

Bodemkwaliteit en landbouw: een literatuurstudie



Bert Reubens, Karoline D'Haene,
Tommy D'Hose en Greet Ruysschaert

Oktober 2010

Auteurs:

Bert Reubens
Karoline D'Haene
Tommy D'Hose
Greet Ruyschaert

De auteurs zijn verbonden aan het Instituut voor Landbouw- en Visserijonderzoek (ILVO).

Met dank aan:

Koen Willekens, Bert Van Gils, Bart Vandecasteele, Joke Pannecoucq, Alex De Vlieghe, Victoria Nelissen, Johan Van Waes, Kristiaan Van Laecke, Hilde Wustenberghs (ILVO); Jan Vermang (UGent); An Van den Putte (K.U.Leuven); Sofie Claerhout (Proclam); Marleen Zanen, Jan Bokhorst (Louis Bolk Instituut); Hein ten Berge (WUR); Jan Bries (Bodemkundige Dienst België). De partners van het Interregproject BodemBreed en de landbouwers van de kenniscirkels in Vlaams-Brabant, Nederlands en Belgisch Limburg.

Foto's ©:

Bert Reubens, Karoline D'Haene en Greet Ruyschaert

Deze publicatie is beschikbaar via:

<http://www.bodembreed.eu/kennisloket> en <http://www.ilvo.vlaanderen.be>

Op de website van BodemBreed is ook een vertaalslag naar een breed publiek beschikbaar, waar de resultaten op een eenvoudige manier toegankelijk gemaakt zijn.

Teksten mogen worden overgenomen, mits duidelijke bronvermelding:

Reubens B., D'Haene K., D'Hose T., Ruyschaert G. 2010. Bodemkwaliteit en landbouw: een literatuurstudie. Activiteit 1 van het Interregproject BodemBreed. Instituut voor Landbouw- en Visserijonderzoek (ILVO), Merelbeke-Lemberge, België. 203 p.

Aansprakelijkheidsbeperking

Deze publicatie werd met de meeste zorg en nauwkeurigheid opgesteld. Er wordt evenwel geen enkele garantie gegeven omtrent de juistheid of de volledigheid van de informatie in deze publicatie. De gebruiker van deze publicatie ziet af van elke klacht tegen het ILVO, zijn medewerkers of de partners van het Interregproject BodemBreed, van welke aard ook, met betrekking tot het gebruik van de via deze publicatie beschikbaar gestelde informatie.

In geen geval zullen het ILVO, zijn medewerkers of de partners van het Interregproject BodemBreed aansprakelijk gesteld kunnen worden voor eventuele nadelige gevolgen die voortvloeien uit het gebruik van de via deze publicatie beschikbaar gestelde informatie.

Instituut voor Landbouw- en Visserijonderzoek (ILVO)

Wetenschappelijke instelling – Landbouw en Visserij

Eenheid Plant – Teelt en Omgeving**Eenheid Landbouw & Maatschappij**

Burg. Van Gansberghelaan 109- bus 1
9820 Merelbeke-Lemberge, België
tel. 0032 (0)9 272 26 70 – fax 0032 (0)9 272 27 01

bert.reubens@ilvo.vlaanderen.be
greet.ruyschaert@ilvo.vlaanderen.be
karoline.dhaene@ilvo.vlaanderen.be



Samenvatting

Juist onder het maaiveld bevindt zich het fundament van een duurzame en gezonde landbouwpraktijk: de bodem. Maar die bodem komt in toenemende mate onder druk te staan, letterlijk en figuurlijk. Kennen we die bodem eigenlijk? Begrijpen we de complexe samenhang tussen de fysische, chemische en biologische eigenschappen en -processen die samen de bodemkwaliteit uitmaken? En weten we hoe we die bodem duurzaam kunnen beheren?

Op veel vragen is reeds een antwoord te vinden in publicaties over eerder en elders uitgevoerd onderzoek. Het doel van deze literatuurstudie is om een breed beeld te schetsen van de bodem en om de effecten van het landbouwkundig gebruik op de kwaliteit van de bodems en van grond- en oppervlaktewater inzichtelijk te maken. Dit gebeurt in drie grote delen op basis van beschikbare, internationale kennis.

In een eerste, theoretisch gedeelte worden bodemeigenschappen en -processen gedefinieerd en het belang ervan toegelicht. Verder wordt de relatie gelegd tussen de bodem en de landbouwkundige geschiktheid in termen van bewerkbaarheid, benutting van nutriënten en water, onkruid-, plaag- en ziektedruk en opbrengstzekerheid en -hoeveelheid.

Die bodemkwaliteit en geschiktheid moeten in de praktijk geëvalueerd en opgevolgd kunnen worden. Daarvoor zijn meetinstrumenten nodig. In deel B wordt daartoe een set van regelmatig gebruikte indicatoren met bijhorende meetmethodes voorgesteld en geëvalueerd. Aandacht gaat daarbij uit naar het afbakenen van referentie- en streefwaarden. Ook de huidige situatie in het projectgebied wordt summier beschreven voor organische stof, bodemverdichting en erosie.

In het derde en meest omvangrijke deel deze studie worden de relaties tussen bodemkwaliteit en het beheer van de bodem in kaart gebracht door het beschrijven van de invloed van bodembewerking, teeltkeuze en -rotatie, groenbedekkers, bemestingsregime en gewasbescherming op de bodemkwaliteit. Daarbij wordt vertrokken van veelgestelde praktijkvragen en gangbare beweringen, die vervolgens kritisch doorgelicht worden aan de hand van wetenschappelijke literatuur, proefresultaten en expertkennis. De focus ligt daarbij specifiek op experimenten relevant voor de landbouwpraktijk, bodemcondities en klimaatsomstandigheden binnen het projectgebied.

De literatuur leert dat zowel tussen teelttechnische maatregelen onderling als tussen maatregelen en de natuurlijke omgeving vaak complexe interacties bestaan. Die diversiteit leidt tot een brede waaier aan mogelijke effecten. Bovendien kan een maatregel die zijn nut bewijst voor het ene probleem net een andere problematiek vergroten. Toch zijn een aantal duidelijke trends in kaart te brengen.

Aandacht gaat met name uit naar een geïntegreerde benadering van de landbouwpraktijk. Dat betekent dat gestreefd moet worden naar een optimalisatie van het volledige teeltsysteem over een langere periode, eerder dan naar de aanpak van individuele aspecten op korte termijn. Een uitgekiende afstemming van teelttechnische maatregelen speelt een doorslaggevende rol.

De landbouwpraktijk zoals we die hier vandaag kennen wordt sterk beïnvloed door een combinatie van vele factoren: de liberalisering van de wereldmarkt voor landbouwproducten, de scherpe prijzenpolitiek, de strenge kwaliteitseisen, hoge investeringskosten. Maximale productiviteit heeft in die context decennialang vaak noodgedwongen de meeste aandacht opgeëist.

Mede door regelgeving, maar ook binnen de grenzen van het ecosysteem bereikt die benadering haar grenzen. Ook binnen de huidige context van groeiend respect voor milieu en natuurlijke rijkdommen en aandacht voor klimaatverandering, is de korte termijn redenering niet langer houdbaar. Onder de scherpe mestwetgeving en normering van het gebruik van chemische gewasbeschermingsmiddelen, is er sprake van een toenemende afhankelijkheid van natuurlijke processen in de bodem om de bodemvruchtbaarheid op peil te houden en de ziektedruk laag te houden. De bodem is een essentiële hulpbron waarmee de mens moet samenwerken in plaats van haar te willen controleren. Dat is de kernboodschap van deze studie: het herstellen, behouden en verbeteren van de bodemkwaliteit door optimalisatie van bodembeheer vormt de essentie van een duurzame en kostenefficiënte landbouwpraktijk. Haalbaarheid en een eerlijk inkomen voor de landbouwer moeten daarbij steeds benadrukt worden.

Summary

Just below a harvested crop lies the basis of sustainable and healthy agricultural practice: the soil. But, at an ever-increasing rate, the soil is under pressure, in both senses of the word. Do we actually understand soil? Do we understand the complex coherence between the physical, chemical and biological characteristics and processes that jointly constitute soil quality? And above all: do we know how to manage the soil in a sustainable way?

The overall objective of this literature review is to shed light on these issues and to generate a sound understanding of the effects of farming practices on soil quality and the environment. This paper summarizes the international knowledge now available, presented in three main steps.

The first step is theoretical introduction. Soil characteristics and soil processes are defined and their importance elucidated. Mutual relationships are identified between the soil and agricultural suitability, the latter defined in terms of cultivation potential, efficient use of nutrients and water, suppressiveness, and yield security and amount.

Measurement instruments and indicators are needed to monitor soil quality and agricultural suitability. The second step presents and evaluates a set of regularly used soil indicators and measurement methods. Specific attention goes to the demarcation of predefined indicator thresholds and reference values. In addition, it summarizes the present situation and trends in this research area as they relate to organic matter, soil compaction and erosion.

The third and most extensive part of this study describes how the following farming practices interact with soil quality and agricultural suitability: soil tillage, crop rotation (including green manure crops), fertilization regime and crop protection. Starting from a set of frequently asked questions and common statements, these are then critically evaluated based on scientific literature, experimental results and expert knowledge. Particular attention goes to experiments relevant to agricultural practice, soil and climate conditions within the project area.

The literature shows how often complex interactions can be found, both within different agricultural measures, and between measures and the natural environment. This diversity leads to a broad range of potential effects. Moreover, conflicts of interest may be found, such as the trade-off between erosion control and decreased usage of crop protection agents. Nevertheless, a set of clear trends may be identified.

This document focuses on an integrated approach to agricultural practice. Optimizing the entire cultivation process over a longer period will yield better results than tackling individual problems in the short term. Harmonizing the different classes of aforementioned agricultural measures is of utmost importance.

Farming practice as we know it today is being strongly influenced by a combination of many factors: liberalization of the food market for agricultural products, highly competitive pricing, strict quality demands, and high investment costs. For these reasons, maximizing productivity has claimed all the attention over the last decennia, often out of sheer necessity.

As a consequence of legislation, but certainly also because the ecosystem is reaching its carrying capacity, this approach is nearing its limits. Within the current context of climate change and growing respect for the environment and natural resources, short-term reasoning is no longer acceptable. Given today's strict fertilizer legislation and restrictions regarding the use of chemical crop protection agents, farmers increasingly depend on natural soil processes to keep soil fertility up and plant disease pressure low. Soil is a basic and mutable living resource. The core message of this study is that people need to collaborate with the soil instead of trying to control it. The restoration, maintenance and improvement of soil quality through optimizing soil management is the essence of a sustainable and cost-effective farming practice. Of course, this practice must remain feasible for the farmers as well as guarantee them a fair income.

Lijst van symbolen en afkortingen

Symbolen

Σ	som
ρ	dichtheid
ρ_b	schijnbare dichtheid
θ_g	gravimetrisch vochtgehalte
θ_v	volumetrisch vochtgehalte
d_w	equivalente diepte per eenheid bodemdiepte
$^{\circ}\text{C}$	graden Celsius
$^{\circ}$	graden
€	euro

Afkortingen

μm	micrometer
Ag	zilver
Al	aluminium
AS	aggregaatstabiliteit
B	boor
Ba	barium
bar	eenheid van druk (100.000 Pa)
BDB	Bodemkundige Dienst van België
BLGG	Bedrijfslaboratorium voor grond- en gewasanalyse (Nederland)
BoBi	Bodem biologische indicatoren
C	koolstof
C/N verhouding	koolstof/stikstof verhouding
C/P verhouding	koolstof/fosfor verhouding
Ca	calcium
Ca/Mg verhouding	calcium/magnesium verhouding
CaCO_3	calciumcarbonaat
CaO	calciumoxide
CB	conventionele bewerking (traditioneel ploegen)
CEC	kation uitwisselingscapaciteit
CFE	chloroform fumigatie extractie
CFI	chloroform fumigatie incubatie
CI	channelindex
CLM	Centrum voor Landbouw en Milieu (Nederland)
cm	centimeter
cm^3	kubieke centimeter
Cmic	microbiële biomassa-C
CO_2	koolstofdioxide
Ct	totale koolstofgehalte
Cu	koper
DLV	Dienst landbouwvoorlichting (Nederland)
DOC	dissolved organic carbon (<i>opgeloste organische koolstof</i>)
DON	dissolved organic nitrogen (<i>opgeloste organische stikstof</i>)
DS	droge stof
ECAF	European conservation agriculture federation
EI	aanrijksindex
EOC	effectieve organische koolstof
EOS	effectieve organische stof
FAB	functionele agrobiodiversiteit

FAO	Food and Agriculture Organization (Rome)
Fe	ijzer
FVG	fosfaatverzadigingsgraad
g	gram
GFT	groente-, fruit- en tuinafval
GPS	Global Positioning System
h	drukhoogte
H	waterstof
ha	hectare
Hc	humificatiecoëfficiënt
HWC	hot water-extractable carbon (<i>koolstof extraheerbaar met warm water</i>)
ILVO	Instituut voor Landbouw- en Visserijonderzoek (Vlaanderen)
ISO-norm	internationale organisatie voor standaardisatie
ITB	Institut Technique de la Betterave (Frankrijk)
IWT	Agentschap voor Innovatie door Wetenschap en Technologie (Vlaanderen)
K	kalium
KUL	Katholieke Universiteit Leuven (België)
K/Mg verhouding	kalium/magnesium verhouding
K ₂ O	kaliumoxide
KCl	kaliumchloride
kg	kilogram
kPa	kilo pascal
Ksat	verzadigde hydraulische conductiviteit
l	liter
LBI	Louis Bolk Instituut (Nederland)
LCV	Landbouwcentrum voor Voedergewassen (Vlaanderen)
LNE	Departement Leefmilieu, Natuur en Energie (Vlaamse overheid)
log	tiendelig logaritme
m	meter
M	molair
m ²	vierkante meter
m ³	kubieke meter
Mb	molybdeen
mg	milligram
Mg	magnesium
MgCO ₃	magnesiumcarbonaat
MgO	magnesiumoxide
mm	millimeter
Mn	mangaan
MPa	mega pascal
N	stikstof
N/S verhouding	stikstof/zwavel verhouding
N ₂ O	stikstofoxide (lachgas)
Na	natrium
Na ₂ O	natriumoxide
NH ₄ ⁺	ammonium
Ni	nikkel
NKG	niet-kerende grondbewerking
NL	Nederland
NO ₃ ⁻	nitraat
NO ₃ -N	nitraat-stikstof
N _{org}	organische stikstof
N-pool	stikstofvoorraad

O ₂	zuurstof
OC	organische koolstof
OM	organisch materiaal
OS	organische stof
P	fosfor
P ₂ O ₅	fosfaat (fosforpentoxide)
PAL	totaal fosforgehalte (gemeten door extractie met AmmoniumLactaat)
PCBT	Interprovinciaal proefcentrum voor de biologische teelt vzw (Vlaanderen)
PCS	precompressiestress
PD	packing density
PDPO II	Vlaamse Programmadocument voor Plattelandsontwikkeling, tweede termijn (2007-2013)
pF	vochtspanning
pH	zuurgraad
pH-KCl	zuurgraad gemeten in een kaliumchloride oplossing
pk	paardenkracht
PLFA	fosfolipide vetzuren
PMC	potentieel mineraliseerbare koolstof
PMN	potentieel mineraliseerbare stikstof
PO ₄ ³⁻	fosfaat
PPO	Praktijkonderzoek Plant & Omgeving (WUR, Nederland)
PRI	Plant Research International (WUR, Nederland)
Pw	Hoeveelheid voor het gewas opneembaar fosfor (gemeten in een waterige oplossing)
qCO ₂	specifieke ademhalingsnelheid
RB	gereduceerde of minimale bodembewerking
RBB	referenties voor biologische bodemkwaliteit
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (Nederland)
RTK-GPS	Real Time Kinematic Global Positioning System
SI	structuurindex
Si	silicium
SIR	substrate induced respiration (<i>substraat geïnduceerde ademhaling</i>)
SO ₂	zwaveldioxide
SO ₄ ²⁻	sulfaat
SOCOMO	soil compaction model (Van Akker et al.)
T.P.V.	totaal poriënvolume
TC	totaal koolstofgehalte
UCL	Université Catholique de Louvain (België)
Ugent	Universiteit Gent (België)
USDA	United States Department of Agriculture
VC	veldcapaciteit
VP	verwelkingspunt
WRB	World Reference Base for soil resources
WUR	Wageningen University & Research (Nederland)
Zn	zink

Inhoudsopgave

Samenvatting	i
Summary	ii
Lijst van symbolen en afkortingen.....	iii
Inhoudsopgave	vii
Inleiding.....	1
Een strategie voor bodembescherming op Europees niveau	1
Doelstelling van deze studie binnen het project “BodemBreed”	2
Bodemkwaliteit & landbouw: opbouw van deze studie	2
Beknopte toelichting van het projectgebied	3
Leeswijzer	7
A. Bodemkwaliteit, bodemeigenschappen en –processen	9
A.1. Bodemkwaliteit	9
A.2. Betekenis en belang van bodemeigenschappen	10
A.2.1. Chemische bodemeigenschappen	10
A.2.2. Fysische bodemeigenschappen	15
A.2.3. Biologische bodemeigenschappen: bodemleven en bodemvoedselweb	23
A.3. Betekenis en belang van bodemprocessen	26
A.3.1. Interne bodemprocessen	26
A.3.2. Verliezen naar het milieu	28
A.4. Interacties tussen bodemeigenschappen en -processen	31
A.4.1. Organische stof als vertrekpunt voor bodeminteracties	31
A.4.2. En verder?	34
A.5. Context en definitie van landbouwkundige geschiktheid	35
A.6. Landbouwkundige geschiktheid, bodemeigenschappen & -processen	36
A.6.1. Bewerkbaarheid	36
A.6.2. Nutriënten- en waterbenutting	38
A.6.3. Ziekte-, plaag- en onkruiddruk	40
A.6.4. Duurzame economische output	41
B. Evaluatie van bodemkwaliteit & landbouwkundige geschiktheid	43
B.1. Bodembeoordeling: van laboratorium tot veldmethoden	43
B.2. Indicatoren en oriënterende waarden	43
B.3. “Chemische” bodemgerelateerde indicatoren	45
B.3.1. Organische stof	45
B.3.2. pH	48
B.3.3. Kation uitwisselingscapaciteit (CEC)	49
B.3.4. Nutriëntengehaltes en -beschikbaarheid	49
B.3.5. Nitraatresidu	51
B.4. “Fysische” bodemgerelateerde indicatoren	55
B.4.1. Textuur	55
B.4.2. Aggregaatstabiliteit	55
B.4.3. Structuur, dichtheid en porositeit	56
B.4.4. Penetratieweerstand	58
B.4.5. Infiltratie, percolatie en permeabiliteit	59
B.5. “Biologische” bodemgerelateerde indicatoren	61

B.5.1. Visualisatie van de structuur van het bodemvoedselweb	61
B.5.2. Regenwormen	62
B.5.3. Nematoden	62
B.5.4. Microbiële biomassa	63
B.5.5. Microbiële activiteit	63
B.5.6. Schimmel/Bacterie verhouding	64
B.6. Gewasgerelateerde indicatoren	64
B.6.1. Beworteling	64
B.6.2. Onkruiden	64
B.6.3. Verkleuring van de teelt	65
B.6.4. Opkomst van de teelt	66
B.6.5. Bedekkingsgraad van de teelt	66
B.6.6. Hoogte en productiviteit van de teelt	66
B.7. Een stapje verder om tot een werkbare methodiek te komen	67
B.8. De huidige toestand in Vlaanderen en Nederland	68
B.8.1. Organische stof	68
B.8.2. Verdichting	70
B.8.3. Bodemerosie	74
C. Effect van landbouwkundige maatregelen op de bodem en zijn landbouwkundige geschiktheid	77
C.1. Bodembewerking	77
C.1.1. Inleiding	78
C.1.2. Effect op chemische bodemeigenschappen	82
C.1.3. Effect op fysische bodemeigenschappen	86
C.1.4. Effect op biologische bodemeigenschappen	89
C.1.5. Effect op bodemprocessen	91
C.1.6. Effect op landbouwkundige parameters	95
C.1.7. Gewasspecifieke ervaring met gereduceerde bodembewerking	102
C.1.8. Alternatieve vormen van bodembewerking	106
C.1.9. Technische aspecten van belang bij bodembewerking	108
C.1.10. Bodembewerking: conclusies	114
C.2. Teeltkeuze &-rotatie en interactie met andere maatregelen	117
C.2.1. Inleiding	117
C.2.2. Effect op chemische, fysische en biologische bodemeigenschappen	117
C.2.3. Effect op bodemprocessen	121
C.2.4. Effect op landbouwkundige parameters	123
C.2.5. Alternatieve teelten	124
C.2.6. Teeltkeuze en –rotatie: conclusies, suggesties en belang	125
C.3. Groenbedekkers en interactie met andere maatregelen	127
C.3.1. Inleiding	127
C.3.2. Effect op chemische, fysische en biologische bodemeigenschappen	128
C.3.3. Effect op bodemprocessen	130
C.3.4. Effect op landbouwkundige parameters	132
C.3.5. Types groenbedekkers	135
C.3.6. Technische aspecten van belang bij de toepassing van groenbedekkers	137
C.3.7. Groenbedekkers: conclusies, suggesties en belang	140
C.4. Bemesting en interactie met andere maatregelen	143
C.4.1. Inleiding	143
C.4.2. Effect op chemische bodemeigenschappen	144
C.4.3. Effect op fysische bodemeigenschappen	149
C.4.4. Effect op biologische bodemeigenschappen	150
C.4.5. Effect op landbouwkundige parameters	152
C.4.6. Bemesting: conclusies	154

C.5. Gewasbescherming en interactie met andere maatregelen	155
C.5.1. Inleiding.....	155
C.5.2. Duurzame onkruidbestrijding	155
C.5.3. Preventieve maatregelen om ziekte- en plaagwerendheid te vergroten.....	157
C.5.4. Actieve bestrijding van bodemziektes en –plagen	158
Samenvattende conclusies en suggesties.....	161
Bodemkwaliteit en landbouw: complexiteit en samenhang	161
Haalbare evolutie naar een bewust bodemgebruik in de landbouw?	164
Duurzaam bodemgebruik in een globale context	164
Bijlage I. Groenbedekkers: kenmerken en mogelijkheden	167
Bijlage II. Bemesting: proevenoverzicht.....	173
Referentielijst.....	175

Inleiding

Een strategie voor bodembescherming op Europees niveau

Van de land- en tuinbouw wordt verwacht dat voldoende en betaalbaar voedsel geproduceerd wordt, en dit onder steeds strengere kwaliteitseisen. Waar productiviteit in het verleden alle aandacht opeiste, treedt vandaag sociale, economische en ecologische duurzaamheid steeds meer op de voorgrond. Idealiter wordt voedsel op een veilige en eerlijke manier geproduceerd, zonder de omgeving te schaden ⁽²⁰³⁾. Zeker op lange termijn is “niet-duurzaam” geen optie meer. Vanzelfsprekend maakt een dergelijke landbouwpraktijk het er voor de landbouwer niet eenvoudiger op. Het vereist een multidisciplinaire samenwerking en veronderstelt een diepgaand inzicht in alle processen hieraan gerelateerd.

Om die verwachtingen rond duurzaamheid in te lossen, is het belangrijk de bodem te erkennen als essentiële natuurlijke hulpbron, met een breed spectrum aan cruciale functies. De toenemende afhankelijkheid van natuurlijke processen in de bodem om de bodemvruchtbaarheid op peil te houden onder de scherpe mestwetgeving is daar een mooi voorbeeld van.

De bodem is een samenhangend complex, waarbij bodemkwaliteit (fysisch, chemisch en biologisch) en bodemweerbaarheid van groot belang zijn.

Toch komt de bodem in de Europese Unie in toenemende mate onder druk te staan. Dit probleem wordt veroorzaakt of versterkt door menselijk optreden, waaronder industriële activiteiten, toerisme, verstedelijking, maar ook de toepassing van weinig duurzame methoden in land-, tuin- en bosbouw. Denk daarbij bv. aan ruilverkavelingen en de schaalvergroting die geleid heeft tot gebruik van grotere, zwaardere machines en intensievere teeltrotaties. Bovendien wordt het groeiseizoen vaak langer (men gaat vroeger zaaien en poten, en later oogsten), en nemen de neerslaghoeveelheid en -intensiteit toe ^(219,220).

Hoewel de bodem in theorie hernieuwbaar is, hebben ernstig verstoorde bodems vele jaren nodig om volledig te herstellen. Bovendien kan de verstoring van bodems een impact hebben binnen een groter ruimtelijk, zelfs grensoverschrijdend geheel, bv. door verhoogde risico's op overstromingen, transport van sediment en polluenten, emissie van broeikasgassen of verontreiniging van geëxporteerd voedsel. Het herstellen, behouden en verbeteren van de bodemkwaliteit is dus erg belangrijk voor een duurzame landbouw op lange termijn.

In het kader van het zesde milieu-actieplan voor de periode 2002-2012 heeft de Europese Commissie in 2006 een **thematische Strategie ter bescherming van de bodems** goedgekeurd ⁽¹²⁷⁾. Daarin wordt benadrukt hoe de bodem - hoewel doorgaans geen openbaar bezit - voor de Gemeenschap een hulpbron van gezamenlijk belang is, waarbij bodemaantasting bovendien ook ernstige gevolgen heeft voor bijvoorbeeld waterkwaliteit, volksgezondheid, klimaatverandering, bescherming van de natuur, biodiversiteit en voedselveiligheid. Binnen de Strategie worden de acht grootste bedreigingen waaraan de bodem in de EU blootstaat gedefinieerd als zijnde erosie, verlies van organische stof (OS), verontreiniging, verdichting, verlies van bodembiodiversiteit, verzilting, afdekking, aardverschuivingen en overstromingen. Als onderdeel van de Europese aanpak wordt verder ingezet op het ontwikkelen van een **Kaderrichtlijn Bodem**. In deze richtlijn zullen meer concrete regels voor bodembeheer staan. De contouren van de Kaderrichtlijn zullen de komende jaren uitgewerkt worden. Hoewel bepaalde aspecten van bodembescherming in diverse EU-verdragen, richtlijnen of verordeningen aan bod komen, was de bodem tot aan het opstellen van de thematische Strategie nooit onderwerp van een specifiek beschermingsbeleid op Gemeenschapsniveau, met een slechts fragmentarische en onvolledige bescherming van de bodem tot gevolg.

Doelstelling van deze studie binnen het project “BodemBreed”

Ook binnen het huidige Vlaamse en Nederlandse beleid worden de verschillende bodemaspecten nog te vaak afzonderlijk belicht. Duurzaam bodembeheer is onvoldoende gekend. De grootste bedreigingen voor de Vlaamse en Nederlandse landbouwbodems zijn erosie, een afname van het OS-gehalte, verontreiniging, verdichting, afname van bodembiodiversiteit en verstoorde waterhuishouding⁽²⁷⁶⁾.

Het Interreg project “BodemBreed” richt zich op het **verduurzamen van het landbouwkundig bodemgebruik** door het versterken van de kennis en inzichten van de bodem als samenhangend geheel. Het project is vooral gericht op de implementatie van praktische maatregelen om de kwaliteit van landbouwbodems op peil te houden of te verbeteren. Concreet worden het beperken van water- en modderoverlast, het beperken van uitspoelen van nutriënten naar grond- en oppervlaktewater, en het zoeken naar het optimale gebruik van meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen genoemd.

Eén van de activiteiten binnen dit project is het uitvoeren van een literatuurstudie, met als doel het project te onderbouwen door de **bestaande kennis** rond de samenhang tussen bodemkwaliteit en landbouwkundige maatregelen te **structureren**.

De invulling die men geeft aan begrippen zoals “bodemkwaliteit” of “landbouwkundige geschiktheid”, hangt af van het doel dat men voor ogen stelt, de context die men beschouwt en de schaal waarop gekeken wordt.

Zo bv. wordt de landbouwkundige bruikbaarheid van een perceel niet enkel bepaald door de bodemkwaliteit op zich, maar ook door de inkleuring van dit perceel: ligt het wettelijk in het juiste gebied? Bovendien kan een perceel landbouwkundig minder geschikt zijn, maar (op korte termijn) toch een economische waarde hebben omwille van bv. de toekenning van gebruikerscompensaties of de mogelijkheid om bepaalde beheerovereenkomsten af te sluiten bij bv. natuurwaarde of het nemen van erosiebestrijdende maatregelen.

In de context van deze studie worden bodemkwaliteit, landbouwkundige geschiktheid en landbouwkundige maatregelen beschouwd met het oog op het uitvoeren van akkerbouw, en dit op een ecologisch en economisch duurzame manier. De focus ligt verder op die eigenschappen en processen die de landbouwer kan beïnvloeden en/of die van belang zijn voor de landbouwkundige geschiktheid op perceelsniveau.

Bodemkwaliteit & landbouw: opbouw van deze studie

Na dit inleidende stuk, bestaat de kern van deze studie uit drie grote delen (schematisch voorgesteld in Figuur 1):

Deel A. Bodemkwaliteit, bodemeigenschappen en -processen

Het doel van dit deel is het verkrijgen van een voor de praktijk relevant inzicht in de bodemkwaliteit. Bodemeigenschappen en –processen worden gedefinieerd en het belang ervan toegelicht. Een onderscheid wordt daarbij gemaakt tussen fysische, chemische en biologische eigenschappen, en tussen interne en externe bodemprocessen. Interacties hiertussen worden in kaart gebracht. Verder wordt de relatie gelegd tussen de bodem en de landbouwkundige geschiktheid in termen van bewerkbaarheid, benutting van nutriënten en water, onkruid-, plaag- en ziektedruk, en opbrengstzekerheid en -hoeveelheid.

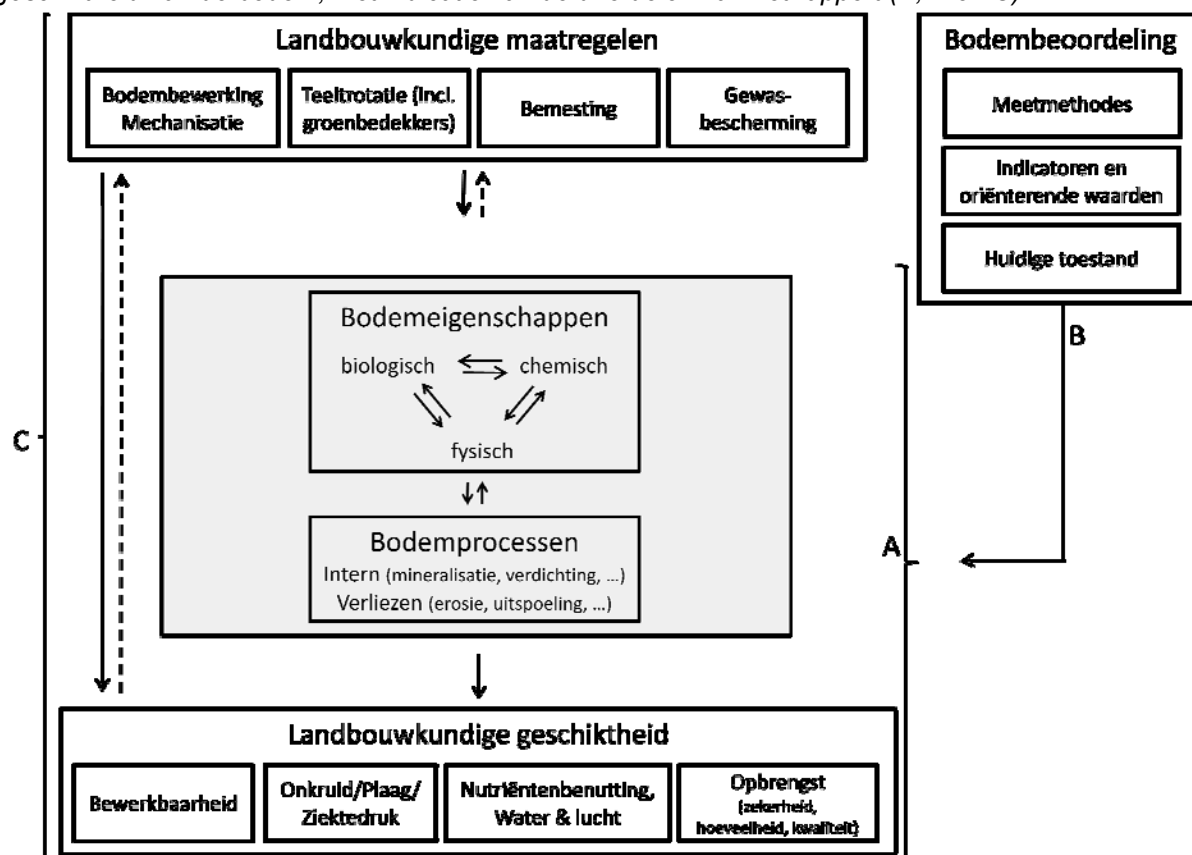
Deel B. Evaluatie van bodemkwaliteit en landbouwkundige geschiktheid

Om bodemkwaliteit en de landbouwkundige geschiktheid te kunnen opvolgen, zijn meetinstrumenten nodig. Een set van regelmatig gebruikte bodemindicators met bijhorende meetmethodes wordt voorgesteld en geëvalueerd. Aandacht gaat daarbij specifiek uit naar het afbakenen van referentie- en streefwaarden. Ook de bestaande situatie en trends in het projectgebied worden hier summier beschreven.

Deel C. Effecten van landbouwkundige maatregelen op de bodem en zijn landbouwkundige geschiktheid

De landbouwer beïnvloedt met zijn bodembewerkingen, teeltrotatie, bemesting en gewasbescherming niet alleen zijn opbrengsten maar ook de bodemkwaliteit en het milieu. Dit derde onderdeel, wellicht het belangrijkste, bevat de relatie met het beheer van de bodem door het beschrijven van de invloed van bodembewerking, teeltrotatie (inclusief groenbedekkers), bemestingsregime en gewasbescherming op de bodemkwaliteit. Er wordt ook ingegaan op de extra uitdagingen van de biologische landbouw, en op mogelijk conflicterende doelen, zoals de bestrijding van erosie en de afbouw van het gewasbeschermingsmiddelengebruik. Doelstelling is om de effecten van het landbouwkundig bodemgebruik op de kwaliteit van de bodems en van grond- en oppervlaktewater inzichtelijk te maken en om praktische maatregelen te formuleren.

Figuur 1. Samenhang tussen landbouwkundige maatregelen, bodem en landbouwkundige geschiktheid van de bodem, met indicatie van de drie delen van het rapport (A, B en C).



Beknopte toelichting van het projectgebied

(19, 52, 109, 190, 223)

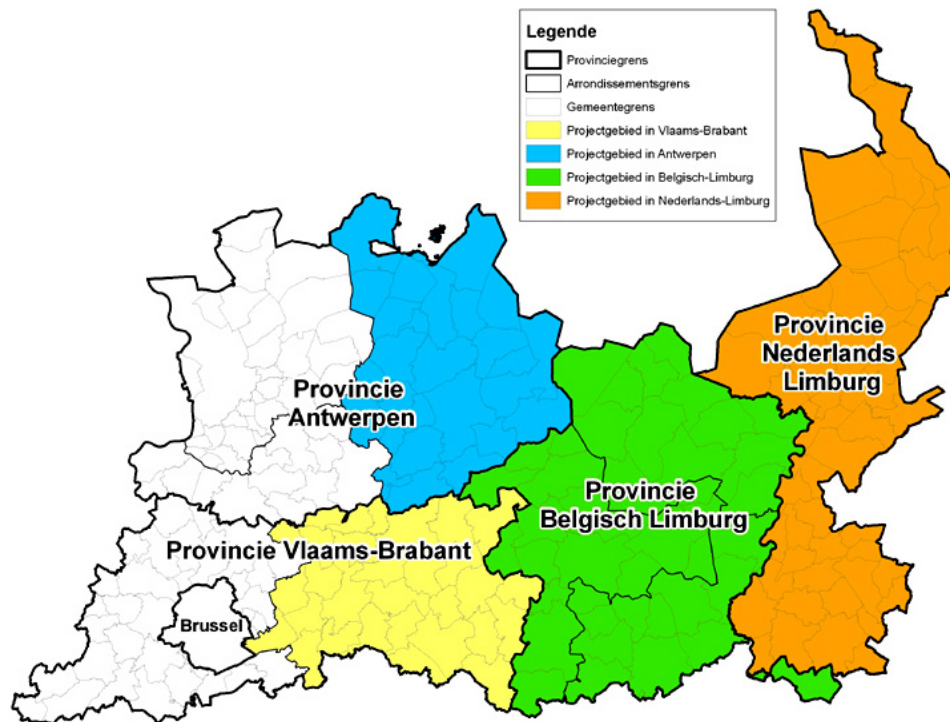
Tot het projectgebied behoren de provincies Nederlands Limburg en Belgisch Limburg, evenals het arrondissement Leuven (Vlaams Brabant) en het arrondissement Turnhout (Antwerpen), met een ligging tussen 50°41' en 51°46' NB enerzijds, en 4°26' en 6°14' OL anderzijds (Figuur 2).

Er heerst een gematigd zeeklimaat. De gemiddelde jaartemperatuur bedraagt 9 à 10 °C, de gemiddelde januaritemperatuur 2 à 3 °C en de gemiddelde julitemperatuur 17 à 18 °C ^(219,220). De jaarlijkse neerslag bedraagt ongeveer 750-800 mm, die verspreid over alle maanden valt.

Zowel België als Nederland kunnen worden ingedeeld in een aantal landbouwstroken of -gebieden. Het noorden van het projectgebied omvat in België bijna de hele Kempen. Het zuidelijke deel van het

projectgebied is verdeeld over de Vlaamse Zandstreek, de Zandleemstreek en de Leemstreek (Figuur 3). In Nederland behoort de provincie Limburg tot de landbouwgebieden Zuid-Limburg en het Zuidelijk veehouderij gebied. Hoewel het type bodems en hun landbouwkundige geschiktheid ook binnen een bepaalde streek erg variabel kunnen zijn, vallen voor elke streek een aantal specifieke kenmerken te beschrijven. Voor een definitie van beschreven bodemeigenschappen en -processen, wordt verwezen naar [deel A](#) van deze studie.

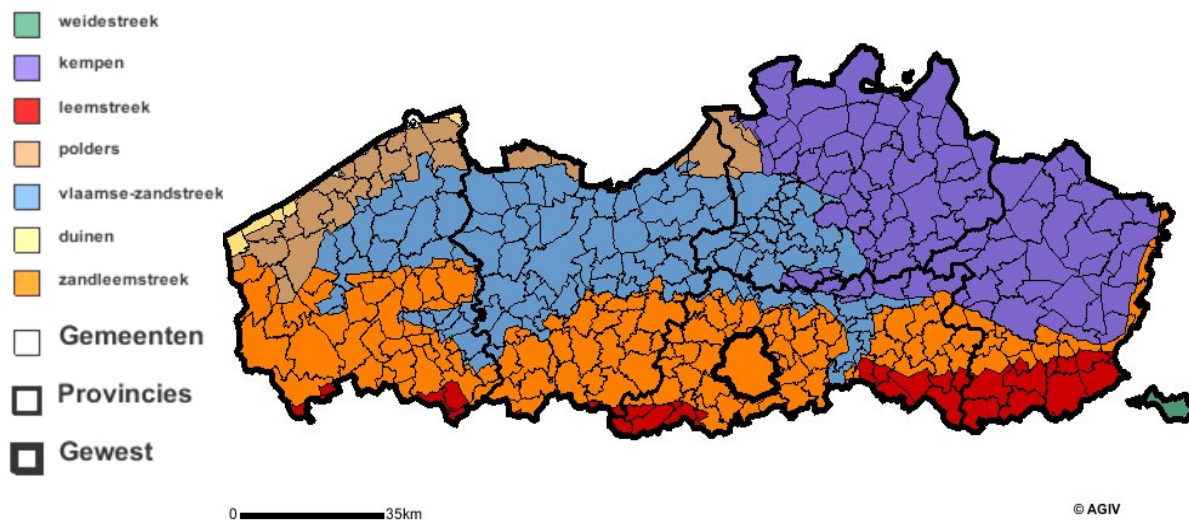
Figuur 2. Projectgebied: Nederlands Limburg, Belgisch Limburg, arrondissement Leuven en arrondissement Turnhout (www.bodembreed.eu).



In de ondergrond en plaatselijk aan de oppervlakte van de **Vlaamse Zandstreek** en de **Kempen** vindt men Tertiaire klei of zand, bedekt door dekzanden. Alhoewel zandbodems globaal genomen als arme gronden aanzien worden, varieert hun landbouwwaarde onder andere met het OS-gehalte, de waterhuishouding en de profielopbouw. Zo zijn de zandgronden in de Vlaamse zandstreek bv. fijner dan in de Kempen, en kunnen ze dus meer water vasthouden. Enkele voorkomende bodems zijn:

- **Podzols**, gekenmerkt door een accumulatie van OS in dieperliggende lagen. Verdichting zorgt bij deze bodems voor een problematische bodemstructuur. Deze van oorsprong zure gronden vragen om aandacht voor een goede pH. Verder moet voldoende OS ondermeer vochtgebrek verhinderen en zijn Podzolgronden ook zeer gevoelig voor uitspoeling van voedingsstoffen.
- **Luvisols**, gekenmerkt door kleimigratie van de toplaag naar een onderliggende horizont. Ze zijn te vergelijken met de “Brikgronden” in Nederland (zie verder).
- **Plaggenbodems** (10-20 % van de bodems in de Kempen), gekenmerkt door een dikke (50-100 cm) humeuze bovengrond. Ze zijn ontstaan door een eeuwenlange menselijke activiteit waarbij plaggen (zoden) werden afgestoken en gebruikt als strooisel in de stallen. In deze stallen stapelde dit strooisel, samen met de mest, zich op tot een dikke laag, die dan werd uitgestrooid en ingewerkt op de akkers.

Figuur 3. De Landbouwstreken van Vlaanderen (bron: geo-vlaanderen.agiv.be).



Het moedermateriaal van de Belgische **Leemstreek** is löss, die in onverweerde toestand een los, zacht, geelachtig materiaal is. Een vaak voorkomend bodemtype van de Leemstreek is de Aba-bodem (zie Kader 1) of Luvisol. Landbouwkundig is de grote meerderheid van deze bodems van zeer goede kwaliteit. Watererosie is echter een veelvoorkomend probleem door een combinatie van de erosiegevoelige leemtextuur en het sterk golvend landschap. Bewerkingserosie veroorzaakt hoge taluds en het verdwijnen van de vruchtbare toplaag op de convexe delen van het landschap.

De Belgische **Zandleemstreek**, met een licht golvend reliëf, is de **overgangsstreek** tussen de Zandstreek in het noorden en de Leemstreek in het zuiden, en vertoont vaak kenmerken van deze aangrenzende landbouwstreken. In de Zandleemstreek komen vergelijkbare bodems voor als in de Leemstreek, met als belangrijk verschil het voorkomen van het (Tertiair) substraat op geringere diepte, of soms zelf aan de oppervlakte. Het colluvium (bodem materiaal dat van een helling is afgespoeld en zich aan de voet van de helling heeft geaccumuleerd) in de Zandleemstreek is meestal typisch zandleem, terwijl de textuur van het alluvium (dit is bodem materiaal dat door een waterstroom werd afgezet) meestal schommelt tussen lemig zand en kleiig leem. Omwille van het hoger zandgehalte zijn de zandleembodems beter doorlaatbaar dan de echte leemgronden en is de bodemontwikkeling verder gevorderd. De landbouwkundige geschiktheid varieert voornamelijk in functie van de drainage, met weiland op de bodems met tamelijk slechte drainering, akkerbouw op de diepe, goed en matig goed gedraineerde zandleembodems, en een hoge geschiktheid voor intensieve tuinbouw op de droge en matig droge bodems.

In Nederland bestaat de provincie Nederlands Limburg in het noorden voor een groot deel uit zandgronden (droge zandgronden of zandgronden met grondwaterinvloed). Dit zijn dekzanden evenals zandgronden die door de Rijn werden aangevoerd en later door de Maas zijn ingesneden. Net zoals in de hierbij aansluitende Belgische Kempen, zijn dit vaak Podzolgronden en plaggenbodems. Deze laatsten worden in Nederland ook "**Enkeerdgronden**" genoemd, en worden vaak gebruikt voor gras- en maïsteelt. Naast de drogere zandgronden treft men er in beperkte mate ook zandgronden met grondwaterinvloed aan, waarbij de plantenwortels in de zomer door capillaire opstijging vocht uit de ondergrond kunnen halen. Zo zijn er bv. de Beekeerdgronden of Veenkoloniale gronden. **Beekeerdgronden** treft men aan langs beken en middelgrote rivieren (zoals de Geul, de Roer, de Neerbeek en de Geleenbeek), en zijn gekenmerkt door een donkere bovengrond en een scherpe overgang naar een OS-arme ondergrond. Bij hoge OS-gehalten zijn ze minder goed bewerkbaar (zie ook [A.6.1](#)). Grasland is het belangrijkste gebruik. **Veenkoloniale** gronden zijn vaak rijk aan zwarte OS, echter met minder gunstige eigenschappen: in tegenstelling tot de gangbare eigenschappen van OS (zie [A.2.1.1](#)) versmeert ze snel en zorgt ze niet voor verkruiemeling van de bodem. Ook neemt de draagkracht af met toenemend OS-gehalte. De ondergrond neigt tot verdichting. De gronden worden gebruikt voor graan, aardappelen, suikerbieten en gras. Verder treft men meer naar het zuiden toe ook

een smalle strook goed ontwaterde **Ooivaaggronden** aan, gekenmerkt door een tot op grote diepte gehomogeniseerd bodemprofiel dankzij het bodemleven. De OS is gebonden aan kleideeltjes en heeft hierdoor gunstige eigenschappen voor plantengroei. De wortels kunnen hier diep de grond in, de bodem is doorgaans licht kalkhoudend, en de landbouwkundige geschiktheid is vaak optimaal.

Het heuvelachtige zuiden van Limburg (Mergelland) wordt gedomineerd door vruchtbare maar slemp- en erosiegevoelige **Brikgronden**, gevormd in löss (voortzetting van de Belgische lössgordel). In het profiel is sprake van uitspoeling en weer neerslaan van lutum (klei) en ijzerdeeltjes. Deze bodems verliezen door ontkalking hun stabiliteit, waarna de bodem ook erg erosiegevoelig wordt. Structuurproblemen komen vaak voor. Door de klei-uitspoeling wordt de bovenlaag zandiger en de laag op 40 tot 80 cm diepte kleiiger. Bij percelen die op een helling van tenminste 2 % liggen, is de zandiger bovenlaag in het algemeen verdwenen en ligt de zwaardere inspoelingslaag aan de oppervlakte. Bij een helling van tenminste 8 % gaat ook de inspoelingslaag eroderen. De laag onder de bouwvoor kan makkelijk zo dicht worden dat de ontwatering een probleem wordt en de beworteling zich beperkt tot de bouwvoor. Verder komt hier en daar krijtgesteente oppervlakkig voor, plaatselijk bekend als “mergel” en afgezet tijdens het Krijt.

Belangrijke akkerbouwgewassen in Nederlands Limburg zijn aardappel, suikerbiet, zomergerst, maïs, erwten/stamslabonen en wortelen voor Noord- en Midden-Limburg, en wintertarwe, aardappel, suikerbiet, wintergerst, brouw(zomer)gerst, zaaiuien en wortelen voor Zuid-Limburg ⁽⁷³⁾.

In het Vlaamse deel van het projectgebied zijn graangewassen voor de korrel (voornamelijk tarwe en korrelmaïs) (38 %), voedermaïs (26 %), tijdelijke weiden (16 %), suikerbieten (7 %) en aardappel (5 %) de belangrijkste ‘eenjarige’ gewassen. Er zijn wel regionale verschillen. In de noordelijke arrondissementen Turnhout en Maaseik zijn de belangrijkste gewassen voedermaïs (39-41 %), tijdelijke weiden (24-29 %) en korrelmaïs (15-18 %). In de zuidelijke arrondissementen Leuven, Hasselt en Tongeren zijn granen voor de korrel het belangrijkste (43-59 %). Het areaal voedermaïs (10-20 %) komt hier op de tweede plaats, gevolgd door suikerbieten (10-15 %). Verder speelt fruitteelt een beduidende rol in Haspengouw (zuidelijk Limburg en oostelijk Vlaams-Brabant) ⁽¹⁴²⁾.

Kader 1. De Belgische versus Nederlandse Bodemclassificatie

Op wereldschaal bestaan twee grote classificatiesystemen: Soil Taxonomy (ontwikkeld door de USDA⁽³⁴⁵⁾) en de World Reference Base (WRB, ontwikkeld door de FAO ⁽²⁰¹⁾). Toch hebben vele landen een eigen taxonomisch systeem, waardoor de gebruikte terminologie vaak verschillend is, en eenzelfde term soms zelfs een enigszins andere lading kan dekken.

De basiseenheid van het Belgische systeem is de bodemserie. Ze wordt voorgesteld door een formule van drie (of meer) letters die in een gecodeerde vorm een reeks bodemkenmerken weergeven, waarvan textuur (zie [A.2.2](#)), drainageklasse en profielontwikkeling de belangrijkste zijn. Typische bodemseries in de leemstreek zijn bv. Aba- en Abb-gronden. Dit zijn niet-gleyige leemgronden met textuur B-horizont. De bodemserie is nog eens onderverdeeld in bodemtypen en bodemfasen ^(3,190).

In Nederland bestond ook behoefte aan een eigen systeem omdat de destijds bestaande systemen niet volstonden voor diverse typisch Nederlandse situaties met bv. veel jonge gronden, antropogene invloeden of veengronden. Daartoe is bij de toenmalige Stichting voor Bodemkartering, thans onderdeel van Alterra, het “Systeem voor de bodemclassificatie voor Nederland” ontwikkeld door de Bakker en Schelling ⁽¹⁰⁰⁾. Het systeem kent van hoog naar laag vier niveaus: orden, suborden, groepen en subgroepen. De orden zijn onderscheiden op basis van de bodemvormende processen die het belangrijkste worden gevonden. Er zijn vijf orden: Veengronden, Podzolgronden, Brikgronden, Eerdgronden en Vaaggronden.

Leeswijzer

In wat volgt worden drie afzonderlijke delen A, B en C voorgesteld, zoals hiervoor uiteengezet.

- Dit rapport hoeft niet noodzakelijk van voor naar achter gelezen te worden voor een goed begrip. Voor vele lezers op zoek naar concrete informatie kan het selecteren van bepaalde fragmenten nuttiger zijn. Aangezien deel A vooral als theoretische achtergrond dient om bodemeigenschappen en –processen te definiëren en het belang ervan toe te lichten, kunnen lezers die enigszins vertrouwd zijn met de materie vaak direct naar deel B of deel C overstappen.
- Er wordt veel aandacht besteed aan de sterke samenhang tussen de verschillende delen, en tussen de verschillende paragrafen binnen elk deel. Verwijzingen naar andere fragmenten binnen dit rapport, of naar andere activiteiten binnen het project “BodemBreed”, worden [onderlijnd en blauw gemarkeerd](#).
- Verwijzingen naar figuren, tabellen, kaders en bijlagen kunnen in de tekst steeds aangeklikt worden, waardoor men automatisch bij het desbetreffende object terechtkomt.
- Regelmatig wordt na de eerste vermelding van een belangrijke term of begrip ook de Engelstalige benaming weergegeven: bv. ziekteverendheid (Eng. *suppressiveness*). Voor de lezer die een stapje verder wil gaan, maakt dit het eenvoudiger om systematisch te zoeken op trefwoorden in de Engelstalige literatuur, vertrekkende van de literatuurlijst achteraan.
- Alle referenties in de tekst zijn genummerd, en achteraan in de literatuurlijst terug te vinden. Waar relevant, zijn de nummers van de voornaamste referenties waarop een tekstfragment gebaseerd is, terug te vinden onder de titel van de betreffende paragraaf.
- Naast dit rapport werd ook werk gemaakt van een vertaalslag naar een breed publiek van landbouwers, om zo de resultaten op een eenvoudige manier toegankelijk te maken. De basis hiervan is een matrix waarin een aantal landbouwkundige maatregelen worden uitgezet tegen de kwaliteit van de bodem en de landbouwkundige parameters. Voor meer informatie wordt verwezen naar de website www.bodembreed.eu.

A. Bodemkwaliteit, bodemeigenschappen en –processen

In dit eerste deel worden allereerst de betekenis, de functies en het belang beschreven van de bodemeigenschappen en -processen die samen de bodemkwaliteit uitmaken, die de landbouwer kan beïnvloeden en/of die van belang zijn voor de landbouwkundige geschiktheid (A.1 tem A.4). Bijzondere aandacht gaat uit naar duidelijkheid en uniformiteit in definiëring, en naar interacties tussen eigenschappen en processen.

