal wenselijk, ecologisch leefbaar en economisch haalbaar is (Figuur 4).



Figuur 4. Duurzame ontwikkeling als doorsnede van wat sociaal wenselijk, Ecologisch leefbaar en economisch haalbaar is

Tot nog toe werd duurzame ontwikkeling nog nergens gerealiseerd. Men kan zich afvragen of ze wel te realiseren is zolang landen ernaar streven hun bruto nationaal product jaarlijks met enkele procenten te laten groeien. Duurzame ontwikkeling dient echter voorgehouden als een ideaal, een na te streven doel voor alle menselijke samenlevingen. Om na te gaan welke vooruitgang wordt geboekt, werden duurzaamheidsindicatoren ontwikkeld. Een interessante duurzaamheidsindicator is de '*ecologische voetafdruk*', een maat voor hoeveel oppervlakte biologisch productief land en water, een individu, een land, de mensheid ... gebruikt om te wonen, om de verbruikte grondstoffen te produceren en het gegenereerde afval te absorberen. Deze oppervlakte land en water kan zich overal bevinden. De ecologische voetafdruk wordt gemeten in mondiale hectaren, dit wil zeggen 1 ha biologisch productieve ruimte met een

productiviteit gelijk aan het wereldgemiddelde. In 2023 was er $11,9 \times 10^9$ ha biologisch productieve oppervlakte voor ongeveer 8 miljard mensen, wat overeenkomt met een biologische capaciteit van ca. 1,5 mondiale hectaren per persoon. De ecologische voetafdruk van een land omvat enkel de oppervlakte gebruikt voor de productie van de grondstoffen die nodig zijn voor de goederen en diensten geconsumeerd door de bevolking van dat land, evenals voor de verwerking en het storten van het betreffende afval. Grondstoffen gebruikt voor goederen en diensten uitgevoerd naar een ander land worden gerekend in de voetafdruk van het verbruikende land, eerder dan van het producerende land. De ecologische voetafdruk loopt van land tot land sterk uiteen (cijfers van 2025 met betrekking tot de voetafdruk voor 2022):

- VS: 7,9 ha per persoon;
- België: 6,0 ha per persoon;
- India: 1,1 ha per persoon;
- China: 3,6 ha per persoon;
- gemiddelde over de aarde: 2,7 ha per persoon.

Met een gemiddelde mondiale biologische capaciteit van 1,5 ha per persoon is er dus een deficit van 1,2 ha per persoon. De mens verbruikt met andere woorden bijna het dubbele van wat de aarde op een duurzame manier kan leveren. In 2025 viel 'overshoot day', de dag waarop de biologische capaciteit van onze planeet wordt overschreden, dan ook ongeveer in het midden van het jaar, namelijk op 24 juli. Ter vergelijking: in 1971 viel 'overshoot day' nog op 29 december.

Om de mondiale ecologische voetafdruk te verminderen, moet de ecologische voetafdruk van industriële landen sterk verminderen om die van armere landen, ontwikkelingslanden, te laten toenemen. Historische data tonen inderdaad aan dat de ecologische voetafdruk in de meeste westerse industrielanden de laatste twee decennia een dalende trend vertoont. Zo daalde de Belgische ecologische voetafdruk tussen 2000 en 2022 van 8,6 naar 6,0 ha per persoon, een daling met 30%. De ecologische voetafdruk van het Verenigd Koninkrijk daalde met een vergelijkbaar percentage over dezelfde periode (van 5,8 naar 4,0 ha per persoon), terwijl Frankrijk en Duitsland een daling van ongeveer 20% optekenden (respectievelijk van 6,4 naar 5,1 ha per persoon en van 5,9 naar 4,6 ha per persoon). Modellen voorspellen dat deze dalende trends zich de komende jaren zullen verderzetten. Anderzijds steeg de ecologische voetafdruk van landen in volle economische ontwikkeling de laatste twintig jaar spectaculair. Zo nam de ecologische voetafdruk van China toe van 1,7 naar 3,6 ha per persoon tussen 2000 en 2022, meer dan een verdubbeling. De ecologische voetafdruk van Vietnam steeg zelfs van 0,8 naar 2,6 ha per persoon of meer dan een factor 3 over dezelfde periode. Modellen voorspellen wel een afname van de groei van de ecologische voetafdruk in deze landen de komende jaren.