Vervolgens worden de relaties gelegd tussen de bodem en zijn landbouwkundige geschiktheid voor akker- en tuinbouw. Hiertoe worden eerst een aantal beoordelingsfactoren geformuleerd die samen de landbouwkundige geschiktheid uitmaken (A.5), en wordt in kaart gebracht hoe verschillende bodemeigenschappen en –processen de toestand van die criteria rechtstreeks of onrechtstreeks beïnvloeden (A.6).

A.1. Bodemkwaliteit

(88, 123, 207, 276, 320)

“Bodemkwaliteit is de capaciteit van een bodem om te functioneren” ⁽²⁰⁷⁾.

Bodemkwaliteit (Eng. *soil quality*) wordt beschouwd als het geïntegreerde geheel van biologische, chemische en fysische eigenschappen en processen in een bodem en zijn omgeving. Dit is echter een vage en ruime omschrijving, die op verschillende manieren geïnterpreteerd kan worden. Daarom is het belangrijk om bij aanvang van deze studie duidelijk te maken wat hier precies onder de brede noemer “bodemkwaliteit” ondergebracht wordt. Zo hangt de visie op bodemkwaliteit ondermeer af van de ruimtelijke schaal waarover ze geëvalueerd wordt, de achtergrond van de individuen die ze beoordelen en hun relatie tot het land ⁽⁸⁸⁾. Bodemkwaliteit wordt op die manier geassocieerd met erg uiteenlopende thema's:

- Hoge en duurzame productiviteit, maximalisatie van opbrengst;
- Overvloedig, gezond en betaalbaar voedsel voor de huidige en toekomstige generaties;
- Bodem in harmonie met het omgevende landschap;
- Functionering van de bodem binnen een divers en gezond ecosysteem, inclusief een goede water- en luchtkwaliteit;
- Het ondersteunen van een gezonde menselijke samenleving.

De eerste officiële definitie werd in 1997 voorgesteld door een commissie bodemkwaliteit van de *Soil Science Society of America*:

“Soil quality is the capacity of a specific kind of soil to function within natural or managed ecosystem boundaries to:

- *sustain plant and animal productivity*
- *maintain or enhance water and air quality*
- *support human health and habitation.”* ⁽²⁰⁷⁾

Landbouwgronden dienen dus niet alleen als basis en voedingsbodem voor gewassen en dierlijke productie; ook andere functies zijn belangrijk. De kwaliteit van de bodem omhelst daarbij ondermeer de capaciteit om die basisfuncties te vervullen. Deze functies worden hier ondergebracht onder vier categorieën ^(276,320):

- (i) Productiefunctie of **bodemvruchtbaarheid**: de bodem ondersteunt de productie van biomassa voor landbouw, natuur en de overige groene diensten, door te voorzien in nutriënten, lucht, water en een groeimedum voor wortels;
- (ii) **Weerstandsfunctie**: de bodem biedt weerstand tegen menselijke en natuurlijke stress, en heeft een vermogen om zich aan veranderende omstandigheden aan te passen;

- (iii) Functie als **filter, buffer en reactor**: de bodem functioneert als medium voor een aantal processen en heeft een aantal capaciteiten, waaronder:
- het vermogen om doelmatig om te gaan met organische stoffen, door fragmentatie van plantenresten en mineralisatie van organische stof;
 - het zelfreinigend vermogen (omgang met en neutralisatie van schadelijke stoffen);
 - het vermogen om water op te nemen, vast te houden, en te transporteren;
 - het vermogen tot buffering en beïnvloeding van het klimaat, bv. door de opslag van CO₂.
- Hierdoor is de bodem in staat om de water- en luchtkwaliteit te behouden of verbeteren, en om waterstromen efficiënt te reguleren, ook na extreme weersomstandigheden;
- (iv) **Bron en bewaarplaats** van biologische activiteit en diversiteit: de bodem functioneert als habitat en bewaarplaats voor talrijke organismen en micro-organismen.

Een belangrijke overtuiging is dat de bodem steeds functioneert binnen een groter ruimtelijk geheel. Een onderscheid kan gemaakt worden tussen “inherente” en “dynamische” kwaliteit. De **inherente bodemkwaliteit** omvat de intrinsieke eigenschappen van een bodem zoals bepaald door de bodemvormende factoren. Zo zal een lemige bodem steeds een groter waterhoudend vermogen hebben dan een zandige bodem, en dus een grotere inherente kwaliteit voor wateropslag, maar een lagere inherente kwaliteit voor een goede ontwatering.

Dynamische bodemkwaliteit wordt dan weer bepaald door die eigenschappen en processen die wel door menselijke activiteit beïnvloedbaar zijn. Denk bv. aan bodemverdichting, erosie, uitspoeling of organisch stofgehalte. Dergelijke gebruiksafhankelijke bodemeigenschappen en -processen komen sterkst tot uiting in de toplaag van de bodem. Aangezien dit werk focust op de relatie tussen bodemkwaliteit en landbouwkundige activiteit, krijgt het dynamische aspect van bodemkwaliteit de meeste aandacht.

Nauw verwant met bodemkwaliteit is “**bodemgezondheid**” (Eng. *soil health*), als onderdeel van het concept ecosysteemgezondheid. Terwijl bodemkwaliteit gerelateerd is aan bodemfuncties en nadrukkelijk een biologische, chemische en fysische component omvat, ligt bij bodemgezondheid de nadruk op het biologische. De bodem wordt voorgesteld als dynamische levende bron, bepaald door ecologische eigenschappen⁽¹²³⁾.

Beide concepten hebben heel wat gemeen en zijn moeilijk van elkaar te scheiden. In wat volgt wordt consequent de term bodemkwaliteit gebruikt, gezien de sterk functionele benadering. Vaak wordt ook gesproken over fysische, chemische en biologische “bodemvruchtbaarheid”. Omdat de nadruk daarbij nogal sterk op de rol als voedingsbron lijkt te liggen, verdient de term bodemkwaliteit de voorkeur.

A.2. Betekenis en belang van bodemeigenschappen

(19, 190, 191, 223, 304, 322, 445)

A.2.1. Chemische bodemeigenschappen

A.2.1.1. Organisch materiaal, organische stof, organische koolstof

(6, 48, 91, 95, 131, 173, 184, 191, 238, 340, 365, 428)

Organische stof speelt meer dan vele andere bodemeigenschappen een echte hoofdrol in de bodemwerking. Hoewel ze moeilijk als een zuiver ‘chemische’ eigenschap te definiëren valt, wordt ze toch binnen die categorie ondergebracht.

Definities

In de praktijk worden de termen organisch materiaal, organische stof en organische koolstof vaak door elkaar gebruikt. Hoewel ze allen aan elkaar gerelateerd zijn, kunnen ze niet aan elkaar gelijk gesteld worden.

We zetten even een aantal zaken op een rijtje ^(6,190,238,340).

- **‘Organisch’**: slaat op de aanwezigheid van koolstofverbindingen, dit in tegenstelling tot ‘mineraal’ of ‘anorganisch’.
- **Organisch materiaal** (OM): organische component van bv. ruwe, verse plantenresten of mest.
- **Organische stof** (OS) (Eng. *soil organic matter*): organisch materiaal dat in de bodem werd afgebroken tot een onherkenbare materie (< 2 mm). Hiertoe behoren micro-organismen en humus componenten (zie verder).
- **Effectieve organische stof** (EOS): de organische rest (al dan niet gehumificeerd) die één jaar na toediening van vers OM nog in de bodem aanwezig is.
- **Humificatiecoëfficiënt** (Hc): verhouding van EOS op de totale hoeveelheid OM.
- **Organisch koolstof** (OC) (Eng. *organic carbon*): deel van de OS, gemiddeld 58 % (variërend tussen 40 en 70 %) dat bestaat uit koolstof (C). Daarnaast bestaat de OS voornamelijk uit zuurstof, waterstof en stikstof.
- **Anorganische koolstof** (Eng. *inorganic carbon*): Koolstof die in de bodem aanwezig is in de vorm van CaCO_3 (calciumcarbonaat) of MgCO_3 (Magnesiumcarbonaat). Dit komt voor bij bodems met hogere pH (pH > 6,4; zie verder).
- **Humus**: stabiele (traag afbreekbare) fractie van de OS. Humusproducten, zoals fulvozuren, humuszuren en humine, kleven de bodemdeeltjes aan elkaar tot grotere kruimels, waardoor een luchtige poreuze structuur ontstaat. Vaak wordt de term humus onterecht gebruikt als synoniem voor OS.

Processen

Vers aangevoerd OM, zoals plantenwortels, gewasresidu, groenbedekkers of organische mest, wordt afgebroken door bodemorganismen. Tijdens de omzetting van OM en verder van OS spelen twee processen:

- Een afbraakproces of “**mineralisatie**”, waarbij een aantal nutriënten en CO_2 vrijgezet worden;
- Een vormingsproces of “**humificatie**”, waarbij een deel van de materie wordt omgevormd tot een meer resistente fractie OS.

Het moet verder duidelijk zijn dat OS een verzamelnaam is voor fysisch/chemisch verschillende fracties materiaal, elk met specifieke eigenschappen. Grofweg is OS in drie groepen op te delen: (i) de makkelijk afbreekbare of labiele fractie, (ii) de matig stabiele fractie, gestabiliseerd door fysico-chemische mechanismen, en (iii) de biochemisch zeer stabiele fractie. Elk van deze fracties heeft zijn specifieke belang. Men moet vooral zuinig zijn op de langzaam opbouwende, stabiele fracties OS, omdat deze eerder op termijn van eeuwen dan decennia te herstellen zijn.

Functies en belang

OS in de bodem bepaalt voor een belangrijk deel de bodemvruchtbaarheid en de bodemstructuur. Vele bodemeigenschappen en –processen worden rechtstreeks of onrechtstreeks door de OS-toestand beïnvloed. Denk daarbij ondermeer aan betere lucht- en waterhuishouding, stabilisatie van bodemaggregaten, afname van schijnbare bodemdichtheid, verhoogde weerstand tegen bodemerosie en verdichting, toenemende activiteit van het bodemleven, stijgende bodemvruchtbaarheid en snellere bodemopwarming bij een hoger OS-gehalte. Vooral de concentratie van OS in de toplaag is functioneel belangrijk: het is die toplaag waarin het gewas zich ontwikkelt, waarin meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen actief zijn, waarin neerslag een impact heeft en erosie en run-off vermeden moeten worden, waarin gasuitwisseling tussen bodem en lucht plaatsvindt ⁽⁴²⁰⁾. Voor meer detail wordt verwezen naar [A.4](#) (“interacties”).

Daarnaast kan een behoud van een voldoende hoog organisch (kool)stofgehalte in de bodem van groot belang zijn in het kader van de klimaatverandering, waarbij landbouwbodems eventueel als koolstofopslag kunnen functioneren ⁽¹⁹⁹⁾. Binnen het projectgebied is deze mogelijkheid eerder beperkt, ondermeer als gevolg van de aanwezigheid van bieten of aardappelen in de teeltrotatie, waarbij de bodem ernstig verstoord wordt (zie ook [B.8](#) en [C.1.7.1](#)).

De invloed van de OS in de bodem is verder afhankelijk van de grondsoort. Enkele voorbeelden:

- Bij kleigrond zorgt OS voor een betere lucht- en waterhuishouding en bewerkbaarheid;
- Bij zavel (grof zand met 8-25 % lutum, zie [A.2.2.1](#)) zorgt OS voor een betere lucht- en waterhuishouding en een verminderde slempgevoeligheid;
- Bij zand zorgt OS voor meer beschikbaar vocht, een mindere droogtegevoeligheid, een beter vasthouden van voedingsstoffen, en het binden van de zanddeeltjes.

A.2.1.2. pH

Definitie

De pH kan gedefinieerd worden als de zuurgraad of zuurheid van de waterige bodemoplossing.

De berekening gebeurt als volgt:

$$pH = -\log(H_3O^+)$$

De pH van een neutrale waterige oplossing ligt bij kamertemperatuur rond de 7 (afhankelijk van de oplossing waarin gemeten wordt). Zure oplossingen hebben een lagere pH, basische oplossingen hebben een hogere pH. Let dus op: hoe LAGER de pH, hoe HOGER de zuurgraad.

Functies en belang

Voor elke plantensoort geldt een optimale zuurgraad. De pH bepaalt mee de oplosbaarheid en daardoor de beschikbaarheid van nutriënten. Bovendien beïnvloedt de zuurgraad de ontwikkeling en activiteit van het bodemleven, en daarmee ook de efficiëntie van afbraak van OS. Bij een hogere pH wordt de groei van bacteriën en straalschimmels (actinomyceten) gestimuleerd en van gewone schimmels geremd. De afbraak van OS gaat dan sneller en er komen voedingsstoffen vrij, vooral stikstof en fosfor. Een hogere pH bevordert ook de omzetting van ammoniumverbindingen naar nitraat. Omgekeerd beïnvloedt het bodemleven door een bufferende werking ook de pH.

A.2.1.3. Kation uitwisselingscapaciteit (CEC)

Definitie

De kation uitwisselingscapaciteit of CEC is een maat voor de negatieve lading in de bodem. Ze wordt gedefinieerd als de maximale hoeveelheid kationen, bv. van calcium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), kalium (K^+), natrium (Na^+), aluminium (Al^{3+}), ijzer (Fe^{2+} en Fe^{3+}), die met de bodemoplossing uitgewisseld kan worden per massa-eenheid bodem. Deze belangrijke bodemeigenschap wordt door de aard en verhoudingen van de verschillende bodemcomponenten bepaald. Het zijn voornamelijk kleimineralen en OS die een negatief geladen oppervlak hebben en dus positief geladen ionen kunnen vasthouden.

Functies en belang

Een bodem met een hoge CEC kan meer kationen vasthouden en heeft zo een **potentieel hogere vruchtbaarheid** dan een bodem met een lage CEC. De onderlinge verhouding van kationen beïnvloedt verder ondermeer ook de bodemstructuur (zie [A.2.1.6](#) "Elementenverhoudingen").

A.2.1.4. Basenverzadiging

Definitie

De basenverzadiging is het percentage van de uitwisselingsplaatsen op bodemmineralen en OS, dat wordt bezet door Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ en Na^+ .

$$\text{Basenverzadiging (\%)} = 100 \cdot \sum(Ca, Mg, K, Na) / CEC$$

Deze vier kationen worden "basisch" genoemd om ze te onderscheiden van de meer zure kationen zoals Fe^{3+} , Al^{3+} en H^+ .

De verzadigingsgraad kan op gelijkaardige manier ook voor een individuele base berekend worden, waarbij men bv. spreekt van Ca-verzadiging of K-verzadiging.

Funcities en belang

De basenverzadiging vertoont een inverse relatie met de zuurgraad. Hoe hoger de basenverzadiging, hoe beter de zuurgraad geneutraliseerd kan worden op korte termijn. Een hogere basenverzadiging voorkomt dus een snelle verzuring van de bodem. Er kan gesteld worden dat in bodems met een optimale pH-water tussen 6 en 8, de basenverzadiging hoger zal liggen dan 60 %, en dat vanaf een pH-water van 7,5 doorgaans een verzadigingsgraad van 100 % bereikt wordt.

Verder bepaalt de basenverzadiging mee in hoeverre nutriënten plantbeschikbaar zijn. Concreet betekent dit bv. dat voor eenzelfde absolute hoeveelheid uitwisselbaar Ca^{2+} een bodem met een lage CEC-waarde maar hoge Ca^{2+} verzadiging vaak gemakkelijker Ca^{2+} zal afstaan dan een bodem met een hoge CEC-waarde maar lage Ca^{2+} verzadiging.

A.2.1.5. Nutriënten: gehalten en beschikbaarheid

Chemische bodemkwaliteit wordt hoofdzakelijk geassocieerd met het vermogen van een bodem om planten van nutriënten te voorzien. Onder nutriënten of voedingsstoffen verstaan we elk element dat opgenomen wordt door de plant en nuttig gebruikt kan worden. Een nutriënt wordt als essentieel beschouwd wanneer de plant zijn levenscyclus niet kan vervolledigen zonder dit element. Merk op dat koolstof, waterstof en zuurstof essentieel zijn voor de plant, maar niet als plantnutriënten beschouwd worden.

De belangrijkste essentiële nutriënten worden hierna in meer detail besproken.

Stikstof (N)

Stikstof is een essentiële voedingsstof voor de groei. Het vormt immers de basis van eiwitten en is in grote mate bepalend voor gewasproductie en -kwaliteit. Het wordt door planten opgenomen onder de vorm van nitraat (NO_3^-) of ammonium (NH_4^+). Deze minerale stikstof kan enerzijds geleverd worden door minerale meststoffen of de minerale fractie van dierlijke mest. Anderzijds komt ze vrij door afbraak (mineralisatie) van organische stikstofvormen (zoals ureum of aminozuren) uit OS, organische mest of compost (zie ook Figuur 9). De (snelheid van deze) vrijstelling is onder andere afhankelijk van temperatuur en vochtgehalte (zie ook "C/N verhouding" hierna). Continu N aanvullen is noodzakelijk, zonder daarbij de optimale dosis te overschrijden. Te weinig N betekent lagere opbrengst en lichte bladkleur, teveel N maakt de plant gevoeliger voor (schimmel)ziektes en veroorzaakt vroegtijdige legering bij granen.

Fosfor (P)

Fosfor is essentieel voor een goede groei, maakt deel uit van de zogenoemde kerneiwitten en speelt een rol bij de ademhaling van de plant. Fosfor wordt beschikbaar voor de plant onder de vorm van **fosfaat** (PO_4^{3-}) hetzij afkomstig van de minerale fosfaatreserve in de bodem, hetzij door afbraak van OS, uit organische mest en uit minerale meststoffen. Net als bij stikstof spelen temperatuur en vochtgehalte hier een relevante rol: in koude en natte gronden komt fosfaat langzamer vrij voor de plant.

Vaak worden de termen fosfor en fosfaat door elkaar gebruikt. Het gebruik van deze termen hangt echter af van de context. P staat voor het chemische element fosfor en wordt gebruikt in de context van beschrijvingen van de mineralenhuishouding van plant, dier, bodem en water. Zo spreekt men van fosforconcentraties in het oppervlaktewater en het fosforgehalte in de plant. Fosfaatverbindingen zijn verbindingen van fosfor met zuurstof. De term fosfaat wordt veelal gebruikt in de context van bodemkundige aspecten, bemestingsadviezen en het mestbeleid.

Van al het fosfaat dat in de bodem is opgehoopt komt slechts een beperkt deel beschikbaar voor het gewas. Dit komt doordat fosfaat zeer sterk aan bodemdeeltjes wordt gebonden. In de bodem kunnen drie fracties onderscheiden worden: organisch fosfaat, makkelijk beschikbaar mineraal fosfaat en moeilijk beschikbaar mineraal fosfaat. Die laatste fractie vormt het grootste aandeel. Vaak is het de

sterke binding aan (oxiden van) Al, Fe en Ca die van fosfaat een minder oplosbare substantie maakt. Om de oplosbaarheid te verhogen, creëren de wortels om zich heen een licht zuur milieu, waarmee een aantal fosfaatverbindingen verbroken kunnen worden. De wortels groeien als het ware naar het vrijgekomen fosfaat toe. Bodemstructuur, watervoorziening en beworteling zijn met andere woorden cruciaal voor de opname van deze voedingsstof. Ook de associatie van de wortels met mycorrhizaschimmels (zie [A.2.3](#)) versterkt beduidend de opnamecapaciteit van de plant.

Kalium (K)

Kalium speelt voor het gewas een belangrijke rol bij de vochtthuishouding, weerstand van het gewas tegen ziekten en producteigenschappen zoals smaak en houdbaarheid. Kalium is in opgeloste vorm (K^+) aanwezig in de grond en kan uitspoelen, vooral op zandgronden. Ook komt het gebonden aan klei en OS voor. Vooral jonge kleigronden bevatten mineralen waaruit K^+ kan vrijkomen. Door de verminderde mestgiften van de laatste jaren zijn vaker kaliumtekorten te verwachten, vooral bij frequent maaien van gras en in de maïsteelt.

Calcium (Ca)

Calcium speelt een belangrijke rol bij de doorlatendheid van celmembranen, de celdeling en de -strekking. Het Ca-ion is het meest voorkomend uitwisselbaar positief ion (Ca^{2+}) in de bodem. Zure bodems bevatten weinig Ca, basische of alkalische bodems bevatten grote hoeveelheden uitwisselbaar Ca. Veel calcium aan het adsorptiecomplex is belangrijk voor de bodemstructuur. Het houdt de kleiplaatjes op voldoende afstand van elkaar en zorgt daarmee voor een luchtige binding of structuur.

Magnesium (Mg)

Magnesium is in de plant een onderdeel van het chlorofyl of bladgroen. Het is dus van belang voor de fotosynthese en de productiviteit van het gewas. Verder is Mg betrokken bij de eiwitsynthese en een aantal belangrijke levensprocessen. Het bindt zich goed aan OS en klei, maar bij veel neerslag spoelt het toch uit, vooral op zandgronden.

Zwavel (S)

Zwavel is een essentieel onderdeel voor de eiwitvorming en dus voor de groei. Opname gebeurt voornamelijk in sulfaatvorm (SO_4^{2-}) via de wortels, maar ook rechtstreeks als SO_2 uit de lucht. Door de afgenomen luchtverontreiniging is zwavelgebrek van gewassen een nieuw fenomeen. Vooral zwavelbehoeftige gewassen zoals koolsoorten lijden hieronder. Ook gewassen zoals wintertarwe en gras kunnen zwavelgebrek vertonen wanneer ze al vroeg in het voorjaar groeien en de mineralisatie nog onvoldoende op gang is. Het grootste risico op tekorten vinden we op de lichtere, uitspoelingsgevoelige gronden.

Sporenelementen

Sporenelementen zijn nutriënten die vaak van groot belang zijn, maar waarvan slechts zeer geringe hoeveelheden nodig zijn. Een te grote dosis kan zelfs toxisch zijn. Bij een goede pH-waarde en gebruik van organische mest komen gebreken zelden voor. Een tekort kan wel ontstaan wanneer minerale mest de hoofdmeststof is of bv. bij een te hoog fosfaatgehalte. Een bodemanalyse kan helpen om een gebrek op te sporen, want gebrekverschijnselen zijn vaak niet goed te herkennen (zie [B.6.3](#)).

Een aantal belangrijke sporenelementen zijn koper (Cu), borium (B), zink (Zn), mangaan (Mn), silicium (Si), ijzer (Fe), molybdeen (Mb), kobalt (Co), natrium (Na) en nikkel (Ni).

A.2.1.6. Elementenverhoudingen

Niet alleen de absolute hoeveelheden van C of nutriënten zijn belangrijk, maar vaak worden hun beschikbaarheid of effecten op bodemkwaliteit mee bepaald door de verhouding tussen die elementen. Zo werkt een onevenwichtige verhouding de opname van bepaalde nutriënten tegen

(**antagonisme**) omdat er competitie optreedt voor de bindingsplaatsen op de plantencellen. Omgekeerd kan het in voldoende mate voorkomen van een bepaald element de beschikbaarheid en opname van een ander element begunstigen (**synergisme**). Een aantal voorbeelden zijn hierna uitgewerkt.

C/N verhouding in organisch materiaal/stof

Of er nu al dan niet netto mineralisatie plaatsvindt tijdens de afbraak van organisch materiaal (OM), hangt sterk af van de C/N verhouding van dat materiaal. OM met een relatief lage C/N verhouding (d.w.z. met een relatief hoog N-gehalte), zoals kippenmest, bepaalde groenbedekkers of drijfmest, verteert makkelijk. OM met een relatief hoge C/N verhouding zal daarentegen langer in de bodem aanwezig blijven. Denk daarbij aan wortelresten van granen en gras. De kritische drempelwaarde is een verhouding van ongeveer 25/1. Merk op: het betreft hier de C/N verhouding van OM; de C/N verhouding van de bodem kan een pak lager liggen (vaak bv. 10/1). Landbouwkundig is de C/N verhouding van het ondergewerkte OM van groot belang, omdat bij een hoge verhouding de minerale N in de bodem nodig is voor de ontwikkeling van micro-organismen, die de in verhouding grote hoeveelheid organische C moeten kunnen afbreken. Door die biologische N-immobilisatie is er voor het gewas tijdelijk weinig N beschikbaar. Natuurlijk speelt de tijdsfactor hier een rol: na een tijd komt de vastgelegde N terug vrij.

Composteren verlaagt de C/N verhouding van OM. Het materiaal wordt wel stabiel - de makkelijk verteerbare delen zijn reeds verteerd - en is daarom ondanks de doorgaans lagere C/N verhouding toch belangrijk voor de opbouw van bodem OS (zie ook [C.4](#)).

C/P verhouding

Op gelijkaardige manier als voor de N-mineralisatie bij een hoge C/N verhouding, houdt de P-mineralisatie op wanneer de C/P verhouding van het organisch materiaal/stof te hoog is (> 60).

N/S verhouding

De N-voorziening van een gewas hangt nauw samen met de zwavelvoorziening, waarbij een optimale hoeveelheid zwavel resulteert in een betere N-benutting. De verhouding tussen beide elementen is daar een maat voor. Hoewel zwavelbemesting belangrijk kan zijn om de N/S verhouding voldoende laag te houden, kan een overmaat aan S voor een verzuring van de bodem zorgen. De streefzone voor deze verhouding is afhankelijk van het beschouwde gewas en het groeistadium.

Ca/Mg verhouding

Ca-ionen tussen de kleiplaatjes houden deze lagen op voldoende afstand van elkaar. Hierdoor kan de grond beter zwellen en krimpen, en wordt de grond ruller (losser) van structuur. Hoewel een minimale hoeveelheid K of Mg nodig is voor de plant, zorgt een overmaat ervoor dat de kleiplaatjes te dicht op elkaar komen te zitten. Zo ontstaat een slechtere bodemstructuur en wordt de bodem moeilijker te bewerken.

K/Mg verhouding

Een ongunstige K/Mg verhouding in de bodem kan bv. bij voedergewassen aanleiding geven tot een ongunstige mineralenverhouding in de plant en aldus tot een verstoord evenwicht in mineralenvoorziening in het voederrantsoen.

A.2.2. Fysische bodemeigenschappen

A.2.2.1. Korrelgrootteverdeling en textuur

Definities, functies en belang

De bodemtextuur wordt bepaald door de **grootteverdeling** van losse bodempartikels < 2 mm (fijne grondfractie) en is een inherente en uiterst stabiele bodemeigenschap. De textuur is een belangrijk

gegeven aangezien het zowel de fysische als de chemische bodemeigenschappen in aanzienlijke mate beïnvloedt. Zo is textuur erg bepalend voor de respons van bodem op water, waarbij eigenschappen zoals “kleverigheid”, “kneedbaarheid” en “permeabiliteit” komen kijken. Verder bepaalt de textuur de capaciteit om kationen vast te houden (CEC, zie hiervoor) evenals de snelheid van aanpassing aan temperatuurswijzigingen: hoe fijner de textuur, hoe langzamer de temperatuursverandering. Bodems met een relatief fijne textuur hebben algemeen een grotere nutriëntopslagcapaciteit en een groter waterhoudend vermogen dan bodems met een grove textuur. Laatstgenoemden vertonen dan weer een grotere infiltratiesnelheid en daarmee gerelateerd een vlotte drainage (voor interacties tussen bodemfysische eigenschappen: zie Tabel 1).

Classificatie

Algemeen wordt de fijne grondfractie opgedeeld in drie deelfracties: een **zandfractie**, een **leem- of siltfractie** en een **kleifractie**. De precieze limieten en benaming voor deze fracties variëren echter tussen verschillende landen en instellingen. Voor België en Nederland kan het volgende gesteld worden:

- Belgische classificatie:
Zand: 50-2.000 μm ($1.000 \mu\text{m} = 1 \text{ mm}$)
Leem: 2-50 μm
Klei: < 2 μm
- Nederlandse classificatie:
Zand: 50-2.000 μm
Leem (op zand en löss): alles < 50 μm (plakt tussen de vingers want bevat klei)
Silt (op kleigronden): 2-50 μm (plakt niet tussen de vingers)
Klei of lutum: < 2 μm

In Nederland wordt verder de term “**slib**” of “**afslibbare fractie**” (alle partikels < 16 μm) onderscheiden. Het is vooral de klei- of lutumfractie die verantwoordelijk is voor de ionenadsorptie, de minerale reserve voedingsstoffen en fosfaatfixatie. Bevat de grond 8-25 % lutum, dan spreekt men van zavelbodem, bevat ze meer dan 25 % lutum, dan spreekt men van kleibodem.

Op basis van de verdeling van de zand-, leem/silt- en kleifracties worden bodemtexturen onderverdeeld in textuurklassen. Dit wordt gevisualiseerd door een **textuurdriehoek**. In de internationale literatuur wordt meestal de textuurindeling van de USDA (United States Department of Agriculture) en Soil Taxonomy gebruikt. België (Figuur 4) en Nederland hebben echter elk hun eigen systeem. In Nederland worden bovendien twee driehoeken gebruikt, afhankelijk van het type afzettingmateriaal (Figuur 5).

A.2.2.2. Bodemstructuur

De bodemstructuur is de onderlinge schikking en samenhang van de vaste bodemdeeltjes en OS, de manier waarop die individuele deeltjes in aggregaten (groepjes onderling gebonden bodemdeeltjes) verenigd worden, en de manier waarop die aggregaten in de ruimte gerangschikt zijn. Die rangschikking bepaalt het aantal en de vorm van de poriën in de bodem, en op die manier de verhouding tussen bodempartikels, lucht en water. Zo worden ondermeer lucht- en waterhuishouding, beschikbaarheid en mogelijke verliezen van nutriënten, wortelgroei, ontwikkeling van kiemplanten, en microbiële activiteit beïnvloed ⁽¹³²⁾. Een bodemstructuur is goed wanneer door de opbouw van stabiele aggregaten een gunstige verhouding tussen drainage- en nuttige waterbergingsporiën verzekerd is (zie [A.2.2.4](#) en Figuur 11).

De bodemstructuur wordt beschreven aan de hand van drie karakteristieken: type, klasse en graad. De types vertellen iets over de vorm (korrel-, kruimel-, of plaatstructuur), de structuurklassen geven de afmetingen aan van de structuureenheden, en de structuurgraad geeft de cohesiesterkte aan.

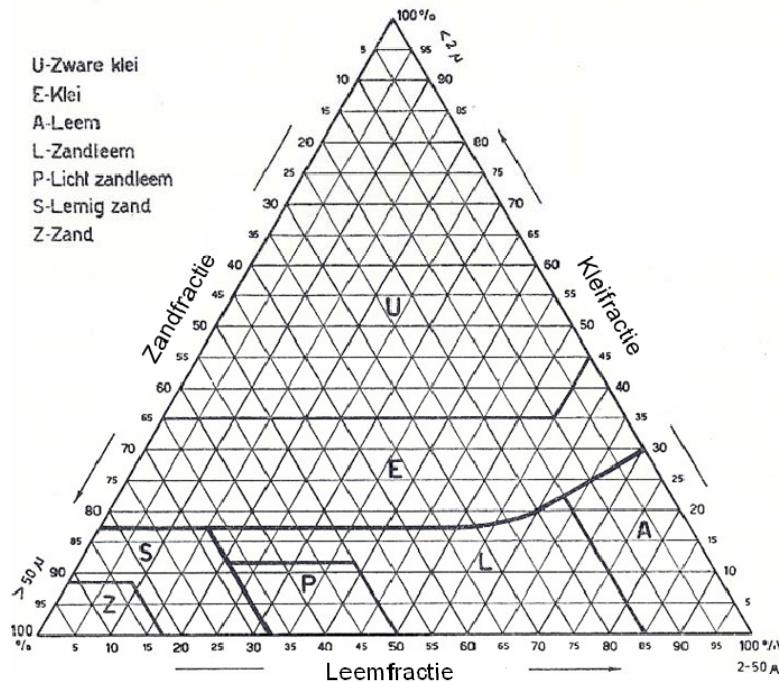
A.2.2.3. Aggregaatstabiliteit

De aggregaatstabiliteit (AS) is de mate waarin de bodemstructuur bestand is tegen mechanische of fysico-chemische krachten (zoals neerslag, wind of bodembewerking), en wordt bepaald door de cohesiesterkte tussen de deeltjes.

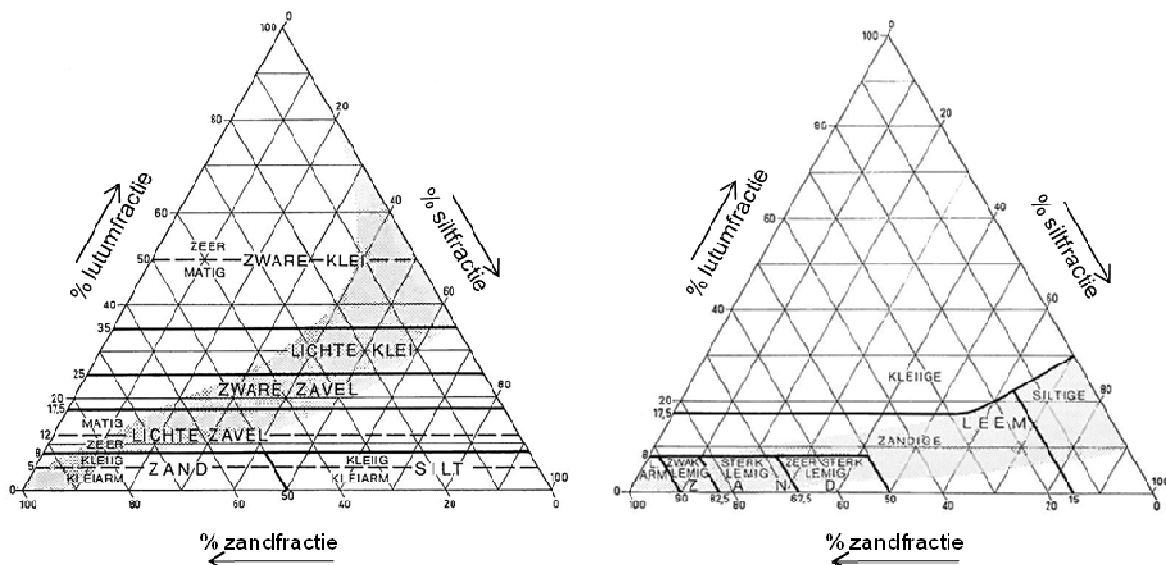
De vorming van bodemaggregaten wordt sterk bevorderd door de aanwezigheid van klei en OS. In zekere zin dragen ook Fe^{2+} , Ca^{2+} en polyvalente kationen zoals Cu^{2+} , Mn^{2+} en Zn^{2+} , bij aan de vorming van bruggen tussen de OS en de klei, waardoor stabiele klei-OS complexen gevormd worden. Ook het bodemleven versterkt de samenhang tussen bodemdeeltjes. (zie [A.2.3](#) en [A.4.1](#) hierna).

Het bepalen van de AS levert informatie over de gevoeligheid van bodems voor verslemping, water- en winderosie.

Figuur 4. De textuurdriehoek met de textuurklassen volgens de Bodemkaart van België (bron: Centrum voor Bodemkartering ⁽¹⁹⁰⁾).



Figuur 5. De dubbele textuurdriehoek van Nederland: links voor niet-eolische afzettingen (de klei-driehoek), rechts voor eolische afzettingen (de leem-driehoek). (bron: de Bakker & Schelling⁽¹⁰⁰⁾).



Tabel 1: Overzicht van de voornaamste relaties tussen bodemfysische eigenschappen en processen. Deze tabel werd door de auteurs opgesteld op basis van literatuurkennis en input van experts.

A	B	Een toename van "A" leidt tot een ... "B"												
		Korrelgrootte	Aggregaatstab.	Schijnbare dichtheid	Tot poriënvolume	Poriëngrootte	gasuitwisseling	infiltratie/percolatie	permeabiliteit	vocht %	waterbergend verm.	kleur	bodemtemperatuur	temp. verandering
Korrelgrootte/textuur ⁽¹⁾														
Aggregaatstabiliteit														
Schijnbare dichtheid														
Totaal poriënvolume														
Poriëngrootte														
Gasuitwisseling														
Infiltratie/percolatie														
Permeabiliteit														
Vocht %														
Waterbergend vermogen														
Kleur ⁽¹⁾														
Bodemtemperatuur														
Temperatuursverandering														
Verslemping														
Versmering														
Verdichting														
Run-off														
Erosie														

↗ = een toename van A leidt met relatief grote zekerheid tot een **toename** van B

↘ = een toename van A leidt met relatief grote zekerheid tot een **afname** van B

x = er bestaat een verband tussen A en B, maar dat verband is niet eenduidig of nog onvoldoende in kaart gebracht

- (1) textuur: een toename betekent een grovere, meer zandige textuur; kleur: een toename betekent een donkerder kleur
- (2) grootste risico onder klei-rijke bodems (lichte klei en löss)
- (3) grootste risico op leembodem, lager risico voor klei (limitatie bij losmaken van partikels omwille van cohesie) en laag risico bij zand (transport gelimiteerd)
- (4) een hogere dichtheid leidt doorgaans tot een lager risico op erosie, tenzij bij hoge run-off
- (5) het vochtgehalte kan de dichtheid beïnvloeden van zwel/krimp bodems
- (6) een minimale hoeveelheid vocht is nodig om een goede percolatie te garanderen, bij hoger vochtgehalte effect minder eenduidig?
- (7) run-off minimaal bij hoog vochtgehalte, intermediair bij laag vochtgehalte, en laag bij intermediair vochtgehalte
- (8) doorgaans leidt versmering tot meer erosie, tenzij de cohesie toeneemt dooreen intensere compactie of oppervlakkige versmering
- (9) natter in het voorjaar, droger in de zomer
- (10) koeler in het voorjaar

A.2.2.4. Bodemdichtheid en porositeit

Dichtheid (ρ) en schijnbare dichtheid (ρ_b) (g/cm^3)

Dit is de bodemmassa per volume-eenheid. Merk op dat er een **onderscheid** gemaakt wordt tussen dichtheid (van de vaste deeltjes) en schijnbare dichtheid (van de bodem).

- De **dichtheid** (Eng. *Particle density*) wordt berekend als de verhouding tussen de massa en het volume van de **vaste bestanddelen**. Dat betekent dat noch vocht (in de massa), noch poriën (in het volume) in rekening gebracht worden. Voor minerale bodems wordt vaak een constante waarde van $2,65 g/cm^3$ aangenomen.
- De **schijnbare dichtheid** of **bulkdensiteit** (Eng. *Bulk density*) daarentegen, is de droge massa per eenheidsvolume bodem in zijn **onverstoorde natuurlijke toestand** (inclusief poriënvolume). Men gaat er hierbij vanuit dat er geen volumeveranderingen optreden. Aangezien in realiteit de bodem in de loop van het jaar onderhevig is aan zwellen en krimpen, is de schijnbare dichtheid aan variaties onderhevig. Bodemcompactie zal aanleiding geven tot hogere schijnbare dichtheden. Bij de interpretatie moet verder rekening gehouden worden met de bodemtextuur en het OS-gehalte.

In wat volgt, wordt steeds naar schijnbare dichtheid verwezen, aangezien deze doorgaans wordt gemeten in de praktijk.

Totaal poriënvolume (T.P.V.) of totale porositeit

Het totaal poriënvolume is het procentueel volume in de bodem dat ingenomen wordt door water en lucht. Het staat gelijk aan $100 - \% \text{ volume vaste bestanddelen}$. Als de dichtheid en schijnbare dichtheid van de bodem gekend zijn, kan het totaal poriënvolume berekend worden als:

$$\% \text{ T.P.V.} = 100 \cdot (\rho - \rho_b) / \rho$$

Schijnbare dichtheid en totaal poriënvolume zijn nauw met elkaar verwant en hebben een belangrijke invloed op de doorlaatbaarheid en doordringbaarheid van de bodem (zie ook "percolatie en permeabiliteit" in [A.2.2.6](#), en verder in [B.4.5](#)).

Poriëngrootteverdeling

Poriën zijn onregelmatig van vorm en grootte. Ze worden ingedeeld volgens gemiddelde diameter in een drie- à viertal klassen, waarbij de precieze afbakening zeer auteursgebonden is. Hoe groter de vaste bodemdeeltjes, hoe groter die gemiddelde poriëndoormeter zal zijn. Nog meer dan het totaal poriënvolume beïnvloedt de poriëngrootteverdeling de waterdoorlatendheid en gasuitwisseling (hoe groter, hoe sneller). In die zin bestaat er een sterke link tussen de lucht- en waterhuishouding enerzijds en de poriëngrootteverdeling anderzijds (zie [A.2.2.6](#) en [A.2.2.7](#)):

- In de allerkleinste poriën ($<0,2 \mu m$, microporiën) wordt het water zo sterk vastgehouden dat de wortels dit water niet of nauwelijks kunnen opnemen. Ook kunnen die fijnste ruimtes niet rechtstreeks door wortels geëxploiteerd worden;
- Poriën tussen $0,2$ en $30 \mu m$ (mesoporiën) zijn belangrijk voor de opslag van bodemvocht en nalevering aan planten;
- Poriën tussen 30 en $300 \mu m$ (macroporiën) dragen vooral bij aan de infiltratie van water maar zijn minder van belang voor het vasthouden van bodemvocht. De meeste plantenwortels kunnen poriën vanaf $200 \mu m$ ingroeien;
- Grotere macroporiën ($>300 \mu m$) kunnen overvloedige neerslag snel afvoeren.

A.2.2.5. Gasuitwisseling/aëratie

De gasuitwisseling of luchthuishouding in de bodem bestaat grotendeels uit het opnemen en verbruiken van zuurstof (O_2), de productie van koolzuurgas (CO_2) en het transport van deze gassen binnen de bodem alsook tussen de bodem en de atmosfeer. Dit transport gebeurt voornamelijk door **diffusie**. Dit is de verplaatsing van een plaats met een hoge concentratie naar een plaats met een lage concentratie. Zuurstof is levensnoodzakelijk voor de plant en is vereist om water en voedingsstoffen te kunnen opnemen via de wortels. Verder zijn ook de micro-organismen, betrokken

bij velerlei opbouw- en afbraakprocessen in de bodem, afhankelijk van zuurstofbeschikbaarheid. Ook zij nemen zuurstof op en produceren bij die omzettingsprocessen CO₂.

De luchthuishouding, en dus de zuurstofbeschikbaarheid in de bodem, wordt beïnvloed door meerdere andere fysische bodemeigenschappen, waarvan T.P.V., poriëngrootteverdeling en waterhuishouding de belangrijkste zijn. Zie ook interacties in [A.4.1](#).

A.2.2.6. Infiltratie, percolatie en permeabiliteit

Definities

Infiltratie, percolatie en permeabiliteit zijn de drie voornaamste vormen van beweging van water in de bodem:

- **Infiltratie** is de **beweging van water doorheen het bodemoppervlak**. Infiltratie wordt bijgevolg sterk beïnvloed door processen die het bodemoppervlak wijzigen, zoals bodembewerking, verslamping en korstvorming, wormgangen.
- **Percolatie** slaat op de **beweging van water in horizontale en verticale richting door** de grove poriën in **een volume bodem** onder invloed van de zwaartekracht. Deze beweging wordt in de fijnere poriën beperkt onder invloed van capillaire krachten. Om een significante percolatie te garanderen, moet de bodem dus een voldoende macro-porositeit bezitten.
- **Permeabiliteit** (ook **doorlatendheid of hydraulische conductiviteit** genoemd) is een weergave van de mate waarin een medium (hier de bodem) een vloeistof kan doorlaten. In de bodemkunde slaat de term algemeen op de **snelheid van waterbeweging** in een volledig **waterverzadigde bodem**.

Men spreekt van het verzadigingspunt of saturatie wanneer alle poriën gevuld zijn met water, en dus het maximaal waterbergend vermogen van een bodem bereikt is.

Functies en belang

- Een vlotte waterinfiltratie bij hevige regenval betekent dat minder water oppervlakkig afgevoerd wordt en reduceert dus het risico op watererosie (zie [A.3.2.1](#)).
- Infiltratie, percolatie en permeabiliteit beïnvloeden het vochtgehalte en de vochtverdeling in de bodem, en daarmee dus ook de water- en zuurstofbeschikbaarheid voor gewassen.
- Samen met het percolerend water worden een aantal bestanddelen mee uitgeloozd, waaronder nitraatstikstof, Ca, Mg en K. Dat betekent dat percolatie en permeabiliteit belangrijke eigenschappen zijn binnen de context van nutriëntenuitspoeling en de gerelateerde verontreiniging van grond- en oppervlaktewater (zie [A.3.2.2](#) en [A.3.2.3](#)).

A.2.2.7. Waterhuishouding

Met de term waterhuishouding in de bodem doelt men op de capaciteit voor drainage, opslag en afgifte van water. Twee grote factoren zijn van belang bij de beschrijving van het water in de bodem: enerzijds de **hoeveelheid water** (per eenheid van massa of volume van de bodem), en anderzijds de **energietoestand** (of **potentiaal**) van het water in de bodem.

Vochtgehalte

Het vochtgehalte van de bodem kan op verschillende manieren uitgedrukt worden.

- **Gravimetrisch vochtgehalte (g/g)**

θ_g = massa van het water/massa oven-droge bodem

- **Volumetrisch vochtgehalte (m³/m³)**

θ_v = volume van het water/totaal volume van het bodemonmonster = $\theta_g \times \rho_b$

- **Equivalent diepte per eenheid bodemdpte (mm/m)**

Berekeningen met betrekking tot de waterbalans van de bodem (balans van irrigatie, neerslag, evapotranspiratie, run-off, percolatie) maken het noodzakelijk het vochtgehalte volumetrisch uit te drukken, waardoor het gemakkelijk in een hoeveelheid per oppervlakte-eenheid kan omgezet worden. Op die manier bekomt men een uitdrukking van equivalente diepte (d_w) per eenheid bodemdiepte, gespreid over een oppervlakte-eenheid:

$$d_w = 1.000 \times \theta_v$$

Waterpotentiaal

Het is belangrijk te beseffen dat vochtgehalte op zich niet alles zegt over de beschikbaarheid van het water in de bodem. Het bodemwater kan (voornamelijk potentiële) **energie** bezitten onder verschillende vormen en hoeveelheden. Net als de hoeveelheid water, is een inzicht in die energietoestand belangrijk voor een goed begrip van bv. transport van water en erin opgeloste stoffen, plantengroei, erosie of oxidatie.

- De term “**potentiaal**” geeft de specifieke potentiële energie van het bodemwater weer, relatief ten opzichte van water in een standaard referentietoestand (vrij water aan het oppervlak). In het bodemprofiel zal het water steeds streven naar evenwicht, en zich daartoe verplaatsen van een plaats met een hoge potentiaal naar een plaats met een lage potentiaal.
- De totale potentiaal kan beschouwd worden als de som van een aantal deelpotentialen, waarvan de zwaartekrachtspotentiaal en matrixpotentiaal de belangrijkste zijn.
- De **matrixpotentiaal** wordt bepaald door de bindingskrachten tussen het water en de vaste bodembestanddelen (de bodemmatrix), bestaande uit de combinatie van adsorptiebinding, osmotische binding en capillaire binding. De matrixpotentiaal geeft met andere woorden de zuigkracht weer waarmee water aan de bodemdeeltjes gebonden wordt, en wordt dus bepaald door de bodemeigenschappen.

Vocht karakteristiek

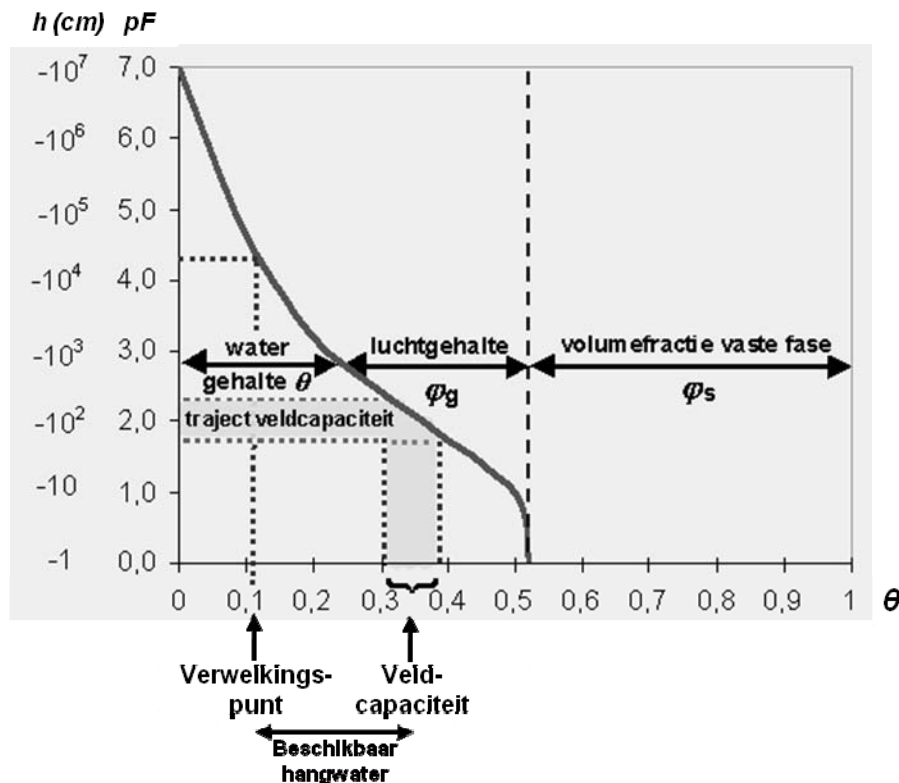
De relatie tussen het aanwezige water (vochtgehalte) en de kracht waarmee het gebonden is (matrixpotentiaal) wordt vaak experimenteel bepaald en grafisch voorgesteld onder de vorm van een **vocht karakteristiek** of **vochtretentiecurve** (zie Figuur 6). De matrixpotentiaal wordt vertaald naar een drukhoogte h (in cm) en de grafiek wordt meestal semi-logaritmisch uitgezet: de $^{10}\log(-h)$ ten opzichte van het vochtgehalte. De grootheid $^{10}\log(-h)$ wordt ook de **pF-waarde** of vochtspanning genoemd.

Het verloop van die curve leert ons heel wat over het gedrag van de bodem. In eerste instantie geeft ze weer hoeveel water bij een bepaalde zuigkracht (een gecreëerde onderdruk aan de hand van een waterkolom) vastgehouden wordt. Dit verloop wordt sterk beïnvloed door de textuur en bodemstructuur.

De belangrijkste informatie is de hoeveelheid beschikbaar water (zie hierna), maar daarnaast kunnen nog verschillende andere zaken afgeleid worden uit de vocht karakteristiek:

- Poriënvolume;
- Volume % lucht en vaste delen;
- Poriëngrootte verdeling: een horizontaal stuk in curve betekent dat er relatief veel water weg kan bij kleine verandering in druk, en er dus relatief veel poriën zijn in die grootteorde.

De hoeveelheid beschikbaar water wordt bepaald door twee cruciale punten op de curve: de **veldcapaciteit** en het **verwelkingspunt**.

Figuur 6. Typische vocht karakteristiek (bron: Geert Baert, Hogeschool Gent).

- **Veldcapaciteit (VC)**

Veldcapaciteit (Eng. *Field capacity*) is de term die gebruikt wordt om het maximale vochtgehalte weer te geven dat in de bodem achterblijft na vrije drainage van een met water verzadigde bodem onder invloed van de zwaartekrachts potentiaal. Het komt overeen met het watergehalte bij een pF-waarde van 2 à 2,5. Het is nagenoeg het watergehalte dat in onze streken bij het begin van de lente in de bodem achterblijft nadat het overtollige water dat zich in de winter opgehoopt heeft, uit het bodemprofiel is weggedraineerd. De VC-waarde is een zeer belangrijk bodemfysisch kenmerk. Het is een maat voor het **waterbergend vermogen** of de waterreserve die een bodem kan opslaan. Ze beïnvloedt daardoor niet alleen de hoeveelheid plantbeschikbaar water, maar ook de uitspoeling van nutriënten, gewasbeschermingsmiddelen of andere stoffen. Hoe groter de VC, hoe meer water opgeslagen kan worden en dus hoe minder snel uitspoeling zal plaatsvinden.

- **Verwelkingspunt (VP)**

Water in en rond de bodemdeeltjes en in de fijnste poriën is heel sterk gebonden en kan dus niet worden opgenomen door de gewassen. Wanneer enkel dat sterk gebonden water in de bodem achterblijft, gaan de gewassen verwelken. Men noemt dit punt daarom het verwelkingspunt (Eng. *Wilting point*). Het komt overeen met het watergehalte bij een pF-waarde van 4,2.

- **Beschikbaar vocht**

De totale hoeveelheid beschikbaar water komt overeen met de hoeveelheid water tussen veldcapaciteit en verwelkingspunt. Een deel daarvan kan gedefinieerd worden als het “gemakkelijk beschikbaar water”, zijnde de hoeveelheid vocht die onttrokken kan worden zonder stress op te wekken: dit is het verschil tussen veldcapaciteit en een gewas- en bodemafhankelijke drempelwaarde.

A.2.2.8. Bodemkleur

De kleur van een bodem wordt vaak gebruikt om horizonten (bodemplagen) te onderscheiden en bodems te klasseren. Ze is variabel en afhankelijk van een aantal bodemeigenschappen, zoals OS-

gehalte, drainage en verluchting. Zo zorgt OS voor een donkere kleur, terwijl een geel- of roodbruine kleur veelal veroorzaakt wordt door ijzerverbindingen. Een goede grond is vrij egaal van kleur, terwijl uitgesproken vlekken eerder wijzen op een gebrekkige waterhuishouding en/of structuurproblemen. Blauw-grijsverkleuring wijst meestal op slechte drainage, en is het gevolg van reductiereacties. Een slechte doorluchting is vaak het gevolg. Roestkleurige vlekken wijzen op een schommelende grondwatertafel.

A.2.2.9. Bodemtemperatuur

De bodemtemperatuur wordt met name bepaald door de omgevingstemperatuur, maar ook een aantal bodemeigenschappen, zoals textuur, bodemkleur en OS-gehalte, hebben een belangrijke invloed.

De temperatuur heeft een significant effect op een aantal bodemeigenschappen en –processen. Een snellere opwarming betekent een vluggere opdroging, waardoor de bodem vroeger bewerkbaar is en het planten en oogsten sneller kan gebeuren. Ook de kieming en de jeugdgroei verlopen vlotter in een warmere bodem. Daarnaast heeft de bodemtemperatuur ook een effect op de activiteit van het bodemleven, en zo ook op de snelheid van opbouw- en afbraakprocessen. Deze interacties worden in meer detail besproken in paragraaf [A.4](#).

A.2.2.10. Bodemdikte

De bodemdikte is de verticale afstand tussen het bodemoppervlak en het onverweerde moedermateriaal of een ondoordringbare laag. Dergelijke ondoordringbare of gecompacteerd laag kan bv. gevormd worden door een ploegzool of op natuurlijke wijze (bv. door Fe-percolatie) (zie [A.3.1.3](#)). De bodemdikte is met name relevant voor de bewortelingsmogelijkheden van het gewas.

A.2.3. Biologische bodemeigenschappen: bodemleven en bodemvoedselweb

(344,360)

Voor een gedetailleerde beschrijving van het bodemleven en het bodemvoedselweb, wordt verwezen naar een afzonderlijke studie rond Functionele Agrobiodiversiteit, eveneens uitgevoerd in het kader van [het interreg project BodemBreed \(activiteit 4\)](#).

A.2.3.1. Bodemleven

Het geheel van alle levende organismen in de bodem vormt samen het bodemleven. In de bodem beslaat dit bodemleven gemiddeld tussen de 5 en 15 % van de OS. Het wordt opgebouwd uit verschillende organismen die kunnen worden ingedeeld naar soort, grootte of levenswijze.

Een veelgebruikte classificatie is deze op basis van afmetingen:

- microflora en –fauna (bv. bacteriën, schimmels, nematoden, protozoa)
- mesofauna (bv. mijten, springstaarten, potwormen, nematoden)
- macrofauna (bv. regenwormen)

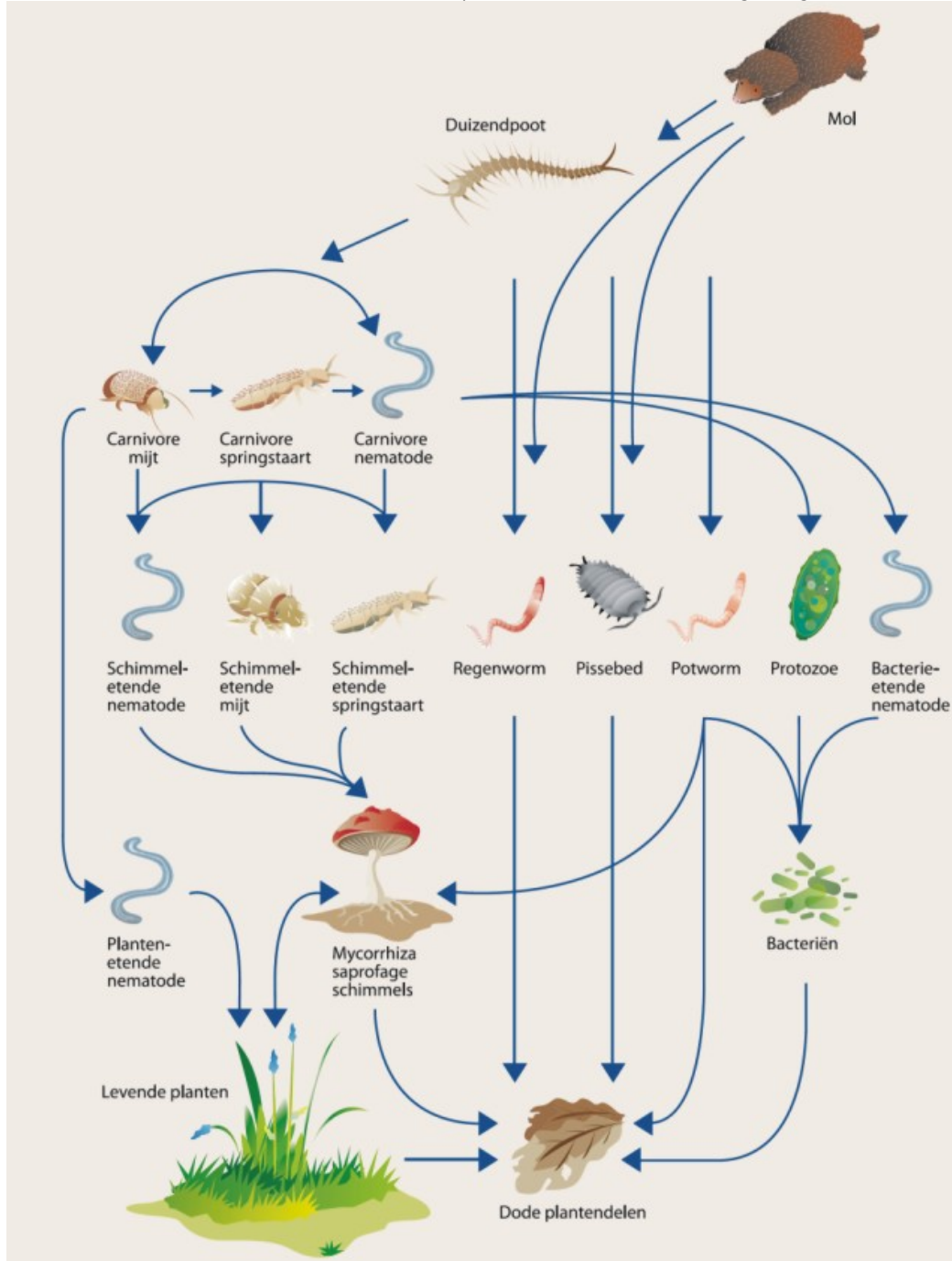
Deze indeling verschaft tevens meer informatie over de habitats ingenomen door de verschillende soorten organismen. Zo bewoont de microfauna de waterfilms in de bodem, bevindt de mesofauna zich in grotere poriën en kan de macrofauna zich een eigen ruimte creëren door graafactiviteiten. Het bodemleven is erg omvangrijk. Eén kubieke meter grasland kan honderden miljoenen bacteriën, duizenden protozoa en honderden meters schimmeldraden, honderden nematoden, mijten, en andere insecten en ook grote hoeveelheden aan andere, grotere organismen bevatten. Ongeveer 80 % van de biomassa bodemleven bestaat uit bacteriën en schimmels.

A.2.3.2. Bodemvoedselweb: complexiteit en functie

Sommige van de bodemorganismen leven van dode planten- of dierenresten, maar een belangrijk deel leeft van andere levende organismen. Zo zijn de nematoden in te delen in plantenetende, schimmeletende, bacterie-etende, carnivore (eten bv. springstaarten, mijten en andere nematoden) en

omnivore (eten niet alleen andere organismen maar ook plantaardig materiaal) soorten. Het geheel van onderlinge relaties en energietransfers tussen de verschillende levende organismen in de bodem vormt een ingewikkeld patroon dat men het “bodemvoedselweb” noemt. Elke soort heeft daarin zijn eigen plaats (Figuur 7).

Figuur 7. Visualisatie van het bodemvoedselweb (bron: Ron de Goede, Wageningen Universiteit).



Een goed functionerend voedselweb vervult verschillende functies. Voor de landbouw zijn de belangrijkste van die functies:

1. **Reguleren van de nutriëntenstroom:** aanvoeren, beschikbaar maken en vasthouden van nutriënten, voornamelijk door afbraak van dood OM, en opbouw en afbraak van OS;
2. **Opbouw en onderhoud van een goede bodemstructuur** door aggregaatforming, het creëren van poriën en graven van gangen, en het mengen en transporteren van OM en bodemdeeltjes;
3. **Ziekte- en plaagwering:** biologische onderdrukking van ziektes en plagen.

Reguleren nutriëntenstroom

Het bodemleven speelt een grote rol bij het beschikbaar maken van nutriënten uit OM. Zo kan dit OM verkleind worden door de hogere organismen in het bodemvoedselweb (bv. regenwormen, potwormen, springstaarten). Belangrijker nog is de rechtstreeks consumptie door micro-organismen (bacteriën en schimmels), die het deels gebruiken voor eigen groei. Bovendien kunnen bacteriën en schimmels door hun lage C/N verhouding grote hoeveelheden N opnemen en zo uitspoeling voorkomen. De graasactiviteit van protozoa, mijten en nematoden zorgt dan voor een geleidelijke vrijstelling van de nutriënten in de microbiële biomassa. Op die manier maakt het bodemleven complexe, organische nutriëntenverbindingen beter beschikbaar voor de plant. Ook op andere manieren verhogen bodemorganismen de nutriëntenbeschikbaarheid. Denk daarbij aan de vele symbiotische relaties tussen plantenwortels en nuttige schimmels en bacteriën. Zo zijn mycorrhizae verantwoordelijk voor een toename van de opnameoppervlakte van het wortelstelsel. Dit stelt de plant in staat om weinig mobiele elementen (vooral P) op te nemen. Een ander voorbeeld is de biologische omzetting door nitrificerende bacteriën van ammonium naar nitriet en vervolgens naar nitraat, dat makkelijker opneembaar is voor de plant.

Opbouw en onderhoud van een goede bodemstructuur

De activiteit van het bodemleven leidt tot stabiele macro- en microaggregaten, en een groter en stabiel poriënvolume. Hierin spelen verschillende organismen een rol.

- Bacteriën en schimmels kitten door respectievelijk slijmvorming en schimmeldraden (mycelia) individuele bodemdeeltjes aan elkaar tot micro- en macroaggregaten;
- Regenwormen staan door hun graaf- en mengactiviteiten in voor een intensieve menging van organische en minerale bodembestanddelen waardoor organo-minerale complexen (stabiele humuscomponenten) gevormd worden. Deze stabiele aggregaten beschermen de OS tegen afbraak;
- Daarnaast zijn regenwormen belangrijk voor de vorming en het onderhoud van een goede bodemstructuur door hun intense bodemwoelende activiteit en het graven van gangen.

Ziekte- en plaagwering

Het bodemvoedselweb beschikt over een aantal mechanismen om ziekten en plagen te reguleren (zie ook [A.6.3](#)):

- Competitie om voedsel, water en ruimte, waardoor pathogene organismen onderdrukt kunnen worden;
- Predatie van de ziekteverwekkers en plagen door andere organismen;
- Productie van groeiremmende stoffen (antibiotica).

A.2.3.3. Bodemziekten en –plagen

Naast nuttige organismen omvat het bodemleven ook ziekteverwekkende en plaagvormende organismen, die potentieel grote economische schade kunnen veroorzaken. Zo wordt de schade veroorzaakt door plantparasiterende nematoden geschat op 12 % van de waarde van de plantenproductie in Nederland ⁽³⁶⁰⁾. Dit verlies kan van kwantitatieve en kwalitatieve aard zijn. Plantparasiterende nematoden zijn wijd verspreid en veroorzaken aanzienlijke schade aan een brede waaier van belangrijke land- en tuinbouwgewassen (bv. aardappelcystenaaltje, bietencystenaaltje). Ook bepaalde bacteriën en schimmels zijn belangrijke pathogenen. Zo zijn meer dan 10.000 schimmelsoorten pathogeen voor planten. *Fusarium* (verwelkingsziekte) en *Rhizoctonia* zijn maar enkele voorbeelden van schimmels die verliezen kunnen veroorzaken op groenten, bloemen en verschillende veldgewassen. *Streptomyces scabies* is dan weer een voorbeeld van een bacteriële plantenbeschadiger, die gewone schurft bij aardappel veroorzaakt.

Een goed functionerend bodemvoedselweb wordt echter in staat geacht om via de eerder vermelde mechanismen ziekten en plagen te onderdrukken en zo de schadelijke invloed van deze pathogenen te reduceren.

Ter verduidelijking: ziektes en plagen worden in de literatuur doorgaans in één adem genoemd. Met ziekteverwekkende organismen wordt hier verwezen naar pathogenen (bacteriën, schimmels, nematoden) die een **inwendige** vorm van schade aan de plant berokkenen. Met plaagverwekkende organismen (doorgaans grotere organismen) wordt dan verwezen naar die soorten die een **uitwendige** vorm van schade berokkenen. Denk bij die laatste bv. aan muizen, slakken, ritnaalden of emelten.

A.3. Betekenis en belang van bodemprocessen

Er wordt een onderscheid gemaakt tussen interne bodemprocessen en bodemprocessen die leiden tot verliezen naar het milieu.

A.3.1. Interne bodemprocessen

A.3.1.1. Mineralisatie, humificatie en immobilisatie

(48,190,191,223)

Mineralisatie is het proces waarbij organische verbindingen (bv. gewasresten, plantenwortels, compost, dierlijke mest, OS) in of op de bodem door micro-organismen (bv. schimmels, bacteriën) worden omgezet in anorganische (minerale) verbindingen. Hierbij worden nutriënten (bv. N, P en S) en koolstofdioxide (CO₂) vrijgezet.

Door mineralisatie worden de nutriënten opneembaar voor planten via hun wortels. Een actief bodemleven stimuleert dus de plantengroei.

Zo is **stikstofmineralisatie** (N-mineralisatie) één van de belangrijkste bronnen van N doorheen het groeiseizoen. Deze mineralisatie herneemt in onze regio begin maart en geeft gedurende een achttal maanden continu N vrij. In de winter valt dit proces grotendeels stil, aangezien de bodemtemperatuur hiervoor boven de 10 °C moet liggen. De N-mineralisatie uit bemesting en uit de reserves aanwezig in de bodem kan op jaarbasis schommelen van 120 tot meer dan 250 kg N/ha, afhankelijk van een reeks factoren waaronder OS-gehalte, textuur, bodemtemperatuur, bodemvocht, zuurstofvoorziening en C/N verhouding (zie [A.4.](#) voor interacties). Omdat mineralisatie bij gunstige omstandigheden ook na de teelt van vroeg geoogste gewassen verdergaat, kan deze leiden tot toenemende nitraatconcentraties in de bodem, of zelf tot nitraatuitspoeling (zie hierna).

Na het inwerken van vers organisch materiaal (OM) wordt het grootste deel ervan via mineralisatie door de micro-organismen gebruikt als voedselbron en afgebroken. Een deel van dit OM wordt echter omgezet naar een meer stabiele vorm, en gaat deel uitmaken van de OS in de bodem. Dit proces heet **humificatie**. Ook de interne omzettingen van OS tot een meer stabiele fractie worden humificatie genoemd. De functies en het belang van die (stabiele) OS werden reeds aangehaald onder [A.2.1.1](#). Het vastleggen van bepaalde stoffen tijdens het humificatie-proces wordt ook wel **immobilisatie** genoemd. Deze term wordt met name gebruikt in de context van N-immobilisatie (zie ondermeer C/N verhouding onder [A.2.1.6](#)). Immobilisatie van nutriënten kan ook plaatsvinden tijdens andere processen, zoals voor fosfor het geval is bij sterke binding aan (oxiden van) Al, Fe en Ca (zie [A.2.1.5](#)).

A.3.1.2. Verslemping en versmering

(44,190)

De termen verslemping en versmering worden dikwijls door elkaar gebruikt, hoewel het om twee duidelijk verschillende processen gaat.

- **Verslemping** (Eng. *sealing*) ontstaat door het desintegreren van de bodempartikels (Eng. *slaking*) aan het bodemoppervlak door de **inslag van regendruppels** bij overvloedige neerslag. Daarbij verstopten de fijnere bodempartikels de poriën. Bij het uitdrogen van het slemplaagje dat zo ontstaat, wordt een slempkorst gevormd. Deze is weinig doorlatend en gaat verdamping vanuit de bouwvoor in het voorjaar tegen. Door het zuurstofgebrek en de vergrote weerstand wordt de kieming van het zaad belemmerd, en sterven de wortels van jonge gewassen af. De grond kan

lang nat blijven en moeilijk bewerkbaar zijn. Vooral lichte kleigronden en lössgronden zijn gevoelig voor slomp.

- **Versmering** (Eng. *smearing*) treedt op wanneer fijne grond onder te vochtige omstandigheden **bewerkt** wordt. Hierbij wordt over een aanzienlijke oppervlakte een bodemlaagje dichtgesmeerd, wat een ernstige vorm van beschadiging van bodemstructuur betekent. Het resultaat is opnieuw een beperking in de gasuitwisseling. Een onderscheid kan gemaakt worden tussen oppervlakkige versmering (bv. door wiel slip) en diepere versmering (bv. het versmeren van de ploegzool door het ploegijzer).

A.3.1.3. Verdichting of compactie

(85,296,378,379,380)

Definitie

Verdichting (Eng. *compaction*) kan gedefinieerd worden als het fenomeen waarbij de bodem samengedrukt en vervormd wordt, waardoor de totale en luchtgevulde porositeit dalen, gewoonlijk als gevolg van mechanische spanningen. Allereerst worden de macroporiën in de grond dichtgedrukt en in tweede instantie de kleinere microporiën. Er is zowel een afname van het volume aan macroporiën als een onderbreking van de continuïteit ervan. Verdichting kan ontstaan onder natuurlijke omstandigheden, zoals het geval is bij een **fragipan** (een compacte, gematigd breekbare horizont, vaak met beperkte cementatie door dichte opeenpakking en binding door klei) of een **duripan** (een dichte, harde suboppervlakkige horizont, gecementeerd door silicium). Heel regelmatig ontstaat verdichting echter onder invloed van menselijke activiteiten: denk daarbij aan de vorming van een **ploegzool** en het gebruik van zware machines. Het is vooral die laatste vorm van verdichting die hier verder beschouwd wordt.

De gevoeligheid van een bodem voor verdichting hangt af van een reeks bodemeigenschappen (voornamelijk textuur en bodemdichtheid, zie Tabel 1) en weersomstandigheden: hoe natter de bodem, hoe fijner de textuur en hoe lager de dichtheid, hoe meer vatbaar een bodem is voor verdichting. Versmering kan een belangrijke aanleiding vormen voor latere verdichting. Ook de impact op gewasgroei en omgeving is zeer weersafhankelijk, met de grootste gevolgen gedurende opvallend droge of natte jaren.

Een onderscheid wordt gemaakt tussen **oppervlakkige bodemverdichting** enerzijds (Eng. *topsoil compaction*), en diepe bodemverdichting of **ondergrondverdichting** (Eng. *subsoil compaction*) anderzijds. Daarbij is de ondergrond gedefinieerd als de zone onder de ploegvoor, dus ploegzool en dieper. De eerste vorm heeft op korte termijn een grotere impact, maar naar duurzaam bodemgebruik toe, wordt vooral ondergrondverdichting als problematisch beschouwd. Zelfs bij een eenmalige verstoring kan de verdichting voor tientallen jaren aanwezig blijven.

Effecten en belang

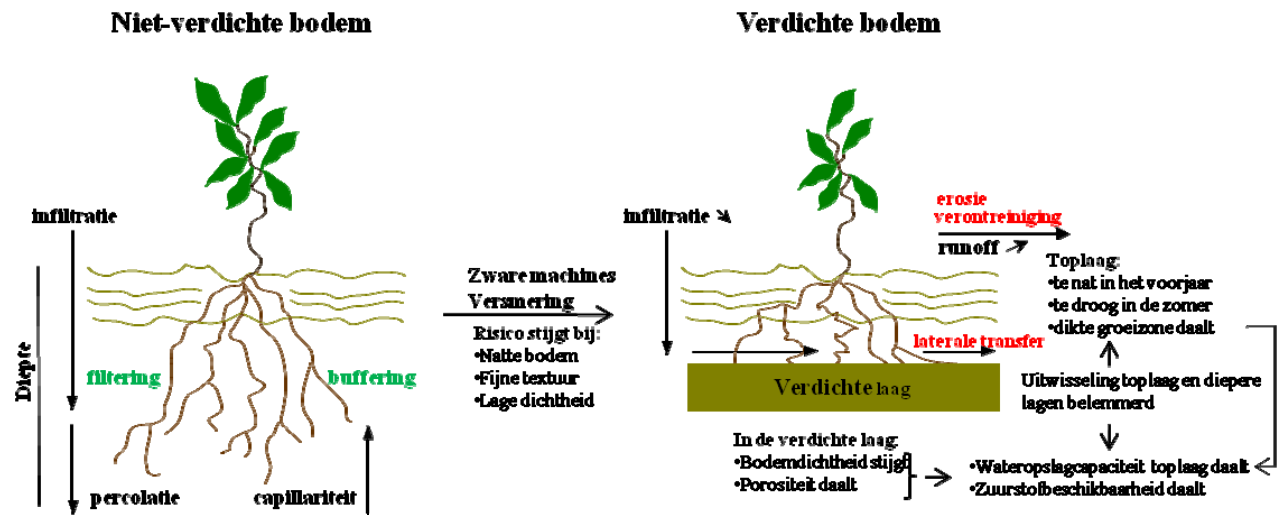
Bodemverdichting en vooral ondergrondverdichting wordt in de Europese Bodemstrategie ⁽¹²⁷⁾ beschouwd als een belangrijke bedreiging voor de bodem (B.8.2). Ze betekent vaak een vermindering of verlies van meerdere bodemfuncties (Figuur 8):

- In eerste instantie neemt de fysische bodemkwaliteit af. Concreet kan de mechanische weerstand verhogen, daalt het volume aan zuurstof in de bodem, en worden de hydrologische eigenschappen gewijzigd;
- Dit resulteert o.m. in een slechte nutriëntenopname, gebrekkige vochtvoorziening voor de plant, verminderde wateropslagcapaciteit en verminderde infiltratie. Door de opbouw van water boven de gecompacteerd laag wordt ook de drainage beperkt en ontstaan te natte bodems in het voorjaar, een hoger risico op erosie en daarmee geassocieerde P-verliezen, en een toenemende laterale watertransfer en dus verontreiniging van oppervlaktewater;
- Op die manier vermindert ook de beschikbaarheid van water uit diepere lagen, en treedt verdroging op in de zomer, daalt het volume bodem dat als buffer tegen verontreiniging kan fungeren, en stijgt het risico op broeikasgasemissie en N-verliezen via denitrificatie;

- De bodemvruchtbaarheid daalt, en ook beperking van wortelgroei (o.a. door een afname van poriënbeschikbaarheid) en verstoring van het bodemleven zijn het gevolg.

Artificiële oplossingen (bv. mechanisch losmaken, verbeterde drainage, meer nutriënten en irrigatie) kunnen een oplossing zijn voor oppervlakkige verdichting, maar zijn weinig effectief voor ondergrondverdichting (snelle recomcompactatie) en kunnen zelf leiden tot een achteruitgang van de structuur en bijhorende aantasting van fysische, chemische en biologische eigenschappen. Deze aspecten komen verder aan bod in [Deel C](#) van deze studie.

Figuur 8. Voorstelling van oorzaken en gevolgen van bodemverdichting (Naar: Jones et al. ⁽²⁰⁵⁾).



A.3.2. Verliezen naar het milieu

Naast de processen die zich afspelen binnen de afgesloten eenheid van de bodem, vinden ook uitwisselingen plaats met de omgevende milieucompartimenten. Daarbij worden water, OS, nutriënten, gewasbeschermingsmiddelen en andere stoffen aan het bodemsysteem toegevoegd of onttrokken. Dit gebeurt zowel aan het bodemoppervlak als in de diepte. Een evenwichtige balans tussen in- en output is hierbij van belang met het oog op een goede bodemkwaliteit. Enkele relevante processen worden hier nader toegelicht.

A.3.2.1. Run-off en erosie

(147,152)

Met **run-off** wordt verwezen naar de oppervlakkige afvoer van water, die ontstaat tijdens en vlak na een regenbui, wanneer het water onvoldoende snel in de bodem kan infiltreren.

Bodemerosie is het proces waarbij bodemdeeltjes losgemaakt, opgenomen en getransporteerd worden door een bewegend agens (water, wind of bewerking). Hierbinnen kunnen verschillende processen onderscheiden worden:

- Bodemerosie door water** ontstaat wanneer bodemdeeltjes door druppelinslag losgemaakt en door run-off verplaatst worden. Het losmaken door de regendruppels heet *spaterosie*, de eerste laagsgewijze afvoer wordt *intergeulerosie* genoemd. Wanneer het water zich gaat insnijden in het landschap, spreekt men, afhankelijk van de dimensies van de gevormde kanalen, van *geulerosie* (<30 cm diepte) of *ravijnerosie* (>30 cm diepte).
- Bewerkingserosie** is het proces waarbij bodemmateriaal (vaak hellingafwaarts) verplaatst wordt door het bewerken van akkers.
- Bodemverlies** kan ook optreden **bij het rooien** van (voornamelijk wortel- en knol-) gewassen, waarbij de grootte van het bodemverlies vooral bepaald wordt door het type gewas, het bodemvochtgehalte, de bodemtextuur en de rooiwijze.

- **Winderosie** op akkers treedt meestal op onder droge omstandigheden in het voorjaar, wanneer de velden braak liggen of pas ingezaaid zijn.
- **Massatransport** ontstaat wanneer relatief grote hoeveelheden bodemmateriaal zich van een hoger naar een lager punt verplaatsen onder invloed van de zwaartekracht. Dit kunnen bv. landverschuivingen of modderstromen zijn.
- **Oevererosie** treedt op door de gecombineerde werking van stromend water en grondverschuivingen op de oevers. Voor de meeste stromen in het projectgebied is dit proces weinig belangrijk.

In overeenstemming met de problematiek in het projectgebied ([B.8.3](#)), wordt in deze studie hoofdzakelijk aandacht besteed aan water- en bewerkingserosie.

Erosie kan zowel lokaal als stroomafwaarts een grote impact hebben. Nadelen die de landbouwer bv. ondervindt, zijn het wegspoelen van zaaigoed en plantgoed of de verplaatsing van voedingsstoffen. Bovendien verdwijnt op die manier een deel van de vruchtbare teelaarde, kan de waterhuishouding ernstig verstoord worden en neemt de bewerkbaarheid van de bodem af. Stroomafwaarts kunnen modder- en sedimentstromen een reëel gevaar vormen voor de verkeersveiligheid en ernstige schade toebrengen aan infrastructuur en bewoning. Andere problemen zijn het verstopping van riolen, het verdwijnen van historische sites ⁽⁴¹⁶⁾, het dichtslibben van waterlopen en de verontreiniging van oppervlaktewater door het meesleuren van bestrijdingsmiddelen en meststoffen ⁽⁴⁵¹⁾.

De omvang en aanpak van de erosieproblematiek in Vlaanderen en Nederland wordt beschreven in [B.8.3](#). Voor een meer gedetailleerde benadering, zowel algemeen als binnen het projectgebied, wordt verder verwezen naar de resultaten van het [Interregproject “erosiebestrijding”](#) ⁽¹⁴⁷⁾.

A.3.2.2. Nitraatverliezen

(183,191,250,432,434)

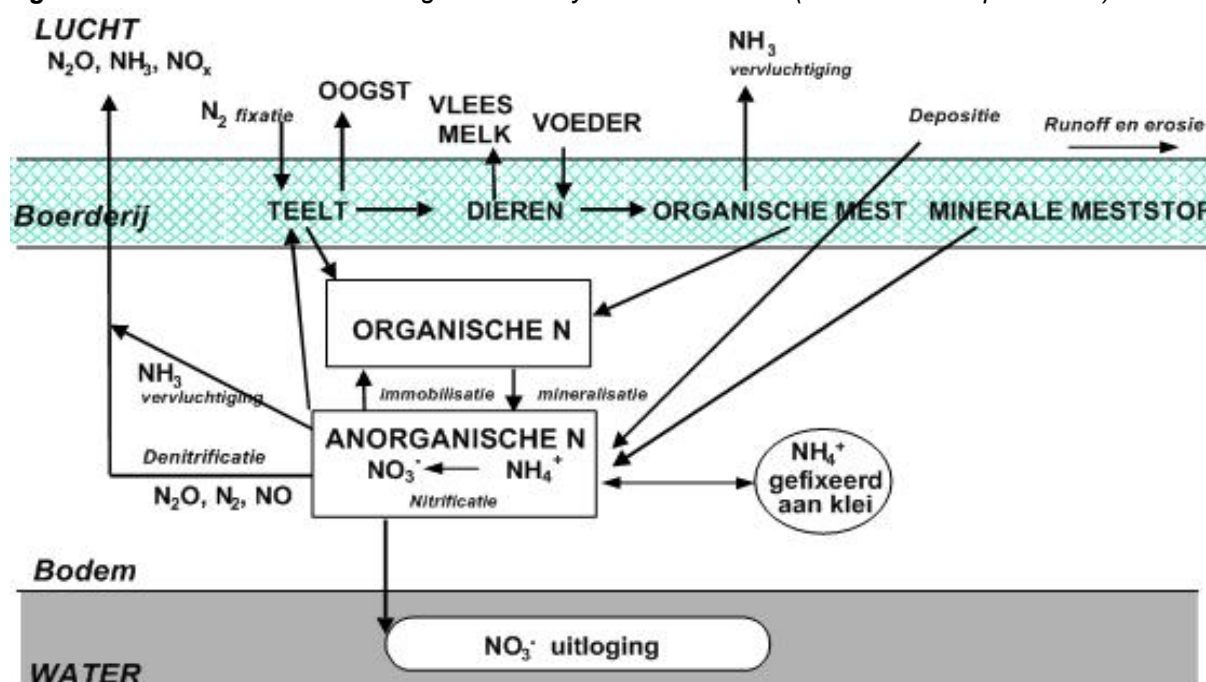
Als hoofdelement in de plantenvoeding dient stikstof (N) in voldoende hoge mate in beschikbare vorm (als nitraat of ammonium) aanwezig te zijn in de bodem op het moment dat het gewas er om vraagt. Anderzijds houdt een teveel aan nitraat een reëel risico van **uitspoeling** in, waardoor het nitraat samen met het percolerende water in het grond- en oppervlaktewater terecht komt. Dit kan een ernstige verontreiniging veroorzaken. Door uitspoeling van nitraat (net als voor fosfaat, zie [A.3.2.3](#)) wordt het oppervlaktewater voedselrijker (men spreekt van “**eutrofiëring**”) en dat heeft effect op planten en dieren in het water. Ondermeer door een sterke ontwikkeling van algen, wordt een verminderde lichtinval veroorzaakt, verdwijnen bepaalde waterplanten en ontstaat door zuurstofarme omstandigheden vissterfte. Bepaalde algen kunnen ook giftige stoffen afscheiden, stank veroorzaken of aan de basis liggen van vogelsterfte en gezondheidsklachten bij de mens.

Om hier op in te spelen werd door Europa in 1991 de **Nitraatrichtlijn** opgesteld, met als doel de waterverontreiniging door nitraten te verminderen en verdere verontreiniging te voorkomen. Hierin werd vastgelegd dat de **maximum toegelaten nitraatconcentratie** in grond- en oppervlaktewater **50 mg NO₃⁻ per liter** bedraagt. De richtlijn werd in Nederland en in Vlaanderen op een verschillende manier vertaald in beperkingen op de hoeveelheid stikstof die aan landbouwgrond mag toegediend worden. Deze beperkingen zijn vastgelegd in decreten, besluiten of verordeningen (zie Kader 9).

De regelgeving is gebaseerd op een inzicht in de **stikstofcyclus** (Figuur 9). In die cyclus wordt de hoeveelheid nitraat aanwezig in de bodem op een bepaald moment – in het voorjaar spreekt men van “voorraad”, in het najaar van “residu” - beïnvloed door een brede waaier aan factoren en processen. Input vindt plaats door bv. bemesting, mineralisatie, fixatie door vlinderbloemigen en vrijstelling uit oogstresten. Afvoer gebeurt doorgaans via gewasopname en -oogst, erosie of uitspoeling. Daarnaast kan N ook uit het bodemsysteem verdwijnen door vervluchtiging (emissie) onder de vorm van NH₃ of van N₂, N₂O of NO_x na denitrificatie. Deze processen en daardoor ook de nitraathoeveelheid worden verder beïnvloed door ondermeer het type voorteelt (lage nitraatvoorraad bij graangewassen, hoog bij bv. aardappelen of maïs), de weersomstandigheden tijdens het groeiseizoen (snellere mineralisatie

onder warme en vochtige omstandigheden), het bodemtype (snellere uitspoeling op lichtere bodems), en de aard en hoeveelheid OS. Dergelijke interacties worden verder in kaart gebracht onder [A.4](#).

Figuur 9. Schematische voorstelling van de N-cyclus in de bodem (bron: De Clercq et al. ⁽¹⁰¹⁾).



In Vlaanderen wordt het naleven van de stikstofgebruiksnorm gecontroleerd aan de hand van het **nitraatresidu** in de bodem in het najaar (zie [B.3.5](#)).

A.3.2.3. Fosfaatverliezen

(191,202,332)

Ook voor fosfaat bestaat op onze landbouwbodems een reëel risico op uitspoeling en verontreiniging van grond- en oppervlaktewater. Het verschil met de nitraatproblematiek ligt ondermeer in het feit dat fosfaat in de bodem in eerste instantie weinig mobiel is, waardoor de snelheid waarmee de bodem fosfaat nalevert (de kinetiek) veel sterker in rekening gebracht dient te worden.

Fosfaat dat aan landbouwgronden wordt toegediend, maar gedurende het groeiseizoen niet door het gewas wordt opgenomen, hoopt zich grotendeels op in de bodem. Naarmate de hoeveelheid in de bodem toeneemt, neemt de capaciteit om nog meer fosfaat te binden echter af en het risico op uitspoeling naar grotere diepte toe. Onder natte omstandigheden kan fosfaat ook direct afspoelen naar aanliggende greppels en sloten, en er eutrofiëring veroorzaken.

Het is in die context belangrijk om fosfaat-overschotten te vermijden. Anderzijds is het voor een optimale ontwikkeling van gewassen belangrijk dat aan hun fosfaat-behoefte voldaan wordt. Het is geen eenvoudige taak om de fosfaat-balans in evenwicht te brengen.

In het verleden zijn hiertoe reeds een aantal maatregelen uitgevoerd, zoals een verminderde fosfaat-concentratie in veevoer om de mest fosfaat-arter te maken. Verder is de toegestane hoeveelheid fosfaat die in de landbouw gebruikt mag worden, vastgesteld in de zogenaamde "fosfaatgebruiksnormen". De bemestingsnormen worden steeds strenger waardoor fosfaatbeschikbaarheid en -benutting in de toekomst steeds belangrijker zullen worden.

A.3.2.4. Verliezen van gewasbeschermingsmiddelen

(23,24,50,89)

Bij een behandeling van landbouwgewassen met gewasbeschermingsmiddelen komen deze producten geheel of gedeeltelijk op en in de bodem terecht, waarna ze kunnen uitspoelen naar het

grondwater. De snelheid waarmee ze door de bodem migreren is vooral afhankelijk van de mate van afbraak (degradatie) en opname door de bodem (sorptie), en kan sterk verschillen naargelang het product.

Naast chemische degradatie vindt ook biodegradatie van gewasbeschermingsmiddelen plaats in de bodem, voornamelijk door de microbiële biomassa. Ook bepaalde schimmels kunnen een belangrijke rol spelen. De schadelijke effecten van gewasbeschermingsmiddelen eindigen niet steeds met de afbraak ervan, aangezien ook bepaalde afbraakproducten (metabolieten) een toxische werking kunnen hebben.

Gewasbeschermingsmiddelen kunnen zich binden aan kleideeltjes of ijzeroxiden, maar bovenal aan OS. De mate waarin sorptie kan optreden is daarnaast afhankelijk van verschillende chemische (bv. pH) en fysische (bv. vochtgehalte) factoren. Wanneer gewasbeschermingsmiddelen in belangrijke mate gebonden worden aan de bodem, vindt minder uitspoeling plaats. Anderzijds kan dit ook de afbraak van gewasbeschermingsmiddelen vertragen, met een nefaste accumulatie in de bodem tot gevolg.

Naast uitspoeling naar het grondwater kunnen verliezen van gewasbeschermingsmiddelen ook optreden door opname door het gewas, run-off en erosie.

A.4. Interacties tussen bodemeigenschappen en -processen

(6,19,20,48,190,223,373,380)

In de voorgaande paragrafen werd reeds bijzondere aandacht besteed aan de onderlinge wisselwerking, met andere woorden aan het belang en de invloed van bodemeigenschappen en -processen op andere bodemeigenschappen en -processen. In wat volgt, worden de voornaamste interacties nogmaals samenvattend in kaart gebracht. Dat is een weinig vanzelfsprekende oefening, omdat het aantal interacties quasi oneindig is en elke impact op zijn beurt een keten van daaruit voortkomende effecten op gang kan brengen. Bovendien zijn heel wat interacties niet eenduidig, en zal de omvang en aard van het effect afhankelijk zijn van specifieke omstandigheden of kwaliteit van uitgangsmateriaal. Toch wordt aan de hand van een schematische figuur en verduidelijkende tekst gepoogd om een reeks vrij algemene sets van interacties voor te stellen. Daarbij wordt hoofdzakelijk gefocust op die relaties waarop de landbouwer op korte of lange termijn kan inspelen. Naast informatie uit literatuurbronnen, is deze paragraaf gebaseerd op ongeschreven expertkennis.

A.4.1. Organische stof als vertrekpunt voor bodeminteracties

Om bodeminteracties in kaart te brengen moet ergens een vertrekpunt gevonden worden. Gezien het grote belang van OS voor de bodemkwaliteit in zijn geheel, en de brede waaier aan interacties die hiermee samenhangt, werd hier in Figuur 10 vertrokken van (een toename van) OS om vervolgens het netwerk van daaruit voortvloeiende effecten en interacties stap voor stap voor te stellen.

A.4.1.1. Organische stof en bodemstructuur

De positieve invloed van OS op de bodemstructuur is te danken aan een complex geheel van gerelateerde effecten. Zo verkrijgt de bodem bv. een kruimelstructuur en stijgt de aggregaatstabiliteit met een toenemend OS-gehalte, door het aaneenklitten van bodemdeeltjes. Afhankelijk van het type OS, gebeurt dit rechtstreeks, ondermeer door de sterke binding tussen klei en humusmoleculen, of onrechtstreeks. Dit laatste gebeurt via een activering van humificatie en mineralisatie en/of een stimulering van het bodemleven, dat zelf sterk bijdraagt tot opbouw en onderhoud van een goede bodemstructuur (zie [A.2.3.2](#)). Niet enkel de stabiliteit van de bodem neemt toe, maar door de activiteiten van micro- en macro-organismen (vooral regenwormen en nematoden) worden ook nieuwe poriën gecreëerd en wordt de poriëngrootteverdeling beïnvloed. Op zijn beurt heeft dit een belangrijk effect op de zuurstofbeschikbaarheid en waterhuishouding.

Omgekeerd heeft de bodemstructuur ook een belangrijke impact op OS-dynamiek. Zo kan een verhoging van de aggregaatstabiliteit leiden tot een doorgedreven vorming van microaggregaten en accumulatie van fysisch beschermde OS. Dit laatste is OS die afgeschermd is tegen afbraak door micro-organismen, omdat ze zich binnen aggregaten bevindt. Wordt die structuur ernstig verstoord, dan impliceert dit echter eveneens dat meer OS vatbaar is voor verlies. Ook het systeem van bodemporiën kan direct gerelateerd worden aan de OS dynamiek. De bodemporiënruimte vormt immers de feitelijke habitat van micro-organismen, die instaan voor de opbouw- en afbraakprocessen. Zo hebben micro-organismen enkel toegang tot die poriën die hen fysisch gezien kunnen herbergen. De distributie van water binnen het poriënsysteem (grotendeels bepaald door de poriëngrootteverdeling) beïnvloedt evenzeer de beweeglijkheid van micro-organismen. Afbraak van organisch materiaal zou daarom snelst gaan in bodems met een relatief groot volume aan poriën van middelgrote afmetingen (15-60 μm), omwille van nauw contact tussen bodem, gas en water; vlotte beweeglijkheid van micro-organismen; snelle zuurstoftoevoer en diffusie van nutriënten en toxische stoffen ⁽¹⁶⁴⁾. Tot slot heeft ook gewijzigde zuurstofbeschikbaarheid een belangrijke invloed op de kwaliteit van de omvorming van de organische resten (via mineralisatie en humificatie).

A.4.1.2. Organische stof, bodemdichtheid, verdichting en erosie

Door het lage soortelijk gewicht van OS, betekent een toename in OS een afname van de bodemdichtheid. De bodem is hierdoor vaak beter doordringbaar voor wortels (hoewel dit ook afhankelijk is van aëratie en compactie), de drainage verloopt vlotter en het risico op verdichting daalt. Hierdoor daalt ook de erosiegevoeligheid van de bodem (zie ook Figuur 10).

A.4.1.3. Organische stof, bodemleven en opbouw- en afbraakprocessen

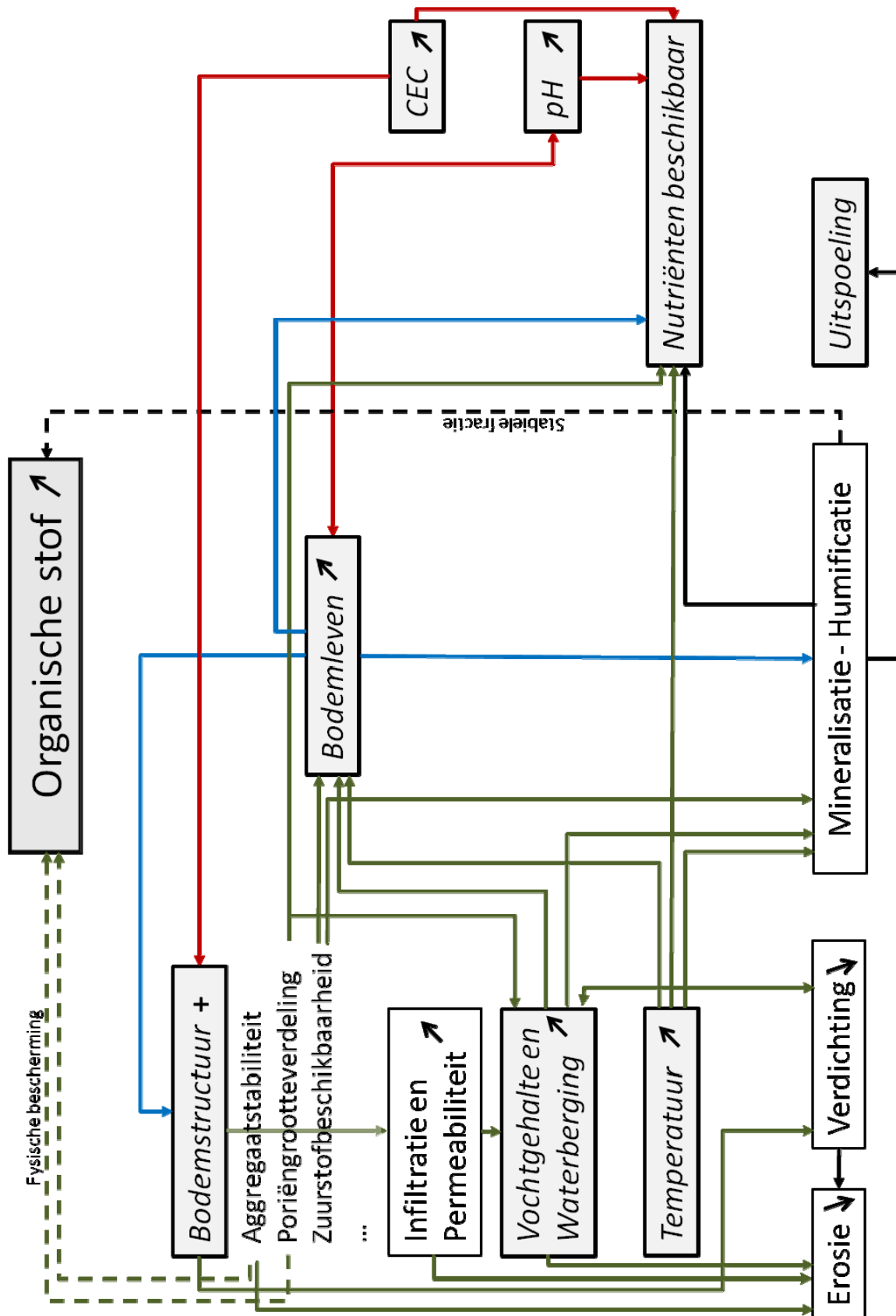
Meer OS in de bodem betekent meer voedsel voor het bodemleven, dat op zijn beurt een rol speelt bij het beschikbaar maken van nutriënten uit OM, het opbouwen van stabiele OS, het verkrijgen van een goede bodemstructuur (zie [A.2.3.2](#)) en een verhoogde ziekteverendheid (zie [A.2.3.3](#) en [A.6.3.1](#)). Enerzijds zijn microbiële (afbraak)processen onontbeerlijk voor het beschikbaar maken van nutriënten voor de plant, anderzijds kan een verhoogde microbiële biomassa initieel zorgen voor een vastlegging van beschikbare nutriënten, waardoor deze niet beschikbaar zijn voor de planten. Zie ook N-immobilisatie en C/N-verhouding ([A.2.1](#)).

A.4.1.4. Organische stof, nutriëntenbeschikbaarheid en bodemchemie

De mineralisatie uit OS waarvan sprake in de voorgaande paragraaf vormt één van de belangrijkste aanvoerposten van nutriënten (voornamelijk N, maar ook P en in beperktere mate ook K) doorheen het groeiseizoen. Organische stof werkt daarnaast door het adsorptievermogen als buffer voor zware metalen en nutriënten: door het vasthouden en nadien geleidelijk vrijgeven van voornamelijk K, Na, Mg, Ca en N, stijgen pH en kation uitwisselingscapaciteit (CEC), neemt de bodemvruchtbaarheid toe en spoelen meststoffen minder gemakkelijk uit. Door chelatie (complexvorming tussen organische moleculen en polyvalente kationen zoals Cu^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+}) verhoogt ook de beschikbaarheid van micronutriënten voor de plant.

Op zijn beurt kan een gewijzigde pH het bodemleven beïnvloeden, aangezien ieder organisme een optimale pH kent waaronder het best functioneert. Zo worden schimmels gestimuleerd in een zure grond, verkiezen regenwormen bodems met een niet te lage pH ⁽³⁷³⁾ en stimuleert een hogere pH het bacterieleven.

Figuur 10. Schematische voorstelling van bodeminteracties gerelateerd aan OS. Grijs vakken met schuingedrukte tekst: eigenschappen en processen rechtstreeks beïnvloed door het OS-gehalte; blauwe pijlen: effect van bodemleven; groene pijlen: bodemfysische effecten; rode pijlen: bodemchemische effecten; zwarte pijlen: effecten van bodemprocessen. Onderbroken pijlen: recursieve effecten op OS.



A.4.1.5. Organische stof, temperatuur en waterhuishouding

Door de donkere kleur, leidt een hoger OS-gehalte tot een snellere bodemopwarming.

Verder kan OS tot 20 keer zijn gewicht aan water opnemen. Samen met de verhoogde infiltratiecapaciteit en het groter waterbergend vermogen, beïnvloedt OS zo de regulatie van opname en afgifte van water. Daardoor zijn (zand)gronden met een hoog OS-gehalte minder droogtegevoelig dan humusarme (zand)gronden.

Omgekeerd oefenen temperatuur en vochtgehalte een belangrijk effect uit op de afbraak, opbouw en omzetting van OS, ondermeer via hun effect op de (snelheid van) mineralisatie en op microbiële activiteit. Zo is voor schimmels een luchtige grond een voorwaarde voor een goede ontwikkeling. Dit in tegenstelling tot bacteriën, die soms bij minder of geen zuurstof kunnen leven.

Verder beïnvloeden temperatuur en waterhuishouding ook de gewasontwikkeling. Droogte veroorzaakt een tragere groei, ook door een gebrek aan stikstof dat niet vrij komt bij droogte. Bij te natte omstandigheden daarentegen komt door luchtgebrek niet alleen weinig stikstof vrij, maar gaat het ook door bacteriële omzettingen verloren als stikstofgas (denitrificatie).

A.4.2. En verder?

Het is belangrijk te beseffen dat het schema dat hier opgebouwd werd rond OS slechts een voorbeeld vormt en een vereenvoudiging van de realiteit blijft, en dat effecten telkens afhankelijk zullen zijn van zowel de kwantiteit als de kwaliteit van het (organisch) uitgangsmateriaal.

Bovendien eindigt het geheel aan effecten niet met de set van interacties voorgesteld binnen de grenzen van dit schema. In een meer uitgebreide versie zou men een aantal landbouwkundige parameters (zie [A.5](#) en [A.6](#)) mee in rekening kunnen brengen. Gewasontwikkeling zal bv. gestimuleerd worden als gevolg van de positieve effecten op nutriëntenbeschikbaarheid, vochtgehalte en temperatuur. Die gewasontwikkeling kan dan op zijn beurt resulteren in ondermeer een goede wortelontwikkeling en dus ook in een betere bodemstructuur en beluchting, een lagere bodemdichtheid, minder kans op verdichting, en aanvoer van vers organisch materiaal. Minder verdichting betekent opnieuw ondermeer een betere infiltratie en drainage, een betere nutriëntenopname, minder risico op erosie of uitspoeling en betere kansen voor wortelontwikkeling, waardoor de voorgaande effecten elkaar wederzijds versterken.

A.5. Context en definitie van landbouwkundige geschiktheid

Alvorens in te zoomen op de invloed van bodemkarakteristieken op landbouwkundige bodemgeschiktheid, is het belangrijk om duidelijk af te bakenen wat men kan verstaan onder die “landbouwkundige geschiktheid” van een bodem. In [A.1](#) werd “bodemkwaliteit” reeds gedefinieerd als een zeer ruim verzamelbegrip, waarbij naast een focus op een hoge en blijvende productiviteit ook bijzondere aandacht besteed wordt aan duurzame functionering binnen een volledig ecosysteem. Met andere woorden: interactie met en minimalisatie van negatieve impact op het omliggende landschap en de maatschappij nemen een belangrijke plaats in.

Het onderscheid tussen bodemkwaliteit en landbouwkundige geschiktheid is vaak nogal vaag. Men zou kunnen stellen dat bij landbouwkundige geschiktheid de focus voornamelijk ligt op de duurzame productiefunctie en landbouwtechnische aspecten. Echter, net als voor bodemkwaliteit het geval is, wordt heel vaak gesproken over landbouwkundige geschiktheid zonder daarom steeds tot een eenduidige definitie te komen. Dat is logisch aangezien de invulling van dit begrip ook zal afhangen van plaatsspecifieke agro-ecologische condities en concrete landgebruiksdoelstellingen. Toch is het nuttig om, rekening houdende met die specifieke toestand, een werkbare definitie af te bakenen en zo met alle belanghebbenden op gelijke lijn te komen.

Vertrekkende van de doelstellingen en context binnen het interreg project BodemBreed, wordt in deze studie landbouwkundige geschiktheid daarom gedefinieerd als *“de geschiktheid van een bodem voor akkerbouwproductie, en dit op perceelsniveau, op korte alsook op lange termijn, en onafhankelijk van het wettelijke kader”*.

Op basis van literatuur en input van experts uit Vlaanderen en Nederland, werden vier hoofdcriteria afgebakend, die samen de mate van geschiktheid uitmaken. Elk van die hoofdcriteria is op zijn beurt opgebouwd uit een beperkt aantal subcriteria:

1. Criterium 1: Goede bewerkbaarheid onder veel omstandigheden
 - Optimale draagkracht (weerstand tegen druk)
 - Minimaal risico op erosie en structuurbeschadiging
 - Technische uitvoerbaarheid
2. Criterium 2: Efficiënte nutriënten- en waterbenutting
 - Hoge natuurlijke rijkdom (chemische bodemvruchtbaarheid)
 - Nutriëntenlevering in de juiste vorm en op het juiste moment
 - Goede nutriëntenretentie (geringe impact op omgeving door minimaal verlies)
 - Hoog waterbergend vermogen en voldoende vochtlevering
3. Criterium 3: Lage ziekte-, plaag- en onkruiddruk
 - Hoge ziektewerendheid
 - Hoge plaagwerendheid
 - Sterke onderdrukking van onkruid
4. Criterium 4: Optimale economische output
 - Maximale opbrengst (op vlak van geproduceerde biomassa)
 - Kwaliteitsvolle opbrengst
 - Stabiele opbrengst
 - Minimale kosten (lage input van hulpstoffen, hoge arbeidsefficiëntie)

Voor een verduidelijking van elk van deze criteria wordt verwezen naar de volgende paragraaf ([A.6](#)).

In zekere mate moet simultaan aan elk van deze criteria voldaan zijn om van een werkelijk landbouwkundig geschikte bodem te kunnen spreken. Wel kan een bepaald criterium sterker of minder sterk doorwegen, afhankelijk van de specifieke doelstellingen en omstandigheden op een bepaald perceel.

A.6. Landbouwkundige geschiktheid, bodemeigenschappen & -processen

Om maatregelen te kunnen nemen om de landbouwkundige geschiktheid van een bodem te verbeteren of in stand te houden (zie [Deel C](#) van deze studie), is het belangrijk een ruim inzicht op te bouwen in de relatie tussen bodemkarakteristieken en landbouwkundige geschiktheid. In wat volgt worden de effecten van chemische, fysische en biologische bodemeigenschappen en van bodemprocessen op elk van de bovenstaande criteria op summier wijze in kaart gebracht.

Bodemeigenschappen en –processen kunnen die geschiktheid rechtstreeks of onrechtstreeks beïnvloeden. Gezien de complexe interactie tussen vele bodemeigenschappen (zie [A.4](#)), is het mogelijk dat een wijziging in bepaalde bodemeigenschappen een keten van effecten op gang brengt en op die manier uiteindelijk ook een belangrijk effect heeft op de landbouwkundige geschiktheid. In dit deel wordt echter hoofdzakelijk gefocust op de belangrijkste, rechtstreeks beïnvloedende eigenschappen en -processen, met een nadruk op die eigenschappen waar de landbouwer zelf iets aan kan veranderen. Externe milieufactoren en landbouwkundige maatregelen die een effect hebben op de bodemgeschiktheid, komen hier niet aan bod.

A.6.1. Bewerkbaarheid

De geschiktheid van een bodem voor landbouwactiviteit wordt ondermeer bepaald door de bewerkbaarheid ervan. Zeker binnen de huidige context van intensieve landbouw en gebruik van zware machines, betekent dit dat het technisch mogelijk moet zijn om de bodem te bewerken, en wel zodanig dat de negatieve impact van die bewerking op de bodem en omgeving minimaal is. Heel wat fysische, chemische en biologische bodemeigenschappen en –processen hebben een effect op (het tijdstip van) die bewerkbaarheid.

A.6.1.1. Draagkracht

(20,223,377)

Draagkracht of draagvermogen wordt hier gedefinieerd als de weerstand die de bodem kan bieden aan uitgeoefende druk. Het slaat dus op de mogelijkheid om op het gepaste moment de bodem te betreden, zonder significante of blijvende schade toe te brengen. Bewerking op een moment waarop de draagkracht van de bodem onvoldoende groot is, kan namelijk leiden tot versmering, insporing of verdichting, met alle gevolgen van dien voor de bodemkwaliteit en omgeving. De draagkracht van een bodem hangt voornamelijk af van de bodemstructuur en waterhuishouding. De volgende elkaar onderling beïnvloedende eigenschappen en processen spelen hierin een vooraanstaande rol:

- **Organisch stofgehalte:** Hoewel een minimale hoeveelheid OS belangrijk is voor een stabiele bodemstructuur ([A.4.1](#)), mag het voor een goede draagkracht niet té hoog zijn (< 7-8%). Een verhoging van het OS-gehalte kan namelijk ook leiden tot een grotere porositeit en een lagere bodemdichtheid, waardoor de bodem gemakkelijker dichtgereden wordt. In die zin kan een goede bodemstructuur in bepaalde situaties in conflict zijn met een goede draagkracht;
- **Kalktoestand en Ca/Mg verhouding:** Een te lage Ca/Mg verhouding resulteert in een slechtere structuur en een verhoogd risico op versmering. Zie “Ca/Mg verhouding” in [A.2.1.6](#);
- **Aggregaatkenmerken:** De draagkracht neemt toe met toenemende aggregaatstabiliteit;
- **Bodemdichtheid en poriëngrootteverdeling:** Bij lagere schijnbare dichtheid is de bodem beter doordringbaar voor wortels, is het waterbergend vermogen groter en verloopt de drainage vlotter zodat plasvorming vermeden wordt. Anderzijds neemt bij een te grote porositeit en te lage dichtheid het risico op dichtrijden toe (zie ook [B.8.2](#));
- **Vochtgehalte:** Onder natte of vochtige omstandigheden is de binding tussen bodemdeeltjes minder sterk, waardoor de draagkracht van de bodem beperkt is. De grond kan zelf zo plastisch worden dat versmering of verdichting optreedt. De draagkracht neemt dus ook af bij hoge grondwaterstand. Anderzijds kan bij heel droge gronden de verkrumeling zo slecht worden dat de grond wel beton lijkt. Vaak is de toplaag te nat om te werken, maar is de

onderlaag droog genoeg. Bewerking is dan niet aan te raden, maar wachten verhoogt het risico op een te natte onderlaag;

- Bodemtemperatuur: Een hogere temperatuur en vlottere opwarming in het voorjaar betekenen dat de bodem sneller opdroogt en dus ook sneller bewerkbaar is;
- Verslemping, versmering en verdichting: Op een bepaald moment kan een neerwaartse spiraal ontstaan. Bewerking op het verkeerde moment leidt namelijk tot verslemping, versmering of verdichting. Meer verdichting betekent opnieuw ondermeer een verminderde infiltratie en drainage, en een beperkte wortelontwikkeling, waardoor opnieuw de draagkracht daalt. Dergelijke wederzijds versterkende effecten werden ook aangehaald onder [A.4](#) en verduidelijkt in Tabel 1 en Figuur 10.

A.6.1.2. Risico op watererosie en structuurbeschadiging

(147,152,407)

Bewerking kan onder bepaalde bodemomstandigheden aanleiding geven tot structuurdegradatie, run-off en erosieprocessen. De volgende elkaar onderling beïnvloedende eigenschappen en processen maken in grote mate die erosiegevoeligheid van de bodem uit (zie ook Tabel 1):

- Textuur: In het projectgebied zijn vooral zandleem- en leembodems erg gevoelig voor fysische degradatie, wat zich in eerste instantie uit in verslemping van het bodemoppervlak. Dit leidt op zijn beurt tot verdichting, een afname van de infiltratiecapaciteit, en zodoende een toegenomen erosiegevoeligheid;
- Structuur, porositeit en permeabiliteit: Door een goede bodemstructuur en porositeit kan meer water (sneller) infiltreren en worden door hogere aggregaatstabiliteit bodemdeeltjes minder gemakkelijk losgemaakt en verplaatst. Bodemeigenschappen hier rechtstreeks aan gerelateerd zijn ondermeer het OS-gehalte, pH, Ca/Mg verhouding en bodemleven (zie [A.2](#));
- Vochtgehalte: Zeer droge bodems zijn vele malen meer erosiegevoelig dan vochtige bodems. Bovendien neemt het risico op mechanische beschadiging van de bodemstructuur toe wanneer bodemkluiten zeer hard zijn en met moeite te breken. Bij lage verkruiembaarheid bestaat namelijk het risico dat de breuk niet plaatsvindt langs natuurlijke breukvlakken;
- Verslemping, versmering en verdichting: Zoals reeds aangehaald, resulteert een toename in verslemping, versmering of verdichting in een verminderde infiltratie en drainage, en daardoor in een verhoogde erosiegevoeligheid. Uitzonderlijk leidt oppervlakkige versmering echter tot minder erosie, door een toename in cohesie.

Naast deze strikt bodemgerelateerde eigenschappen, spelen vooral ook een aantal topografische parameters een rol:

- Hellingsgraad;
- Hellingopwaartse oppervlakte van het stroombekken;
- Ligging (idealiter niet te laag gelegen om een goede drainage te garanderen).

A.6.1.3. Technische uitvoerbaarheid

Terwijl bij draagkracht en erosiegevoeligheid de nadruk eerder ligt op de potentieel negatieve impact op de bodemkwaliteit en omgeving, ligt hier de nadruk op die bodemeigenschappen die de uitvoering van de bewerking vereenvoudigen dan wel bemoeilijken:

- Homogeniteit: Homogeniteit verwijst naar de gelijkheid van bodemcondities (en daardoor ook gewasontwikkeling) binnen hetzelfde perceel, zodat ook de bewerking steeds op uniforme wijze kan plaatsvinden. Denk daarbij bv. aan microreliëf (egaliteit van het perceel) of gelijke diepte van eventuele storende lagen (ploegzool);
- Stenigheid: Een hoge stenigheid kan de bewerkbaarheid van de bodem sterk bemoeilijken, de arbeidsefficiëntie verlagen en resulteren in een ongelijkmatige bewerking van het perceel;

- Textuur: Hoe hoger het percentage klei of de afslibbaarheid, of hoe fijner de klei, des te lager is de bewerkbaarheid van de grond. Men spreekt ook wel van het “zwaarder” worden van de kleigrond.
- Vochtgehalte, en met name de impact daarvan op de verkruijmelbaarheid, verdichting en mengbaarheid van de grond ⁽³²⁷⁾.

A.6.2. Nutriënten- en waterbenutting

(58, 139, 191, 322, 396, 445)

In de intensieve landbouw worden veel nutriënten aangevoerd in de vorm van minerale en organische mest. Die grote externe toevoer van nutriënten heeft enerzijds geleid tot hoge gewasproductie, maar ook tot grote verliezen naar water (bv. nitraat) en lucht (bv. ammoniak), en tot ophoping in de bodem (bv. fosfaat). De strenge mestwetgeving probeert dergelijke verontreinigingen verder te voorkomen, maar impliceert ook dat de landbouw opnieuw meer afhankelijk wordt van natuurlijke processen in de bodem en optimale nutriëntenretentie. Efficiëntie neemt dus in belang toe. Samengevat wordt binnen dit criterium een bodem geschikt bevonden wanneer ze het mogelijk maakt de productie op peil te houden met minimale effecten op het milieu, waarbij de bodemvruchtbaarheid en nutriëntenlevering niet achteruit gaan. Een onderscheid wordt gemaakt tussen nutriëntenstatus (de uitgangssituatie), nutriëntenlevering (beschikbaar stellen) en nutriëntenretentie (vasthouden).

A.6.2.1. Nutriëntenstatus of natuurlijke rijkdom

De nutriëntenstatus of **chemische bodemvruchtbaarheid** drukt het vermogen uit van een bodem om planten van voedingselementen te voorzien.

Het streefdoel hierbij is ervoor te zorgen dat de bodem op elk ogenblik over voldoende voedingselementen beschikt om optimale gewasopbrengsten mogelijk te maken, en daartoe de balans van input en export in evenwicht te houden. In onze landbouwsystemen is dit slechts mogelijk door het supplementair toedienen van een organische en/of minerale bemesting.

De belangrijkste bodemvruchtbaarheidsparameters zijn pH, OC, en de nutriënten N, P, K, Mg en Ca ^(58,191). Natrium is voor akkerbouw minder relevant. Daarnaast spelen ook nog een aantal sporenelementen een belangrijke en vaak onderschatte rol, niet alleen als nutriënt maar ook in de activiteit en diversiteit van het bodemleven ⁽⁴⁴⁷⁾. Voor elk van deze parameters kunnen, in functie van bodemgebruik, bodemtextuur en OC-gehalte, evaluatiegrenzen en beoordelingsklassen opgesteld worden (zie B.3).

De uitgangssituatie van mineralenrijkdom en –verhoudingen wordt voornamelijk bepaald door het moedermateriaal en de historie van input en afvoer van voedingselementen (zie bv. Figuur 9 voor N). Input gebeurt op landbouwbodems hoofdzakelijk onder de vorm van bemesting en oogstresten. Naast gewasooft spelen erosie, uitspoeling en gasvormige verliezen een vooraanstaande rol in mogelijke afvoer.

Uit de volgende paragrafen zal echter blijken dat niet enkel de nutriëntentoestand op zich, maar ook de beschikbaarheid en de mobiliteit van voedingselementen belangrijk zijn om een optimale gewasontwikkeling te garanderen. Dat betekent dat er naast de chemische ook fysische en biologische voorwaarden zijn om de opname van voedingsstoffen door de wortels mogelijk te maken.

A.6.2.2. Nutriëntenlevering: beschikbaarheid in de juiste vorm op het juiste moment

Nutriëntenlevering is de capaciteit van de bodem om nutriënten vrij beschikbaar te maken en door te geven aan het gewas. Die beschikbaarheid kan zowel op fysico-chemische als op biologische basis gedefinieerd worden. Nutriënten zijn fysico-chemisch beschikbaar wanneer ze ofwel in opgeloste vorm in de bodemoplossing aanwezig zijn ofwel geadsorbeerd zijn aan het bodemcomplex (klei-humuscomplex). Ze zijn echter slechts biologisch beschikbaar en effectief opneembaar door de plant

wanneer ze in de werkingssfeer van het wortelstelsel gebracht worden door transportmechanismen zoals “mass-flow” (beweging in samenhang met waterstroom) of diffusie.

De volgende elkaar onderling beïnvloedende factoren en processen spelen hierin een vooraanstaande rol (zie ook [A.2](#)):

- OS-gehalte en aard: bron van nutriënten en adsorptievermogen;
- pH: chemische evenwichtsreacties in het bodemvocht bepalen oplosbaarheid en dus beschikbaarheid van nutriënten;
- CEC en basenverzadiging: hogere CEC en basenverzadiging betekent potentieel hogere bodemvruchtbaarheid;
- Nutriëntenverhoudingen: een onevenwicht werkt de opname van bepaalde elementen tegen;
- Bodemtemperatuur: beïnvloedt de snelheid van mineralisatie;
- OS-omzetting: (vlotheid van) microbiële afbraak- en opbouwprocessen: Enerzijds zijn microbiële afbraakprocessen van OS onontbeerlijk voor het beschikbaar maken van nutriënten voor de plant, anderzijds zijn in eerste instantie de afbraakproducten van OS toxisch voor planten en zullen wortels dergelijke zones ontwijken. Daarom moeten deze afbraakprocessen en de groei van de plant in principe gescheiden in de tijd (of toch zeker in de ruimte) plaatsvinden. Met het oog op een efficiënte nutriëntenbenutting en een minimalisatie van verliezen, is het daarom belangrijk dat OS vlot verteert in de bodem. Bij een slechte of langzame afbraak komen schadelijke stoffen vrij en heeft men grote verliezen;
- (Symbiose met) bodemleven in de rhizosfeer: bv. symbiose met mycorrhiza-schimmels die minerale voedingselementen aanbrengen, of de regenwormen die de afbraak van OM katalyseren ([A.2.3.2](#)).

A.6.2.3. Nutriëntenretentie: adsorptie en verliezen

Nutriëntenretentie is de capaciteit van de bodem om nutriënten vast te houden zodat ze niet verloren gaan door erosie, uitspoeling of vervluchtiging. Vanzelfsprekend bestaat er een sterke wisselwerking tussen beschikbaarheid en retentie: nutriënten die makkelijk opneembaar zijn, zijn dikwijls ook makkelijk uitspoelbaar. Hierdoor spelen ook vaak dezelfde factoren een sterke invloed op de bufferwerking van de bodem (zie ook [A.2](#)):

- CEC: een bodem met een hoge CEC, bepaald door textuur en OS, kan meer kationen vasthouden;
- Bodemleven: direct vastleggen van nutriënten in biomassa, of indirect vastleggen door het verbeteren van de bodemstructuur (aggregaatvorming).

A.6.2.4. Waterbergend vermogen en vochtlevering

De vochtlevering of hoeveelheid plantbeschikbaar water dient steeds voldoende hoog te zijn om een optimale plantengroei en dus gewasopbrengst mogelijk te maken. Specifieke behoeftes zijn daarbij plant-, bodem- en klimaatsafhankelijk. Anderzijds is een goed gestructureerde bodem in staat om overtollig water op een efficiënte manier af te voeren, en zo een vlotte gasuitwisseling niet in het gedrang te brengen en een vlotte bewerkbaarheid te garanderen. De belangrijkste parameter in deze context is het waterbergend vermogen of de waterreserve die een bodem kan opslaan. Deze beïnvloedt niet alleen de hoeveelheid plantbeschikbaar water, maar kan ook overtollig water bergen. Naarmate het waterbergend vermogen groter is, zal de grondwaterstand dus minder snel stijgen tot een niveau dat nadelig is voor gewas of bodem.

Andere parameters die hierbij een voorname rol spelen zijn:

- Textuur;
- Totale porositeit en dus ook schijnbare dichtheid;
- Poriëngrootteverdeling.

A.6.3. Ziekte-, plaag- en onkruiddruk

(88, 139, 150, 203, 223, 357)

Ziektes, plagen en onkruiddruk vormen een ernstige economische bedreiging binnen landbouwsystemen. Duurzame landbouw veronderstelt bovendien een reductie in het gebruik van (chemische) bestrijdingsmiddelen, waardoor het belang van ziekte- en plaagwerende eigenschappen van de bodem sterk toenemen.

A.6.3.1. Ziektewerendheid

Ziektewerende bodems (Eng. *suppressive soils*) werden door Cook en Baker ⁽⁸⁴⁾ omschreven als bodems waarin het voorkomen en de ernst van ziekten laag blijft, ondanks de eventuele aanwezigheid van plantpathogenen (ziekteverwekkers) in de bodem en een gevoelige waardplant. Het is belangrijk te beseffen dat de ziektewerendheid van een bodem sterk afhankelijk is van de beschouwde ziekte: een bodem die ziektewerend is tegen de ene pathogeen, kan toch gevoelig of ziektebevorderend zijn voor een andere pathogeen. Iedere bodem is in dat opzicht in zekere mate ziektewerend, of ziektewerend te maken.

Zoals besproken in [A.2.3.](#), wordt de ziektewerendheid van een bodem in eerste instantie bepaald door het functioneren van het bodemvoedselweb. Deze biologische component van ziektewerendheid wordt vaak opgedeeld in twee categorieën, zijnde algemene en specifieke ziektewerendheid.

Algemene ziektewerendheid ontstaat door concurrentie tussen de pathogenen en het bodemleven om (energierijke) nutriënten, of door predatie of parasitisme. Competitie door zogenaamde pre-emptieve (voorafgaande) kolonisatie van zowel boven- als ondergrondse plantendelen kan aanvallen van pathogenen afslaan. Zo blijkt de infectie van plantenwortels met mycorrhizae effectief in het verhinderen van de toegang tot de wortels door andere pathogene schimmels. Door energiestress bij pathogenen als gevolg van deze processen is het mogelijk dat de kieming of celdeling van sporen afgeremd worden. Deze algemene ziektewerendheid is het resultaat van grote bodembiodiversiteit, en dus gerelateerd aan de activiteit van de totale microbiële biomassa. Ook geïnduceerde resistentie, zijnde het opwekken van een algemene weerstandsreactie in de plant door de aanwezigheid van micro-organismen, kan een vorm van algemene ziektewerendheid zijn.

Specifieke ziektewerendheid is gerelateerd aan de activiteit van één of enkele populaties organismen die antagonistisch (tegenstrijdig) werken in een bepaald stadium van de levenscyclus van één of enkele pathogenen. Ook hier kan de competitie om macro- of micronutriënten een belangrijke rol spelen, evenals de concurrentie om organisch substraat of om kolonisatieruimte. Verder kan specifieke ziektewerendheid ondermeer veroorzaakt worden door degradatie van pathogene sporen, productie van antimicrobiële stoffen of inactivering van zaad- of wortellexudaten noodzakelijk voor de kieming van pathogene sporen.

Er wordt verondersteld dat voor elk pathogeen de ziektewerende werking van de bodem steeds bepaald wordt door het samengaan van meerdere mechanismen, met andere woorden door een bepaalde combinatie van algemene en specifieke ziektewerendheid.

In deze studie wordt hier niet verder in detail op ingegaan, maar wordt veeleer verwezen naar een afzonderlijke studie rond Functionele Agrobiodiversiteit, eveneens uitgevoerd in het kader van [het interreg project BodemBreed \(activiteit 4\)](#).

Naast deze biotische effecten, kunnen ook heel wat abiotische parameters (fysische en chemische eigenschappen en processen) een effect hebben op de ziektewerendheid van een bodem. De meest onderzochte bodemeigenschappen in dit verband zijn ^(139, 150, 203):

- pH;
- Stikstofgehalte en -vorm ($\text{NH}_4 - \text{NO}_3$);
- (organisch) koolstofgehalte;
- Gehalte, aard (stabiliteit) en omzetting van organische stof;
- Macro- en micronutriëntengehaltes: o.m. K, Mg, Na, Mn, Zn, P, Cu, Fe, B, Al, Ca;
- Bodemstructuur, waterhuishouding en aëratie;

- Bodemtemperatuur;
- Textuur.

Een aantal van deze factoren beïnvloedt rechtstreeks het voorkomen of de activiteit van pathogenen, terwijl anderen onrechtstreeks effect hebben, via hun impact op het bodemleven. Algemeen kan gesteld worden dat plantpathogene organismen gaan domineren in geval van stress (te lage of te hoge zuurgraad, nutriëntenonevenwicht, vochttekort, zuurstofgebrek). Ondanks voorgaand onderzoek, blijven het belang en de impact van elk van deze factoren moeilijk te doorgronden, temeer daar ze afhangen van de complexiteit aan interacties tussen bodemeigenschappen. Het aantal biotische en abiotische eigenschappen potentieel gerelateerd aan ziekteverendheid is dan ook bijzonder groot. Hier wordt bovendien nogmaals benadrukt dat eenzelfde eigenschap zowel een positief, negatief als neutraal effect kan hebben, afhankelijk van de omstandigheden en de beschouwde pathogeen. Een eenduidige set van optimale condities voor ziektevering in alle situaties bestaat dus niet, maar voldoende OS, een goede bodemvruchtbaarheid en een goede bodemstructuur leiden doorgaans tot een goed functionerend bodemvoedselweb en zo tot een gezonde bodem.

A.6.3.2. Bodemweerbaarheid tegen plagen

De plaagwerendheid van de bodem is nog weinig onderzocht. Verwacht wordt wel dat de principes zoals hiervoor uitgewerkt voor ziekteverendheid ook van toepassing zijn voor plaagwerendheid, en dat ook hier het *bodemleven* en *OS-gehalte* een cruciale rol spelen.

Daarnaast hebben bij plagen ook vaak de ligging van het perceel (bv. nabijheid van grasstrook, andere gewassen of bos) of de aanwezigheid van schuilplaatsen en holten aan het oppervlak een effect.

Belangrijk om op te merken is echter dat de ondergrondse bodemcondities slechts relevant zijn indien de plaag minstens een gedeelte van de levenscyclus in de bodem doorbrengt, wat niet steeds het geval is. Wel kan een gezonde bodem met voldoende nutriënten ook de weerbaarheid van het gewas zelf tegen plaagorganismen vergroten.

A.6.3.3. Bodemweerbaarheid tegen onkruid

Onkruiden zijn alle planten die om diverse redenen als ongewenst beschouwd worden en tot opbrengstvermindering, contaminatie of oogstproblemen kunnen leiden. Net als voor plaagwerendheid het geval is, wordt de druk en aard van voorkomende onkruiden minstens even sterk bepaald door externe teelttechnische maatregelen als door interne bodemeigenschappen. Het zijn dus ook teeltkeuze en rotatie, bodembewerking of bemesting die in sterke mate de aan- of afwezigheid, de hoeveelheid en het type van onkruiden beïnvloeden. Deze thematiek komt aan bod in [Deel C](#) van deze studie.

Daarnaast zijn de bodemeigenschappen die de soortensamenstelling en graad van veronkruiding rechtstreeks beïnvloeden voornamelijk ⁽¹⁷¹⁾:

- Bodemvruchtbaarheid;
- pH;
- Waterhuishouding;
- OS-gehalte.

A.6.4. Duurzame economische output

(20,139,223)

Voor een economisch gunstig resultaat van de landbouwproductie, streeft men naar een maximalisatie van de gewasopbrengst (biomassaproductie) met een hoge gewaskwaliteit, een stabiele opbrengst jaar na jaar en een minimalisatie van de kosten.

Dergelijke positieve economische output hangt af van bv. het uitgangsmateriaal (zaai- en plantgoed) en de teelttechnische maatregelen, waar in [Deel C](#) van deze studie verder op ingegaan wordt. Wat

echter de bodemgerelateerde aspecten betreft, kan die output in principe beschouwd worden als het resultaat van een goede score op alle voorgaande criteria. Dat betekent dat voor een optimale opbrengst de bodem op het juiste tijdstip en op de goede manier bewerkt kan worden, er voldoende nutriënten op een efficiënte manier benut kunnen worden, en de onkruid-, plaag- en ziektedruk minimaal zijn, en dit zonder de bodemkwaliteit of omgeving op lange termijn in het gedrang te brengen.

De belangrijkste hiermee gerelateerde aspecten worden ter conclusie nog even opgesomd.

A.6.4.1. Maximale opbrengst

Voor een maximale opbrengst zijn zowat alle aspecten binnen het geïntegreerde geheel van de voorgaande criteria van tel. Toch wordt hier in het bijzonder de aandacht gevestigd op het belang van:

- De mogelijkheid voor een maximale wortelontwikkeling van het gewas, en de daaruit volgende optimale opname van water en nutriënten. Hiertoe zijn vooral een goede bodemstructuur, voldoende porositeit en afwezigheid van verdichting belangrijk;
- Een goed functionerend bodemvoedselweb en voldoende hoog OS-gehalte;
- De afwezigheid van bodem- of plantverlies door erosie en run-off.

A.6.4.2. Kwaliteitsvolle opbrengst

Zowel inwendige (bv. structuur, samenstelling) als uitwendige (bv. vorm, grootte, hoeveelheid tarra) gewaseigenschappen maken samen de definitieve kwaliteit uit ⁽⁴⁰⁵⁾, met specifieke criteria afhankelijk van het beschouwde gewas. Ook de impact van specifieke bodemeigenschappen en –processen op een kwaliteitsvolle opbrengst is gewasafhankelijk. Bodemgerelateerde aspecten die vaak van belang zijn, zijn ondermeer:

- Optimale nutriëntengehaltes en –verhouding (niet te weinig maar zeker ook niet te veel);
- Goede bodemstructuur en daarmee gerelateerde optimale beluchting en watervoorziening;
- Gezonde bodem gekenmerkt door afwezigheid van ziektes en plagen;
- Afwezigheid van storende lagen of verdichting (zeker bij wortelgewassen);

A.6.4.3. Stabiele opbrengst

Voor een stabiele opbrengst is het belangrijk dat de bodem een goed bufferend vermogen heeft, en de gevolgen van stress (bv. droogte, verontreiniging, uitputting) weet te beperken. Vooral vochtretentie, nutriëntenretentie en een stabiele bodemstructuur (zuurstofbeschikbaarheid) zijn van belang.

Bij die stabiliteit van de bodem spelen twee belangrijke eigenschappen: (1) het op peil blijven van de bodemfuncties en structuur bij verstoring (weerstand – Eng. *resistance*) en (2) een snel herstel na verstoring (veerkracht – Eng. *resilience*) ⁽⁸⁸⁾.

Een goed functionerend bodemvoedselweb, gekenmerkt door een grote biodiversiteit, wordt beschouwd als hét criterium bij uitstek voor een stabiel bodemsysteem.

A.6.4.4. Minimale kosten

Wat betreft de bodemgerelateerde aspecten rond kostenminimalisatie, kan men opnieuw veronderstellen dat een geïntegreerd goede score op de voorgaande criteria zal leiden tot minimale kosten. Denk daarbij bv. aan:

- Hoge brandstof- en arbeidsefficiëntie bij een vlotte bewerkbaarheid;
- Minimale input van meststoffen bij een efficiënte nutriëntenlevering en –retentie;
- Minimale input van gewasbeschermingsmiddelen bij een hoge bodemweerbaarheid tegen ziektes, plagen en onkruid.

B. Evaluatie van bodemkwaliteit & landbouwkundige geschiktheid

Men kan dan wel begrijpen welke bodemeigenschappen en –processen op welke manier de bodemkwaliteit en landbouwkundige geschiktheid beïnvloeden, de vraag blijft hoe die kwaliteit en geschiktheid in de praktijk geëvalueerd kunnen worden. Hiervoor zijn meetinstrumenten nodig. De bedoeling van dit onderdeel is hoofdzakelijk om een set van regelmatig gebruikte indicatoren (bv. in proeven, door de landbouwer zelf, voor verplichte staalname) voor te stellen en te evalueren: wat is hun betekenis en waarde, welke informatie brengen ze, hoe moet men die informatie interpreteren en wat kan men er verder mee aanvangen? Waar mogelijk wordt bijzondere aandacht besteed aan streefzones, grens- of referentiewaarden.

Voor een aantal bodemeigenschappen en indicatoren worden enkele aspecten rond meetmethodiek geschetst. Dit ook om duidelijk te maken hoe weinig vanzelfsprekend dergelijke meting vaak kan zijn en welke impact ze kan hebben op het meetresultaat en de interpretatie daarvan. Voor een volledig en geactualiseerd overzicht van meetmethodes wordt echter naar gespecialiseerde vakliteratuur verwezen.

In een laatste stuk (B.8) worden voor een selectie van cruciale bodemeigenschappen en –processen ook de bestaande situatie en trends in het projectgebied summier beschreven.

B.1. Bodembeoordeling: van laboratorium tot veldmethoden

Kwantitatieve metingen van chemische, fysische en biologische bodemeigenschappen in het laboratorium kunnen een duidelijk beeld scheppen van de bodemkwaliteit of landbouwkundige geschiktheid. Ze worden vaak voor onderzoek of monitoring voor de overheid gebruikt. Voor landbouwers daarentegen, zijn kwantitatieve metingen van fysische en biologische bodemeigenschappen vaak te duur. Bovendien is het moeilijk om een referentiepunt vast te leggen, omdat veel eigenschappen zeer variabel in de tijd en afhankelijk van beheermaatregelen zijn^(45,95,172,392). Voor de beoordeling van de fysische en biologische bodemeigenschappen van landbouwpercelen maakt men vaak gebruik van **semi-kwantitatieve** (bv. veldtestkits) of **kwalitatieve** (bv. visuele beoordeling) methoden⁽⁹²⁾. Een regelmatige beoordeling door te zien, te voelen en te ruiken vraagt weinig inspanning. Ondanks de lagere nauwkeurigheid kan een zintuiglijke beoordeling reeds veel moeilijkheden voor de landbouwer voorkomen.

Onafhankelijk van de aard en complexiteit van de gebruikte methode is het natuurlijk belangrijk dat men die beoordeling juist weet te **interpreteren**. Ervaring en voeling met het terrein zijn hier zeer belangrijk, maar het is toch interessant indien men op een vrij objectieve manier de huidige toestand zou kunnen afwegen ten opzichte van een soort referentie (streef)toestand. Een evaluatie moet een signaal geven, maar moet de landbouwer ook kunnen aanzetten tot het ondernemen van bepaalde maatregelen om de situatie te verbeteren of behouden.

B.2. Indicatoren en oriënterende waarden

Vandaag de dag wordt veel aandacht besteed aan het zoeken naar waardevolle indicatoren om de bodemtoestand te beschrijven. De term “**indicator**” is een ruim begrip waarvan de betekenis op erg uiteenlopende manieren ingevuld kan worden. Algemeen kan gesteld worden dat men met een indicator op een betrouwbare wijze de toestand van een bepaald systeem wil omschrijven of de grootte van een bepaalde parameter of probleem wil bepalen (zonder daarom noodzakelijkerwijs die parameter of dat probleem zélf te meten). Een indicator genereert niet noodzakelijk een exact getal, maar geeft wel een **signaal** over het systeem dat men onderzoekt. Daarbij probeert men in de mate van het mogelijke een antwoord te vinden op de volgende vragen:

- Wat is de toestand van ons systeem?
- Evolueren we in de juiste, vooropgestelde richting?
- Hoe ver zijn we nog van ons doel verwijderd?
- Volstaan de huidige acties of is er meer nodig?

Het doel van een indicator is dus om de complexe realiteit op een relatief eenvoudige manier toegankelijk te maken voor de gebruiker als een communicatie- en beslissingsinstrument ^(47,156,268,315).

Omwille van de vaak grote variabiliteit gedurende het jaar moeten voor een aantal bodemeigenschappen de metingen en beoordelingen elk jaar in hetzelfde seizoen uitgevoerd worden. Bij voorkeur gebeurt dit net voor of enkele maanden na de inzaai omdat de landbouwpercelen dan een optimaal vochtgehalte hebben en gestabiliseerd zijn na de verstoring door bodembewerkingen ⁽³³⁶⁾. Dit is dan ook de periode om de resultaten van de percelen ten opzichte van de streefwaarden te vergelijken. Kijk daarbij liefst zo ver mogelijk terug: zijn er bepaalde trends te herkennen? Welke veranderingen zijn er? Zijn die te verklaren?

Op basis van literatuur en de correlaties gelegd in [A.6](#), wordt hier een set van regelmatig gebruikte indicatoren voor bodemkwaliteit en landbouwkundige geschiktheid (op perceelsniveau) geëvalueerd. Voor betekenis en belang van deze indicatoren wordt ook verwezen naar de bespreking onder [A.2](#). Een aantal van de besproken indicatoren is eerder geschikt voor het onderzoek, maar er wordt vooral gefocust op “**effect-gebaseerde**” en “**resultaat-georiënteerde**” indicatoren. Deze beschrijven de toestand van de bodem en geven voor de landbouwer een duidelijk signaal of hij in de juiste, vooropgestelde richting evolueert ⁽⁴⁷⁾. Dergelijke indicatoren hebben als voordeel dat de landbouwer zijn beheermaatregelen kan aanpassen, rekening houdend met zijn specifieke omstandigheden. Zowel bodemeigenschappen als direct meetbare landbouwkundige parameters (bv. opbrengst) kunnen als indicatoren fungeren.

Verder wordt ook een onderscheid gemaakt tussen twee grote types van indicatoren, met gradaties in nauwkeurigheid, complexiteit en haalbaarheid:

1. **Metingen van bodemeigenschappen:** deze kwantitatieve en semi-kwantitatieve indicatoren worden algemeen gekenmerkt door de grootste nauwkeurigheid, betrouwbaarheid en hoeveelheid informatie;
2. **Zintuiglijke waarnemingen:** deze kwalitatieve indicatoren worden door adviseurs gebruikt om landbouwers van de toestand van hun bodems bewust te maken, maar kunnen ook door de landbouwers zelf gebruikt worden. Ze zijn vaak gerelateerd aan de **fysische kwaliteit** van de bodems. Sommige landbouwers zijn zich hier sterk van bewust, en suggesties voor indicatoren werden dan ook reeds gemaakt door landbouwers zelf. Het gaat hier niet enkel over bodemgerelateerde indicatoren zoals kruimeligheid of aanwezigheid van regenwormen, maar ook over plantgerelateerde (bv. wortelontwikkeling) of procesgerelateerde indicatoren (bv. aanwezigheid van erosiegeulen of onkruiden ⁽³⁶⁷⁾). Deze proxy's vormen een alternatief indien de wetenschappelijke methode niet toepasbaar is voor landbouwers wegens te moeilijk of te duur. Denk bv. aan het gebruik van een prikstok in plaats van een penetrometer om een verharde zone vast te stellen. Het is van groot belang dat landbouwers zelf op regelmatige basis hun bodem evalueren en dus de vooropgestelde indicatoren willen of kunnen gebruiken.

Bij zintuiglijke waarnemingen is het moeilijker om evoluties vast te stellen of percelen te vergelijken. Om op basis van deze kwalitatieve methoden een goed beeld van de bodemkwaliteit te kunnen vormen, is het noodzakelijk om verschillende parameters samen te beoordelen ^(246,277). Dit principe wordt ondermeer gehanteerd in semi-kwantitatieve veldtestkits en kwalitatieve methoden zoals die van “De Kuil”, de brochure van PCBT of “Visual Soil Assessment” (VSA) ^(97,226,336).

Hoewel vaak moeilijk uiteen te houden, wordt hier een onderscheid gemaakt tussen drie types oriënterende waarden voor de beschreven indicatoren:

- De **referentiewaarden** (in de tekst met gestippelde onderlijning) zijn de waarden die typisch voorkomen onder onze klimaat- en bodemomstandigheden. Dit kan een range of gemiddelde waarde zijn. Hiervoor is dikwijls objectieve informatie terug te vinden;
- De **grenswaarden** (volle onderlijning) van de indicatoren zijn een noodzakelijke minimale of maximale waarde. Dit kan ook wettelijk gesteld zijn. Deze waarden zijn vaak situatiegebonden, en daarom moeilijker te veralgemenen;

- Een **streefzone** (volle onderlijning) bakent een zone van optimale toestand van de indicator af. Dit is wellicht moeilijkst te definiëren, aangezien deze waarden sterk afhankelijk zullen zijn van de beschouwde omstandigheden en doelstellingen. Bij voorkeur kan men aangeven of de toestand die de indicator kenbaar maakt te beïnvloeden is, en zo ja op welke termijn.

Een overzicht van deze oriënterende waarden is, waar mogelijk, voor de besproken indicatoren terug te vinden in **Tabel 2** (referentiewaarden) en **Tabel 3** (grens- en streefwaarden).

B.3. “Chemische” bodemgerelateerde indicatoren

B.3.1. Organische stof

Betekenis en waarde

(6,48,173)

Uit de voorgaande tekst en Figuur 10 blijkt duidelijk dat het organische stof (OS)-gehalte in de bodem erg belangrijk is. Het bepaalt voor een belangrijk deel de bodemvruchtbaarheid, de structuur en daarmee samenhangend de drainage en doorlaatbaarheid. Daarnaast betekent meer OS in de bodem meer voedsel voor het bodemleven ([A.2.1.1](#)). Naar landbouwkundige geschiktheid toe is OS ondermeer belangrijk voor de bewerkbaarheid en nutriëntenvoorziening ([A.6](#)). De belangrijkste stikstofpool (voorraad) in de bodem is de organische.

Bodem OS is een zeer heterogeen mengsel dat opgebouwd is uit macromoleculaire structuren, en sterke bindingen met de minerale fase kan aangaan. Daardoor is bodem OS een bijzonder moeilijk te karakteriseren substantie. De impact van OS op de bodemkwaliteit en landbouwkundige geschiktheid wordt niet alleen door de hoeveelheid aan OS bepaald, maar vooral door zijn dynamiek en kwaliteit. Zodoende zijn er verschillende indicatoren die het **totale OS-gehalte of een bepaalde fractie ervan** bepalen.

Potentiële indicatoren en oriënterende waarden

1. Kwantitatieve metingen

(6,48,173,182,204,223,228,249,280)

In de praktijk wordt een brede waaier aan meetmethodes toegepast. Wat de metingen van het totale gehalte betreft, wordt in sommige gevallen het volledige OS-gehalte bepaald, en in andere het OC-gehalte. Hierna worden enkele veelgebruikte methodes in Nederland en Vlaanderen toegelicht.

Meting organisch stofgehalte (OS)

- **Gloeiverlies** (Eng. *Mass loss on ignition*): hierbij wordt de OS berekend uit het massaverlies bepaald na verhitting bij temperaturen tussen 450 en 900°C (afhankelijk van de methode), na een aantal correcties (bv. voor waterverlies uit kleiplaatjes). De gloeiverliesmethode wordt vaak toegepast in Nederland op zandgrond ⁽¹¹⁹⁾.

Meting organisch koolstofgehalte (OC) ⁽⁴¹⁾:

- **Chemische oxidatie**: Dit is de klassieke methode waarbij de koolstof (C) uit OS wordt omgezet tot CO₂, vaak aan de hand van kaliumdichromaat. De basismethode, waarop veel varianten bestaan, is beschreven door Walkley & Black ⁽⁴³⁷⁾. De oxidatie met de Walkley & Black-methode is echter niet volledig waardoor een correctiefactor nodig is (meest gebruikt 4/3). De methode van Springer and Klee ⁽³⁴⁹⁾ bevat een gecontroleerde verhittingsstap waardoor bijna alle C gemeten kan worden.
- **Droge verbranding** (Eng. *dry combustion*): Hierbij wordt C verbrand waardoor CO₂ vrijkomt. De hoeveelheid CO₂ wordt dan bepaald met een infrarooddetector. Doorgaans wordt in een eerste stap het totale (organische én anorganische) koolstofgehalte (TC) bepaald. Een extra zuurbehandeling verwijdert de anorganische fractie onder de vorm van CO₂. Het verschil tussen beide maakt de bepaling van de OC-fractie mogelijk. Hiertoe behoort ook de zogenaamde elementairanalyse. Droge verbranding wordt meer en meer gebruikt ter vervanging van de chemische oxidatie-methode.

De omzetting van OC naar OS gebeurt meestal met een conversiefactor 1,724. Hierbij wordt verondersteld dat OS 58% C bevat. Het is echter aangetoond dat het C-gehalte van OS sterk kan variëren. Studies wijzen uit dat de conversiefactor van Belgische bodems hoger is (1,91-1,98) ^(340,400).

Bij elk van deze methodes wordt voorafgaand aan de analyse het bodemstaal gedroogd en gezeefd om het ruwe organisch materiaal (OM) te scheiden van de eigenlijke bodem OS. De zeefgrootte kan variëren tussen 250 µm (ISO-norm) en 2 mm. Het is belangrijk te beseffen dat geen enkele methode perfect is en dat de gebruikte methode het bekomen resultaat zal beïnvloeden (zie ook Kader 2).

De opbouw en afbraak van OC in de bodem zijn moeilijk te voorspellen. Er zijn dan ook diverse computermodellen ontwikkeld die proberen de evolutie van het OC-gehalte in de bodem in te schatten, waaronder bv. de 'Koolstofsimulator'. Deze laat toe om zelf een onderbouwde inschatting te maken van de langetermijnevolutie van het OC-gehalte in akkerbouwpercelen in functie van de toegepaste teeltrotatie en bemestingspraktijk ⁽⁶⁾. In combinatie met de gemeten OS- of OC-gehalten kunnen dergelijke modellen gebruikt worden om het OS- of OC-gehalte in de streefzone te bereiken of te behouden.

Het afbakenen van een algemene streefwaarde voor het OC-gehalte is echter niet evident. Tussen vele bodemeigenschappen en het OC-gehalte bestaan kwantitatieve verbanden, maar de meeste relaties zijn complex en niet lineair (zie [A.4.1](#)). Zelfs het algemeen vooropstellen van een minimaal gehalte aan OC is bijzonder moeilijk. Voor het beoordelen van de bodemvruchtbaarheid en de berekening van de bemestingsadviezen werden op basis van jarenlange proefveldwerking en praktijkervaring streefzones opgesteld die in de eerste plaats een goede bodemvruchtbaarheid beogen, maar dus niet specifiek op andere bodemkarakteristieken zoals bodemfysische eigenschappen van toepassing zijn.

De voorgestelde **streefzones voor het OC-gehalte in akkerbouwpercelen** (in Vlaanderen) zijn afhankelijk van de textuur ⁽⁴⁸⁾ (meer streefzones in Tabel 3):

- minimum tussen 1,1 en 1,9 % in een zandbodem;
- minimum tussen 1 en 1,6 % in leem en zandleembodems;
- minimum tussen 1,6 en 2,1 % voor kleibodems.

Voor tuinbouwpercelen in Vlaanderen komt de minimale grenswaarde van het OC-gehalte ongeveer overeen met de hoogste waarde van de streefzone voor akkerbouwpercelen ⁽⁴³⁵⁾:

- minimum 1,8 voor zandgronden;
- minimum 1,6 voor poldergronden (kleigronden);
- minimum 1,2 voor gronden die geen zand- of poldergronden zijn.

Een hoog OC-gehalte kan echter tot OC-verliezen door uitspoeling leiden. In de Franse methode van BRDA-Herody streeft men dan ook niet onvoorwaardelijk naar een zo hoog mogelijk OC-gehalte maar gaat men uit van het "organo-mineralencomplex". Dit complex wordt bepaald door de natuurlijke aanwezigheid en samenstelling van actieve mineralen in de bodem (voornamelijk klei en fijne leem), de vorm en het gedrag van de OS in de bodem en het gedrag van de "bindende elementen" ijzer en calcium. Uitgangspunt is dat niet meer OS aanwezig zou moeten zijn dan actief gebonden kan worden aan het mineralencomplex. Vertrekkende van de verhouding tussen deze elementen en observatie van het bodemprofiel, worden de bodemvruchtbaarheid van biologische landbouwbodems bepaald en beheermaatregelen voorgesteld die de bodemvruchtbaarheid optimaliseren ⁽²⁵⁸⁾. Om OC-verliezen te vermijden wordt in Nederland volgens een gelijkaardige redenering wel eens de verhouding tussen het OC-gehalte en het afslibbaar gehalte aangehaald ⁽²⁷³⁾.

De voorgestelde analyses in het labo en streefwaarden reflecteren een **gehalte** of concentratie, zijnde het gewichtsperscentage organische (kool)stof in de bodem ten opzichte van het totale gewicht van de bodemlaag. Maar om een **voorraad** of hoeveelheid per oppervlakte-eenheid te bepalen, moeten de dikte en schijnbare bodemdichtheid van bodemlagen in het veld in overweging genomen worden. Zo

is de **OC-voorraad** (Eng. *organic carbon stock*) een massa (ton/ha) die als volgt berekend kan worden:

$$OC\text{-voorraad} = [\text{Gewicht van de bodemlaag (ton/ha)} \times \text{OC-gehalte in de bodemlaag (\%)}] / 100$$

Waarbij het gewicht van de bodemlaag gelijkgesteld wordt aan $100 \times$ de dikte van de bodemlaag (cm) $\times$ de schijnbare bodemdichtheid van de bodemlaag (g/cm³)⁽¹³¹⁾.

Hoewel het **OS- of OC-gehalte** een vaak gebruikte indicator is voor bodemkwaliteit en landbouwkundige geschiktheid, houdt het een aantal beperkingen in en kunnen al te grote conclusies over mogelijke gevolgen voor landbouw en milieu niet getrokken worden op basis van dit gehalte alleen. Het OS-gehalte is weliswaar een integrale indicator van bodemkwaliteit, maar tevens een **ruwe indicator**. Ten eerste reageert het traag op veranderingen in beheermaatregelen en/of omstandigheden: het effect van landbouwkundig handelen leidt pas op een termijn van meerdere jaren tot een wezenlijke verandering. Ook de relatief grote meetfout draagt er, vooral bij de lagere OS-gehalten in minerale gronden, toe bij dat veranderingen in het OS-gehalte moeilijk zichtbaar worden. Hierdoor is de signaleringswaarde van een trendanalyse beperkt, zowel voor het verklaren van een trend als voor het geven van een voorspelling van het OS-gehalte. Anderzijds biedt het OS-gehalte geen maat voor de kwaliteit van OS (in termen van stabiliteit of reactiviteit).

Als maat voor de **kwaliteit** van OS zijn metingen van **labiele organische koolstoffracties** interessant, aangezien deze beschouwd kunnen worden als goede indicatoren voor bodemkwaliteit, bodemvruchtbaarheid en nutriëntenvoorziening. Een belangrijk voordeel is dat ze op korte termijn gevoelig zijn voor veranderingen in bodembeheer⁽¹⁸⁰⁾. Het nadeel is dan weer dat er weinig informatie is over de precieze impact van die beheermaatregelen en de relatie met de structuur van de bodem. Er zijn verschillende indicatoren gerelateerd aan de kwaliteit van het OS en de nutriëntenbeschikbaarheid^(149,166,167,180,181).

- **Potentieel Mineraliseerbare Stikstof (N) en Koolstof (C) (PMN en PMC)**: deze indicatoren worden voor monitoring-doeleinden en N-adviezen gebruikt. PMC meet de bruto emissie van C. Met PMN wordt het netto resultaat gemeten van mineralisatie- en immobilisatieprocessen. De patronen van PMC en PMN hoeven dus niet noodzakelijkerwijs met elkaar overeen te komen. PMN is minder gevoelig voor bodemmanagement en seizoensinvloeden dan PMC. Beide indicatoren geven eerder een indicatie van de omvang van de pool labiele OS en N dan van de potentieel netto mineralisatie onder veldomstandigheden⁽⁴⁸⁾.
- **Vrij particulier organische stof (Eng. free particulate organic matter, fPOM)**: wordt verkregen door natte zeping van de bodem (>53 µm) en is een belangrijke component van de labiele OC-pool^(48,338).
- **C/N verhouding**: wordt berekend uit de C_T- en N_{org}-gehalten. Deze indicator wordt veel als maat voor de afbreekbaarheid van OS gebruikt. Van materialen rijk aan N en dus met een lage C/N verhouding is bekend dat ze gemakkelijker afbreken dan materialen die arm zijn aan N. Tijdens de afbraak van materialen met een hoge C/N verhouding, kan immobilisatie van N plaatsvinden als daarvoor voldoende minerale N beschikbaar is. De afbraak van materialen met een hoge C/N verhouding blijft beperkt als geen minerale N beschikbaar is. Evenwel varieert de C/N verhouding van landbouwbodems binnen een vrij nauw bereik van 10-12, en zijn het vooral natuurlijke bodems (zoals bosbodems) waar deze C/N verhouding een doorslaggevende rol speelt. In bepaalde omstandigheden kan het historische landgebruik nog een bepalende invloed hebben op de C/N verhouding van landbouwbodems. Zo vonden Sleutel et al.⁽³⁴¹⁾ dat akkers in de zandstreek met een historisch heidebeheer nog steeds een hogere C/N verhouding bezitten (gemiddeld 14,5) dan akkers die al eeuwen een landbouwlandgebruik kennen (gemiddeld 10,8). De C/N verhouding brengt een hoeveelheid en verhouding in massa in rekening, maar biedt geen verklaring voor verschillen in de afbraaksnelheid die mede door verschillen in de kwaliteit van OS veroorzaakt worden. Dit verklaart mogelijk de praktijkervaring dat gronden met eenzelfde C/N verhouding een andere N-levering kunnen laten zien. Zie ook [A.2.1.](#)⁽⁴⁸⁾

- **Dissolved Organic Carbon en Nitrogen (DOC en DON)**: ook deze (vaak erg variabele) indicator geeft informatie over de makkelijk afbreekbare OS. Algemeen wordt aangenomen dat DOC en DON snel uitspoelen naar grond- en oppervlaktewater. De N-vorm kan verantwoordelijk zijn voor 50 % van de N-uitspoeling in landbouwpercelen. Hoewel het een substraat betreft voor microbiële activiteit, is slechts 10-40 % ervan gemakkelijk afbreekbaar aangezien de pool door stabiele humeuze stoffen wordt gedomineerd. In de grond kan de in water opgeloste DOC de belangrijkste C-bron zijn voor micro-organismen die een waterige omgeving vereisen.
- **Hot Water-extractable Carbon (HWC)**: is eveneens een maat voor de gemakkelijk afbreekbare OS. HWC kan afkomstig zijn uit OS die zwak gebonden is aan kleimineralen of humusmoleculen, betrokken bij de binding van aggregaten of afkomstig van wortellexudaten. Deze C-pool is zodoende waarschijnlijk betrokken bij aggregaatvorming en –stabiliteit. Naar verwachting is HWC labieler en meer gerelateerd aan de microbiële activiteit dan DOC. Decompositiestudies toonden aan dat HWC zeer labiel is. De HWC omvat ongeveer 3-5 % van de totale C, en een gram bodem bevat gemiddeld 1.000 µg HWC ⁽⁴⁸⁾.

2. **Zintuiglijke waarnemingen**

De kleur van de bodem is een visuele indicator voor het OS-gehalte. Immers hoe donkerder de bodem, hoe meer OS in de bodem aanwezig is.

Kader 2: Effect van verschillen in meetmethodes op het bekomen resultaat.

De keuze voor een bepaalde meetmethode kan een belangrijke invloed hebben op het gemeten resultaat. Het is daarom, zeker bij een vergelijking van resultaten, steeds noodzakelijk om een duidelijk beeld te kunnen vormen van de gebruikte methode, de grootte die gemeten wordt (denk bv. aan organische stof versus organische koolstof), en de eenheid waarin de resultaten uitgedrukt worden. Soms bestaat de mogelijkheid om resultaten van een afwijkende methode om te zetten, zodat metingen vergeleken kunnen worden. Deze omzettingfactoren zijn echter vaak benaderend.

Aangezien bepaalde bodemeigenschappen niet constant zijn, maar variabel doorheen de tijd of afhankelijk van weers- en bodemomstandigheden, kunnen niet alleen de meetmethode, maar ook de meetomstandigheden een impact hebben op het bekomen resultaat. Daarom is het eveneens van groot belang om de meetprocedure zoveel mogelijk te standaardiseren, en in elk geval de omstandigheden uitvoerig te beschrijven bij de weergave van de resultaten.

Tot slot: de betrouwbaarheid en nauwkeurigheid van een analyse staat of valt met een zorgvuldige en correcte staalname en -behandeling.

B.3.2. pH

(137,223,280,393)

Betekenis en waarde

De pH van de bodem is een indicator voor de beschikbaarheid van nutriënten in de bodem en de opneembaarheid ervan door de gewassen. Daarnaast beïnvloedt de pH de bodemstructuur, het bodemleven en ziekteweerbaarheid van de bodem. Zie ook [A.2.1.2](#).

De pH is een bodemeigenschap die **snel** kan **veranderen**, ook tijdens het groeiseizoen. Een mogelijke oorzaak hiervan is de verzurende werking van ammoniumhoudende minerale meststoffen. Zodoende is het belangrijk om de pH regelmatig te bepalen.

Potentiële indicatoren en oriënterende waarden

In de praktijk worden verschillende kwantitatieve methodes gebruikt om de pH-waarde te bepalen. In België worden de pH-kaliumchloride (KCl) of (eerder uitzonderlijk) de pH-water (H₂O) gebruikt, waarbij respectievelijk een oplossing van 1M kaliumchloride of water aan het bodemstaal toegevoegd worden. Met de pH-water worden enkel de vrije H⁺ ionen gemeten, terwijl met de pH-KCl ook de H⁺ ionen gebonden aan de klei- en humusdeeltjes in rekening gebracht worden. Hierdoor ontstaat een

meetverschil en kan het resultaat van de pH-KCl methode tussen 0,3 en 1,1 (gemiddeld 0,7) eenheden lager liggen dan dat van pH-water. In Duitsland en Nederland (BLGG laboratorium) meet men de pH doorgaans in een 0,01M calciumchloride (CaCl_2) extract. Vaak zijn er grote verschillen in de verhouding bodem/oplossing: in België is dit doorgaans 1/5, in Nederland vaak 1/2. Meetresultaten uit België en Nederland zijn daarom niet gelijk, maar omzetting is mogelijk.

Planten hebben een voorkeur voor een neutrale tot licht zure bodem. De optimale bodem-pH wordt in eerste instantie bepaald door de bodemtextuur en het bodemgebruik ⁽⁴²²⁾.

Voor een akkerperceel ligt de **streefzone** van de pH-KCl (extractie met 1M KCl, verhouding bodem/KCl 1/2) in **Nederland** tussen 4,8 en 6,6, afhankelijk van textuur en OS-gehalte. Hoe hoger het zand- en OS-gehalte, hoe lager de streefwaarde van de pH. Groenten hebben de voorkeur voor een iets hogere pH, tussen 5,3 en 6,9 ⁽²²⁴⁾.

Voor groentepercelen in **Vlaanderen** bv. ligt de **streefzone** van de pH-KCl (Extractie met 1M KCl, verhouding bodem/KCl 1/5) als volgt ⁽³⁰²⁾ (meer streefzones in Tabel 3):

- Zand: 5,0-5,5
- Zandleem: 5,5-6,0
- Leem: 6,0-6,5
- Klei: 7,0-7,5

Daarnaast varieert de pH binnen deze streefzone per teelt. Voor kalkminnende teelten (bv. prei, selder, biet, klaver, luzerne, koolzaad) wordt het hoogste uiteinde van de streefzone nagestreefd, voor zuurminnende teelten (bv. haver, rogge, aardappel) eerder het laagste uiteinde ⁽⁴²²⁾.

B.3.3. Kation uitwisselingscapaciteit (CEC)

Er bestaan meerdere kwantitatieve methodes om CEC te meten, waarbij men de totale uitwisselingscapaciteit, de uitwisselingscapaciteit van de minerale fractie of de uitwisselingscapaciteit van OS bepaalt. Het principe is algemeen dat van een percolatie-techniek, waarbij men de geadsorbeerde kationen vervangt door een overmaat van een ander kation (vaak ammonium (NH_4^+), K^+ , zilver (Ag^+) of barium(Ba^{2+})). De afname van dat vervangend kation is dan een maat voor de CEC. Zoals ook het geval kan zijn bij andere bodemparameters, is het voor CEC van groot belang om steeds de meetmethode te specificeren, aangezien het resultaat sterk afhankelijk is van de gebruikte methode en omstandigheden (zie ook Kader 2). Zo is CEC ook sterk pH-afhankelijk, waardoor vaak een bufferoplossing met een neutrale pH gebruikt wordt. Het is daarbij belangrijk te beseffen dat de werkelijke CEC van de bodem in belangrijke mate kan afwijken van de gemeten CEC onder labomstandigheden, omdat de pH bij analyse niet overeenkomt met de pH onder veldomstandigheden.

Voor plantenproductie is de **minimum grenswaarde** van de uitwisselingscapaciteit van de minerale fractie plus organische stof **10 cmol(+)/kg bodem** ⁽²⁸⁵⁾.

B.3.4. Nutriëntengehaltes en -beschikbaarheid

(189,191,223,393)

Stikstof: Potentiële indicatoren, oriënterende waarden en bemestingsadvies

Om een voldoende bodemvruchtbaarheidsniveau te bereiken of te behouden, moet men zorgen voor een goed evenwicht tussen aanvoer en verliezen van het nutriënt. Een correcte bemesting houdt met andere woorden op zijn minst rekening met de vraag van de plant, de reeds bestaande bodemvoorraad (tot de bewortelingsdiepte) en de mineralisatie (van bodem OS, van mest enzovoort) tijdens het jaar.

Bij het berekenen van N-bemestingsadviezen wordt met deze verschillende N-pools rekening gehouden. Zie daarvoor bv. de NDICEA methode van het Louis Bolk Instituut (Nederland) ^(251,387), de N-index methode van de Bodemkundige Dienst van België ⁽⁴⁹⁾ en het Stikstofbijmestingsysteem (NBS,

België) bij groenten ⁽³²⁴⁾. Bij deze methoden wordt de N-mineralisatie geschat aan de hand van de hoeveelheid OS in de bodem. Alternatieven om de mineraliseerbare N te bepalen, zijn incubatieproeven. Hierbij worden bodemstalen gedurende enkele weken aeroob of anaeroob geïncubeerd (bewaard in een ruimte met constante temperatuur) waarbij regelmatig het nitraat- en ammoniumgehalte van enkele bodemstalen geëxtraheerd en gemeten wordt. Deze methoden zijn echter arbeidsintensief en tijdsrovend. Ook verschillende extractiemethoden werden ontwikkeld, waaronder extractie van ammonium met KCl bij 100°C ⁽³³⁵⁾, HWC en PMN ⁽¹⁷⁴⁾ (zie ook [B.3.1](#)) om op een snelle manier een beeld te krijgen van de mineraliseerbare organische N in de bodem.

Wanneer de streefzone ongeveer bereikt is, komt een rationele bemesting grofweg overeen met het compenseren van de export door het gewas en aanvaardbare verliezen naar het milieu. Wanneer nutriëntengehaltes boven of onder die streefzone zitten, dient men op structurele wijze in te spelen op de aanwezige minerale reserves in de bodem: bij een gehalte ver boven de streefzone kan bemesting eventueel een aantal jaar achterwege blijven, bij een gehalte onder de streefzone dient tijdelijk meer toegediend te worden.

De referentiewaarden voor nutriënten zijn afhankelijk van de textuur en het percentage koolstof in de bodem. Deze worden meestal afhankelijk van de gebruikte extractiemethode bij het bemestingsadvies opgegeven. In Tabel 3 zijn een aantal vereenvoudigde streefzones weergegeven.

Fosfor: Potentiële indicatoren, oriënterende waarden en bemestingsadvies

Van nature zijn de fosforgehalten van de verschillende grondsoorten laag, namelijk 10-100 mg/100 g grond ⁽³³²⁾ (Tabel 2).

Net als voor stikstof, wordt bij de bemestingsadviezen voor het bepalen van de fosfaatgift rekening gehouden met de fosfaattoestand in de wortelzone van landbouwgronden en met de gewasbehoefte.

Er bestaan veel verschillende chemische extractiemethoden om de fosfor- of fosfaattoestand van een bodem te karakteriseren. Die extractiemethoden werden ontwikkeld om de verschillende fracties te meten voor verschillende bodemtypes ⁽³⁶⁸⁾. Door het gebruik van zoveel verschillende methodes, treedt onduidelijkheid bij de interpretatie vaak op. Merk bovendien op dat bepaalde methodes het fosfor- en andere het fosfaatgehalte bepalen. Voor verwarring tussen beide werd reeds gewaarschuwd in [A.2.1.5](#).

- **P-PAE (mg P/100g grond)**: wordt in Nederland gebruikt door het BLGG, met CaCl₂ als extractiemiddel. P-PAE wordt bepaald als indicator voor het plantbeschikbare deel van het bodemfosfaat, hoewel dit bij een minder goede structuur en beworteling niet allemaal beschikbaar is ^(202,227).
- **Pw (mg P₂O₅/L gedroogde gemalen grond)**: klassieke methode via extractie in water (bodem/water 1/60), bepaald als indicatie voor het plantbeschikbare deel van het bodemfosfaat ⁽⁴²⁶⁾. Ook de Pw geeft niet alle beschikbare fosfaat aan. De **streefzone** van Pw ligt tussen 21-30 mg P₂O₅ per l grond ^(331,332);
- **P-Al (mg P₂O₅/100g grond)**: wordt uit luchtgedroogde bodem met een ammoniumlactaat (AL) oplossing in het labo bepaald. Met deze methode wordt globaal zo'n 30 % van alle fosfaat in de bodem gemeten. In Vlaanderen dient deze methode voor stalen in het kader van derogatie (zie Kader 9) gebruikt te worden. Voor een evaluatie op perceelsniveau, wordt ze vergeleken met 7 beoordelingsklassen van de BDB bepaald voor akkerland voor de bodemlaag 0-23 cm ⁽⁵⁸⁾. De **streefzone** van P-Al ligt tussen 12 en 18 mg P₂O₅ per 100 g grond. In Nederland wordt een formule gebruikt waarmee uit P-Al en P-PAE redelijk nauwkeurig de Pw kan worden berekend. Deze berekende Pw wordt dan eveneens gebruikt om verruiming van de fosfaatgift aan te vragen;
- **P-ox (mg P₂O₅/100g grond)**: fosfaten gebonden aan Al- en Fe-(hydr)oxiden worden met extractie in ammoniumoxalaat-oxaalzuur bepaald ⁽²²⁷⁾;
- **P-Olsen (mg P/kg grond)**: vooral de fosfaten gebonden aan Al- en Fe-(hydr)oxiden worden geëxtraheerd. Deze methode meet meer fosfaat dan bv. P-Al, en ongeveer de helft van alle fosfaat. Omdat de extractievloeistof een pH van 8,5 heeft, wordt deze methode weinig gebruikt in

Nederland met zijn vaak kalkrijke gronden. Toch is het een internationaal veel gebruikte methode ⁽²⁰²⁾,

- **P-organisch (mg P₂O₅/kg grond)**: Het meten van de organische fosforfractie gebeurt via een indirecte methode. Men bepaalt de totale P-concentratie en de anorganische P-fractie (Ca-, Fe- en Al-fosfaat); het verschil tussen beide geeft dan de organische fractie weer. Twee types van methoden zijn gekend die op deze manier de organische fractie weergeven: een extractiemethode en een verbrandingsmethode ^(202,384),
- **P-totaal (mg P₂O₅/100g grond)**: Alle fosfaat, met uitzondering van die in onverweerde gesteenten, wordt gemeten door het extraheren van de grond met een mengsel van sterke zuren bij hoge temperatuur ⁽²⁰²⁾,

Naarmate de hoeveelheid in de bodem toeneemt, neemt de capaciteit om nog meer fosfaat te binden af en verhoogt de fosfaatverzadigingsgraad (FVG). De FVG wordt als volgt berekend ⁽³⁸⁹⁾:

$$\text{FVG} = (\text{P-ox} / \text{FBV}) \times 100$$

met FVG: fosfaatverzadigingsgraad (%); P-ox : ammoniumoxalaat-oxaalzuur extraheerbaar fosfaat in de bodem (mmol P/kg); FBV: totaal fosfaatbindend vermogen van de bodem (mmol P/kg).

Er bestaat een duidelijk verband tussen de FVG van de bodem en de P-concentratie in de bodemoplossing. De FVG geeft zodoende ook een idee van het gevaar voor P-uitspoeling ([A.3.2.3](#)). Als de milieukwaliteitsnorm voor oppervlaktewater van 0,1 mg ortho-P/l als kritische waarde voor de fosfaatconcentratie van het uitspoelende water genomen wordt, bekomt men een **maximum grens** voor de FVG van 24 % ⁽³⁸⁹⁾ (Tabel 3).

B.3.5. Nitraatresidu

⁽²²⁴⁾

In Vlaanderen wordt het naleven van de stikstofgebruiksnorm gecontroleerd aan de hand van het **nitraatresidu** in de bodem in het najaar (zie ook Kader 9). Dit is de hoeveelheid reststikstof die in de periode 1 oktober - 15 november onder de vorm van nitraat tot een diepte van 90 cm in het bodemprofiel achterblijft. De staalname gebeurt steeds in het najaar door een erkend laboratorium. Uit wetenschappelijk onderzoek blijkt dat er een verband is tussen het nitraatresidu in de bodem op het einde van het groeiseizoen en de potentiële uitspoeling van nitraten naar het oppervlakte- en grondwater tijdens de winter, waarvoor het dan ook als indicator gebruikt wordt. De **maximumwaarde** is op heden vastgelegd op 90 kg NO₃⁻-N/ha. Het is mogelijk dat deze drempelwaarde in de toekomst naar beneden wordt bijgesteld. Het risico op nitraatuitloging hangt af van de aanwezigheid van een teelt en de textuur van de bodem.

Naast de kwantitatieve laboratoriummethoden kan het nitraatgehalte van de bodem ook met nitraatstrips gemeten worden. De nitraatsneltest is ontwikkeld om snel de hoeveelheid nitraat in de bodem of een gewas te kunnen meten. In de grond komt opneembaar stikstof hoofdzakelijk voor in de vorm van nitraat. Ammonium wordt gewoonlijk relatief snel omgezet in nitraat. Aangezien in de nitraatsneltest alleen het nitraat gemeten wordt, onderschat deze test enigszins de hoeveelheid opneembare stikstof (5-10 % onderschatting in de winter en het vroege voorjaar, en 1-5 % in de zomer en herfst).

Tabel 2. Overzicht van referentiewaarden voor een selectie van chemische, fysische en biologische bodemgerelateerde indicatoren, met vermelding van de voornaamste bronnen.

Indicator (eenheid)	Bodemtype - locatie	Referentiewaarde	Voornaamste bron
Chemische bodemgerelateerde indicatoren			
Organische stof			
Organische koolstofvoorraad (ton/ha)	akkerbouwpercelen NL	45 - 94	Reijneveld et al. 2009
	akkerbouwpercelen B	50	BDB & Ugent 2008
Organisch koolstofgehalte (%)	akkerbouwpercelen NL	1,3 - 2,2	Reijneveld et al. 2009
	akkerbouwpercelen B	1,5- 1,8	Lettens 2005; Sleutel 2003
Organisch stofgehalte (%)	akkerbouwpercelen	4,6 - 5,1	Reijneveld et al. 2009
C/N verhouding OS (-)	akkerbouwpercelen	10 - 15	Sleutel et al. 2008
Hot Water-extractable Carbon (µg/g)		1.000	BDB & Ugent 2008
Nutriëntengehaltes			
P (mg/100g)		10-100	Schoumans et al. 2008
Fysische bodemgerelateerde indicatoren			
Structuur			
Schijnbare dichtheid (g/cm³)	zand	1,3 - 1,7	Raes 2001; Saxton 1986
	leem-klei	1,1 - 1,6	
	compacte laag	1,7 - 2,0	
Packing density (g/cm³)		1,4 - 1,75	Van den Akker & De Groot 2008
Infiltratiecapaciteit			
Ks-waarde (mm/uur)	zand	20 - 85	Raes 2001; Hofman 2008
	zandleem	8 - 40	
	leem	4 - 30	
	lichte klei, kleiige leem	0,20 - 6	
	klei	0,04 - 2	
Biologische bodemgerelateerde indicatoren			
Regenwormendichtheid (#/m²)		150 - 1.000	Shepherd et al. 2008
Nematodendichtheid (#/m²)		10 - 50	Bloem et al. 2003
Microbiële biomassa (kg/ha)		15.000 - 16.000	Moolenaar & Hanegraaf 2008

Tabel 3. Overzicht van grenswaarden en streefzones voor chemische, fysische en biologische bodemgerelateerde indicatoren voor akkerland, met vermelding van de voornaamste bronnen. Belangrijk aandachtspunt is dat deze waarden niet universeel geldig zijn, maar doorgaans gebonden zijn aan bodemomstandigheden, gewastype en klimaatsomstandigheden.

Indicator (eenheid)	Bodemtype	Voornaamste bron	Laag (min)	Streefzone	Hoog (max)
Chemische bodemgerelateerde indicatoren					
Organische stof					
Organisch koolstofgehalte (%) akkerbouw	zand	BDB & UGent 2008		1,1 - 1,9	
		BDB (Boon et al. 2009)	< 1,5	1,8 - 2,8	> 4,5
		Kórschens et al. 2005		0,7 - 1,0	
	zandleem-leem	BDB & UGent 2008		1,0 - 1,6	
		BDB (Boon et al. 2009)	< 1,0	1,2 - 1,6	> 3,0
		Kórschens et al. 2005		1,0 - 1,7	
Organisch koolstofgehalte (%) groententeelt	klei	BDB & UGent 2008		1,6 - 2,1	
		BDB (Boon et al. 2009)	< 1,3	1,6 - 2,6	> 4,5
		Kórschens et al. 2005		1,6 - 2,1	
	Tuinbouwdecreet	1,8			
Organisch stofgehalte (%)	andere		1,6		
			1,2		
Organisch stofgehalte (%)	akkerbouwpercelen	Hanegraaf 2009a&b	< 3,4		
C/N verhouding OS (-)	akkerbouwpercelen	Hanegraaf 2009a&b			> 60
pH					
pH-KCl (-) akkerbouw (bij normaal OC-gehalte) (ISO 10390)	zand	BDB (Boon et al. 2009)	< 4,5	5,2 - 5,6	> 6,2
			< 5,5	6,2 - 6,6	> 6,9
			< 6,0	6,7 - 7,3	> 7,7
			< 6,5	7,2 - 7,7	> 7,9
pH-KCl (-) groenteteelt (bij normaal OC-gehalte) (ISO 10390)	zand	POVLT 2008		5,0 - 5,5	
				5,5 - 6,0	
				6,0 - 6,5	
				7,0 - 7,5	
Nutriëntengehaltes (bij normaal OC-gehalte)					
Pw (mg P ₂ O ₅ /L grond) (NL)		Schoomans et al. 2008	< 11	21-30	> 60
fosfaatverzadigingsgraad (%) (NL)		Vanderzee et al. 1990			> 24
P (mg/100g) (BE)		BDB (Boon et al. 2009)	< 13	19 - 25	> 41
P-AL (mg P ₂ O ₅ /L grond) (BE)	elk type bodem	BDB (Boon et al. 2009)	< 9	12-18	> 30
K (mg/100g)	zand	BDB (Boon et al. 2009)	< 9	12 - 18	> 30
			< 11	14 - 20	> 35
			< 13	16 - 25	> 40
Mg (mg/100g)	klei	BDB (Boon et al. 2009)	< 5	7 - 10	> 15
			< 6	9 - 14	> 18
			< 12	17 - 25	> 35
Ca (mg/100g)	zand	BDB (Boon et al. 2009)	< 39	70 - 140	> 180
			< 69	100 - 240	> 360
			< 109	160 - 350	> 600
			< 449	750 - 2500	> 6500
Na (mg/100g)	elk type bodem	BDB (Boon et al. 2009)	< 2,0	3,1 - 6,0	> 10
Nitraatresidu (kg NO ₃ ⁻ -N/ha)		VLM			> 90

Tabel 3. Vervolg.

Indicator (eenheid)	Bodemtype	Voornaamste bron	Laag (min)	Streefzone	Hoog (max)
Fysische bodemgerelateerde indicatoren					
Structuur					
Schijnbare dichtheid (g/cm ³)	zand leem-klei	Koopmans & Brands 2003	< 1,4		> 1,6
Packing density (g/cm ³)		Koopmans & Brands 2003	< 1,1		> 1,5
Totaal poriënvolume (%)		Van den Akker & De Groot 2008	< 1,4		> 1,75
Poriëngrootte (mm) - fijne wortels (vlas, klaver)		Van den Akker & De Groot 2008	< 40		
- dikke wortels (ui, prei)		Van den Akker & De Groot 2008	< 0,2		
Verkruimelbaarheid (%)		Van den Akker & De Groot 2008	< 0,3 - 0,5		
Penetratieweerstand (bar)		Koopmans & Brands 2003	< 25	100	
	zand	Van den Akker & De Groot 2008			30-50
	zandleem-leem-klei	Van den Akker & De Groot 2008			25-30
Infiltratiecapaciteit Ks-waarde (mm/uur)		FAO	< 0,6		> 200
Biologische bodemgerelateerde indicatoren					
Regenwormenaantal (#/m ²)	Range afhankelijk van bodem, klimaat en gewas	Koopmans & Brands 2003	15 - 20		
Nematodenaantal (#/g)		Soil Foodweb Analysis		10-50	
Actieve bacteriële biomassa (µg/g)		Soil Foodweb Analysis		1-10	
Totale bacteriële biomassa (µg/g)		Soil Foodweb Analysis		50-300	
Actieve schimmel biomassa (µg/g)		Soil Foodweb Analysis		1-50	
Totale schimmel biomassa (µg/g)		Soil Foodweb Analysis		25-2000	

B.4. “Fysische” bodemgerelateerde indicatoren

B.4.1. Textuur

(337)

Betekenis en waarde

De directe invloed van de textuur op zowel fysische als chemische bodemeigenschappen en -processen is erg groot (zie [A.2.2.1](#) en Tabel 1). De textuur is ook een belangrijke indicatie van de erosiegevoeligheid en de bewerkbaarheid van de bodem ([A.6](#)). Een ideale bodem heeft een mix van grote en kleine bodemdeeltjes.

Potentiële indicatoren

1. Kwantitatieve metingen

De meest gebruikte methode voor textuurbepaling is (een variant van) de zeef- en pipetmethode van Robinson-Köhn (ISO 11277:1998), die bestaat uit drie grote stappen: dispersie (vernietigen van de aggregaten om de partikels los te maken), natte zeping (om de zandfractie van de klei- en leemfractie te scheiden), en bezinking. Het basisprincipe dat hierbij gehanteerd wordt, is dat de bezinkingssnelheid zal afhangen van de korrelgrootte (wet van Stokes).

Andere methodes maken gebruik van bv. een densimeter, sedimentatiebalansen, een fotometer, Coulter-tellers of laser-diffractie.

2. Zintuiglijke waarnemingen

Met uitzondering van fijn zand, voelen zanddeeltjes tussen de vingers korrelig aan. Pure kleideeltjes zijn glad en kleverig aan de vingers. Door het bevochtigen van de bodem kan een schatting van de textuur met de hand gebeuren. Als je een worstje rolt met zandgrond, zal dit worstje direct uiteen vallen. Vochtige leemgrond laat zich wel tot een bal of worstje rollen, maar als je dat worstje buigt, zal het doormidden breken. Bij vochtige kleigrond zal een worstje bij buiging niet breken.

B.4.2. Aggregaatstabiliteit

(33, 97, 236, 280, 423)

Betekenis en waarde

Een goede aggregaatstabiliteit (AS) van de bovenste bodemlaag wordt algemeen beschouwd als één van de belangrijkste bodemfysische eigenschappen (na textuur), die ondermeer erosiegevoeligheid en verslamping beïnvloedt (zie [A.2.2.3](#) en Tabel 1).

De AS is groter wanneer een droge bodem geleidelijk aan vochtig gemaakt wordt door capillaire stijging, dan wanneer ze snel nat gemaakt wordt door regenval. Een vochtige bodem biedt bij regenval meer weerstand tegen erosie en verslamping dan een droge bodem.

Potentiële indicatoren

1. Kwantitatieve metingen

Afhankelijk van de veldomstandigheden die men wil simuleren, bestaan er verschillende (labo)methodes om de stabiliteit van aggregaten te bepalen. Daarbij zijn vaak het zeven van de aggregaten of de blootstelling aan water of aan vallende waterdruppels belangrijk.

De meest gebruikte methode is de natte zeping^(212,213), die onder allerlei varianten wordt toegepast. Zo is er bv. de methode van De Leenheer en De Boodt^(102,423) voor leembodems. Het basisprincipe is telkens dat instabiele aggregaten gemakkelijker uiteen vallen dan stabiele aggregaten als ze in water worden ondergedompeld of er een kracht op uitgeoefend wordt.

2. Zintuiglijke waarnemingen

Naast deze meer gestandaardiseerde analyses in het labo, bestaan ook eenvoudiger varianten die toepasbaar zijn op het terrein, waarbij aggregaten eenvoudigweg bevochtigd worden of

ondergedompeld worden in een bekersglas, en de mate van desintegratie geëvalueerd wordt. Hoe hoger het percentage (water)stabiele aggregaten hoe beter de bodem bestand is tegen verstering van de bodemstructuur⁽⁹⁷⁾. Streefzones zijn moeilijk af te bakenen, aangezien de waarden sterk afhangen van de gebruikte methode.

B.4.3. Structuur, dichtheid en porositeit

(44, 97, 137, 223, 224, 226, 280, 336, 337, 379, 380, 381, 393)

Betekenis en waarde

De bodemstructuur is de onderlinge rangschikking en samenhang van vaste bodemdeeltjes. Tussen en in de bodemdeeltjes zitten poriën, die lucht en water kunnen bevatten. De bodemstructuur geeft een indicatie voor de waterberging en –doorlaatbaarheid, doorwortelbaarheid, draagkracht, gevoeligheid voor winderosie en ziektevervalbaarheid van de bodem (zie [A.2.2.2](#), [A.6](#) en Tabel 1).

Er zijn diverse factoren die de structuur van de bodem bepalen. Deze kunnen niet allemaal door de landbouwer beïnvloed worden (denk bv. aan flinke vorst). Maatregelen om de structuur van de bodem te verbeteren, zijn afhankelijk van de oorzaak van de problemen. Als het OS-gehalte te laag is, kunnen de teelt van groenbedekkers of gewassen die veel gewasresten achterlaten of de aanvoer van dierlijke mest en compost de bodemstructuur verbeteren. Als een lage pH de oorzaak is van een slechte bodemstructuur, dan is bekalken raadzaam.

Potentiële indicatoren en oriënterende waarden

1. Kwantitatieve metingen

• Schijnbare dichtheid

Er zijn verschillende methoden die de dichtheid van de bodem bepalen, waarvan de meting van de schijnbare dichtheid er één is. De schijnbare dichtheid is een directe maat van bodemverdichting en geeft een indicatie over de potentiële wortelontwikkeling, bewerkbaarheid, waterberging en -doorlaatbaarheid. De ideale bodem heeft geen te hoge dichtheid, zodat de wortels er goed in kunnen doordringen, het overtollige water kan afgevoerd worden en er voldoende zuurstof is voor wortelgroei. Schijnbare dichtheid wordt bepaald op ongestoorde bodemstalen, waarbij vaak open cilinders (kopecky ringen) met een gekend volume (meestal 100 cm³) voorzichtig in de bodem geduwd worden. Na het uitsteken van de ringen met een spade, worden ze aan weerszijden afgestreken. Na droging bij 105 °C tot constant gewicht volgt de massabepaling.

- **Referentiewaarden**⁽³⁰⁴⁾ (zie Tabel 2):

Voor leem- en kleibodems varieert de schijnbare dichtheid van 1,1 – 1,6 g cm⁻³; voor zandige texturen van 1,3 – 1,7 g cm⁻³ en voor compacte lagen van 1,7 – 2 g cm⁻³. De schijnbare dichtheid hangt naast de textuur hoofdzakelijk af van het OS-gehalte in de bodem: hoe hoger dit gehalte, hoe lager de schijnbare dichtheid.

- **Grenswaarden**⁽²²⁴⁾ (zie Tabel 3):

Voor akker- en tuinbouwbodems met een OS-gehalte lager dan 4 % zijn er grenswaarden voor wortelgroei opgesteld. Bij zandbodems treedt de belemmering van de wortelgroei pas bij 1,6 g cm⁻³ op, terwijl de groei bij leem- en kleibodems al bij 1,5 g cm⁻³ bemoeilijkt wordt. Opdat de bodem nog voldoende draagkracht zou hebben, is de minimum waarde voor zandbodems 1,4 g cm⁻³. Voor leem- en kleibodems ligt dit minimum op 1,1 g cm⁻³.

- **Packing density**⁽³⁸⁰⁾

De **packing density** (PD) integreert bodemdichtheid, structuur, OS en kleigehalte.

Ze kan berekend worden op basis van bodemdichtheid (ρ_b ; g/cm³) en kleigehalte (K_i ; %) ⁽³⁸⁰⁾:

$$PD = \rho_b + 0,009K_i$$

Ten opzichte van bodemdichtheid heeft de packing density het voordeel dat rekening gehouden wordt met het kleigehalte. Een kleigrond met een hoge dichtheid is namelijk massiever en moeilijker doordringbaar dan een zandgrond met dezelfde dichtheid.

Er kunnen drie klassen (**referentiewaarden**) van PD onderscheiden worden:

- Bodems met een hoge PD ($> 1,75 \text{ g cm}^{-3}$) worden als compact beschouwd en hebben bijna altijd een luchtcapaciteit (luchtgevulde poriën bij 5 kPa) lager dan 10 % en vaak lager dan 5 %;
- Een medium PD varieert tussen $1,40$ tot $1,75 \text{ g cm}^{-3}$;
- Een lage PD is $\leq 1,40 \text{ g cm}^{-3}$.

- **Totaal poriënvolume**

Het totaal poriënvolume kan worden afgelezen uit de pF-curve (zie [A.2.2.6](#) en Figuur 6) of kan berekend worden met behulp van een pedotransferfunctie ^(190,304). Het geeft een indicatie van de verhouding tussen vast materiaal, lucht en water in de bodem. Een te lage totale porositeit is een indicatie voor bodemverdichting en duidt zodoende op een mogelijke beperking van de wortelontwikkeling. Het totaal poriënvolume wordt door de aanwezigheid van regenwormgangen verhoogd en geeft een indicatie van de toegankelijkheid van de bodem voor het bodemleven.

Om anaerobe omstandigheden rond de wortel te vermijden, moet het poriënvolume minimum 40 % zijn. Bij een lager percentage poriën is het zuurstofgehalte te laag en de penetratieweerstand te hoog. Een te lage porositeit komt vaak voor in kleibodems en is vooral bij teelten met dikkere wortels (zoals maïs, ui of prei) een probleem ⁽³⁸⁰⁾.

- **Poriëngrootteverdeling**

De kleine poriën zijn in staat water vast te houden en de grote zijn meestal gevuld met lucht. Zodoende geeft de hoeveelheid kleinere poriën een indicatie van het waterbergend vermogen van de bodem en de hoeveelheid grotere poriën een indicatie voor de infiltratiecapaciteit. Ook voor de bewortelingsmogelijkheden is de poriëngrootte van tel. Daar waar sommige gewassen kleine poriën ($0,2 \text{ mm}$) kunnen ingroeien en vergroten, hebben andere gewassen (bv. ui en prei) dikkere wortels en dus grotere poriën ($> 0,3\text{-}0,5 \text{ mm}$) nodig.

2. Zintuiglijke waarnemingen

- **Bodemstructuur**

De bodemstructuur kan visueel bepaald worden door een stuk bodem uit de bouwvoor uit te graven, het te laten vallen of open te breken, en de aard van de kluiten te bekijken. De verdeling van de grootte van de kluiten en aggregaten geeft aan of de bodemstructuur goed of slecht is. Veel grote kluiten wijzen op een beperkte hoeveelheid poriën in de bodem (zie ook Figuur 11).

- **Verkruimelbaarheid**

De verkruimelbaarheid geeft het gemak aan waarmee de bouwvoor zich laat verkruimelen. Bij heel droge kleiige gronden kan de verkruimeling zo slecht worden dat de grond wel beton lijkt. Anderzijds kan een natte grond zo plastisch worden dat versmering optreedt. Door de verkruimelbaarheid van de bodem te bepalen, krijg je een idee van de dichtheid en zodoende de doorwortelbaarheid, de bewerkbaarheid en de toegankelijkheid van de bodem voor het bodemleven. Om de verkruimelbaarheid van een bodem te bepalen, wordt een onverstoorde kluit opengebroken en bekeken. Een bodem met een goede structuur heeft minimum 25 % kruimels (aggregaatjes van 1 cm of kleiner), met een optimum van 100 %. Scherpblokkige structuurelementen zijn afwezig. De meeste structuurelementen zijn afgerond ⁽²²⁴⁾.

Figuur 11. Visuele voorstelling van structuurelementen voor een klei-, leem- en zandtextuur. *Bovenaan:* “goede” structuur: afgerond blokkige elementen. Ze vormen in de grond één geheel, maar kunnen bij opgraven gemakkelijk in kruimels uiteenvallen. *Onderaan:* “slechte” structuur: scherpblokkige elementen. Wortels en bodemleven kunnen er niet altijd in doordringen, waardoor dit bodemvolume niet benut kan worden (bron: PCBT⁽⁹⁷⁾).



B.4.4. Penetrati weerstand

(85,97,378,379,380,393)

Betekenis en waarde

Het meten van de penetrati weerstand geeft een indicatie over de weerstand die wortels bij hun ontwikkeling in het bodemprofiel ondervinden en over de verdichting van de bodem. Penetrati metingen laten zodoende toe de aanwezigheid van storende lagen (bv. ploegzool) vast te stellen.

Potentiële indicatoren en oriënterende waarden

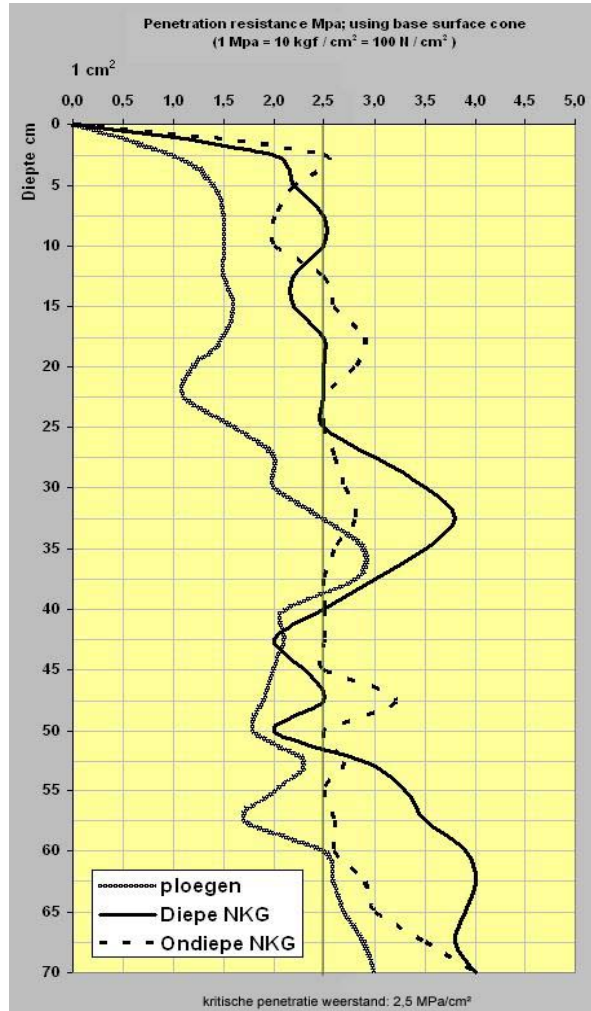
1. Kwantitatieve metingen

Zoals de naam doet vermoeden, geeft de **indringings- of penetrati weerstand** de drukweerstand aan van de bodem voor wortelpenetratie. De meting kan eenvoudig gebeuren met behulp van een **penetrometer**. Zo'n toestel omvat een staaf met een punt (conus) op het uiteinde. Deze staaf wordt langzaam en gelijkmatig in de grond gedrukt waarbij de (verandering in) drukweerstand van de bodem geregistreerd wordt. De manier waarop de resultaten geregistreerd worden, hangt af van het type penetrometer. Een zelfregistrerende penetrologger maakt gebruik van een interne ultrasonore sensor, terwijl de opname bij een penetrograaf gebaseerd is op de mechanische samendrukking van een gekalibreerde veer en simultane verschuiving van een registratiekaart langs een schrijfstift (Figuur 12). Belangrijk om op te merken is dat het resultaat sterk afhankelijk is van (1) het vochtgehalte van de bodem, (2) bodemtextuur en (3) het toestel (vnl grootte van de conus en tophoek). Daarom is het aanbevolen steeds te meten bij veldcapaciteit (begin van de lente), om vergelijkbare resultaten te hebben. Bij een standaardmeting wordt gebruik gemaakt van een conus van 1 cm² met een tophoek van 60 °.

Vaak wordt aangenomen dat de gemiddelde weerstand die wortels nog kunnen weerstaan tussen 25 en 30 bar (2,5 à 3 MPa) ligt ^(196,380). Toch is deze maximale grenswaarde gewas- en perceelsafhankelijk en vaak is een weerstand van 30 tot 40 bar ook nog goed doorwortelbaar. Wormgangen en andere macroporiën kunnen door de wortels gebruikt worden, zodat in dergelijke situaties een groeiremming van de wortels pas bij 40 tot 50 bar plaatsvindt. Door de sterkere aanwezigheid van dergelijke kanalen in niet-geploegde percelen, mag de bodemweerstand er iets

hoger zijn dan in geploegde percelen. Let wel: bij een te hoge weerstand komen ook minder regenwormen voor⁽⁸⁵⁾.

Figuur 12. Voorbeeld van een typische weergave van verandering van drukweerstand met de diepte, als output van de meting met een penetrometer (NKG= niet-kerende grondbewerking) (bron: B. Housen 2010⁽¹⁹³⁾).



2. Zintuiglijke waarnemingen

Het gebruiken van een **prikstok** tot 80 cm diep geeft een snel idee over de aanwezigheid van een verharde laag in het bodemprofiel⁽³³⁷⁾:

- Bij een perceel met een goede bodemstructuur wordt er geen verharde laag gevoeld;
- Percelen met een gemiddelde beworteling hebben een verharde laag op een diepte van 40 tot 60 cm;
- Een verharde zone in de bovenste 20 cm van een perceel duidt op een slechte bodemstructuur.

B.4.5. Infiltratie, percolatie en permeabiliteit

(97,137,280,337,380,393)

Betekenis en waarde

De infiltratiecapaciteit is één van de beste indicatoren voor fysieke bodemkwaliteit, omdat het een directe relatie heeft met de kwaliteit van de structuur en de aanwezigheid van continue macroporiën in het veld (zie ook [A.2.2.6](#) en Tabel 1). Het is een indicator voor ondermeer de draagkracht, gevoeligheid voor watererosie en ziekteverdraagzaamheid van de bodem.

Potentiële indicatoren en oriënterende waarden

1. Kwantitatieve metingen

De infiltratiecapaciteit en permeabiliteit van een bodem kunnen op verschillende manieren nagegaan worden. Een vaak gebruikte methode, zowel in vochtige als droge bodems, is de **infiltratiemethode**, waarbij de **infiltratiesnelheid** gemeten wordt. Het principe hierbij is dat een stalen cilinder in de grond gedrukt wordt, waarna in het uitstekende gedeelte bovenaan water wordt gegoten. Het debiet wordt dan berekend aan de hand van het volume doorgestroomd water per tijdseenheid. De meest courante variant hierop is die van de **dubbele ring infiltrometer**, waarbij een extra buitenring belet dat het water in de binnenste ring zich ook zijdelings verplaatst. De meting zelf gebeurt in de binnenste ring, waar dan de snelheid van de zuiver verticale waterverplaatsing bepaald kan worden.

De infiltratiesnelheid zal afnemen naarmate het watergehalte in de bodem toeneemt. Wanneer de bodem volledig waterverzadigd is, bereikt men een constante infiltratiesnelheid: dit is de **K_{sat} -waarde** of **verzadigde hydraulische conductiviteit**. Omdat deze constant is en dus onafhankelijk van het vochtgehalte bij aanvang van de meting, is ze de meest betrouwbare indicator voor permeabiliteit.

Andere methodes voor het bepalen van permeabiliteit, zijn de boorgatenmethode, toegepast in hydromorfe bodems (bodems gekenmerkt door periodieke waterverzadiging), de enkele ring met constante drukhoogte, de *pressure disc* infiltrometer, de *tension* infiltrometer en de laboratoriummethode (met permeameter; toegepast op waterverzadigde ongestoorde monsters). Die laatste is echter weinig nauwkeurig.

Algemeen kan gesteld worden dat voor een betrouwbare inschatting van de infiltratiesnelheid veel herhalingen en een goede techniek nodig zijn.

De **infiltratiesnelheid** kan ook eenvoudiger (semi-kwantitatief) met een stuk buis, stuk plastic vel + chronometer gemeten worden.

Referentiewaarden voor de verzadigde hydraulische conductiviteit van verschillende textuurklassen zijn ⁽³⁰⁴⁾ (zie Tabel 2):

- Voor zandige bodems: 20 – 85 mm/uur
- Voor zandleem bodems: 8 – 40 mm/uur
- Voor lemige bodems: 4 – 30 mm/uur
- Voor kleibodems: 0,04 – 2 mm/uur

De FAO ⁽¹⁴⁰⁾ onderscheidt 7 klassen voor K_{sat} , waarbij waardes variëren tussen extreem langzaam (< 0,6 mm/uur) en extreem snel (> 200 mm/uur).

Desalniettemin kunnen de waarden bij meting enorm variëren, met soms erg hoge pieken. Verklaringen hiervoor zijn gedeeltelijk te vinden bij verschillen in meetmethode, maar wellicht ook de mate waarin de bodem na de bewerking geconsolideerd is. Vlak na de bewerking zal een bodem er erg luchtig bijliggen, met veel holtes, scheuren en macroporiën. Naarmate de tijd vordert, zal de bodem geleidelijk wat bezakken en zal de infiltratiesnelheid afnemen. Hoge waarden kunnen dan nog steeds voorkomen omwille van wormgaten en scheuren in de bodem.

2. Zintuiglijke waarnemingen

Ook signalen aan de oppervlakte, zoals **verslemping** of **plassen** op de bodem, kunnen op een lage infiltratiesnelheid duiden ⁽³³⁷⁾:

- Bij een bodem met een goede bodemkwaliteit zijn de plassen na een hevige regenbui op minder dan 1 dag van de percelen verdwenen;
- Gemiddeld duurt dit echter 1 tot 3 dagen;
- Bij een bodem met een slechte structuur zijn plassen langer dan 3 dagen aanwezig.

B.5. “Biologische” bodemgerelateerde indicatoren

(48,175)

Voor een gedetailleerde beschrijving van biologische indicatoren en referentiewaarden, wordt verwezen naar een afzonderlijke studie rond Functionele Agrobiodiversiteit, eveneens uitgevoerd in het kader van het [interreg project BodemBreed \(activiteit 4\)](#).

Biologische parameters zijn uitermate geschikt als indicatoren voor bodemkwaliteit omdat ze zeer snel reageren op veranderingen in het beheer en al in een pril stadium een aanduiding geven van een achteruitgang van de bodemstructuur, het OS-gehalte en de nutriëntenstatus. Een nadeel van biologische parameters is echter de grote variatie van de hoeveelheid bodemleven in tijd en ruimte. Bovendien is niet alleen de hoeveelheid bodemleven maar ook de activiteit en verhouding tussen de verschillende organismen van belang. Het is duidelijk dat verschillende factoren zoals bodemtype, bedrijfssysteem en weersomstandigheden het bodemleven beïnvloeden, maar meestal is niet gekend hoe een landbouwer het positieve bodemleven kan stimuleren. Zodoende is er momenteel meestal nog niet voldoende wetenschappelijke onderbouwing voor de vastlegging van referentie- en grenswaarden van biologische bodemparameters onder verschillende omstandigheden. Bovendien is er vaak gespecialiseerde kennis nodig voor de bepaling van de bodemorganismen. In de mate van het mogelijke, blijkt een combinatie van verschillende parameters wel het meest zinvol voor de monitoring van biologische bodemkwaliteit (zie [A.2.3](#)).

B.5.1. Visualisatie van de structuur van het bodemvoedselweb

(48,221,319,320,333,334,342,344,459)

Betekenis en waarde

Het bodemvoedselweb, een keten van eten en gegeten worden (Figuur 7), vormt de motor voor alle omzettingen van OS en de beschikbaarheid van nutriënten. Het bodemleven, van microscopisch klein (bacteriën en schimmels) tot grotere insecten en wormen, is essentieel voor de bodemkwaliteit.

Potentiële indicatoren

Enkele gespecialiseerde instellingen, zoals Koch Bodemtechniek in Nederland ⁽²²¹⁾ en Soil Foodweb, Inc. ⁽³⁴⁴⁾ voeren analyses uit van het bodemvoedselweb.

Aan het Nederlandse Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) werd daarbij aansluitend een systeem ontwikkeld om voor elke combinatie van bodemtype en landgebruik een “optimale situatie” te formuleren. Die zogenaamde “Referenties voor Biologische Bodemkwaliteit” (RBB) ⁽³²⁰⁾ zijn een combinatie van beschikbare informatie uit het BoBI (Bodem Biologische Indicatoren) meetsysteem en de beoordelingen van experts ^(333,334,459). Bij het vaststellen van de referenties is uitgegaan van de kwaliteit van het voedselweb, onder andere bepaald naar aanleiding van de verhoudingen tussen prooien en natuurlijke vijanden. Daarnaast is ook een hoge biodiversiteit als voorwaarde genomen voor een gezonde bodem. De samenstelling van het optimale systeem wordt vervolgens als referentiebeeld gebruikt voor duurzaam bodemgebruik op een bepaald bodemtype. Deze “referenties” zijn gedefinieerd aan de hand van 25 indicatorwaarden ^(319,459).

In navolging hiervan wordt verder aan het Louis Bolk instituut (LBI) in Nederland onderzocht of het mogelijk is om de bodemvoedselweb structuur van landbouwbedrijven te visualiseren ⁽⁴⁵⁹⁾. Hierbij worden biomassa of aantallen van verschillende groepen bodemorganismen gemeten en eventueel gestandaardiseerd tot een getal gelegen tussen 0 en 1 ⁽³⁴²⁾.

Referentiewaarden en streefzones worden hier niet verder besproken, maar zijn gedeeltelijk terug te vinden in de hiervoor vermelde publicaties en websites.

B.5.2. Regenwormen

(20,45,48,97,223,224,280,337,371,372,373,393,459)

Betekenis en waarde

Regenwormen graven gangen in de bodem waardoor ze zorgen voor een beter verluchting van de bodem, een menging van de minerale bodem met organisch materiaal en vorming van bodemaggregaten. Door hun activiteiten en biogene structuren beïnvloeden ze de leefomstandigheden, de aantallen, diversiteit en activiteit van tal van andere bodemorganismen, zoals bacteriën en schimmels (A.2.3.2).

Tegelijkertijd vormen de aantallen, biomassa en soortendiversiteit aan regenwormen een goede weerspiegeling van de beheermaatregelen (zie [deel C](#)).

Potentiële indicatoren en oriënterende waarden

Regenwormen kunnen gemakkelijk met het blote oog gedetecteerd worden. Zodoende worden regenwormen vaak als indicatoren bepaald. Op basis van hun gedrag en morfologische kenmerken worden drie grote groepen onderscheiden: de strooiselwormen, de bodemwoelers en de diepgravers. De meest accurate methode om het regenwormaantal (nr/m²) of de regenwormdichtheid (g/m²) in een landbouwperceel te bepalen, bestaat uit een combinatie van strooiselstaalname, mosterdextractie en bodemstaalname, gevolgd door handsortering van het strooisel- en bodemstaal ^(372,373). Omwille van het positieve effect van regenwormen moeten er minimum 15 tot 20 regenwormen per m² aanwezig zijn ⁽²²⁴⁾ (Tabel 3). Afhankelijk van de textuur en teelt kan het aantal regenwormen van 150 tot 1.000 per m² oplopen ⁽³³⁷⁾ (Tabel 2). Aangezien de verschillende groepen regenwormen andere functies in de bodem vervullen, is niet enkel het totale aantal regenwormen van belang, maar evenzeer de verhouding tussen de groepen. Het belang van de diepgravers (ook pendelaars of *Anekische* wormen genoemd) is daarbij relatief grootst, maar bodems bevatten bij voorkeur wormen uit de drie groepen ⁽³³⁷⁾. Een nadeel is echter de variabiliteit gedurende het jaar. Regenwormen zijn het talrijkst in de nazomer en herfst. Ze zijn ook zeer weersafhankelijk en hun aantal moet in een niet te droge of natte bodem bepaald worden. In sommige kwalitatieve methoden worden naast of in plaats van de regenwormen zelf, de regenwormgangen geteld.

B.5.3. Nematoden

(37,45,48,56,141,241,459)

Betekenis en waarde

Nematoden staan vooral bekend als ziekteverwekkers, hoewel vele functionele groepen ook nuttig zijn. Ze beïnvloeden de beschikbaarheid van nutriënten en de ziektevering van de bodem en zijn zeer gevoelig voor bodemverstoring. Gemiddeld vindt men 10 tot 50 nematoden per g grond ⁽⁴⁵⁾ (Tabel 2). Ze zijn vrij gemakkelijk uit de bodem te extraheren.

Potentiële indicatoren

Nematoden zijn eenvoudig in te delen in functionele groepen. Het integreren van trofische niveaus en levensstrategieën in de functionele groepen kan aanleiding geven tot het definiëren van verschillende indices die een beeld geven van de structuur, functie en status van het bodemvoedselweb ten opzichte van veranderingen in de bodem (verstoringen, stress):

- **De aanrijdingsindex** (EI) is een maat voor de beschikbaarheid aan voedsel;
- **De structuurindex** (SI) is een maatstaf voor het aantal trofische niveaus en de ontwikkeling van het bodemvoedselweb;
- **De channelindex** (CI) is een parameter voor het voorspellen van de wijze van afbraak van het OS. Deze index geeft ook een indicatie of de decompositie eerder bacterie-dominant dan wel schimmel-dominant is.

B.5.4. Microbiële biomassa

(45,48,270,344,459)

Betekenis en waarde

In één gram grond zijn er gemiddeld 600.000 bacteriën en 400.000 schimmels aanwezig, samen goed voor een gewicht tot 15 à 16.000 kg per ha⁽²⁷⁰⁾. De microbiële biomassa heeft een korte omzettijd (turn-over) (0,2 – 6 jaar), en geeft zo een snelle indicatie van een toekomstige toename of afname van het OS-gehalte en de beschikbare nutriënten. Een nadeel van deze parameter is dat hij sterk afhankelijk is van verschillende abiotische factoren (vochtgehalte, temperatuur, recente toediening meststoffen of andere verstoringen), waardoor de bekomen waarden moeilijk interpreteerbaar zijn.

Potentiële indicatoren

- **Microbiële biomassa**: via chloroform fumigatie incubatie (CFI) en chloroform fumigatie extractie (CFE)⁽⁴³⁶⁾. Absolute cijfers zeggen echter vaak niet veel, want de verhouding “goede” versus “slechte” schimmels of bacteriën en hun activiteit is niet gekend;
- **Hot Water-extractable Carbon (HWC)**: HWC dient niet alleen als een indicator voor de gemakkelijk afbreekbare OS, maar ook voor microbiële biomassa-C;
- **Fosfolipide vetzuren (Eng. phospholipid fatty acid, PLFA)**: analyse van de PLFA geeft informatie over de biomassa in de bodem, de bacterie/schimmel verhouding (zie verder) en de biodiversiteit. Afzonderlijke PLFAs kunnen gerelateerd worden aan een microbiële gemeenschapssamenstelling. De methode geeft een moleculaire “vingerafdruk” van de relatieve PLFA samenstelling van de aanwezige microbiële gemeenschap. De methode is gevoelig en reproduceerbaar, maar kost veel tijd;
- **Substrate induced respiration (SIR)**: is een meting van de basale ademhaling en biomassa in de bodem. SIR meet de geïnduceerde verandering in bodemrespiratie na toevoeging van een eenvoudig af te breken substraat (bv. glucose). Door gebruik te maken van een conversiefactor is de microbiële biomassa te berekenen.

B.5.5. Microbiële activiteit

(45,48,175,270,280,344,393,459)

Betekenis en waarde

Microbiële activiteit wordt dikwijls als een gevoeliger indicator dan de microbiële biomassa voorgesteld, omdat vaak een deel van de microbiële biomassa inactief is. Het bepalen van de bodemrespiratie en/of enzymactiviteiten kan een indicatie geven van de werkelijke opbouw/afbraak van OS en geeft dus een beeld van de beschikbaarheid van de nutriënten. Wanneer deze waarden uitgedrukt worden ten opzichte van de totale hoeveelheid OS aanwezig, wordt ook een beeld gevormd van de efficiëntie van deze processen.

Potentiële indicatoren

- **Potentiële C-mineralisatie**: Hierbij wordt het zuurstofverbruik (of de CO₂-productie) gemeten als gevolg van biologische oxidatie van OS door aerobe micro-organismen. De methode vereist over het algemeen relatief lange incubaties. Het meten van de CO₂ productie is gevoelig, eenvoudig en relatief goedkoop. De ademhaling hangt sterk af van temperatuur, vocht, nutriënten en bodemstructuur;
- **De specifieke ademhalingsnelheid (qCO₂)**: geeft de snelheid van microbiële ademhaling weer per eenheid microbiële biomassa. Het meten van de bodemademhaling alleen geeft immers vaak onvoldoende inzicht in het functioneren van de bodemmicroorganismen. In het algemeen neemt deze snelheid af in oudere bodems en is ze hoog wanneer het bodemsysteem onder stress staat;

- **Potentieel Mineraliseerbare N en C (PMN en PMC)**: PMN vormt ook een maat voor de hoeveelheid schimmels en bacteriën en hun capaciteit om organische stikstof om te zetten naar plantbeschikbare stikstof.

B.5.6. Schimmel/Bacterie verhouding

(48,107,223,344)

De schimmel/bacterie verhouding kan een indicatie geven van ondermeer de graad van “menselijke tussenkomst” in het bodemecosysteem. Bij zeer intensieve landbouwsystemen is deze verhouding doorgaans zeer laag, terwijl bij bv. minimale bodembewerking deze verhouding sterk toeneemt. Ook de aard van de bemesting heeft een invloed op de schimmel/bacterie verhouding. De hogere C/N verhouding van schimmels t.o.v. bacteriën leidt tot een efficiëntere opname en verhoogde retentie van nutriënten en dus potentieel verminderde verliezen naar het milieu. De streefwaarden zijn echter afhankelijk van de gewaskeuze, waarbij de voorkeur van een gewas samenhangt met zijn oorspronkelijke natuurlijke habitat. Zo hebben bv. eenjarige landbouwgewassen doorgaans een voorkeur voor een bacteriegedomineerde grond, terwijl meerjarige gewassen/gewassen uit een bodemecosysteem (denk bv. aan aardbeien) eerder een schimmelgedomineerde grond verkiezen. Binnen een landbouwsysteem kan men dus verschuiven naar een verhouding die ideaal is voor het gewas. De schimmel/bacterie verhouding wordt doorgaans via PLFA analyse bepaald.

B.6. Gewasgerelateerde indicatoren

B.6.1. Beworteling

(19,97,336,393)

Betekenis en waarde

Een intense en diepe beworteling is een maat voor de goede toegankelijkheid van de bodem en is dus een indicator voor de bodemstructuur. Een bodem zonder beworteling is veel problematischer dan een bodem die (tijdelijk) verdicht is bv. door zware machines. Wanneer in diepere lagen van de bodem meer water en voedingselementen zoals N, P of kalk aanwezig zijn, dan hebben de wortels van planten de neiging zich daar te ontwikkelen. Goede gronden zijn gewoonlijk ook diep doorwortelbaar en daarmee minder gevoelig voor uitspoeling.

Potentiële indicatoren

De vorm, lengte, densiteit en massa van de wortels zijn een indicator voor de bodemstructuur. Actieve wortels in een goede bodem zijn fris en wit. In een verdichte bodemlaag komen geen of enkele oude, afgestorven en bruine wortels voor.

Ook de aanwezigheid van een wortelziekte kan een indicator zijn voor een slechte bodemstructuur. Een slechte bodemstructuur resulteert in natte, zuurstofarme omstandigheden die gunstiger zijn voor wortelrot verwekkers zoals *Fusarium* of *Pythium*.

B.6.2. Onkruiden

(22,57,326)

Betekenis en waarde

De aanwezigheid van specifieke onkruidsoorten kan een nuttige indicator zijn. De meeste onkruiden zijn net als de gewassen pionierssoorten die het best gedijen in situaties met veel verstoring. De onkruiden hebben een relatief open ruimte nodig om zich na vestiging op een plek te kunnen handhaven. In de biolandbouw, waar geen herbiciden worden gebruikt, worden de grootste potentiële verliezen doorgaans niet door ziekten en plagen maar door de aanwezigheid van onkruiden in landbouwpercelen veroorzaakt. Het risico op verliezen door onkruiddruk is groter bij traaggroeiende

teelten (zoals bv. suikerbieten of groenten). Door het gebruik van herbiciden of andere onkruidwerende maatregelen veroorzaken slechts een beperkt aantal soorten van onkruiden problemen. Welke soorten in welke situaties belangrijk zijn, hangt af van de grondsoort en de opeenvolgende teelten.

Daarnaast kan de aanwezigheid van onkruiden ook een indicatie zijn voor de bodemkwaliteit. Het gaat daarbij vaak om onkruiden die kunnen groeien onder omstandigheden die minder gunstig zijn voor andere soorten of gewassen, en hierdoor een relatief voordeel hebben. Denk daarbij aan een arme of zure bodem, of verdichting.

Potentiële indicatoren

Het is eerst en vooral belangrijk om op te merken dat de onkruiden in het onderstaande lijstje een indicator kunnen zijn, maar dat hun aanwezigheid niet perse duidt op slechte condities.

- Door het verlagen van bemesting verdwijnen bepaalde onkruidsoorten vanzelf. Deze onkruiden kunnen als indicator voor **overbemesting** worden gebruikt:
 - Muur of vogelkers: groeit op rijke, zure grond met een goede structuur. Door te bekalken en de stikstofbemesting wat omlaag te brengen, zal dit onkruid sterk in aantal afnemen.
 - Brandnetels: groeien graag op bodem die vooral in de bovenlaag veel stikstof bevat, en kunnen dus een indicator zijn om de stikstofbemesting wat naar beneden te brengen.
 - Akkerdistels: houden van stikstofrijke grond.
- Schapenzuring daarentegen komt op **arme en zure (zand)grond** voor.
- Andere onkruiden zijn een indicatie voor een **structuurprobleem**:
 - Kweek kan duiden op een slechte structuur van de grond, omdat kweek goed in staat is om met zijn sterke wortels die harde structuur te doorbreken. Merk echter op dat kweek, net als veldbeemdgras, ook selectief bevoordeeld wordt ten opzichte van andere grassoorten (met een relatief ondiep wortelstelsel) tijdens periodes van droogte, omwille van de snelle uitbreiding via ondergrondse stolonen.
 - Echte kamille is een eenjarig zaadonkruid dat in het voor- en najaar kiemt. Ze groeit op warmere plaatsen en voedselrijke, vaak verslepte vochtige bodems. Vaak aan de rand van percelen en kopeinden. Het is een gidssoort voor een zeer voedselrijke, vochtige bodem.

B.6.3. Verkleuring van de teelt

(223,301)

Gewasverkleuring kan een indicatie zijn van een te hoog vochtgehalte in de bodem. Denk daarbij bv. aan de paarsrode verkleuring van de stengelvoet bij zomergerst. Verkleuring is echter ook vaak een indicatie voor het gebrek aan een bepaald nutriënt.

Veel gebreksverschijnselen zijn in de bladeren zichtbaar:

- Stikstofgebrek: is te herkennen aan een geelverkleuring van het gewas. Bij een ernstig tekort blijven de planten achter in groei. De bladeren verkleuren bleekgroen tot geelachtig en sterven vervroegd af. Soms ontstaat een rode tint;
- Fosforgebrek: wordt zichtbaar door een donkere, dofgroene verkleuring van bladeren en stengels. De bovenste bladeren kunnen later paarsrood verkleuren. De oudere bladeren verdrogen vanaf de top en sterven vervroegd af;
- Kalium- of molybdeengebrek: resulteert in bruine randen van de bladeren;
- Zwavelgebrek: uit zich in een egale lichte kleur in jong blad. Zwavel is namelijk niet erg mobiel in de plant. De symptomen van zwavelgebrek lijken sterk op die van stikstofgebrek;
- Magnesiumgebrek: wordt zichtbaar door een lichte kleur tussen nerven van vooral oudere bladeren;
- Mangaangebrek: is te herkennen aan lichte kleur tussen nerven van vooral jongere bladeren;
- Boriumgebrek: doet de voet van de jongste bladeren verkleuren;
- Zinkgebrek: wordt zichtbaar door het deels afsterven van de kleine bladeren;

- **Kopergebrek:** resulteert in vergeling en verdroogde bladpunten van de nieuwe bladeren. De bladpunten sterven af, krullen op en worden wit van kleur.

De interpretatie van verkleuring is echter niet eenvoudig, gezien de vele oorzaken die aan de oorsprong van de verkleuring kunnen liggen.

B.6.4. Opkomst van de teelt

(336)

Een laag kiemingspercentage, de aanwezigheid van kale plekken in de percelen en grote verschillen in de hoogte van de kiemplanten worden als een kwalitatieve indicator voor een slechte bodemstructuur of een uitgeputte bodem gebruikt.

B.6.5. Bedekkingsgraad van de teelt

(155,269)

Betekenis en waarde

De bedekkingsgraad van een gewas in bepaalde periodes wordt als een indicator voor de erosiegevoeligheid van een gewas gebruikt. Hoe groter de bedekkinggraad, hoe minder bodemerosie kan optreden. Bodems onder bos of weide zijn nagenoeg niet onderhevig aan erosie. Bij de teelt van cultuurgewassen is de bedekkinggraad gedurende bepaalde periodes van het jaar echter zeer gering. Teelten die de bodem een goede bedekking bieden tijdens de meest erosiegevoelige periodes van het jaar (mei tot september), zoals de wintergranen, hebben een lagere erosiegevoeligheid dan gewassen die net vóór deze periode worden ingezaaid (bv. zomergranen, bieten, maïs, aardappelen, groenten in openlucht).

Potentiële indicatoren

De gemiddelde jaarlijkse erosiegevoeligheid van een bepaald gewas wordt doorgaans weergegeven met behulp van een dimensieloze parameter die varieert tussen 0 (volledige bedekking) en 1 (onbedekte bodem). Tabel 4 geeft voor een aantal belangrijke gewassen de gemiddelde jaarlijkse erosiegevoeligheid weer.

Tabel 4: Gemiddelde jaarlijkse erosiegevoeligheid van een aantal belangrijke gewassen in het projectgebied onder de huidige klimatologische omstandigheden (bron: Onderzoeksgroep Fysische en Regionale Geografie, K.U.Leuven - MIRA Achtergronddocument Bodem⁽²⁶⁹⁾).

gewas/landgebruik	gemiddelde jaarlijkse erosiegevoeligheid
Wintergranen	0,25 - 0,30
Maïs	0,45 - 0,50
Groenten in open lucht	0,45 - 0,50
Andere zomergewassen (vnl. bieten en aardappelen)	0,30 - 0,35
Weiland	0,005 - 0,015
Bos	0,001 - 0,005

B.6.6. Hoogte en productiviteit van de teelt

(336)

In een perceel zonder problemen in de bodemstructuur en waar er geen gebrek is aan nutriënten en water, is de hoogte van alle volwassen planten ongeveer gelijk. Daarnaast kan ook een lage productie op een structuurprobleem of nutriëntengebrek duiden. Deze plantparameter is echter niet alleen aan de bodem gelinkt. Een goede productiviteit hangt ook af van teelttechnische maatregelen zoals bemesting, ziekte- en onkruidbeheersing, verder besproken in [deel C](#).

B.7. Een stapje verder om tot een werkbare methodiek te komen

Uit de voorgaande paragrafen kunnen we concluderen dat niet om het even welke parameter er zich toe leent om een waardevolle indicator te zijn. Vaak is de interpretatie niet eenvoudig, hangt het resultaat af van meerdere factoren, of beschikt men niet over een eenduidige referentie- of streefwaarde. In de strikte zin van het woord voldoet een ideale indicator aan elk van de volgende voorwaarden ^(92,114,177,268).

1. Relevant en betrouwbaar: er bestaat een duidelijke relatie tussen de indicator en de betreffende situatie;
2. Gevoelig: een verandering van de toestand (bv. na een actie) weerspiegelt zich in een wijziging van de indicatorwaarde;
3. Herhaalbaar: er bestaat een vaste, welomschreven methode om de indicatorwaarde te bepalen en deze is maximaal onafhankelijk van externe invloedsfactoren;
4. Haalbaar: de kosten (inclusief tijd) van de bepaling van de indicator blijven beperkt;
5. Begrijpbaar: de indicator is begrijpbaar voor diegene die het betreffende systeem moet beheren (zowel experts als niet-experts);
6. Evalueerbaar: onder- en bovengrenzen van een streefzone om de gemeten indicatorwaarde te evalueren, kunnen bepaald worden.

In de praktijk zal men vaak een afweging moeten maken tussen deze voorwaarden. Indicatoren zijn een compromis tussen de wetenschappelijke kennis van het moment, de beschikbaarheid van data, en de noodzaak om beknopt en gemakkelijk in gebruik te zijn ⁽¹⁵⁶⁾.

Om tot een werkbare methodiek voor evaluatie te komen, is het belangrijk met die voorwaarden rekening te houden. Bovendien moeten volgende zaken verduidelijkt worden vooraleer indicatoren geselecteerd worden ⁽⁴⁷⁾:

- Goede identificatie van de eindgebruiker;
- Nagaan waarvoor een indicator gezocht wordt. Afhankelijk van het doel dat men met de bodem nastreeft, zullen andere indicatoren en streefzones van belang zijn;
- Nagaan wat het praktisch doel van de indicator is. Het objectief van de indicator kan bv. voorspellen, monitoren, signaal geven, bijsturen/beslissen of communiceren zijn;
- Nagaan wat de ruimte- en tijdsschaal is.

Bovenal is het niet eenvoudig om streefzones vast te leggen. De resultaten van de bodemparameters hangen enerzijds af van de beheermaatregelen, anderzijds worden ze ook gecontroleerd door andere factoren zoals het klimaat, de teelt en de inherente bodemeigenschappen zoals textuur. Daarnaast bemoeilijken de verscheidenheid aan meetmethoden, -tijdstoppen en -dieptes het vergelijken van verschillende percelen. Zodoende kunnen doorgaans geen universele streefwaarden voor de bodemindicatoren opgemaakt worden, maar dient men bij het opstellen van een streefzone rekening te houden met de invloed van de verschillende beïnvloedende factoren. Daarnaast is het belangrijk dat de streefzones niet alleen opgesteld worden om de productie te optimaliseren maar ook om de verliezen naar het milieu te beperken ^(10,248,347).

Tot slot: als men wil komen tot aanbevelingen op perceelsniveau, tot een werkbaar instrument om bodemkwaliteit te beoordelen, is meer nodig dan een selectie uit de voorgestelde lijst van indicatoren en de inzichten die hieruit voortkomen. Er moet voor een specifieke praktijkvraag concreet gekeken worden welke combinaties van gegevens nodig zijn, welke informatie reeds beschikbaar is (bv. ook via het internet), en hoe aanvullende informatie kan worden verkregen (bv. indicatoren (laten) meten/monitoren (laten) nemen). Met andere woorden de selectie en interpretatie van indicatoren maakt slechts een deel van dit werkproces uit. Meer concrete suggesties rond monitoring komen deels aan bod in een afzonderlijke studie rond Optimalisering van Monitoringstechnieken, eveneens uitgevoerd in het kader van [het interreg project BodemBreed \(activiteit 2\)](#).

B.8. De huidige toestand in Vlaanderen en Nederland

Tot dusver werd in deze studie aandacht besteed aan bodemkwaliteit en landbouwkundige geschiktheid vanuit een vrij theoretische, algemene benadering. In deze paragraaf wordt toch ook even concreter gekeken wat de huidige trends zijn binnen het projectgebied voor een aantal cruciale bodemeigenschappen en -processen, en hoe die eventueel afwijken van de in [B.3.](#) voorgestelde streefzones en referentiewaarden.

Meer specifiek wordt ingezoomd op OS, verdichting en bodemerosie, gezien hun belang binnen het studiegebied, en de aandacht die er actueel aan besteed wordt op Europees niveau.

Voor aanbevelingen om de huidige toestand in stand te houden of te verbeteren wordt verwezen naar [Deel C.](#)

B.8.1. Organische stof

B.8.1.1. Interpretatie en vergelijkbaarheid

Alvorens effectief een aantal trends rond organische stof (OS)-hoeveelheden in de landbouwbodems te beschrijven, is het belangrijk op te merken dat meetmethodes en -nauwkeurigheid op verschillende tijdstippen of voor verschillende gebieden en studies erg variabel kunnen zijn (zie ook Kader 2). Zo verschillen niet enkel analysemethodes, maar bv. ook dieptes van staalname of gebruikte bodemdichtheid om voorraden te berekenen. Daarnaast wordt soms over OS, soms over organische koolstof (OC), soms over gehalten (%) en soms over voorraden (ton/ha) gesproken. Hiermee dient rekening gehouden te worden wanneer de resultaten geëvalueerd en vergeleken worden. In elk geval laat het rechtlijnige verband tussen al deze parameters ([A.2](#)) ons wel toe om uitspraken te doen over bv. OS op basis van studies over OC, en omgekeerd. In wat volgt worden consistent cijfers van OC voorgesteld.

B.8.2.2. Trends in Europa, België en Nederland

Verschillende wetenschappelijke studies, ondermeer uit België ⁽³³⁹⁾, Groot-Brittannië ⁽³⁵⁾, Spanje en Frankrijk ⁽²⁵⁾, wijzen erop dat de voorraad OC in landbouwbodems in grote delen van Europa een dalende trend vertoont. Voor akkerbouwbodems wordt een gemiddelde afname van 0,48 ton/ha per jaar gemeld ⁽³³⁹⁾.

Zoemt men in op de situatie voor **Vlaanderen**, dan zijn trends in organische (kool)stof uit het verleden ruwweg op te delen in twee perioden. Tussen 1950-1990 werd eerst een positieve (toenemende) trend in koolstofopbouw waargenomen in de bouwvoor van akkerpercelen, met een stabilisatie van de toestand naar het einde van die periode toe: op dat moment heeft meer dan 75 % van de akkerbouwgronden een voldoende hoog koolstofgehalte ten aanzien van de vooropgestelde streefzones ([B.3](#)). Vanaf 1990/1995 tot heden wordt echter een duidelijke afname waargenomen, zowel op akkerbouw- als graslandpercelen ^(48,58,242,264,339,413,417). Lettens et al. ⁽²⁴²⁾ evalueerden OC-voorraden van Belgische landbouwbodems (0-30cm diepte) voor de periode van 1960 tot 2000 voor grote landschapseenheden. Onder grasland nam de gemiddelde OC-voorraad toe van 70 ton/ha in 1960 tot 84 ton/ha in 1990, gevolgd door een afname tot 79 ton/ha in 2000. Onder akkerland kwam dit overeen met een lichte toename van 51 tot 52 ton/ha tussen 1960 en 1990, gevolgd door een significante daling tot 49,8 ton/ha in 2000.

Tot dusver werden voor deze trends een drietal mogelijke processen geïdentificeerd:

1. De omzetting van blijvend grasland naar akkerland: Grasland kent doorgaans een hogere OC-voorraad dan akkerland ^(242,262), waardoor bij de omzetting van grasland naar akkerland die voorraad over meerdere decennia exponentieel daalt. Lettens et al. ⁽²⁴²⁾ berekenden voor de Belgische situatie dat bij een dergelijke omschakeling 31 % van de OC verloren gaat. Vooral in de decennia vóór 1990 werden heel wat graslanden omgezet; de afname van het graslandareaal in Vlaanderen tussen 1970 en 1990 bedroeg ca. 100.000 ha. Hoewel minder dramatisch, is ook na 1990 nog veel blijvend grasland omgezet naar akkerland of tijdelijk grasland ⁽¹⁴³⁾. Kort na

omzetting werd in de desbetreffende akkerlanden een hoge voorraad OC opgemeten, maar vooral na 1990 zet zich een sterk dalende trend in, resulterende in een geschat verlies aan OC tussen 10 en 45 % ⁽³³⁹⁾.

2. Veranderingen in landbouwbeheer ^(58,264,343): De OC-voorraad op landbouwpercelen is ruwweg het resultaat van de balans tussen aanvoer en afbraak van organisch materiaal (OM). Die aanvoer was hoog in streken waar traditioneel veel veeteelt plaatsvindt. Zowel in Vlaanderen als in Nederland resulteerden wijzigingen in het bemestingregime gedurende de laatste decennia echter in een verminderde aanvoer van OM. Zo vond minerale bemesting steeds meer ingang omdat het bepaalde voordelen biedt, waaronder een gelijkmatige en gekende samenstelling en de eenvoudige toepasbaarheid op het veld (zie [C.4](#)). Daarnaast werd, in navolging van de Europese regelgeving, zowel in Vlaanderen als in Nederland een strikt bemestingbeleid uitgestippeld. Voor organische en minerale mestafzet op landbouwpercelen gelden sindsdien maximale normen, om diffusie naar het milieu – vnl. grond- en oppervlaktewater – te beperken (zie ondermeer de Europese Nitraatrichtlijn beschreven onder [A.3.2.2](#) en Kader 9). Daarnaast beïnvloeden ook andere aspecten van landbouwbeheer de aanvoer, verdeling en afbraak van OM, zoals de intensiteit van teeltrotaties, het beheer van gewasresten, de (diepte van) bodembewerking en de teeltkeuze. In zijn totaliteit zou voor Vlaanderen de verandering in aanvoer van OM sinds de jaren '90 verantwoordelijk zijn voor een derde (33 %) van de verliezen aan OC-voorraad ⁽³³⁹⁾. Ook de toegenomen ploegdiepte speelt een erg belangrijke rol, maar dan vooral omdat dezelfde hoeveelheid C over een grotere diepte wordt gemengd.
3. Klimaatverandering: Hogere temperatuur door opwarming stimuleert microbiële activiteit. Dit heeft versnelde afbraak van OM tot gevolg en zou verantwoordelijk zijn voor 10 % van de huidige verliezen aan OC ⁽³³⁹⁾.

Binnen het projectgebied kennen vooral de Vlaamse zandstreek en de Kempen veel dierlijke productie. Hier is de toename van koolstofgehalten in landbouwbodems tussen 1950 en 1990 te danken aan de opkomst van de veeteelt. De achteruitgang vanaf 1990 is er in belangrijke mate toe te wijzen aan de verminderde input van organische bemesting ⁽³³⁹⁾.

Landbouwbedrijven in het zuidelijk gedeelte van de Leemstreek kenden na WO II een spontane evolutie waarbij gemengde bedrijven (veeteelt + akkerbouw) omschakelden naar akkerbouw. Minerale bemesting in combinatie met toevoeging van kalkrijke producten kunnen in die periode geleid hebben tot versnelde afbraak van OC ⁽²⁴²⁾. Meer recent droeg in dezelfde streek ook de afname in graanareaal en daarmee de input van stroresten bij tot de lage gehalten aan OC in de landbouwbodem.

Hoewel het landbeheer in Vlaanderen en Nederland sterk vergelijkbaar is, kan uit het onderzoek van met name Reijneveld, Hanegraaf en collega's geconcludeerd worden dat in **Nederland** in tegenstelling tot Vlaanderen tot dusver geen duidelijke afname van het OC-gehalte kan worden vastgesteld ^(77,173,176,312). Voor akkerbouwpercelen op niet-organische bodems (< 7% OC) en voor graslandpercelen werd zelfs algemeen een licht stijgende trend waargenomen, niettegenstaande grote regionale verschillen in dergelijke trends ⁽³¹²⁾. Voor de meeste akkerbouwpercelen in de provincie Limburg zou het gaan om een gemiddelde jaarlijkse stijging van 0,01 à 0,02 g C/kg bodem, terwijl dit oploopt tot 0,34 g C/kg op graslandpercelen ⁽³¹²⁾. Een uitzondering vormen maïspercelen op zandige bodems, waar wel een duidelijke daling wordt vastgesteld ⁽¹⁷⁶⁾ en de voor de gewasproductie kritische waarde van 1,7 à 2 % OC ⁽³⁷⁶⁾ in de toekomst mogelijk niet meer behouden blijft.

Een mogelijke verklaring voor die gemiddeld stabiele of licht stijgende trend kan gezocht worden bij de nog steeds relatief hogere mesttoepassing in Nederland. Hoewel er ook in de periode 1990-2000 nog grote verschuivingen in landgebruik zijn gebeurd ⁽³⁴³⁾, vonden landgebruikveranderingen in Nederland doorgaans vroeger plaats dan in België.

Toch wordt die trend niet steeds bevestigd. Zo werd op de percelen van het bedrijfssysteemonderzoek te Vredepeel (Zuid-Limburg) het verloop van het OS-gehalte in de bodem tussen 1994 en 2004 opgevolgd. Hieruit kwam een jaarlijkse afname met gemiddeld 0,1 % naar voor ⁽³⁹⁷⁾. Dit sluit aan bij de bevindingen van Bos et al. ⁽⁶⁰⁾.

Naast de hiervoor beschreven processen die een dalende trend inluiden, hebben zowel in Vlaanderen als in Nederland bepaalde recente maatregelen en processen een positief mitigerend effect op de bodem koolstofproblematiek, zelfs als dit niet steeds de hoofddoelstelling van de desbetreffende maatregelen is. In Vlaanderen dragen bijvoorbeeld de bescherming van historisch permanente graslanden en de inspanningen om de oppervlakte permanent grasland te behouden bij aan de bescherming van de voorraad OC in de bodem van dergelijke percelen. Ook de gestegen toepassing van groenbedekkers (zie hierna onder [C.3.2.1](#)) zorgt voor een jaarlijks sterke aanvoer van vers organisch materiaal (in Vlaanderen goed voor ca. 2 ton organisch materiaal/ha per jaar ⁽³³⁹⁾). Tot slot leveren maatregelen zoals gereduceerde bodembewerking in het kader van erosiebestrijding vermoedelijk ook een positieve bijdrage, hoewel de impact hiervan vooralsnog onvoldoende eenduidig gekend is (zie [C.1.2.1](#)).

In overeenstemming met de slotsom van een recente literatuurstudie in opdracht van de Vlaamse Overheid ⁽⁴⁸⁾, zou men kunnen concluderen dat het merendeel van de Vlaamse en Nederlandse landbouwgronden nog een degelijke koolstofvoorraad heeft (zie streefwaarden in [B.3.](#)), maar niettemin maatregelen moeten genomen worden om (verdere) achteruitgang tegen te gaan. Een te laag koolstofgehalte weer op peil brengen is namelijk een werk van tientallen jaren ^(6,428).

B.8.2. Verdichting

B.8.2.1. Problematiek en evolutie

(377,378,379,381)

In onze West-Europese landbouw neemt de druk op de bodem steeds verder toe door de inzet van almaar zwaardere machines. Bodemverdichting is dan ook in toenemende mate een bedreiging voor duurzame landbouw en productiviteit. Een definitie en korte toelichting van effecten en belang van verdichting zijn in deze studie terug te vinden onder [A.3.1.4](#), een aantal indicatoren en grenswaarden wordt besproken onder [B.4.3](#), en oorzaken, beïnvloedende factoren en maatregelen ter controle van verdichting komen aan bod in deel C (voornamelijk in [C.1.5](#), [C.1.9](#), [C.3.3](#) en [C.4.3](#)). Voor een uitvoerige benadering van de thematiek wordt verder verwezen naar een afzonderlijke studie rond “Inventarisatie en aanpak van bodemverdichting”, eveneens uitgevoerd in het kader van het [Interreg project BodemBreed \(activiteit 3\)](#). Merk op dat, hoewel de focus in deze studie op landbouwkundig bodemgebruik ligt, ook andere activiteiten zoals verkeer of recreatie (bv. wandelen, kamperen, paardrijden) een aanzienlijke invloed kunnen hebben op de bodemverdichtingsproblematiek ⁽³⁷⁷⁾. In verschillende studies wordt geconcludeerd dat de Europese bodem nooit eerder zo ernstig bedreigd was als vandaag het geval is: op Europese schaal zou bodemverdichting verantwoordelijk zijn voor de degradatie van minstens 33 miljoen ha. In Europa is ruwweg 32 % van de ondergronden sterk gevoelig voor verdichting, 18 % matig gevoelig.

Verdichting is ook de meest wijdverbreide vorm van fysische bodemdegradatie in Nederland en Vlaanderen ^(296,379,380). Uit vergelijkingen met voorgaande metingen blijkt dat zowel in Nederland als in Vlaanderen de afgelopen tientallen jaren de oppervlakte met te sterk verdichte ondergronden is toegenomen, en dat die verdichting ook dieper in de ondergrond reikt ^(380,383). Een te sterke verdichting houdt in dat de grenswaarden zoals voorgesteld onder [B.4.3](#) (vaak 1,6 g/cm³) overschreden zijn. Op landbouwgrond zou machinegeïnduceerde verdichting zich manifesteren tussen de 10 en 60 cm diepte, met de meest duidelijke effecten in de toplaag (rond 10 cm) ⁽³⁷⁷⁾. Anderzijds is de gevoeligheid voor nog verdere verdichting op vele plaatsen vermoedelijk laag tot zeer laag, gezien de reeds vastgestelde verdichting onder de bouwvoor. Op die plaatsen is schade ten gevolge van de opgetreden verdichting reeds aan de orde.

Uit voorgaand onderzoek in Nederland, Vlaanderen en Duitsland blijkt dat vooral zandgronden (met een hoog percentage aan fijn zand) en lichte zavelen (met een laag kleigehalte), maar vermoedelijk ook lössgronden zeer gevoelig zijn voor (ondergrond)verdichting ^(380,381).

Veldmetingen in Nederland en Vlaanderen bevestigen verder de vaststelling dat de kopakker (wendakker) doorgaans meer verdicht is dan de rest van het veld, aangezien op deze kopakkers

gekeerd wordt en ze meer bereiden worden dan het middendeel van het perceel^(377,380). Onderzoek op deze kopakkers geeft dan ook inzicht in de verwachtingen voor de toekomst. De achteruitgang van de bodemkwaliteit van de kopakkers is duidelijk, met problemen betreffende ondermeer gasuitwisseling in natte omstandigheden, bewortelingsmogelijkheden en waterdoorlatendheid⁽³⁸⁰⁾.

Een positieve trend vandaag de dag is echter dat beleidsmakers in de EU en wereldwijd de bodem steeds meer erkennen als een vitale en grotendeels onvernieuwbare natuurlijke hulpbron, die onder druk staat. Dit kan een stimulans zijn om dit probleem aan te pakken en oplossingen te vinden.

B.8.2.2. Onderzoek: evaluatie en lokalisatie

Ondanks de groeiende nood aan inzicht in het voorkomen van, het risico op en de gevolgen van verdichting, is de vooruitgang in onderzoek naar verdichting in de ondergrond lange tijd erg langzaam verlopen. Maar hoe kan men deze processen en risico's nu in kaart brengen voor een concrete situatie, en hoever staat men daarbij voor Nederland en Vlaanderen?

Door bodemverdichting zal de schijnbare dichtheid van de bodem stijgen, evenals de bodemweerstand. Voor beide bodemeigenschappen zijn meetmethoden beschikbaar (met behulp van kopecky ringen en een penetrometer, respectievelijk; zie [B.4](#)), waardoor alvast de **actuele toestand** van bodemverdichting direct meetbaar wordt.

In de praktijk is het op (inter)nationale, regionale of zelfs lokale schaal echter onmogelijk om dit soort meetmethodes te gebruiken voor een **ruimere karakterisering van de gevoeligheid voor of het risico op bodemverdichting**. Gevoeligheid voor bodemverdichting slaat daarbij op de kans op verdichting onder specifieke bodemcondities en bij een gespecificeerde vochttoestand. Risico op bodemverdichting slaat op de waarschijnlijkheid dat een zekere kritische grens of gevoeligheidsscore wordt overschreden bij een specifieke belasting.

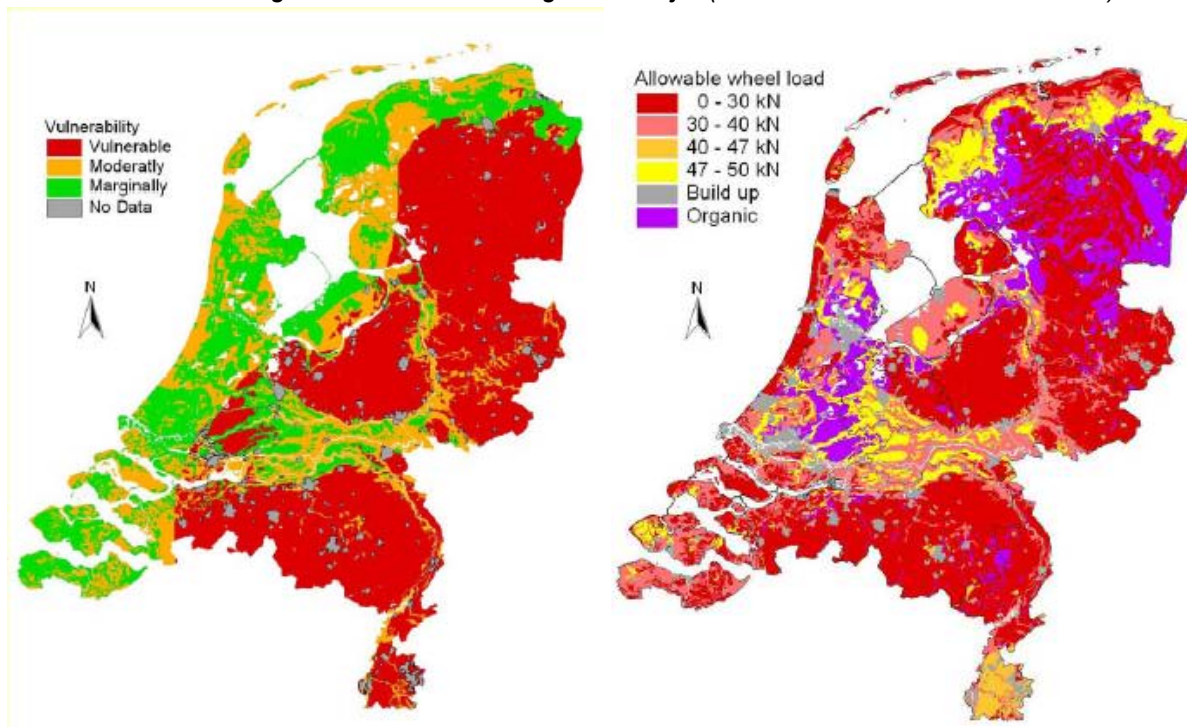
Desalniettemin wordt dergelijke karakterisering in toenemende mate belangrijk, ondermeer met het oog op de toekomstige Europese Kaderrichtlijn Bodem. Daarom maakt men op ruimere schaal eerder gebruik van empirische (gebaseerd op monitoring, evaluatie) of deterministische (gebaseerd op een bodem-mechanistische benadering) beoordelingsmethodes of modellen. Aan de hand daarvan kunnen bv. klassenkaarten opgemaakt worden. Elk van de verschillende methodes wordt daarbij gekenmerkt door een aantal typische sterktes en zwaktes, waar hier niet in detail op ingegaan wordt⁽³⁸¹⁾. Bij empirische methodes baseert men zich voor het inschatten van inherente of actuele gevoeligheid voor bodemverdichting doorgaans op (bestaande gegevens van) textuur, packing density, en klimaatsomstandigheden. Ook landgebruik en bodembeheer zijn belangrijke factoren. Een mooi voorbeeld is de (vrij ruwe) methode toegepast door Jones et al.⁽²⁰⁶⁾ voor het in kaart brengen van de bodemkundige gevoeligheid voor ondergrondverdichting op Europese schaal.

Voor **Nederland** is het werk van Van den Akker en collega's (WUR-Alterra) op dit vlak baanbrekend. Zij berekenden voor akkerland in gans Nederland ondermeer de maximaal toelaatbare wiellasten (voor banden met een breedte van 0,50 meter en een bandenspanning van 80 kPa), aan de hand van een relatief eenvoudig deterministisch model genaamd SOCOMO (SOil COMpaction MOdel)⁽³⁷⁸⁾.

Met de maximaal toelaatbare wiellast wordt de maximum wiellast bedoeld waarbij nog geen plastische vervorming (verdichting) van de bodem optreedt. Om deze wiellast te kunnen bepalen vergelijkt SOCOMO de sterkte van de bodem met de uitgeoefende spanningen in de diepere ondergrond die het gevolg zijn van de horizontale en verticale krachten teweeggebracht door het veldverkeer^(377,378,382). Een kritische vergelijking van de resultaten van deze methode met de empirische methode van Jones et al.⁽²⁰⁶⁾, leert dat de resultaten van beide methodes vrij goed overeenstemmen, behalve voor zand- en zandleembodems (Figuur 13). Uit deze kaarten blijkt dat de toegestane wiellasten op de leemgronden in Zuid-Limburg relatief hoog zijn in vergelijking met de rest van Nederland, maar dat de gevoeligheid voor verdichting er toch erg groot zou zijn. Deze resultaten spreken elkaar enigszins tegen.

Voor **Vlaanderen** werden door Van De Vreken en collega's (Katholieke Universiteit Leuven) in een verkennende studie rond bodemverdichting ondermeer gebiedsdekkende **gevoeligheids- en risicokaarten** geconstrueerd. Dit aan de hand van de Digitale Bodemkaart Vlaanderen en de databank 'Aardewerk'⁽³⁷⁷⁾.

Figuur 13. Gevoeligheid en risico op verdichting in Nederland, respectievelijk voorgesteld volgens twee beoordelingsmethodes. Links: empirische methode van Jones waarbij de actuele gevoeligheid voor verdichting geschat is; Rechts: deterministische methode van Van den Akker (SOCOMO) waarbij de maximaal te verdragen wiellasten in kaart gebracht zijn. (bron: Van den Akker et al. ^(381,382)).

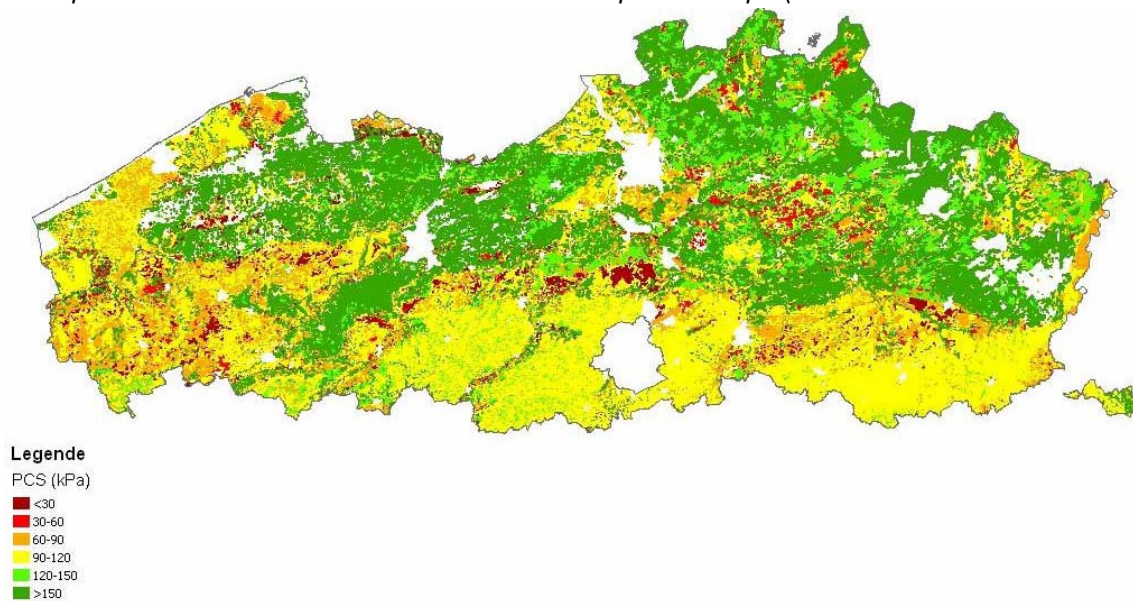


Belangrijk bij de ontwikkeling van die Vlaamse kaarten is het begrip ‘precompressiestress’ (PCS) als maat voor de structurele sterkte van een bodem (Eng. *structural soil strength*) en als indicator voor de gevoeligheid van een bodem voor verdichting ^(377,378). Uitgangspunt is dat de mate waarin de bodem zal reageren op mechanische stress, d.w.z. de gevoeligheid van de bodem voor verdichting, afhankelijk zal zijn van de sterkte van de desbetreffende bodem. Sommige bodems zijn voldoende sterk om te kunnen weerstaan aan alle te verwachten belastingen, terwijl andere bodems zo zwak zijn dat ze zelfs onder een lichte belasting reeds gecompacteerd worden. Zolang de verticale spanningen in de bodem -resultierend uit de op de bodem uitgeoefende mechanische drukken- de PCS-waarde niet overschrijden, reageert de bodem elastisch. Een overschrijding van deze waarde impliceert echter een blijvende en dus plastische vervorming. De PCS wordt dan ook beschouwd als die druk waarbij de vervorming van de bodem overgaat van “klein, elastisch en omkeerbaar” naar “plastisch en bijgevolg onomkeerbaar”. Bodemverdichting treedt op wanneer de druk op zekere diepte groter is dan de PCS. Onder dezelfde klimaatcondities en bij hetzelfde landgebruik zullen de PCS-waarden variëren onder invloed van onder meer bodemtextuur, de mate van aggregaatvorming en de matrixpotentiaal. Ook het bodemvochtgehalte heeft een uitgesproken invloed op de PCS, waarbij een toename van het vochtgehalte hand in hand gaat met een afname van de sterkte van de ondergrond, en dus een afname van de PCS ^(377,378).

Er kunnen verschillende klassen van PCS onderscheiden worden ^(377,378):

- Zeer lage gevoeligheid voor verdichting: >150 kPa
- Lage gevoeligheid voor verdichting: 120-150 kPa
- Matige gevoeligheid voor verdichting: 90-120 kPa
- Hoge gevoeligheid voor verdichting: 60-90 kPa
- Zeer hoge gevoeligheid voor verdichting: 30-60 kPa
- Extreem hoge gevoeligheid voor verdichting: < 30 kPa

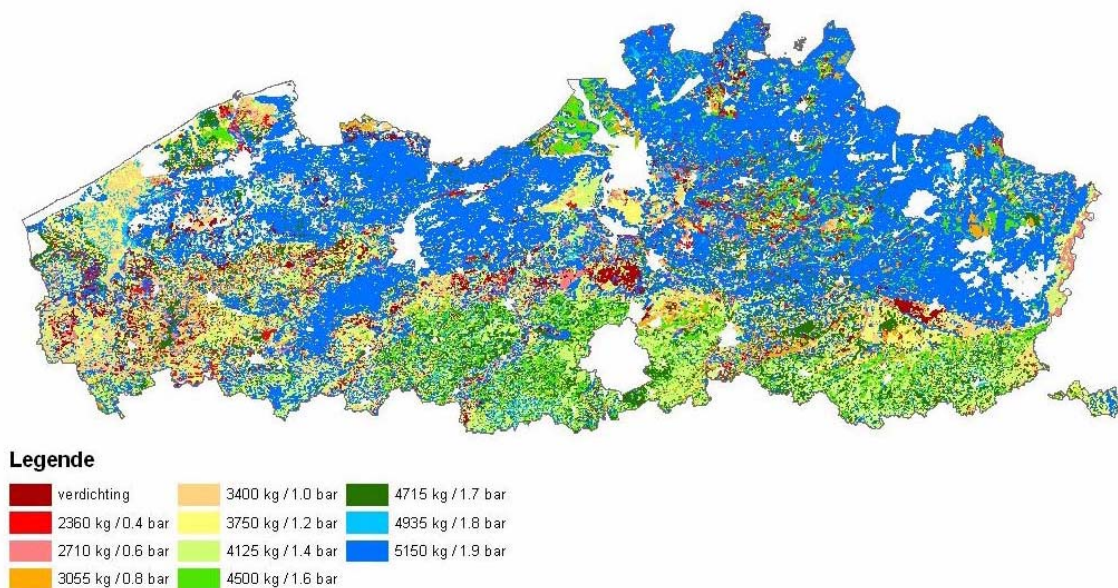
Figuur 14. Gevoeligheidskaart voor bodemverdichting in Vlaanderen uitgedrukt als de berekende waarde van de structurele sterkte (PCS) bij pF 2,5 (drogere grond) van het meest waarschijnlijke horizont per kaartenheid waardoorheen het 41 cm-dieptevlak loopt. (bron: Van De Vreken et al. ⁽³⁷⁷⁾).



Verschillende methodes werden gehanteerd voor het opstellen van de gevoeligheids- en risicokaarten.

Voor de gevoeligheidskaarten (voorbeeld in Figuur 14) werd telkens het Vlaanderen-dekkende deel van de bodemkaart van België gebruikt als ruimtelijke basis en werd de PCS (als maat voor de structurele sterkte van de bodem) op 41 cm diepte gehanteerd als indicator voor gevoeligheid. Uit die kaart blijkt dat de gevoeligheid voor bodemverdichting beduidend groter is op de leem- en zandleem gronden in zuidelijk Vlaanderen dan op de zandgronden in de Kempen en de Vlaamse Zandstreek. In gebieden met de laagste grenswaarde (<30 kPa) is de kans op verdichting heel groot. Die gebieden staan dan ook op de risicokaart (Figuur 15) als verdicht aangeduid.

Figuur 15. Risicokaart voor bodemverdichting in Vlaanderen, uitgedrukt als de maximale wiellast (in kg) bij de door de bandenfabrikant aangeraden optimale bandenspanning (in bar) voor een typische tractorband (480/80R42), die de structurele sterkte uit de gevoeligheidskaart, berekend bij pF 2,5 (drogere grond) op een diepte van 41 cm, niet overschrijdt (bron: Van de Vreken et al. ⁽³⁷⁷⁾).



Aangezien de PCS-waarden gebaseerd zijn op historische data (uit de databank Aardewerk), kunnen de gevoeligheidskaarten als geldig beschouwd worden voor bodems die nog geen of weinig verdichting hebben ondergaan. Deze kaarten kunnen met andere woorden een basis vormen voor het afbakenen van risicogebieden, wetende dat op een aanzienlijk aantal percelen binnen deze gebieden verdichting inmiddels is opgetreden. Met andere woorden: in realiteit is de oppervlakte van donkerbruin gekleurde percelen groter dan aangegeven in Figuur 15. Het risico op verdere verdichting is er afgenomen, maar schade ten gevolge van de opgetreden verdichting reeds aan de orde.

Aangezien bodemdichtheid de belangrijkste predictor is in de gebruikte functies voor de precompressiestresswaarde, lijkt de kennis van de actuele bodemdichtheid een belangrijke sleutel te zijn om gevoeligheids- en risicokaarten te maken die beter rekening houden met de compactie die reeds is opgetreden. Ook Van den Akker⁽³⁸¹⁾ besluit dat de beschikbare data op dit moment eerder zeldzaam, ontoereikend en vaak achterhaald zijn, ondanks de waardevolle indicatie die de huidige risico-modellen kunnen geven van de bedreigingen voor verdichting. Aanvullende metingen (bv. ook van bodemsterkte) zijn noodzakelijk. Onderzoek naar een aantal belangrijke aspecten, zoals het zelfherstellende vermogen van een bodem door krimp of beworteling, is op heden ontoereikend.

De risicokaarten (voorbeeld in Figuur 15) geven telkens de grensbelasting aan die mag uitgeoefend worden op een bodemkaartenheid (gekaracteriseerd voor een gegeven diepte met een welbepaald horizont) om een bepaalde structurele sterkte (uit de gevoeligheidskaart) niet te overschrijden. Deze kaarten zijn conceptueel gelijkaardig aan de risicokaart van Van den Akker⁽³⁷⁸⁾ (zie Figuur 13). De grensbelasting is daarbij berekend voor een aantal combinaties van wiellasten en bandenspanningen. Ook hier blijkt de draagkracht van de bodem beduiden hoger is in bv. de Kempen dan in de Leemstreek.

B.8.3. Bodemerosie

B.8.3.1. Problematiek en evolutie

Sinds de jaren '50 van de vorige eeuw neemt erosie in Nederland en Vlaanderen toe, doorgaans onder de vorm van water- en bewerkingserosie⁽¹⁴⁷⁾. Dit leidt tot ernstige overlast voor de landbouwer, de maatschappij en het milieu (A.3.2.1).

Het ruimtelijk patroon van bodemverlies door watererosie in Vlaanderen (Figuur 16) en Nederland wordt hoofdzakelijk bepaald door de topografie en de gevoeligheid van de bodems. Erosie is dan ook vooral een probleem in het zuidelijke deel van Vlaanderen en in Zuid-Limburg (Nederland). Deze heuvelachtige streek met veel leem- en zandleembodems is bijzonder gevoelig voor bodemerosie. Het gemiddelde bodemverlies bedraagt er plaatselijk 10 tot meer dan 20 ton per hectare per jaar.

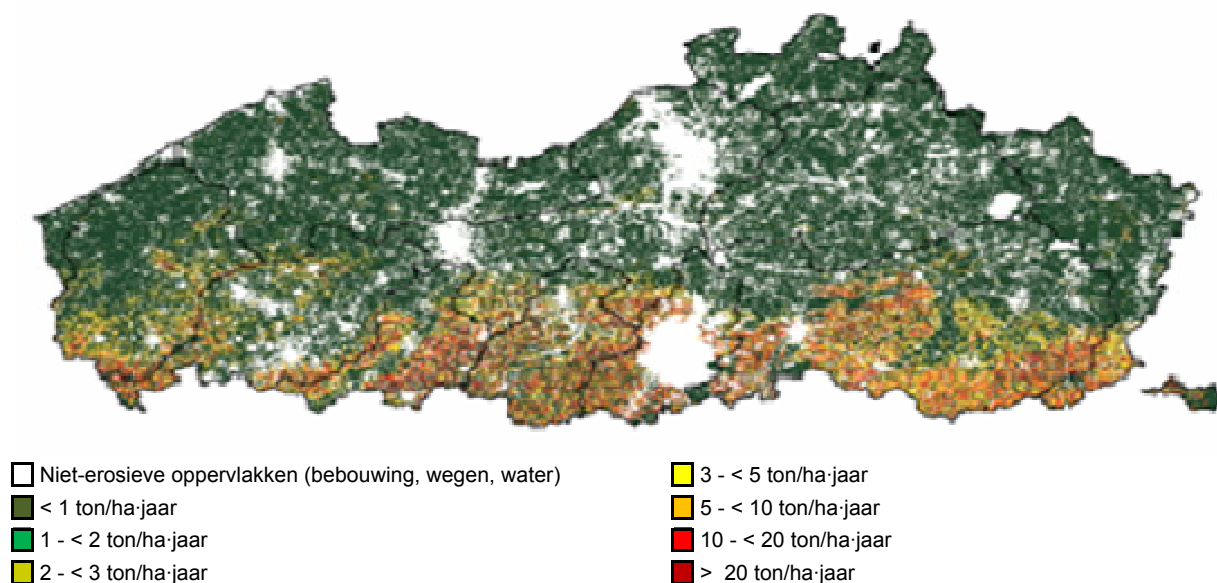
In zijn totaliteit wordt in Vlaanderen jaarlijks ongeveer 2 miljoen ton bodemmateriaal door water geërodeerd. Deze raming is gebaseerd op modelberekeningen waarin rekening wordt gehouden met de neerslag, de bodemsoort, de topografie en het bodemgebruik. Ongeveer 0,4 miljoen ton geërodeerd bodemmateriaal komt er terecht in de waterlopen⁽⁴³¹⁾.

Merk op dat Figuur 16 een momentopname voor 2006 is, en geen rekening houdt met het feit dat bodemverlies door watererosie gekenmerkt wordt door een zeer grote ruimtelijke en temporele variatie. Zo zal de jaarlijkse hoeveelheid bodemverlies door watererosie op een bepaalde plaats sterk fluctueren naargelang er dat jaar weinig of veel intense neerslagbuien waren.

Naast neerslag, topografie en bodemsoort, speelt ook bodemgebruik en dus gewaserosiegevoeligheid (zie B.6.5) een grote rol. De erosiegevoeligheid van een gewas wordt met name bepaald door de mate waarin de gewassen de bodem bedekken. In Nederland gebruikt men regelmatig de term "erosiebevorderende gewassen", zijnde de éénjarige akker- en tuinbouwgewassen die geplant, gepoot of gezaaid zijn na 1 januari van het betreffende teeltjaar. Bodemgebruik of gewaserosiegevoeligheid is de factor waar de mens het sterkst op kan inspelen. Uit metingen door de Katholieke Universiteit Leuven blijkt dat de gewaserosiegevoeligheid in Vlaanderen toenam tussen 1990 en 2001 door de

vervanging van minder erosiegevoelige gewassen (bv. graangewassen en grasland) door sterk erosiegevoelige gewassen (bv. maïs, aardappelen en groenten in open lucht) ⁽⁴³¹⁾. Ook in Nederlands Limburg heeft een gelijkaardige evolutie in landgebruik plaatsgevonden ⁽³⁰⁰⁾. Sinds 2001 is in Vlaanderen de gewaserosiegevoeligheid echter gestagneerd, vooral omdat het areaal maïs niet verder is uitgebreid ⁽⁴³¹⁾. Toch verdwijnen ook nu nog jaarlijks enkele duizenden ha blijvend grasland, zowel in Nederland als Vlaanderen. Om een idee te geven: de totale oppervlakte blijvend grasland bedroeg in Vlaanderen 173.345 ha in 2005, ten opzichte van 160.890 in 2010, wat een verlies van ongeveer 7 % inhoudt ⁽¹⁴³⁾. In Nederland nam de oppervlakte blijvend grasland tussen 1980 en 2009 af met 222.000 ha (ca. 18.5%), vooral ten voordele van het areaal tijdelijk grasland ⁽⁸¹⁾.

Figuur 16. Ruimtelijke spreiding van het gemiddelde jaarlijkse bodemverlies door watererosie (Vlaanderen, 2006) (bron: Onderzoeksgroep Fysische en Regionale Geografie, K.U.Leuven - MIRA Achtergronddocument Bodem ⁽²⁶⁹⁾).



B.8.3.2. Onderzoek en demonstratie

De afgelopen twee decennia liepen heel wat lokale, regionale en internationale onderzoeks- en demonstratieprojecten met betrekking tot erosie in Nederland en Vlaanderen. Mede dankzij deze projecten werd vooreerst een inzicht verkregen in de (omvang van) de problematiek, wat ondermeer resulteerde in het opmaken van erosiegevoeligheidskaarten. Verder werd ook de impact en effectiviteit gedemonstreerd en onderzocht van teelttechnische en structurele oplossingen om de overlast door erosie te beperken. Veel van die maatregelen zijn erop gericht om via bodembedekking de kracht van de neerslag te breken en zo de bodem te beschermen. Ook grondbewerking en gewaskeuze bieden mogelijkheden om erosie tegen te gaan, zoals besproken in [deel C](#) van deze studie. In de praktijk valt het echter niet steeds mee om te bepalen welke maatregel onder welke omstandigheden het sterkst aan te raden is. Mede daarvoor werd ondermeer een “Richtlijnenboek Erosiebestrijdingsmaatregelen” ⁽¹⁵⁵⁾ opgesteld, en werd in het kader van het [Interreg project “Erosiebestrijding”](#) een adviesprogramma ontwikkeld dat de landbouwer ondersteunt in zijn keuze ⁽¹⁶⁾. Maatregelen gericht op preventie (de zogenaamde “brongerichte maatregelen” zoals de toepassing van directe inzaai, gereduceerde bodembewerking of groenbedekkers) zijn doorgaans opvallend effectiever dan remediërende inrichtingsmaatregelen (bv. grasgangen, grasbufferstroken of damconstructies) ^(147,151,152,153,154,155,169,247,290,421).

B.8.3.3. Praktijk, wetgeving en evaluatie

Het beleid in **Vlaanderen** inzake erosiebestrijding is gekoppeld aan een kaart die de erosiegevoeligheid van percelen weergeeft. De randvoorwaarden (voorwaarden voor het ontvangen van rechtstreekse inkomenssteun) in het hernieuwde landbouwbeleid (MTR of Mid Term Review)

stellen dat de landbouwer op sterk erosiegevoelige gronden de erosie moet bestrijden door het toepassen van minstens één uit een reeks van mogelijke maatregelen zoals de inzaai van groenbedekkers, niet-kerende grondbewerking en de aanleg van grasgangen, grasbufferstroken of dammen met erosiepoel. Daarnaast bestaat de mogelijkheid om beheerovereenkomsten te sluiten. Dit komt neer op een vrijwillig contract voor 5 jaar, waarbij de landbouwer in kwestie in ruil voor een jaarlijkse vergoeding een aantal maatregelen uitvoert en enkele voorwaarden naleeft. In 2010 lopen binnen het Vlaams Programmadocument voor Plattelandsontwikkeling (PDPO II) beheerovereenkomsten goed voor 685 ha grasbufferstroken, 101 ha grasgangen, 2.963 ha niet-kerende grondbewerking, 167 ha directe inzaai, en 64 m dam met erosiepoel op grasland ⁽⁴³³⁾.

Op gemeentelijk niveau bestaat sinds de goedkeuring van een nieuwe versie van het Erosiebesluit in 2009 de subsidiemogelijkheid voor het aanstellen van een erosiecoördinator. Deze persoon kan de gemeente begeleiden bij de uitvoering van haar gemeentelijk erosiebestrijdingsplan. Op het moment van publicatie van deze studie werd aan 99 gemeenten subsidie verleend voor de opmaak van een erosiebestrijdingsplan. Hiervan werden reeds 92 plannen goedgekeurd. Verder werd tot op heden subsidie verleend voor de uitvoering van 84 gemeentelijke erosiebestrijdingsprojecten. 62 gemeenten hebben een principeaanvraag ingediend voor het aanstellen van een erosiecoördinator (LNE, pers. comm.).

Ter evaluatie van de effectiviteit van deze instrumenten (kleinschalige erosiebestrijdingswerken en beheerovereenkomst erosiebestrijding) werd een indicator “erosiemaatregelen” samengesteld. Deze indicator meet het effect van beide instrumenten op gelijke voet en dit ten opzichte van de voor elke gemeente gedefinieerde doelstelling. Bij een indicatorwaarde gelijk aan 100 % zouden de grootste bodemerrosieproblemen in Vlaanderen opgelost zijn. Doelstelling is een indicatorwaarde van 60 % te behalen tegen 2025. In 2008 bedroeg de waarde van de indicator 7 %. In de eerste jaren na 2002 steeg de indicator telkens fors, maar de laatste jaren is de relatieve toename kleiner. De indicator is dus nog ver van zijn doelstelling af ⁽⁴³¹⁾.

In **Nederland** (en met name Zuid-Limburg) is de subsidieregeling inmiddels vervangen door regelgeving. Sinds 1990 bestaat een erosieverordening ⁽³⁰⁰⁾. Deze is van toepassing op een welomlijnd gebied in Zuid-Limburg en houdt onder meer een meldplicht in voor de landbouwers indien op een perceel de lijnvormige of vlaksgewijze uitspoeling als gevolg van erosie dieper is dan 12 cm. De verordening schrijft verder een aantal maatregelen voor om een basisbescherming te bieden tegen erosie en wateroverlast. De laatste aanpassing van die voorschriften gebeurde in 2009. Daarbij werd onderscheid gemaakt tussen de periode tot 2013 en de periode vanaf 2013. Het toepassen van niet-kerende grondbewerking (NKG) in combinatie met een bodembedekking is vanaf 2013 leidend, met een verplichting op erosiegevoelige gronden (> 2% helling). Voor percelen met een hellingspercentage groter dan 18% bestaat de verplichting deze in grasland te leggen of te houden. De periode tot 2013 wordt gezien als een overgangstermijn, en degenen die in die periode NKG in combinatie met bodembedekking reeds toepassen, kunnen hiervoor een subsidie ontvangen. Deze bedraagt 50 of 94 € per hectare, afhankelijk van de helling en met een maximum bedrag per bedrijf. Tijdens de overgangsperiode wordt de praktische haalbaarheid van NKG onder kritische omstandigheden en voor kritische gewassen verder getest en verbeterd. Vanaf 2013 zou dan de mogelijkheid bestaan om af te wijken van het leidende uitgangspunt van NKG met een bodembedekking, indien de haalbaarheid of effectiviteit in het geding komen. Voorwaarde is dat alternatieve maatregelen worden getroffen met een zelfde remmend effect op de afstroming van water en erosie. De verschillende activiteiten binnen het project BodemBreed kaderen perfect binnen die planning en aanpak, ondermeer via het samenbrengen van ondernemers in kenniscirkels, het uitvoeren van een aantal praktijkproeven en de realisatie van deze literatuurstudie.

C. Effect van landbouwkundige maatregelen op de bodem en zijn landbouwkundige geschiktheid

De landbouwer beïnvloedt met zijn bodembewerkingen, teeltrotatie, bemesting en gewasbescherming niet alleen zijn opbrengsten maar ook de bodemkwaliteit en het milieu. Dit derde en meest omvangrijke deel van de studie beschrijft daarom uitvoerig de relaties tussen bodemkwaliteit en vijf categorieën van bodembeheer. Binnen de doelstellingen van het Interreg project BodemBreed, zijn dit met name:

- Bodembewerking (Eng. *tillage*) ([C.1](#))
- Teeltkeuze en –rotatie (Eng. *crop choice and crop rotation*) ([C.2](#))
- Groenbedekkers (Eng. *cover crops, green manure crops or catch crops*) ([C.3](#))
- Bemesting (Eng. *fertilisation*) ([C.4](#))
- Gewasbescherming (Eng. *crop protection*) ([C.5](#))

Daarnaast zou men ook het regelen van externe waterhuishouding kunnen noemen (peilbeheer, drainage). Hoewel potentieel van groot belang, werd deze groep maatregelen niet opgenomen in de huidige studie.

De werkwijze in dit deel bestaat er algemeen uit te vertrekken van een reeks gangbare bewerkingen betreffende positieve of negatieve effecten van een bepaalde maatregel. Die bewerkingen worden bij aanvang van elke paragraaf tussen aanhalingstekens vermeld, om ze dan vervolgens in de tekst kritisch door te lichten aan de hand van wetenschappelijke literatuur, onderzoeksrapporten, proefresultaten en expertkennis. Het is daarbij belangrijk te beseffen dat niet alle antwoorden even sterk wetenschappelijk onderbouwd zijn. Regelmatig zijn ze deels gestoeld op (vaak jarenlange) praktijkervaring van experts. Het leek ons echter meer dan relevant om ook die kennis mee te geven. Waar mogelijk wordt telkens aangegeven op basis van welk type informatie een bewering beantwoord werd.

Verder wordt ingegaan op de complexe interacties tussen maatregelen, en conflicterende gevolgen van bepaalde keuzes. Denk daarbij bv. aan de mogelijke noodzaak om meer gewasbeschermingsmiddelen in te zetten bij sommige erosiebeperkende maatregelen, of de extra uitdagingen voor de biologische landbouw.

Doelstelling is om de effecten van het landbouwkundig bodemgebruik op de kwaliteit van de bodems en van grond- en oppervlaktewater inzichtelijk te maken en om praktische maatregelen te formuleren. De nadruk ligt met andere woorden op suggesties van goede praktijk, zodat landbouwers via hun bodembeheer een optimale bodemkwaliteit met beperkte verliezen kunnen realiseren.

C.1. Bodembewerking

In dit eerste gedeelte worden de potentiële effecten van verschillende vormen en intensiteiten van bodembewerking besproken. Alle types bodembewerking hebben één gemeenschappelijk kenmerk: het loswerken van grond. Een bodembewerking wordt om zeer diverse redenen uitgevoerd. Denk aan bodembeluchting, opheffen van storende lagen, zaai- of pootbedbereiding, stoppelbewerking, egaliseren, onkruidbestrijding, onderwerken van gewasresten of organische mest, of het aanaarden van ruggen.

Bodembewerking wordt hier zeer ruim gedefinieerd. Er wordt zowel gedifferentieerd naar **type** bewerking (hoofdzakelijk kerend versus niet-kerend) als naar bewerkings**diepte**, bewerking**tijdstip** en bewerking**materiaal** (bv. gebruikte machine, of bandentype, -spanning en -breedte).

C.1.1. Inleiding

C.1.1.1. Gradaties in intensiteit van bodembewerking

Een aantal belangrijke begrippen rond bodembewerking wordt in de praktijk vaak met elkaar verward, en ook vertalingen gebeuren dikwijls op een verschillende manier. Daarom worden bij aanvang van deze paragraaf enkele termen op een rijtje gezet ^(120,135,147,162). Zie ook Kader 3.

Conventionele bodembewerking (CB) (Eng. conventional tillage)

Hiermee wordt verwezen naar de eeuwenoude techniek van het **ploegen** (Eng. *mouldboard ploughing*). In de traditionele landbouw is deze **kerende bewerking** de methode bij uitstek voor het efficiënt onderwerken van gewasresten en onkruidzaden, en het losser maken van de bodem.

Conserveringslandbouw (Eng. conservation agriculture)

Dit ruime begrip kan beschouwd worden als het **geheel van beheerprincipes** die een meer **duurzame landbouwproductie** mogelijk maken. Met andere woorden: een vorm van landbouw die zowel de natuurlijke hulpbronnen als de gewasopbrengsten en de economische leefbaarheid van het bedrijf in stand houdt. Concreet combineert conserveringslandbouw steeds drie basisprincipes: (1) het reduceren van de bodembewerking, (2) het achterlaten van gewasresten op het veld (permanente bodembedekking van minimum 30-40 %), en (3) het toepassen van een gevarieerde teeltrotatie ^(162,420). Varianten van conserveringslandbouw hebben zich de laatste 20 jaar vooral in Zuid-Amerika, de Verenigde Staten, Canada en Australië ontwikkeld ⁽³⁸⁸⁾. Vaak worden bewerkingen over conserveringslandbouw in de literatuur ook voor andere regio's sterk veralgemeend, al zijn de concrete vorm, mogelijkheden en effecten hiervan sterk afhankelijk van klimaat-, bodem- en teeltomstandigheden. Het is een van de doelstellingen van deze studie om misvattingen die uit dergelijke veralgemeningen ontstaan indien nodig te weerleggen.

Directe inzaai (Eng. direct drilling)

Directe inzaai of directzaai is de methode waarbij het hoofdgewas wordt ingezaaid in de gewasresten van de vorige teelt of van een doodgevroren of doodgespoten groenbedekker, zonder dat de gewasresten worden ondergewerkt. De gewasresten blijven hierbij gedurende de opkomst van het nieuwe hoofdgewas ongestoord boven op de grond liggen. Het is belangrijk te beseffen dat deze praktijk zijn oorsprong vindt in Latijns Amerika in een context van hevige regenval en ernstige erosie, onder bodemtypes en een landbouwpraktijk die vaak sterk verschilt van die in onze Europese context. Hoewel de techniek waardevolle elementen bevat, is een aangepaste variant noodzakelijk. Directe inzaai is voor vele landbouwers in onze contreien niet haalbaar, ondermeer wegens het ontbreken van de benodigde machines.

Niet-kerende grondbewerking (NKG) (Eng. non-inversion tillage)

Letterlijk betekent niet-kerende grondbewerking een systeem waarbij het intensief keren of mengen van de grond wordt vermeden, met als doel maximale opbouw van bodemstructuur gevormd door planten en bodemleven. NKG komt in de praktijk min of meer overeen met het uitsluiten van ploegen, en wordt daarom ook wel **ploegloos telen** genoemd. Als alternatief voor ploegen, kunnen stoppelbewerking en hoofdgrondbewerking worden uitgevoerd met bv. een triltand, schijveneg, vaste tand of ganzenvoet-cultivator. Ook directzaai wordt vaak als een vorm van niet-kerende grondbewerking beschouwd. Hoewel in principe niet in overeenstemming met de strikte definitie, wordt binnen de Zuid-Limburgse (NL) erosieverordening ⁽³⁰⁰⁾ (zie [B.8.3.3](#)) voorjaarsploegen tot maximum 12 cm diep ook als niet-kerende grondbewerking beschouwd.

No-till (Eng. No-tillage or zero tillage)

Letterlijk betreft het hier een teelt zonder bodembewerking. Omdat echter alleen al met het zaaien het zaad toegedekt moet worden, zal altijd sprake zijn van enige bewerking van de bodem. In België wordt de benaming no-till gebruikt indien sprake is van directe inzaai van zowel de groenbedekker als het hoofdgewas.

Minimale of gereduceerde bodembewerking (RB) (Eng. minimum or reduced tillage)

De naam minimale of gereduceerde bodembewerking wordt hier gebruikt voor elke teeltmethode waarbij de bodembewerking minder intensief wordt uitgevoerd dan bij de gangbare teelt (CB). Zowel directe inzaai als NKG (al dan niet bewerkt tot op bouwvoordiepte) worden tot gereduceerde bodembewerking gerekend.

Dus...

- Men kan spreken van directe inzaai zodra het hoofdgewas wordt ingezaaid in niet-ondergewerkte gewasresten;
- Men kan echter pas spreken van no-till wanneer ook de gewasresten van het hoofdgewas niet ingewerkt worden, en dus zowel de groenbedekker als het hoofdgewas direct ingezaaid worden;
- Wanneer in deze studie algemeen verwezen wordt naar gereduceerde bodembewerking (RB), dan kan dit heel ruim zowel betrekking hebben op een niet-kerende grondbewerking, directe inzaai als elke andere vorm van bodembewerking die minder intensief is dan een conventionele kerende bewerking op 20-25 cm diepte. Ook oppervlakkig ploegen (max 12 cm) valt hier dus onder;
- Wanneer het belangrijk is meer gedetailleerd onderscheid te maken tussen verschillende vormen van RB, dan worden expliciet de termen NKG of directe inzaai gebruikt.

In deze studie ligt de nadruk op de mogelijkheden en effecten van RB, en met name van het type “NKG”, als alternatief voor een bewerking waarin ploegen een hoofdrol speelt. In de vergelijking tussen beide types wordt echter niet uitgegaan van het idee “of het één, of het ander”, maar wordt aandacht besteedt aan de vele mogelijke tussenvormen en combinaties, en de enorme diversiteit aan bewerkingsmogelijkheden die allen onder die ene noemer van NKG vallen.

C.1.1.2. Welke andere vormen van bodembewerking kunnen onderscheiden worden?

Naast de indeling zoals hiervoor voorgesteld, kunnen verschillende vormen van bodembewerking onderscheiden worden op basis van het bewerkingsdoel en daarmee samenhangend de diepte waarop gewerkt wordt ⁽³⁹⁾:

- Diepe grondbewerking, 20 tot 35 cm: verwijdert storende, verdichte lagen, creëert daarmee tijdelijke waterberging, en verhoogt de doorlatendheid van de bodem voor optimale vochtvoorziening, gasuitwisseling en wortelgroei;
- Intensieve, middeldiepe grondbewerking, 15 tot 20 cm: zorgt voor een ongestoorde wortelgroei van het gewas en voorkomt vooral kwaliteitsproblemen bij rooigewassen. Deze bewerking is met name belangrijk op zand, löss of lichte klei;
- Oppervlakkige, vlakmakende mengende grondbewerking, 3 tot 12 cm: heeft tot doel het vlak maken van het land, de aanleg van een (vals) zaaibed (onkruidbestrijding), en de vertering van gewasresten. Verzekert een goede jeugdontwikkeling.

Ook een onderscheid op basis van het bewerkingstype of tijdstip waarop de bewerking uitgevoerd wordt, kan nuttig zijn. Zie daarvoor [C.1.9](#).

Kader 3. De bodem bewerken: Ploegen? Spitten? Woelen?

(120,223,327)

Alle types bodembewerking hebben één gemeenschappelijk kenmerk: de verplaatsing van grond, in en/of dwars op de werkrichting, in het horizontale en/of verticale vlak. Het meest fundamentele verschil tussen de diverse hoofdbewerkingen is dat tussen kerende en niet-kerende bewerkingen. De kerende bewerking is vrij specifiek voor de ploeg, hoewel ook spitmachines een zekere kering kunnen bewerkstelligen. De overige werktuigen die voor de hoofdgrondbewerking gebruikt worden, hebben vooral een mengend en/of sorterend effect.

Bij de eeuwenoude techniek van het **ploegen** (Figuur 17) wordt de grond opengesneden en worden door een kerende beweging gewasresten en onkruidzaden ondergewerkt, wordt de 'mooie' grond aan het oppervlak gebracht, en komt de bouwvoor open te liggen. Standaard wordt vandaag geploegd op 20-30 cm. Dieper is normaal niet noodzakelijk, maar wordt uitzonderlijk toegepast om gebreken in het profiel op te lossen (bv. bouwvoor verlichten bij zware kleigronden, of ontwatering verbeteren bij storende lagen in de ondergrond).

Alternatieven voor standaard ploegen zijn hoofdzakelijk ondiep ploegen, diep of ondiep spitten, of een vorm van niet-kerende grondbewerking.

Spitten is een vrij jonge vorm van bodembewerking, waarbij een onderscheid gemaakt wordt tussen roterende (ronddraaiende spaden) en krukasspitmachines (stekende spaden), elk met een heel eigen werking. Bij laatstgenoemde steekt de spade schuin achterwaarts in de vaste grond en werpt de losgetrokken grondmoot naar achteren weg. De roterende spitmachine (Figuur 17) (soms ook spitfrees genoemd) hapt de vaste grond met een vloeiende draaibeweging. Het resultaat daarvan is een deels kerende en relatief intensief mengende bewerking.

Cultivatoren, decompactors en woelers vormen een brede verzameling van werktuigen, elk met specifieke kenmerken en bewerkingsdieptes. Ze worden allen ingezet voor een niet-kerende bewerking en hebben dus gemeenschappelijk dat de bodem noch gekeerd, noch intensief gemengd wordt, en de bodemstructuur doorgaans slechts beperkt verstoord wordt. De bodemlaag wordt met behulp van beitels, scharen of andere elementen opengebroken en lichtjes opgetild om barsten/scheuren te creëren of een storende grondlaag te doorbreken. Bij een decompactor (Figuur 17) wordt de grond ook lichtjes zijdelings verzet.

Deze werktuigen kunnen ook opgedeeld worden in **aangedreven en getrokken machines**. Tot de eerste groep behoren bv. ook de rotorkoepel en frezen, tot de laatste groep de schijveneg.

Figuur 17. Machines voor bodembewerking. Vlnr: ploeg, roterende spitmachine, decompactor.



C.1.1.3. Niet-kerende grondbewerking in België, Nederland en de wereld

(388)

De laatste decennia is de interesse in ploegloze teelt sterk toegenomen. Belangrijke motivaties hiervoor zijn ondermeer de vermoedelijke mogelijkheden voor erosiereductie, aanpak van bodemverdichting en -verontreiniging, lager energieverbruik, en koolstofopslag. Systemen zonder of met gereduceerde bodembewerking zijn dan ook wereldwijd enorm in opgang. ECAF⁽¹³⁵⁾ meldde een wereldwijde groei van 6 naar 47,6 miljoen ha tussen 1995 en 2005. Goddard et al.⁽¹⁵⁷⁾ maakten eind 2007 reeds melding van 95 miljoen ha. Binnen Europa bleven deze ontwikkelingen tot dusver echter beperkt, tot minder dan 2 % van het totale landbouwareaal⁽¹³⁵⁾. Landen waar op dit moment conserverende landbouw erg omvangrijk geworden is, zijn Zwitserland (>40 % van het landbouwareaal), het Verenigd Koninkrijk (>30 %) en Duitsland (>20 %).

Wanneer in Nederland of België gesproken wordt over gereduceerde bodembewerking, dan slaat dit doorgaans op NKG. Met behulp van schijven, tanden of woelers wordt de bodem hier gescheurd en verkruimeld. De bovengrond wordt op die manier los en kruimelig, en een groot aandeel van de gewasresten blijft aan de oppervlakte. Van directzaai, waarbij gezaaid wordt in de stoppels van een groenbedekker of het vorige hoofdgewas door smalle sleuven te snijden, is in onze contreien nauwelijks sprake.

In België wordt de oppervlakte onder RB geraamd op ongeveer 10 % van het landbouwareaal, met een sterke concentratie in de leemstreek. In 2010 lopen binnen het Vlaams Programmadocument voor Plattelandsontwikkeling (PDPO II) beheerovereenkomsten goed voor 2.963 ha NKG. Ook in Nederland kent de toepassing een sterke concentratie in de erosiegevoelige gebieden in Zuid-Limburg. Daar bedroeg het areaal onder NKG in 2008 ongeveer 3.500 ha, met een sterke stijging in 2009 tot 12.000 ha, wat overeenkomt met ongeveer 75 % van het akkerbouwareaal ⁽²⁷³⁾. Zowel in Zuid-Limburg als de Belgische Leemstreek is erosiecontrole de voornaamste motivatie voor de toepassing van NKG, en kadert deze maatregel vaak binnen een beheerovereenkomst, de randvoorwaarden of de Nederlands-Limburgse erosieverordening (zie [B.8.3.3](#)).

Wat staat een bredere toepassing in de weg?

Hoewel de interesse in alternatieven voor ploegen merkbaar stijgt, blijft de toepassing van NKG tot op heden erg beperkt. Van opbrengstderving zou nochtans geen of nauwelijks sprake zijn (zie verder onder [C.1.6.4](#)), en het lijstje met geclaimde voordelen is op het eerste zicht vrij indrukwekkend. Wat zijn dan de voornaamste praktijkproblemen die een omschakeling in de weg staan? Enkele regelmatig aangehaalde **veronderstellingen** zijn ondermeer:

- De beperkte geschiktheid van ons klimaat voor NKG, ondermeer wegens te natte omstandigheden op het moment dat er moet bewerkt worden;
- Het gebrek aan de benodigde machines;
- Het vermeende risico op structuurbederf (verdichting);
- De vrees voor kwaliteitsverlies en stijgend tarraverlies;
- De vrees voor toenemende onkruid-, plaag- en ziektedruk;
- Zeker ook niet te onderschatten: het visuele aspect. Er bestaat nog steeds een ideaalbeeld van een perfect egaal veld zonder onkruid en zonder gewasresten. De toepassing van NKG maakt dit onmogelijk en vormt op die manier een psychologisch obstakel.

C.1.1.4. Enkele aandachtspunten

In wat volgt worden bovenstaande en andere beweringen in detail uitgespit, en wordt nagegaan in hoeverre de aangehaalde voor- en nadelen werkelijk gestaafd kunnen worden.

Het is hierbij belangrijk op te merken dat een correcte interpretatie van (buitenlandse) studies aandacht verdient. Zo werd met name belangstelling getoond voor de **vergelijkbaarheid** met het studiegebied wat betreft teeltrotaties en klimaat, gezien hun belangrijke invloed op het eindresultaat.

Een aandachtspunt is ook dat in meerdere buitenlandse studies uitgegaan wordt van no-till. Zuivere no-till wordt echter voor zover geweten niet toegepast in het projectgebied. Tenzij anders aangegeven in de tekst, wordt verwacht dat in die gevallen de beschreven trends gelijkaardig doch minder sterk uitgesproken zouden zijn onder RB.

Verder valt te bemerken dat vaak gecombineerde effecten van bodembewerking en **residuebeheer** beschouwd worden. In de praktijk gaan beiden inderdaad doorgaans samen: onder CB worden eventuele gewasresten (diep) ingewerkt in de bodem, terwijl onder no-till of RB die resten doorgaans (gedeeltelijk) aan het bodemoppervlak blijven liggen (Figuur 18). De hoeveelheid van dergelijk residu is natuurlijk sterk afhankelijk van het geoogste gewas. Zo zal korrelmaïs veel meer residu achterlaten dan hakselmaïs. In het geval van graan wordt het merendeel van het stro verwijderd, maar de stoppels zelf kunnen toch nog een aanzienlijke bedekking opleveren (zie daarvoor ook [C.2.2.1](#)). Dergelijke achtergebleven gewasresten worden ook **muls of mulch** (Eng. *mulch*) genoemd. Terwijl daarbij in Vlaanderen eerder specifiek naar bedekking bovenop de bodem verwezen wordt, spreekt men in Nederland ook nog van mulch wanneer dit materiaal oppervlakkig (in de bovenste bodemlaag) ingewerkt wordt. In de tekst wordt de algemene termen gewasresidu of gewasresten gebruikt en worden en zo goed als mogelijk de soms doorslaggevende effecten van aan- of afwezigheid van dit gewasresidu in rekening gebracht.

Figuur 18. Gewasresten worden bij conventioneel ploegen (links) volledig ondergewerkt, daar waar bij een niet-kerende grondbewerking (rechts) een aanzienlijk deel nabij het bodemoppervlak blijft liggen.



Kader 4. Een goede vergelijking vereist inzicht, integratie en correcte gegevensinterpretatie

We benadrukken nogmaals de mogelijke beïnvloeding van resultaten door verschillen in meetmethodes, en het belang van een nauwkeurige interpretatie (zie ook Kader 2). Naast variabiliteit in meetmethodes, -tijdstippen, -locaties en -eenheden, kan in het concrete geval van een vergelijking van bodembewerkingstypes ook de bewerking zelf een effect uitoefenen op het meetresultaat. Zo kan bv. schijnbare bodemdichtheid toenemen onder RB. Als in dat geval bodemstalen onder verschillende bewerkingen tot eenzelfde diepte genomen worden, zal meer bodemmassa verzameld worden onder RB dan onder CB, en kan dus onterecht bv. een schijnbaar hogere OC-voorraad gemeten worden ^(408,420). Op gelijkaardige manier kan een vertekend beeld ontstaan wanneer geen staalname plaatsvindt over de volledige bewerkingsdiepte of zelf het volledige bodemprofiel, aangezien de verdeling van bv. OS beïnvloed wordt door het type bewerking ^(30,288,408). In sommige studies wordt daarom voor dergelijke situaties een aangepaste staalname of meetmethode gesuggereerd ⁽¹³¹⁾, of eventueel een correctie van de resultaten.

Een andere moeilijkheid voor onderzoek ligt bij het behoud van homogene groeicondities in een experimentele opzet. Bij een ideale proefopzet streeft men er naar alle factoren gelijk te houden, behalve de factor die men wil bestuderen. Enkel dan kan men het effect van die factor op verschillende bodemeigenschappen uitzuiveren. In dit geval is die factor “bodembewerking”. Het probleem in de praktijk is dat een andere bodembewerking in realiteit een ruime aanpassing van teelttechnische maatregelen vraagt: afhankelijk van het type bewerking verschillen ondermeer het optimale bewerkingstijdstip, het bemestingsregime en –tijdstip, de vereiste gewasbescherming, en een aangepaste teeltkeuze en –rotatie. Dergelijke aanpassingen binnen een experiment staan een zuivere interpretatie van bewerkingseffecten natuurlijk in de weg. In een proefopzet moet daarom steeds een balans gevonden worden tussen statistische correctheid en zin voor realiteit. Met andere woorden: het heeft weinig zin om een goed uitgevoerd ploegresultaat te vergelijken met een onnauwkeurig uitgevoerde NKG binnen een onaangepast systeem.

C.1.2. Effect op chemische bodemeigenschappen

C.1.2.1. Effect op organische (kool)stof

“Neemt de hoeveelheid bodem OC toe onder RB?”

Een belangrijk en regelmatig aangehaald motief voor de toepassing van RB, is de vermeende toename in bodem OC.

Hoewel hier zeker goede argumenten voor bestaan, blijkt uit een brede waaier van onderzoeksresultaten dat dit niet eenduidig aangetoond kan worden, en bestaan heel wat tegenstrijdige uitkomsten en beweringen rond deze thematiek. Hierbij dient bv. eerst en vooral verduidelijkt te worden of men doelt op een toename van de totale bodemvoorraad OC, de voorraad in een bepaalde bodemlaag of het OC-gehalte van een bodemlaag, en over welke OC-fractie (labiel,

intermediair, stabiel) men spreekt. In wat volgt worden een aantal processen nader toegelicht en worden factoren aangehaald die in deze balans een rol kunnen spelen.

De verdeling van OC in het bodemprofiel versus de totale voorraad

Waar de meeste studies en praktijkproeven het over eens zijn, zowel in de projectregio als daarbuiten, is dat het type bodembewerking een sterke invloed heeft op de **verdeling** van OC in het bodemprofiel. Onder no-till of RB blijkt het OC-gehalte hoger te zijn in de toplaag (10 à 15 cm), en lager in de diepere lagen terwijl onder CB het gewasresidu homogener wordt ingewerkt ^(13,93,121,164,288,373,384,452). Hoewel dergelijke concentratie in de toplaag in het kader van het Kyotoprotocol minder relevant is, is de stijging van het OC-gehalte in de bovenste bodemlagen vanuit een landbouwkundig oogpunt erg interessant. Zoals reeds aangehaald oefent OC namelijk vooral in de bovenste lagen cruciale functies uit betreffende aggregaatvorming, tegengaan van verslemping en erosie, en vrijstelling van nutriënten ⁽⁴⁸⁾.

Meer verdeeldheid bestaat over het effect van bodembewerking op de **totale bodem OC-voorraad**. Vele studies, wellicht het merendeel, geven aan dat de OC-voorraad op langere termijn positief beïnvloed wordt door omschakeling naar no-till of RB. Ook voor onze contreien werd dit bevestigd, ondermeer in onderzoek uitgevoerd in Noord-Frankrijk. Daar werden op maïs-tarwe percelen na 32 jaar onderwerping aan verschillende bodembewerkingssystemen 5-15 % grotere OC-stocks aangetroffen onder directzaai in vergelijking met CB ⁽²⁸⁸⁾. De resultaten van die studie suggereren dat de grotere hoeveelheden OC konden toegeschreven worden aan (i) de verhoogde vorming van macroaggregaten in de 0-5 cm bodemlaag door hogere microbiële activiteit en door een grotere hoeveelheid bodem OS, en (ii) een grotere fysische bescherming van OS in de 5-20 cm bodemlaag ten gevolge van een groter percentage kleine poriën en van de afwezigheid van bodemverstoring door ploegen. Merk echter op dat dergelijke stijging vaak beperkt is: om tot een significante stijging van de OC-voorraad te komen zullen wellicht erg grote hoeveelheden organisch materiaal toegevoegd moeten worden, ook onder NKG ⁽²⁸⁸⁾. Een kleine stijging kan echter al een groot functioneel effect teweeg brengen.

Toch zijn er ook veel studies die geen significante verschillen vinden tussen no-till en CB ⁽¹²¹⁾, en zelfs studies die een daling onder no-till waarnemen ^(42,43). Zo kon ook uit studies van D'Haene et al. ^(91,93) voor de Belgische situatie geen significante stijging of daling vastgesteld worden na een periode variërend tussen 2 en 20 jaar. Wellicht speelde de sterke bodemverstoring door de aanwezigheid van rooigewassen (aardappel en biet) in de teeltrotatie hier een belangrijke rol ⁽⁹³⁾. Ook is het duidelijk belangrijk om een onderscheid te maken tussen no-till en RB: West & Post ⁽⁴⁴²⁾ concludeerden uit een globale revisie van 67 datasets dat OC-voorraden onder no-till significant hoger waren dan onder RB of CB, maar dat geen significant verschil kon worden aangetoond tussen RB en CB, terwijl Alvarez ⁽⁷⁾ geen verschillen vond tussen no-till en RB, maar wel een significant lagere OC-voorraad onder CB ⁽¹⁶⁴⁾. Tot slot spelen ook de aard (kwaliteit en afbreekbaarheid) van het aangevoerd organisch materiaal en de relatie met de actieve minerale bodem een cruciale rol in de opbouw mogelijkheden van de bodem OC-voorraad.

Welke factoren en processen hebben een invloed op de bodem OC-voorraad?

Meer onderzoek is duidelijk nodig om een helder inzicht te verkrijgen in de impact van bodembewerking op de OC-voorraad, wat met name van belang is in de discussie rond **klimaatverandering**. Toch kunnen reeds een aantal factoren en mechanismen onderscheiden worden die een rol spelen in deze balans ⁽¹⁶⁴⁾.

- **Afbraakmogelijkheden voor OC:** Doorgaans versnelt een intensieve bodembewerking de afbraak van OC door het gedeeltelijk vernietigen van macroaggregaten. Hierdoor komt oorspronkelijk afgeschermd OS vrij vooraleer het ingebouwd kan worden in microaggregaten ⁽¹⁴²⁾. De blootstelling aan water, zuurstof en micro-organismen zal dan een flush van mineralisatie veroorzaken. Onder no-till (of RB) verbreken de macroaggregaten slechts langzaam, waardoor voldoende tijd is voor de processen waarbij het particulier organisch materiaal (zie [B.3.1](#)) verijnd

wordt en op lange termijn gestabiliseerd wordt in microaggregaten ^(16,143). Vooral de stabiliteit en snelheid van omvorming van die microaggregaten (vaak zijn dit microaggregaten ingebouwd in macroaggregaten) zijn daarbij belangrijk ⁽⁴⁹⁾. Merk op: hoewel ploegen dus vaak leidt tot een versnelde OC-afbraak, kan het onderbrengen van een volumineuze hoeveelheid vers organisch materiaal tijdens ploegen in zuurstofarme zones met weinig bodemleven de afbraak van organisch materiaal net belemmeren. Zie ook mineralisatie onder [C.1.5.1](#).

Onrechtstreeks speelt ook de impact van bodembewerking op de omvang en samenstelling van het bodemleven een belangrijke rol (zie [C.1.4](#)). Zo bv. levert de activiteit van de macrofauna een sterke bijdrage tot de vorming van macro- en microaggregaten, en beïnvloedt de schimmel/bacterie verhouding de balans tussen mineralisatie en humificatie (zie ook [A.4](#));

- Voorgeschiedenis en uitgangssituatie OC-voorraad: uit onderzoek blijkt dat de effectiviteit van C-opslag onder no-till (in vergelijking met natuurlijke omstandigheden) afneemt of zelf negatief kan worden met een hogere OC-voorraad bij aanvang. Zo zou een positief effect van no-till vooral ervaren worden bij OC-voorraden lager dan 45 ton/ha ⁽⁴⁰⁹⁾, of dus in sterk uitgeputte en geërodeerde bodems ^(292,411,453). In dat opzicht spelen ook landschapspositie en voorgeschiedenis (van erosie en depositie) een belangrijke rol in de mogelijkheid om OC op te slaan onder no-till ⁽⁴¹¹⁾.
- Schijnbare bodemdichtheid en porositeit: in een studie door Yoo et al. ⁽⁴⁵⁶⁾ wordt geconcludeerd dat de toepassing van no-till enkel een extra fysieke bescherming van OC biedt wanneer de schijnbare bodemdichtheid relatief hoog is ($>1.4 \text{ g cm}^{-3}$) en het aandeel middelmatige poriën (15-150 μm - belangrijk voor de microbiële activiteit) onder die bewerking afneemt.
- Klimaatomstandigheden: een belangrijke boodschap, niet enkel met het oog op bodembewerking maar voor landbouwkundige maatregelen in hun geheel, is dat de impact van een maatregel sterk zal variëren naargelang de klimaatomstandigheden. Die omstandigheden beïnvloeden namelijk de biochemische processen van belang bij bv. de afbraak van OM of de vorming van bodemaggregaten. Onderzoekresultaten wijzen uit dat de (positieve) effecten van bodembewerking op OC in dat opzicht relatief groter zijn onder tropische, vochtige omstandigheden, dan onder droge of vochtige gematigde omstandigheden ^(12,286,411).
- Invloed van teeltrotaties en andere teelttechnische maatregelen: Bodembewerking vindt in de praktijk nooit geïsoleerd plaats, maar maakt deel uit van een geïntegreerd geheel van teelttechnische maatregelen. Een teeltrotatie waarin het aandeel rooigewassen (aardappelen, bieten) vrij hoog is, zoals in het projectgebied het geval is (zie [Inleiding](#)), gaat bijvoorbeeld gepaard met een bodemverstoring tijdens de oogst die er wellicht voor zorgt dat een sterke OC-opbouw verhinderd wordt. Ook hoeveelheid, kwaliteit en tijdstip van koolstofvoer kunnen een doorslaggevende rol spelen ^(48,288). Deze aspecten worden verderop in [C.2](#) en [C.4](#) in meer detail toegelicht.

Fractionering van bodem organische koolstof

In [A.2.1.1](#) werd reeds een onderscheid gemaakt tussen labiele, intermediaire en stabiele fracties OC. Onderzoek heeft aangetoond dat het effect van bodembewerking grootst is voor de labiele fractie ⁽²⁸⁹⁾, die een cruciale rol speelt in de vorming van aggregaten en snel reageert op veranderingen in bodembeheer ⁽⁴²⁰⁾. Zo resulteert no-till of RB vaak in een concentratie van labiele, snel afbreekbare particuliere koolstof, zeker bij behoud van het gewasresidu ^(11,13,75).

C.1.2.2. Effect op zuurgraad

“Daalt de pH onder RB?”

Hoewel ook hier verschillende studies het tegendeel aantonen ^(125,163), werd in heel wat studies een lagere pH gemeten in de toplaag (0-5 cm) onder no-till ⁽¹⁴⁴⁾, tenminste wanneer niet bekalkt werd ⁽²⁸⁸⁾. Hiervoor worden sterk uiteenlopende verklaringen gegeven, waaronder het verzurend effect van de meer oppervlakkig aangebrachte N- en P-bemesting onder no-till ⁽¹²⁵⁾. De effecten van andere teelttechnische maatregelen spelen vermoedelijk een grote rol, wat een eenduidige interpretatie van bewerkingsimpact in de weg staat.

C.1.2.3. Effect op nutriëntengehaltes en -beschikbaarheid

“Neemt de totale stikstofhoeveelheid toe onder RB?”

Effecten van bewerking op OC worden gewoonlijk ook gereflecteerd in de stikstof (N)-voorraad, aangezien de N-cyclus onlosmakelijk samenhangt met de C-cyclus ⁽⁶³⁾. Zodoende wordt vaak een significant hogere N-voorraad waargenomen onder no-till of RB, zeker in combinatie met behoud van gewasresidu op het oppervlak ⁽¹⁶³⁾. Toch treft men ook hier tegenstrijdige onderzoeksresultaten aan ⁽⁴²⁰⁾. Algemeen kan wel aangenomen worden dat zelfs bij een vergelijkbare totale N-voorraad, onder RB een sterkere stratificatie optreedt van zowel die N-voorraad als de C/N verhouding, met een procentuele toename in de toplaag van de bodem voor beide parameters. Dit werd bevestigd door onderzoek in onze contreien en kan wellicht toegewezen worden aan de toegenomen hoeveelheid gewasresidu aan het oppervlak in combinatie met een tragere afbraak van die resten, door een beperkter contact tussen gewasresten, microbiële biomassa en nutriënten ⁽⁹³⁾.

“Verhoogt de plantbeschikbaarheid van nutriënten onder RB?”

Naast eventuele effecten op de totale nutriëntenvoorraad, kan de bodembewerking een effect op de nutriëntenbeschikbaarheid hebben. Net als voor OC het geval is, wijzigt in elk geval de **verdeling** van nutriënten in de bodem onder invloed van het bodembewerkingstype. Algemeen wordt aangenomen dat de voorraad en beschikbaarheid van nutriënten nabij het bodemoppervlak toeneemt onder no-till of RB ^(144,420). Die beschikbaarheid is voor een groot deel gerelateerd aan de afbraak van organisch materiaal en eventuele uitspoeling van nutriënten. Hoewel de afbraaksnelheid soms lager ligt (afhankelijk van omstandigheden, zie voorgaande paragraaf en [C.1.5.1](#)), is de hoeveelheid gewasresten nabij het oppervlak onder RB doorgaans groter dan onder CB, wat resulteert in een grotere totale afbraak of mineralisatie nabij het bodemoppervlak ⁽²⁸⁸⁾. Hierin speelt ook de activiteit van bepaalde afbraakenzymen een rol, waarvan in de toplaag vaak een toename wordt waargenomen onder no-till of RB ⁽⁸⁾. Daarnaast zijn nutriëntenverliezen vaak kleiner onder RB, wellicht omdat mineralisatie en groei meer gelijk in de tijd lopen (zie zeker ook [C.1.5.1](#)).

Toch zijn de precieze effecten afhankelijk van de beschouwde nutriënt, en zijn vaak tegenstrijdige stellingen terug te vinden in de literatuur ⁽⁴²⁰⁾.

Stikstofbeschikbaarheid

De beschikbaarheid van bodem minerale N is grotendeels afhankelijk van de samenstelling en stabiliteit van het bodem organisch materiaal en dus de snelheid van C-mineralisatie (zie ook [A.2.1.5](#) en [A.2.1.6](#)). Onder no-till of RB met gewasresidu resulteert in die context de doorgaans verhoogde C/N verhouding van de bodem in de toplaag samen met de verhoogde microbiële activiteit ([C.1.4.1](#)) op korte termijn vaak in biologische N-immobilisatie en daardoor een grotere N-bemestingsbehoefte ^(63,384). Dat lijkt in eerste instantie negatief, maar verschillende studies wijzen uit dat die immobilisatie slechts van tijdelijke aard is. Op lange termijn zou ze resulteren in een verminderd risico op N-verliezen door erosie, uitspoeling of denitrificatie, en de opbouw van een grotere pool van eenvoudig mineraliseerbare organische N in de toplaag ^(157,329,384,420).

Fosforbeschikbaarheid

Door de gereduceerde menging van fosfaatmeststof in de bodem onder no-till of RB, zou er minder P-fixatie plaatsvinden en dus een grotere hoeveelheid opneembaar P in de bodem aanwezig zijn ^(125,144,420). Dergelijke accumulatie van P blijkt met name plaats te vinden in de toplaag (0-5 cm) ^(144,200). Hierdoor daalt op lange termijn mogelijks de behoefte aan P-bemesting ⁽¹²⁵⁾, hoewel hierrond nog onvoldoende betrouwbare informatie beschikbaar is.

Andere nutriënten en sporenelementen

Vaak verhoogt no-till (of RB) de kaliumvoorraad en -beschikbaarheid nabij het bodemoppervlak, waar de gewaswortels zich ontwikkelen ^(144,163,200). Hoewel niet alle onderzoeksresultaten dit bevestigen ⁽¹⁶³⁾, zou dat, zeker bij behoud van gewasresidu, ook het geval zijn voor een aantal sporenelementen, waaronder Zn, Fe, Cu en Mn ⁽¹⁴⁴⁾. Extraheerbare Ca- en Mg-gehalten blijken echter niet of nauwelijks

beïnvloed te worden door bewerking, zeker niet wanneer de CEC voornamelijk geassocieerd is met kleipartikels ^(125,144,163,420).

Kation uitwisselingscapaciteit (CEC)

Het behoud van gewasresidu aan het oppervlak heeft een positief effect op de CEC ⁽¹⁶³⁾. Hoewel ook onder no-till of RB het OS-gehalte nabij het bodemoppervlak mogelijk toeneemt, is het waargenomen verschil tussen CB en RB in CEC zelden significant ^(125,163).

C.1.3. Effect op fysische bodemeigenschappen

^(120,288,420)

Heel wat effecten van bodembewerking op de fysische bodemkwaliteit worden rechtstreeks of onrechtstreeks bepaald door wijzigingen in bodemdichtheid (zie [C.1.3.1](#) en [C.1.5.2](#)) en OS (zie [C.1.2.1](#)). Vaak hebben beiden een tegengestelde uitwerking op fysische bodemeigenschappen, waarbij het netto resultaat ondermeer bepaald wordt door de termijn waarop een bepaalde bodembewerking consequent doorgevoerd wordt. Bodemdichtheid weegt daarbij meer door op korte termijn, het effect van OS op langere termijn.

Figuur 19. Resultierend bodemprofiel na passage van een tandcultivator met smalle beitels, type Horsch (links) en een ploeg (rechts).



C.1.3.1. Effect op bodemstructuur en aggregaatstabiliteit

^(48,95,223,338,365,420)

“Verbeterd de bodemstructuur onder RB?”

Het losmaken van de grond tijdens bodembewerking dient om de porositeit te verhogen en zodoende de lucht- en waterhuishouding te verbeteren. Belangrijk om te beseffen is dat de zogenaamde structuurverbetering die zo door mechanische bodembewerking ontstaat, hooguit van tijdelijke aard is, en een intensieve bewerking op termijn in een verlies van bodemstructuur resulteert. De werkelijke bodemstructuur wordt namelijk bepaald door de grondsoort, het OS-gehalte en de stabiliteit van de aggregaten. Bij CB resulteert de fysieke verstoring in een rechtstreekse afbraak van bodemaggregaten, maar ook van OS door de blootstelling van voorheen fysiek afgeschermd OS aan lucht, water en micro-organismen. Op die manier verdwijnen ook belangrijke bindmiddelen voor macroaggregaten, zoals bv. wortelfragmenten of schimmeldraden. Ook de aantasting van het bodemleven (zie [C.1.4](#)), heeft dus een significante impact op de bodemstructuur. Hoe intensiever en frequenter de verstoring plaatsvindt, des te meer nefast is het gevolg voor een stabiele bodemstructuur. Deze verstoring is dan ook het sterkst bij conventioneel ploegen, waarbij ook gewasresten en ander OM dieper ondergewerkt worden. Hierdoor gaat de beschermende rol van die gewasresten tegen verslemping en zodoende tegen structuurbederf verloren. Bij NKG vindt die herverdeling van OS niet of nauwelijks plaats, en is de verstoring ook minder intensief, waardoor

alvast in de toplaag de aggregaatstabiliteit hoger is en de bodemstructuur stabielere dan onder ploegen. Hoewel een bodem onder NKG niet echt “los” aanvoelt, is ook de porositeit doorgaans een stuk beter ⁽²⁷³⁾. In de literatuur werd dit effect beschreven voor alle bodemtypes, zodoende wordt aangenomen dat het onafhankelijk is van de beschouwde textuur.

C.1.3.2. Effect op bodemdichtheid en porositeit

(95,121,195,210,410,420)

“Stijgt de schijnbare bodemdichtheid, waardoor de porositeit daalt?”

De variabiliteit in resultaten betreffende de effecten van bodembewerking op schijnbare bodemdichtheid en totale porositeit blijkt in realiteit erg groot te zijn, en wordt ondermeer beïnvloed door de beschouwde textuur, diepte, en evaluatietermijn. Algemeen kan gesteld worden dat op korte termijn het achterwege laten van bewerking resulteert in een stijging van schijnbare bodemdichtheid, en zodoende een verlies aan totale poriënruimte. Die afname van porositeit beperkt zich echter tot de diepte van de bouwvoor (23-30 cm). Anderzijds kan de porositeit op lange termijn toenemen in de toplaag (0-5 cm), waar de schijnbare dichtheid kan dalen door de opbouw van OS en verhoogde biologische activiteit. In tegenstelling tot mechanisch gevormde poriën onder intensieve bodembewerking, die slechts tijdelijk van aard zijn, zijn de natuurlijk gevormde poriën onder no-till of RB stabielere en sterker ⁽¹²⁰⁾.

“Stijgt de microporositeit en daalt de macroporositeit?”

Ook hier bestaat grote variatie in geobserveerde effecten. Algemeen wordt echter gesteld dat de micro- en mesoporositeit in de (voormalige) bouwvoor toenemen onder no-till of RB, terwijl op korte termijn de macroporositeit daalt. In overeenstemming met de stijgende bodemdichtheid, is dit hoogst waarschijnlijk het resultaat van toenemende verdichting (geïnduceerd door het berijden van het perceel) die niet meer opgeheven wordt door regelmatige bewerking. Toch kan dit op lange termijn gecompenseerd worden door progressieve opbouw van nieuwe macroporiën door wortels en de stijgende activiteit van bodemfauna onder invloed van het toenemend OS-gehalte. Bovendien neemt het aantal verticaal georiënteerde bioporiën (vaak regenwormgangen) ook dikwijls toe omdat ze meer resistent zijn tegen compactie, en onder no-till niet meer jaarlijks vernietigd worden.

Verder wordt regelmatig een verschuiving in de morfologie van de poriën gerapporteerd, met een groter aantal (weinig stabiele) onregelmatig langwerpige poriën onder CB, en een groter aantal afgeronde, continue poriën onder no-till of RB.

Kader 5. Kan men onder NKG een goede verbrokkeling realiseren?

Met een goede verbrokkeling streeft men naar een optimale porositeit en daardoor een vlotte waterdoorlatendheid, gasuitwisseling en wortelontwikkeling. Dit wordt doorgaans geassocieerd met een “losse” bodem. De vraag wordt dan ook gesteld of onder NKG en zeker onder directzaai de bodem wel voldoende en tijdig losgemaakt wordt? Vooral het eventueel achterwege blijven van een hoofdbewerking in het najaar of ploegen op de winter voor, van belang voor een goede vorstwerking, wekt soms bezorgdheid op. Die vorstwerking is vooral belangrijk op de zwaardere gronden (bv. zware poldergrond). Op lichtere (zand)gronden kan het loswerken van de bodem met een woeler in het voorjaar voldoende zijn. Bovendien blijkt dat de porositeit op termijn doorgaans een stuk beter is onder NKG dan onder CB, hoewel een bodem onder NKG niet echt “los” aanvoelt ^(120,273). Het totale poriënvolume ligt dan wel niet perse hoger, maar onder NKG ontstaat een relatief hoger aandeel stabiele poriën. Zeker bij behoud van het gewasresidu op het oppervlak, worden water- en luchtdoorlatendheid op termijn daarom meestal niet gehinderd maar juist versterkt onder NKG.

Extra verbrokkeling is daarnaast ook vaak gewenst bij de zaaibedbereiding, zeker bij fijnzadige gewassen. De realisatie van een homogeen, vlak en fijn zaaibed is niet steeds vanzelfsprekend onder NKG ^(72,265). Dit blijft een aandachtspunt voor de toekomst, en een aantal extra maatregelen kunnen noodzakelijk zijn, afhankelijk van het bodemtype. Zo kan het interessant zijn om op zwaardere lössgrond te voorwoelen in de winter, om op die manier een betere structuur te bekomen in het voorjaar.

C.1.3.3. Effect op infiltratie en permeabiliteit

“Nemen de verzadigde hydraulische conductiviteit en infiltratiesnelheid toe?”

Algemeen wordt verwacht dat de verzadigde hydraulische conductiviteit en infiltratiesnelheid hoger liggen onder RB, voornamelijk omwille van de geleidelijke toename aan verticaal georiënteerde bioporiën, die een snelle percolatie garanderen ^(120,169). Dergelijke trend werd in het studiegebied ondermeer bevestigd in de studies van D’Haene et al. ⁽⁹¹⁾ en Verlinden et al. ⁽⁴²¹⁾. In onze contreien wordt gewag gemaakt van een verzadigde hydraulische conductiviteit tot 40 à 60 mm/uur onder NKG, en tot 80 mm/uur bij directzaai ^(38,421). Desondanks wordt ook regelmatig het omgekeerde effect waargenomen. Zo werd in een grootschalig lange termijn experiment (18 jaar) op verschillende bodemtypes in Duitsland gemiddeld een hogere infiltratiesnelheid maar een afname in hydraulische conductiviteit waargenomen onder NKG in vergelijking met ploegen ⁽³⁵⁹⁾. Die trend is gerelateerd aan de lagere bodemdichtheid in de bovenste paar cm en de hogere bodemdichtheid in de laag tussen 5 en 30 cm diep. Op percelen in de Vlaamse zandstreek, zandleemstreek en Noord-Frankrijk werd dan weer een lagere infiltratiesnelheid waargenomen bij NKG dan bij ploegen, vermoedelijk ten gevolge van hogere compactie onder NKG ⁽⁴²⁴⁾. De effecten en risico’s op verdichting onder NKG worden verderop besproken ([C.1.5.2](#)) en zijn effectief van groot belang voor de infiltratie.

Toch hangt het effect grotendeels af van het residubeheer: zo werd in meerdere studies aangegeven dat de infiltratiesnelheid onder RB lager was dan onder CB wanneer het gewasresidu verwijderd werd, maar hoger was wanneer dit gewasresidu op het veld bleef ^(162,163,260). De aanwezigheid van gewasresidu beschermt de toplaag namelijk tegen verslemping en korstvorming, en vormt een barrière tegen snelle afvoer door run-off ⁽²³⁶⁾. Hierdoor heeft het water meer tijd om te infiltreren.

Ook hier zijn de gerapporteerde resultaten echter weinig consistent, wat voor een deel te wijten is aan de moeilijkheid en grote variabiliteit bij het meten van hydraulische conductiviteit of infiltratie, zeker bij aanwezigheid van gewasresidu. Vooral het gebruik van de traditionele dubbele ring, de enkele ring en de *pressure disc* infiltrometer (zie [B.4.5](#)) kan moeilijkheden opleveren bij het vergelijken van bewerkingssystemen, door de verstoring van de toplaag ⁽⁴²⁰⁾. Verder is ook het tijdstip van de meting van groot belang, aangezien de infiltratiesnelheid beïnvloed wordt door recente bodembewerking. Hierdoor kan ze tijdelijk hoger zijn vlak na CB, terwijl gedurende het groeiseizoen toch een hogere infiltratiesnelheid gemeten zou worden onder RB ⁽⁴²¹⁾. Op gelijkaardige manier is het tijdstip van de bewerking van belang: bij ploegen in het najaar of op de winter voor onder voldoende droge omstandigheden, is de infiltratiecapaciteit tijdens de winter doorgaans tijdelijk hoger dan bij een bodem die pas in het voorjaar wordt bewerkt.

C.1.3.4. Effect op waterhuishouding

“Stijgen het waterbergend vermogen, watergehalte en –beschikbaarheid?”

De effecten van RB op het waterbergend vermogen van de bodem zijn nauwelijks afzonderlijk in kaart gebracht, en het is moeilijk er een duidelijke trend in te vinden. Men kan enerzijds veronderstellen dat de initiële afname in macroporositeit onder RB in eerste instantie leidt tot een reductie in waterbergend vermogen. Desalniettemin wordt op langere termijn een toename in OS-gehalte, poriënstabiliteit en mesoporositeit verwacht, en op die manier gaandeweg ook een groter en stabielere waterbergend vermogen ⁽¹⁷⁸⁾.

Daarnaast kunnen nog andere processen de dynamiek van waterhuishouding beïnvloeden. Hiervoor werd reeds aangegeven dat infiltratie (en vermoedelijk ook) capillaire opstijging onder no-till of RB doorgaans toenemen. Daarnaast neemt run-off af ([C.1.5.3](#)) en zou ook de evaporatie lager kunnen zijn onder no-till of RB. Een conventionele kerende bewerking brengt namelijk vochtige grond naar het oppervlak, waardoor vochtverlies door uitdroging versneld wordt ⁽¹⁷⁸⁾. Ook de aanwezigheid van gewasresidu aan het oppervlak onder RB kan evaporatie reduceren met 34-50 % ⁽³²⁵⁾. Toch moet dit genuanceerd worden: door de aanwezigheid van meer en meer continue mesoporiën onder RB, kan de waterlevering naar een verdampend bodemoppervlak wellicht langer doorgaan, met een groter waterverlies (maar minder uitdroging) tot gevolg.

Desalniettemin: uit onderzoek blijkt dat door het samenspel tussen al deze processen het bodemvochtgehalte (in de toplaag) doorgaans stijgt en in theorie meer water ter beschikking komt van

de gewassen ^(26,162,279,420). Dit met name bij een combinatie van residubehoud en no-till of RB. Vooral in (semi-)ariede gebieden is dit van groot belang.

“Stijgt de watergebruiksefficiëntie van gewassen onder RB?”

Of het water dan ook effectief efficiënter benut wordt, is een complexe vraag, die in de toekomst zeker nog meer aandacht verdient. De bodemtextuur blijkt in elk geval een bepalende factor te zijn. Zo geeft een Europese metadata-analyse aan dat op zandige en kleiige bodems de gewasopbrengst relatief hoger wordt (ten aanzien van een conventionele bewerking) naarmate de hoeveelheid neerslag afneemt. Dit zou betekenen dat het aanwezige water op een efficiëntere manier benut wordt. Op lemige bodems wordt echter het tegengestelde effect waargenomen: daar zou gemiddeld genomen het voordeel van een gereduceerde bodembewerking afnemen bij minder neerslag gedurende de groeiperiode ⁽³⁸⁶⁾.

C.1.3.5. Effect op bodemtemperatuur

“Daalt de bodemtemperatuur onder RB?”

Minder bodemverstoring betekent minder blootstelling van bodempartikels aan de lucht en dus minder snelle opdroging, opwarming en afkoeling ⁽²⁴⁵⁾. Ook het toegenomen vochtgehalte resulteert in een tragere opwarming en afkoeling. Verwacht wordt daarom dat dagtemperaturen in de toplaag onder RB significant lager kunnen zijn dan onder CB. Toch hangt dit effect wederom grotendeels af van het residubehoor: zo werd in meerdere studies aangegeven dat het verschil tussen no-till met en zonder gewasresidu groter is dan het verschil tussen CB en no-till met gewasresidu ^(170,420). Dergelijke verlaging van de temperatuurspieken kan dan wel positief zijn onder tropisch warme bodems ⁽²⁸⁷⁾, maar resulteert onder een gematigd klimaat zoals in het projectgebied meestal in ongunstig koele bodems. Hierdoor vertraagt de gewasopkomst en ontstaat een opbrengstdaling, zeker bij voorjaarsvorst ^(208,215). Het aanleggen van afwisselende stroken met residu tussen de gewasrijen en zonder residu over de rijen (een vorm van strokenteelt, zie [C.1.8](#)), kan een oplossing bieden voor dit probleem, zonder bv. waterbeschikbaarheid in het gedrang te brengen ⁽²⁷⁾.

Merk tot slot op: hoewel men zou kunnen argumenteren dat de toename aan OS onder NKG in de toplaag tot een donkerder kleur kan leiden, en hierdoor net tot een sterkere opwarming, blijkt die verdonkering in de praktijk verwaarloosbaar klein te zijn (zie ook [B.3.1](#)).

C.1.4. Effect op biologische bodemeigenschappen

^(120,420)

Voor een gedetailleerde benadering van de effecten op het bodemleven, wordt verwezen naar een afzonderlijke studie rond functionele agrobiodiversiteit (FAB), eveneens uitgevoerd in het kader van het [interreg project BodemBreed \(activiteit 4\)](#).

Net als bij andere teelttechnische maatregelen, veroorzaken veranderingen in bodembewerking een belangrijke verschuiving in aantal en samenstelling van de bodemfauna en -flora. Dit is vaak het gevolg van een respons op gewijzigde fysische en/of chemische bodemomstandigheden, en het daarmee samenhangende bodemmicroklimaat. Algemeen kan gesteld worden dat een vermindering van de intensiteit of frequentie van bodembewerking steeds een positieve bijdrage zal leveren aan de bodembiodiversiteit. Gezien de brede waaier aan functies uitgevoerd door het bodemleven, kan dit alleen maar toegejuicht worden. Toch dient hier ook het risico aan toegevoegd te worden dat naast functionele organismen ook ziekte- en plaagverwekkende soorten positief beïnvloed kunnen worden. Zie hiervoor ook [C.1.6.3](#).

Samen met grondontsmetting heeft bodembewerking het grootste effect op de bodembiodiversiteit. De intensiteit van de behandelingen is daarbij belangrijker dan de frequentie, want de zwaarste behandeling is de meest bepalende. Hoe minder intensief deze maatregelen (bv. geen grondontsmetting en een lichtere/minder diepe vorm van bodembewerking), hoe groter ook de invloed van andere maatregelen, zoals de aanwending van OS, potentieel kan worden ⁽²⁰⁾.

Naast een impact op de omvang, wordt ook de soortensamenstelling beïnvloed. De invloed is het grootst voor grotere of langgerekte soorten die zich minder makkelijk verplaatsen, of die in diepere bodemlagen niet kunnen overleven⁽²⁰⁾. Sterke verstoring resulteert in de dominantie van bodem biota met een hoge reproductiesnelheid en snelle kolonisatiecapaciteit. Op die manier worden mesofauna en bacteriën bevoordeeld ten opzichte van respectievelijk macrofauna en schimmels (fungi)^(164,438).

C.1.4.1. Effect op de micro-organismen

“Stijgt de omvang en activiteit van de microbiële biomassa onder RB?”

Onder no-till of RB neemt de microbiële biomassa (zowel van schimmels als van bacteriën) in omvang toe in de top laag (5 tot 20 cm)^(8,217,399). Dit is grotendeels te danken aan betere bodemfysische omstandigheden (waaronder beluchting), een gunstig waterhoudend vermogen, beperkte temperatuur- en vochtfluctuaties, en een toename van OC in de top laag^(8,122,384).

Meer nog dan het bewerkingstype, wordt de microbiële biomassa positief beïnvloed door het behoud van gewasresidu op het veld⁽³⁴⁸⁾. Met andere woorden: niet zozeer de bodembewerking op zich, maar wel de combinatie van bodembewerking en gewasbeheer beïnvloedt de microbiële biomassa.

Een vaak gemaakte veralgemening is dat binnen de microbiële gemeenschap de schimmel/bacterie verhouding zou stijgen onder no-till of RB⁽³⁰³⁾. Hoewel doorgaans correct, hangt het resultaat ondermeer af van de diepte waarop metingen uitgevoerd worden. De toename in schimmelbiomassa vindt voornamelijk plaats bij het gewasresidu (afhankelijk van het gewastype, zie [C.2.2.3](#)) en dus nabij het bodemoppervlak (0-10 cm)^(59,217).

C.1.4.2. Effect op de mesofauna

“Stijgt de omvang en activiteit van de mesofauna onder RB?”

Hoewel enkel studies melding maken van een globale toename onder RB⁽⁴²⁰⁾, veroorzaakt een omschakeling naar no-till of RB binnen de **nematoden** populatie vermoedelijk vooral voor een verschuiving tussen verschillende groepen. Dat is een logisch gevolg van de enorme diversiteit aan voedingspatronen en fysieke leefcondities tussen de verschillende soorten nematoden. Eén bewering is dat onder RB met residubehoud het aandeel vrijlevende (gunstige) nematoden zou stijgen⁽³⁰⁵⁾, maar algemeen kan men concluderen dat er op heden onvoldoende data zijn om een betrouwbare voorspelling te maken⁽²¹⁷⁾.

Springstaarten worden meestal positief beïnvloed door RB, terwijl de resultaten voor mijten meer uiteen liggen, met meldingen van gematigde tot extreme toename of afname⁽⁴³⁸⁾. Vermoedelijk reageren diverse taxonomische groepen op een verschillende manier op verstoring. Te verwachten valt ook dat bepaalde soorten beïnvloed worden door wijzigingen in de biomassa van soorten in de trofische niveaus (niveaus in de voedselketen) onder hen⁽⁴²⁰⁾.

C.1.4.3. Effect op de macrofauna

“Stijgt de omvang en activiteit van regenwormen onder RB?”

Met name grotere organismen blijken sterk gevoelig te zijn voor bodembewerking⁽⁷⁴⁾. Iedere vorm van mechanische verstoring heeft sowieso een directe impact op de bodemfauna door het fysiek doden, verwonden en blootstellen aan predatie tijdens de bewerking, en een indirecte impact door het vernietigen van hun habitat^(164,223,373). Hoe intensiever en dieper die bewerking, hoe ernstiger de schade.

Onder RB zijn regenwormen reeds op korte termijn (1 tot enkele jaren) talrijker en actiever, dankzij de aanwezigheid van een beschermende laag, meer bodemvocht, een hoger voedselaanbod (gewasresten, OM) en minder vernieling van gangen^(74,151). In een aantal proeven, zowel binnen het projectgebied als daarbuiten, wordt deze bevinding genuanceerd, en geeft men aan dat er geen grote verschillen waren in totale hoeveelheid wormen, maar wel in totale biomassa en soortensamenstelling^(68,133,303). Het positief effect van omschakeling naar no-till of RB is daarbij relatief grootst voor de diepgravende soorten (ook pendelaars of *Anekische* wormen genoemd, zie [B.5.2](#)), en met name voor *Lumbricus terrestris*. Dit werd ook aangetoond in het onderzoeksproject ECOWORM in Vlaanderen^(372,373). Deze pendelaars zijn vanuit landbouwkundig standpunt de meest functionele

soorten, niet in het minst met het oog op erosiebestrijding. Hun diepe, permanente verticale gangen fungeren daarbij als drainagekanalen bij hevige neerslag ^(257,372).

C.1.5. Effect op bodemprocessen

C.1.5.1. Effect op mineralisatie en humificatie

“Verlopen koolstof- en stikstofmineralisatie minder snel onder RB?”

Omdat het mineralisatieproces steeds mede bepaald wordt door een brede waaier van bodemeigenschappen en –processen, is het bijzonder moeilijk om een eenduidig antwoord op deze vraag te geven. Veel hangt wellicht ook af van de beschouwde vorm van mineralisatie (bv. mineralisatie van vers organisch materiaal, mineralisatie van bodem organische stof).

Zoals in [C.1.2.1](#) beschreven voor OC, hangt (de snelheid van) C- en N-mineralisatie ondermeer af van:

- de **bodemtemperatuur** (gemiddeld lager onder RB);
- het **bodemvochtgehalte** (gemiddeld hoger onder RB);
- de **toegankelijkheid** tot organisch materiaal (OM) voor micro-organismen, lucht en water.

De fysische bodemtoestand, en dan vooral de stabiliteit van bodemaggregaten en aanwezigheid van microporiën, speelt bij dit laatste aspect een doorslaggevende rol ⁽⁴²⁰⁾. Daarnaast breekt OM aanwezig als gewasresidu op het oppervlak doorgaans ook minder snel af dan ingewerkt OM ⁽³¹⁾. Alles samen zou men kunnen aannemen dat de mineralisatie trager verloopt onder no-till of RB ⁽³⁸⁴⁾.

Desalniettemin worden in diverse studies erg contrasterende resultaten voorgesteld.

Eerste en vooral dient men een duidelijk onderscheid te maken tussen de vlotheid of het gemak waarmee materiaal mineraliseert en de absolute hoeveelheid mineralisatie. De vlotheid zou men kunnen omschrijven als de relatieve mineralisatie of het percentage van de totale voorraad OM dat gemineraliseerd wordt per tijdseenheid. Ze daarbij ondermeer af van bodemklimaat, bodemstructuur en toegang tot het uitgangsmateriaal. De absolute mineralisatie (of absolute hoeveelheid OM gemineraliseerd per tijdseenheid) daarentegen wordt bijna uitsluitend bepaald door de hoeveelheid organisch uitgangsmateriaal. Zo neemt men in bepaalde studies een verhoogde absolute hoeveelheid mineralisatie waar onder RB ondanks een lagere of gelijke vlotheid van mineralisatie ^(161,420). Oorts et al. ⁽²⁸⁸⁾ concludeerden ook voor onze contreien dat na 32 jaar differentiatie in bewerking de **potentiële** (gemeten onder gecontroleerde labo-omstandigheden) C- en N-mineralisatie vaak groter zijn onder RB dan onder CB, zeker in de toplaag (0-5 cm). Verwacht wordt dat vooral de grotere percentages OC en N in snel mineraliseerbaar particulier organisch materiaal in deze laag hiertoe een belangrijke rol spelen ⁽²⁸⁸⁾. Algemeen zouden ook de grotere hoeveelheden OM in de toplaag onder RB, en dus ook de geleidelijke opbouw van een grotere N-voorraad, die sterkere mineralisatie verklaren ([C.1.2.3](#)).

Het effect van bodembewerking staat echter niet op zichzelf. Andere factoren die een verklarende rol spelen in de uiteindelijke snelheid van mineralisatie, zijn de **kwaliteit van het gewasresidu** (ondermeer C/N verhouding) en het **bemestingsregime** (zie [C.4.2](#)). Verder kan het belangrijk zijn om de effecten te **differentiëren naargelang de periode in het jaar of bodemdiepte**. Zo wordt vaak een hogere netto mineralisatie waargenomen in de toplaag onder RB, in overeenstemming met de verdeling van OS. Dit laatste werd ook bevestigd door ondermeer Hoffmann et al. ^(186,187), die aangaven dat de mineralisatie onder RB hoger lag in de bodemlaag tussen 0 en 10 cm, maar lager lag in de laag tussen 10 en 20 cm. Verder is het belangrijk te beseffen dat metingen onder gecontroleerde omstandigheden niet steeds representatief zijn voor veldomstandigheden, waar C- en N-mineralisatie beïnvloed worden door een combinatie van verschillende factoren. Het samenspel van bodemverstoring, afbraak van gewasresidu en wortels, rhizodepositie (de afgifte/uitscheiding van organische componenten door plantenwortels), en klimaatsomstandigheden, kan zodoende resulteren in een lagere “in situ” mineralisatie onder RB, zelfs wanneer de potentiële mineralisatie (onder gecontroleerde labo-omstandigheden) hoger zou zijn ⁽²⁸⁸⁾.

Globaal genomen concluderen D’Haene et al. ⁽⁹³⁾ voor de West-Europese landbouw dat op perceelsniveau en over de ganse bouwvoor beschouwd de **verschillen** in N-mineralisatie tussen RB en CB te **klein** zijn om de N-bemesting aan te passen.

C.1.5.2. Effect op verslemping, versmering en verdichting

“Daalt het risico op verslemping onder RB?”

De vaak waargenomen positieve impact van no-till of RB op het OS-gehalte, het bodemleven en de fysische bodemgesteldheid in de toplaag, leidt tot een hogere aggregaatstabiliteit en zo tot een hogere weerstand tegen verslemping. Nog belangrijker is de rol van voldoende bodembedekking. Wanneer het gewasresidu aan het oppervlak behouden blijft, is de bodem beschermd tegen de rechtstreekse inslag van regendruppels bij overvloedige neerslag.

Toch is een kleine nuancering hier op z'n plaats: wanneer RB onder te natte omstandigheden plaatsvindt en de bodem nadien onvoldoende snel opdroogt, kan het bodemoppervlak verslempen.

“Daalt het risico op bodemverdichting en versmering onder RB?”

(223,377)

De voornaamste bedreiging voor bodemverdichting van landbouwgrond vloeit voort uit het inzetten van allerhande machines nodig voor de exploitatie ([A.3.1.3](#) en [B.8.2](#)). De mate van verdichting is daarbij ondermeer afhankelijk van het aantal werkgangen, het type machine en de toegepaste belasting, waarbij de wiellast en de grootte van het contactoppervlak tussen band en bodem de belangrijkste machinekarakteristieken zijn (zie technische aspecten onder [C.1.9](#)).

De manier waarop de grond bewerkt wordt is eveneens van belang voor het verdichtingspotentieel van een bodem. Eén van de redenen om te ploegen is het opheffen van storende, verdichte lagen. Hoewel dit op korte termijn een efficiënte oplossing kan bieden, maakt het ploegen zelf vaak een aanzienlijk deel uit van het probleem. Bij conventioneel ploegen wordt vaak met één rij wielen 'in de voor' gereden, waardoor de druk lokaal sterk toeneemt en het risico op verdichting dus sterk stijgt. Naast de invloed van de tractorwielen heeft ook het zoolijzer van de ploeg zelf een versmerend en daardoor compacterend effect, waarbij de bodemaggregaten in de ondergrond worden samengedrukt. Dit effect is meest uitgesproken wanneer jaar na jaar op dezelfde diepte wordt geploegd. Op die manier ontstaat immers een **ploegzool** die een heuse barrière kan vormen voor wortelgroei en watertransport. Toch kan men dit probleem sterk beperken door het monteren van **ondergronders** op de ploeg. Deze mes- of pinvormige werktuigen, regelmatig toegepast in Nederlands Limburg, breken de grond los tot ongeveer 10-20 cm onder het zoolijzer ^(265,290). Ondergronders worden met name op zandgronden toegepast bij diepwortelende gewassen. Hoe vochtiger de grond is, hoe minder effect een ondergronder heeft ⁽²⁰⁾.

Daarnaast geldt dat hoe losser een bodem is, hoe dieper deze verdicht kan worden. Vandaar ook dat een bodem na een intensieve bewerking vaak erg gevoelig is voor nieuwe verdichting.

Onder no-till of RB daarentegen, wordt verondersteld dat op termijn het OS-gehalte van de bodem nabij het oppervlak toeneemt, en het bodemleven enorm uitbreidt naarmate de bodem meer met rust gelaten wordt. Hierdoor stijgt de aggregaatstabiliteit en worden veel nieuwe poriën en gangenstelsels van wortels gevormd, die veel **sterker** en **stabiel** zijn dan de mechanisch gevormde poriën bij intensievere bodembewerking. Dit alles lijkt te wijzen in de richting van een lager risico op versmering en verdichting.

Toch is in de praktijk ook onder RB verdichting een vaak voorkomend fenomeen. De risico's daarbij nemen toe naarmate de bewerking **minder diep** plaatsvindt. Bij een oppervlakkige bewerking en onder directzaai ontstaat namelijk het gevaar dat een verdichting in de loop der jaren geleidelijk steeds toeneemt, aangezien ze niet meer opgeheven wordt door regelmatige, intensievere bewerking ⁽³⁰⁷⁾.

Een belangrijke bezorgdheid is ook het **tijdstip** waarop een machine kan worden ingezet bij de toepassing van RB ([C.1.9.3](#)), en daarmee samenhangend het vochtgehalte van de bodem. Onder directzaai of NKG droogt een bodem vaak minder snel op, maar toch heeft men niet steeds de ruimte en tijd om een bewerking uit te stellen. Een bodem die te nat bewerkt wordt, versmeert en verdicht altijd: zowel bij ploegen als bij RB. Onder te natte omstandigheden is RB bovendien ook niet of moeilijk uit te voeren omwille van het gevaar voor slip van de trekkerwielen en verstopping van de machines. Hierdoor stijgt ook het risico op verdichting.

Veel hangt echter af van het type **werktuig** waarmee de bewerking uitgevoerd wordt. Is het een systeem waarbij jaarlijks de gehele bouwvoor wordt gewoeld, dan hoeft men doorgaans geen toenemende verdichting te verwachten. Verder verhoogt het risico op versmering en verdichting bij het werken met woelers die over een grote breedte in het horizontale vlak door de grond snijden, terwijl een smalle, stekende (verticale) beitel het risico op versmering en verdichting doet dalen.

Vindt toch een verdichting plaats, dan zijn een goed functionerend bodemleven en diepwortelende gewassen (en daarmee een hogere porositeit) (C.2) van belang om deze op natuurlijke wijze op te heffen. Sporadisch ploegen kan eventueel een oplossing bieden, maar brengt heel wat andere risico's met zich mee (zie Kader 6.).

Tot slot nog een aantal andere factoren die ook de nodige aandacht verdienen:

- De **frequentie van betreden** van het perceel speelt een belangrijke rol. Hierover bestaat nog wat onduidelijkheid rond RB: enerzijds zou het aantal werkgangen op termijn geleidelijk afnemen, anderzijds constateert men dat vaak extra werkgangen nodig zijn voor bv. gewasbescherming of het onderwerken van groenbedekkers (C.3.6.4).
- Bij omschakeling naar RB kan het ook noodzakelijk zijn om de eerste paar jaar een diepere bodembewerking uit te voeren om reeds aanwezige storende lagen op te heffen. Ook later kan het nodig zijn om af en toe dieper te bewerken (zie ook diepte bewerking onder C.1.9.2).
- Afhankelijk van het gebruikte werktuig is voor RB al dan niet een zware/krachtige **trekker** nodig. Een eenvoudige cultivator vereist geen zware trekker, maar de dieper werkende woelers vereisen toch al gauw 120 pk (vaak 15 à 20 pk per diepwerkende tand). Dit is zeker het geval indien volledige zaaicombinaties worden gebruikt (bv. diepwoeler + rotorkoepel + zaaimachine). Ook voor ploegen zijn eerder zware tractoren nodig (qua kracht maar ook in gewicht) om slip te voorkomen. Toch gebruiken landbouwers vaak té zware trekkers, ook voor werkgangen die dit niet vereisen. Enige matiging is hier zeker op zijn plaats. Anderzijds neemt volgens sommige voorstanders van NKG de flexibiliteit van nieuwe systemen en machines snel toe, zodat er voor bijna alle situaties en bodems inclusief wortelgewassen wel mogelijkheden zijn om bodemverdichting enigszins te reduceren ⁽³⁸⁸⁾. Daarvoor wordt opnieuw verwezen naar C.1.9.

C.1.5.3. Effect op run-off en erosie

“Resulteert gereduceerde bodembewerking in minder afspoeling en erosie?”

Een aantal wijzigingen in bodemeigenschappen, waaronder de grotere aggregaatstabiliteit, de hogere weerstand tegen verslumping en de verhoogde infiltratiecapaciteit, lijken erop te wijzen dat run-off en erosie sterk gereduceerd kunnen worden onder no-till of RB (zie ook Tabel 1 voor relaties tussen deze fysische eigenschappen). Maar vooral het behoud van gewasresten van de vorige teelt of groenbedekker aan het bodemoppervlak, speelt een doorslaggevende rol in de erosiereducerende werking ^(151,290,407).

Uit onderzoek in het studiegebied blijkt dat in ongeveer 75 % van de gevallen de hoeveelheid afstromend water (run-off) lager is op percelen die niet-kerend bewerkt zijn dan op geploegde percelen, en dat het bodemverlies vrijwel altijd kleiner is onder NKG ⁽¹⁴⁷⁾. Onderzoek in de Belgische Leemstreek wees uit dat RB een vermindering in run-off en bodemverlies teweegbracht in respectievelijk 63 en 88 % van de testgevallen ⁽²⁴³⁾, en dat dit bodemverlies op perceelsniveau gemiddeld 50 tot 90 % kleiner was ⁽¹⁵¹⁾. Niettemin zijn er grote plaatsspecifieke verschillen waar te nemen. Het precieze type RB blijkt op zich geen rol te spelen, maar wel de bedekkingsgraad, de verslumping en indirect dus ook de hoeveelheid OS in de toplaag. Belangrijkst zijn met andere woorden die factoren die de toestand van het bodemoppervlak beïnvloeden, eerder dan intrinsieke bodemeigenschappen ⁽²⁴³⁾.

Toch zijn ook situaties gekend waaronder meer water kan afstromen op niet-kerend bewerkte akkers dan in geploegde percelen ⁽³⁸⁵⁾. Niet-kerend bewerkte bodems (zeker bij directe inzaai) kunnen namelijk een zekere graad van ondiepe verdichting vertonen die deze afstroming in de hand werkt ⁽³⁷³⁾. Verder stelt men zich soms de vraag of er bij echt hevige regenval op korte periode wel een groot verschil is tussen gangbaar ploegen en NKG ⁽¹⁶⁹⁾.

Voor een gedetailleerde benadering van de effecten op run-off en erosie, wordt verwezen naar de resultaten van het [Interregproject erosiebestrijding](#) ⁽¹⁴⁷⁾.

Kader 6. Is een eenmalige drastische ingreep (ploegen) om de 4-5 jaar aan te raden?

Dit is een regelmatig terugkerend discussiepunt, waar zelf onder experts vermoedelijk evenveel voor- als tegenstanders voor te vinden zijn. Sporadisch ploegen in een systeem van NKG wordt door voorstanders voorgesteld als een tussenoplossing waarbij de voordelen van NKG behouden zouden worden, en tegelijk problemen rond bv. ondiep structuurbederf weggewerkt kunnen worden. Afhankelijk van het standpunt van waaruit men de toepassing van NKG beschouwt, kan men hier al dan niet mee akkoord gaan.

Zo blijkt vanuit het standpunt van erosiecontrole een enkele keer tussendoor ploegen niet echt problematisch te zijn, aangezien zelfs in het eerst jaar dat NKG wordt uitgevoerd al een duidelijk erosiebeperkend effect waar te nemen valt ^(151,169).

Tegenstanders argumenteren dan weer dat eenmalig ploegen alle langzaam opgebouwde positieve effecten van NKG teniet zal doen. De bodem past zich geleidelijk aan aan een bepaald systeem, waarbij een plotse verandering voor ernstige verstoring kan zorgen. Een groot risico bv. is de plotse vrijstelling van voorheen fysisch afgeschermd stabiele OS, met een flush van mineralisatie tot gevolg. Op die manier zou het surplus aan OS opgebouwd over een periode van 20 jaar door één ploegbewerking weer kunnen verdwijnen ⁽³⁵³⁾.

Ook rond de impact op het bodemleven zijn de meningen verdeeld: enerzijds wordt geargumenteed dat het positief effect van verminderde bodembewerking op die manier grotendeels teniet gedaan zou worden ⁽²⁰⁾, terwijl anderen van mening zijn dat een eenmalige drastische ingreep geen terugkeer naar een biologisch arme bodem hoeft te betekenen ⁽³⁷³⁾. Een geschikt habitat blijft dan echter wel de voorwaarde opdat populaties zich van deze ingreep kunnen herstellen. Vermoed wordt hier dat een ingreep om de 4-5 jaar net iets te intensief is, maar dat een frequentie om de 6-7 jaar minder problematisch zou zijn (DLV Plant, pers.comm.).

Men zou kunnen concluderen dat het eenduidig willen beantwoorden van deze vraag onmogelijk is en dus de ganse discussie vertrekt van een verkeerd uitgangspunt: een dogmatische benadering is weinig zinvol, aangezien iedere keuze optimaal gemaakt moet worden naargelang de omstandigheden. Zuiver theoretisch is een continue NKG, zonder sporadisch ploegen, de meest ideale situatie. Men gaat er daarbij van uit dat NKG pas op lange termijn rendeert, en de bodemgesteldheid er geleidelijk op vooruitgaat en daarom ook geen correctie behoeft door een ploegbeurt.

De vraag lokt in die zin een tegenvraag uit, namelijk waarom en wanneer men in de praktijk geen andere mogelijkheid ziet dan ploegen? Een onvoorziene ondiepe verdichting door oogstwerkzaamheden in natte omstandigheden kan zo'n situatie zijn, hoewel men hier als tegenargument kan opwerpen dat er ook andere oplossingen dan ploegen bestaan om een verdichting op te heffen. Andere situaties waarin uitzonderlijk ploegen in de praktijk toch aan te raden is, zijn vaak gerelateerd aan te natte bodemomstandigheden. Men heeft niet altijd de tijd om te wachten tot de bodem voldoende droog is. Het grote voordeel van ploegen onder dergelijke omstandigheden, is dat je steeds droge grond bovenaan krijgt. Uiteindelijk is de interactie tussen type bewerking en geschiktheid van het moment bepalend voor het resultaat, en zijn de gevolgen van een bewerking onder slechte omstandigheden vaak heel moeilijk te corrigeren. Maar zelf dan is het belangrijk om voor de minst verstorende manier van ploegen te kiezen. Met andere woorden: ploeg niet dieper dan noodzakelijk (bij voorkeur niet dieper dan 15 à 20 cm), en voer de bewerking indien mogelijk uit vóór het zaaien van de groenbedekker en niet voor de inzaai van het hoofdgewas. Zo kan de impact op het bodemleven en met name de regenwormpopulatie beperkt worden ⁽¹⁴⁷⁾.

Voor een verdere benadering van deze vraag, wordt ook verwezen naar twee afzonderlijke studies in het kader van dit project ([BodemBreed Activiteit 3](#)), rond evaluatie van langetermijnpercelen door de Bodemkundige Dienst van België en rond alternatieven voor NKG door DLV Plant en Plant Research International (PRI, Wageningen).

C.1.5.4. Effect op uitspoeling van nutriënten

“Neemt de nitraatuitspoeling af onder RB?”

Het risico op uitspoeling van nutriënten hangt ondermeer samen met de hoeveelheid, de snelheid en het tijdstip van mineralisatie onder een bepaalde bewerking. De resultaten zijn nogal variabel (zie [C.1.5.1](#)), maar de mineralisatie onder RB ligt doorgaans hoger in de toplaag en lager in de zone tussen 10 en 20 cm. Globaal genomen gebeurt die afbraak onder RB echter langzamer, wat wellicht een snelle uitloging van nutriënten in het bodemprofiel kan voorkomen. Bommers⁽⁵⁵⁾ spreekt daarbij zelf van 50 à 70 % minder nitraatuitspoeling onder NKG. Ook de verwachte toename in schimmel/bacterie verhouding kan leiden tot een efficiënter stikstofgebruik en dus een verminderde nitraatuitspoeling onder no-till of RB. Anderzijds kan de ontwikkeling van meer continue poriën onder no-till of RB wel leiden tot een snellere doorgang van oplosbare nutriënten tot diep in het bodemprofiel^(144,420). Merk op dat een groot deel van bovenstaande redeneringen op veronderstellingen gestoeld is. In de meeste studies wordt geen significante impact van RB op nitraatuitspoeling waargenomen⁽²⁸⁸⁾ of wordt een afname van nitraatuitspoeling onder no-till of RB bevestigd^(14,124,306,307).

“Stijgt het risico op fosfaatafspoeling en -uitspoeling onder RB?”

Door de gereduceerde menging van fosfaatmeststof in de bodem onder no-till of RB, zou er minder P-fixatie plaatsvinden en dus een grotere hoeveelheid opneembaar fosfor in de bodem aanwezig zijn^(125,144,420) ([C.1.2.3](#)). Onder bepaalde omstandigheden kan dit leiden tot een mogelijk verlies van oplosbare P gedurende run-off⁽¹²⁵⁾.

C.1.6. Effect op landbouwkundige parameters

(420)

C.1.6.1. Effect op draagkracht en bodembewerkbaarheid

“Resulteert RB in een jaarrond betere bewerkbaarheid van de bodem?”

In [A.6.1](#) werd een onderscheid gemaakt tussen drie aspecten van bewerkbaarheid, zijnde draagkracht, erosiegevoeligheid, en technische uitvoerbaarheid. Daar waar de effecten van RB op run-off en erosie doorgaans positief zijn, zeker bij behoud van het gewasresidu ([C.1.5](#)), is de praktische uitvoerbaarheid soms minder vanzelfsprekend. Denk daarbij bv. aan de meer heterogene bodemcondities onder RB, of het verstopen van werktuigen door gewasresidu.

Ook is de impact op de draagkracht minder eenduidig. Hoewel op termijn de bodemsterkte zou toenemen (zie risico op bodemverdichting onder [C.1.5.2](#)), kan de draagkracht van de bodem tijdelijk in het gedrang komen bij NKG, vooral onder te natte omstandigheden. Het hiermee gerelateerde risico op bodemverdichting is grootst bij te vroeg berijden in het voorjaar en te laat berijden in het najaar⁽²²³⁾. Zodoende is het tijdstip waarop NKG uitgevoerd kan worden vaak moeilijk te verenigen met de praktijk. Veel bedrijven hebben een te groot areaal om voldoende lang te kunnen wachten en bv. alle wintertarwe na bieten laat in het najaar in te zaaien. Hoewel het tijdstip evenzeer ongunstig kan zijn voor ploegen, lost de intensief kerende bewerking onmiddellijk een deel van het verdichtingsprobleem (althans tijdelijk) op, kan de opgeworpen natte grond na ploegen sneller opdrogen, en ervaart men bij het rijden in de ploegvoor doorgaans minder problemen met slip. Veel is echter afhankelijk van het bodemtype en de keuze voor een geschikt werktuig en geschikt materiaal. Zie [C.1.9](#) voor een meer gedetailleerde toelichting.

C.1.6.2. Effect op nutriëntenbenutting

Zie [C.1.2.3](#), waar het effect op nutriëntengehaltes en beschikbaarheid beschreven wordt.

C.1.6.3. Effect op ziektedruk, plagen en onkruidontwikkeling

Een opvallend grote bezorgdheid binnen de landbouwpraktijk is de vraag hoe de ziekte-, plaag- en onkruiddruk evolueren onder RB. Wordt die druk na verloop van tijd groter, of juist kleiner? Deze thematiek leeft niet alleen bij de landbouwer, maar ook in het kader van milieubeheer. Een

toegenomen druk zou namelijk een verhoogde inzet van bestrijdingsmiddelen tot gevolg kunnen hebben, met alle gevolgen van dien voor de bodem- en oppervlaktewaterkwaliteit. In die optiek is dit vooral binnen de biologische landbouw een doorslaggevend argument voor het al dan niet toepassen van RB.

“Stijgt het ziekteverend vermogen van de bodem onder RB?”

De interactie tussen een hele reeks processen die elk op een eigen manier invloed uitoefenen op de ziekteverendheid van de bodem, maakt het moeilijk of zelfs onmogelijk om deze vraag eenduidig te beantwoorden. Het moet eerst en vooral duidelijk zijn dat verschillende ziekteverwekkende organismen op een andere manier beïnvloed zullen worden, afhankelijk van hun overlevingsstrategie en levenscyclus. Soorten die één of meerdere levensstadia in de bodem doorbrengen, worden daarbij het sterkst beïnvloed ⁽⁹⁾. Zie ook [C.1.4.](#) voor een algemene beschrijving van de impact op het bodemleven.

Heel wat potentieel negatieve gevolgen van RB voor ziekteverendheid, zijn gerelateerd aan het hiermee samenhangend behoud van het gewasresidu op het bodemoppervlak. Dat substraat fungeert daarbij als voedselbron en overbrugging tussen twee opeenvolgende gewassen ^(20,83,355). Dit is bv. het geval voor de pathogenen *Pythium*, *Fusarium* en *Helminthosporium* ⁽²⁶⁵⁾, maar ook voor Botrytis, meeldauw of roest ⁽²⁰⁾. Bovendien worden onder CB niet alleen de gewasresten maar daarmee ook de bodempathogenen zelf verplaatst naar diepere bodemlagen, en is bewezen dat bodempathogenen in het algemeen minder effect hebben op de plant als ze zich verder van de stengelbasis bevinden ⁽²⁰⁾. De meest voorkomende pathogenen geassocieerd met no-till of RB, behoren tot de geslachten *Pythium*, *Fusarium* en *Rhizoctonia* ^(120,291). Hoewel de resultaten soms tegenstrijdig zijn, wordt van elk van deze geslachten in het merendeel van de uitgevoerde studies een toename geconstateerd onder no-till of RB ^(28,83,185). Verklaringen zijn te zoeken bij de gunstige groeiomstandigheden voor deze pathogenen, met name het koeler en vochtiger bodemoppervlak, zeker bij behoud van gewasresidu. Belangrijk om op te merken is dat het voorkomen van *Fusarium* niet enkel tot een opbrengstverlies kan leiden, maar ook een reëel risico voor de voedselveiligheid inhoudt.

Toch kunnen op termijn de verbeterde bodemcondities onder RB de ziekteverendheid ook positief beïnvloeden. Hierin spelen vooral de opbouw van OS en de daaraan gerelateerde toename in activiteit van het bodemleven een doorslaggevende rol. Niet enkel pathogene organismen maar ook gunstige micro-organismen (bv. *Pseudomonas* of *Actinomyceten*) kunnen namelijk gestimuleerd worden ^(122,355). De toename in functionele biodiversiteit onder no-till of RB, zeker bij behoud van gewasresidu aan de oppervlakte, is van groot belang voor de bodemgezondheid en –stabiliteit ⁽²⁵²⁾, aangezien vele van deze gunstige organismen een rol kunnen spelen in het onderdrukken van groei en activiteit van pathogenen (zie [A.2.3](#) en [A.6.3](#) hiervoor).

In die optiek hebben meerdere onderzoekers aangegeven dat in de eerste jaren de ziektedruk gemiddeld genomen zal toenemen onder no-till of RB. Daarna wordt echter een omslagpunt verwacht, waarna de ziektedruk opnieuw afneemt door toenemende biologische controle ^(84,160). Een conclusie zou kunnen zijn dat het daarom op lange termijn veiliger is om landbouwpraktijken toe te passen die de microbiële diversiteit behouden en herstellen, dan maatregelen die ze vernietigen ⁽²⁵²⁾. Desondanks wordt in de praktijk vaak aangeraden om gewasresidu onder te werken wanneer er risico is op aantasting via die plantenresten ^(20,169).

Het is tenslotte belangrijk op te merken dat weersomstandigheden en andere teelttechnische maatregelen vaak een nog belangrijker rol zullen spelen op het vlak van ziektedruk. Denk daarbij in eerste instantie aan de toepassing van resistente gewassen, een uitgekiende en voldoende ruime teeltrotatie ([C.2](#) en [C.3](#)) en het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen ([C.5](#)). Zo stellen meerdere studies als oplossing voor eventueel toenemende ziektedruk een aangepaste teeltrotatie voor. Dit zou bijna alle problemen van bodempathogenen kunnen doen verdwijnen, met behoud van alle andere voordelen van RB ⁽³⁸⁸⁾.

Wat betreft aantasting door *Fusarium* en *Helminthosporium*, wordt verder verwezen naar een afzonderlijke studie hierrond, uitgevoerd door Hogeschool Gent in het kader van het [interreg project BodemBreed \(activiteit 3\)](#).

“Neemt de plaagdruk toe onder RB?”

Het verhaal voor plaagverwekkers is heel gelijklopend met dat voor ziekteverwekkende organismen. Bodembewerking beïnvloedt het aantal en de activiteit van plaagverwekkende organismen, en dit vaak ook op een indirecte manier via de impact op hun voedselbronnen (OS, levende organismen, gewasresten of onkruid) en hun habitat (structuur, vochtgehalte, temperatuur). Net als bij de ziektedruk het geval is, zullen verschillende organismen echter op een andere manier beïnvloed worden, en worden niet alleen de plaagverwekkers zelf, maar ook hun natuurlijke vijanden (bv. loopkevers, spinnen, kortschildkevers of roofmijten) beïnvloed. Zodoende ontstaat opnieuw een brede waaier aan potentieel negatieve en positieve effecten.

We kunnen ook hier verwijzen naar [C.1.4](#) voor een algemene beschrijving van de impact op de verschillende groepen organismen binnen het bodemvoedselweb. Uit de literatuur blijkt dat in onze regio na omschakeling naar NKG meer overlast verwacht kan worden van bv. ritnaalden, emelten, aardrupsen, slakken en muizen ⁽³⁸⁸⁾. In deze studie wordt verder kort gefocust op die laatste twee groepen, die in het gematigde klimaat van West-Europa een belangrijke bron van plagen vormen.

Slakken vormen vaak een ernstige bedreiging voor jonge gewassen. Vooral na natte, zachte winters kunnen ze onverwacht grote schade aanrichten ⁽³⁹⁾. Ze worden in belangrijke mate beïnvloed door de bodembewerking ⁽³⁸⁸⁾. Enerzijds wordt melding gemaakt van een toenemende slakkendruk indien er niet geploegd wordt, door het ontstaan van gunstige schuilplaatsen, vochtigere omstandigheden en hogere onkruidichtheden ⁽⁹⁾. Anderzijds neemt ook het aandeel natuurlijke vijanden toe, met name het aantal loopkevers als belangrijkste predatoren van slakken ^(231,352,388). Algemeen kan gesteld worden dat de druk de eerste jaren na omschakeling toeneemt, waarna het probleem geleidelijk terug afneemt ⁽³⁹⁾. Opnieuw is het niet enkel de bodembewerking op zich, maar vooral de interactie met teeltrotatie en keuze voor groenbedekkers die hier een doorslaggevende rol kan spelen ([C.2](#) en [C.3](#)). Verder kan ingespeeld worden op de slakkenpopulatie door het fijn verhakselen van stro (om de mate van beschutting door stro en gewasresten te beperken), het aanwenden van slakkenkorrels of het aanleggen van een kale strook tussen perceelsrand en teelt ^(39,169).

Ook het aantal muizen kan door omschakeling naar RB stijgen. Dit kan leiden tot ernstige opbrengstverliezen door zaadpredatie (tot 40 % van het zaaigoed) en gewasschade ⁽²⁷³⁾, wat dan weer (gedeeltelijk) gecompenseerd kan worden door positieve effecten zoals de predatie door muizen van onkruidzaden (zie hierna) en andere plaagverwekkende organismen ⁽¹⁹²⁾. Een te grote muizenpopulatie kan men eventueel onderdrukken door het lokken van muisetende vogels, of door het zaad diep genoeg en goed aangesloten aan te brengen.

“Neemt de onkruidontwikkeling toe onder RB?”

Traditioneel wordt de beheersing van onkruid gezien als een belangrijke functie van het ploegen. Ploegen beïnvloedt de onkruidpopulatie rechtstreeks door het vernietigen van onkruiden die op het veld staan, het verticaal onderwerken en zo uitschakelen van onkruidzaden of wortelstokken, en het gemak waarmee een chemische of mechanische onkruidbestrijding uitgevoerd kan worden ⁽³⁸⁸⁾. Een terechte bezorgdheid is dan ook of de onkruidbeheersing moeilijker wordt wanneer voor gereduceerde (ploegloze) bodembewerking geopteerd wordt. Systemen zonder kerende bodembewerking worden vaak geassocieerd met een hogere onkruiddruk en daardoor soms een toegenomen inzet van chemische onkruidbestrijdingsmiddelen ^(169,388). In die zin leeft deze thematiek vooral binnen de biologische landbouw, waar het gebruik van dergelijke bestrijdingsmiddelen, zoals glyfosaat, niet toegestaan is. Anderzijds worden in toenemende mate nieuwe systemen en machines ontwikkeld die het mogelijk maken om onkruiden onder NKG mechanisch te bestrijden ⁽⁸⁰⁾ (zie ook [C.5.2](#)).

Net als voor ziektedruk het geval is, zijn de gemelde resultaten niet steeds zo eenduidig ^(151,388). Hoewel RB meestal geassocieerd wordt met een toenemende onkruiddruk, bleek bv. uit onderzoek in

Nederland (Wijnandsrade) dat het aantal onkruiden dat in het voorjaar kiemt na een oppervlakkige zaaibedbereiding dubbel zo hoog is bij ploegen als bij NKG ⁽³⁹⁾. Men kan redeneren dat bij ploegen niet alleen onkruidzaden ondergewerkt worden, maar dat de zaden die de vorige keer ondergewerkt werden ook opnieuw bovengehaald worden. Ook na aardappelen bv. kunnen bij ploegen ondergewerkte gewasresten opnieuw opslag geven na de winter, daar waar de gewasresten die onder NKG aan het oppervlak bleven kapotvroren.

In de literatuur wordt vaak aangegeven dat door een aangehouden NKG de onkruiddruk niet perse zal toenemen, maar dat er wel een verschuiving zal optreden betreffende het type onkruid. Vooral grassen en (moeilijker beheersbare) wortelonkruiden (denk bv. aan rietzwenkgras) zouden dan in toenemende mate voor problemen zorgen ^(169,192,356,388).

In de praktijk hangt veel af van het tijdstip of de exacte manier waarop een bodembewerking wordt uitgevoerd. Zo zou ploegen in het najaar meer onkruidrukkend werken dan ploegen in het voorjaar, aangezien onkruiden ook 's winters nog veel zaad kunnen produceren. Door onkruiden tijdig onder te werken wordt de groei van nieuw opgekomen onkruid zodanig vertraagd dat deze in de winter het reproductieve stadium niet bereikt en zodoende geen zaden meer produceert ⁽³¹⁴⁾. Verder krijgt men meer last van vooral grasachtige zaadonkruiden wanneer bv. de gewas- en onkruidresten niet-kerend ingewerkt worden. Bij no-till waarbij het onkruidzaad bovenop de grond blijft liggen daarentegen, zouden wortelonkruiden meer problemen kunnen geven, maar daalt de problematiek van grasachtigen, vermoedelijk door de predatie van onkruidzaad. Een gelijkaardige toename van wortelonkruiden is soms ook merkbaar bij NKG vanaf de (vaak nauwelijks bewerkte) perceelsranden. Zodoende kan men de manier van grond bewerken afstemmen op de te bestrijden onkruiden. Koopmans et al. ⁽²²³⁾ suggereren bv. een fijne grondbewerking in het najaar voor het bestrijden van vooral muur of straatgras, en een grove bewerking om de overige onkruiden te bestrijden.

Het potentieel belang van zaadpredatie werd slechts recentelijk geopperd. Onder RB, zeker bij behoud van gewasresidu, kunnen allerlei loopkevers en verschillende muizensoorten enorme hoeveelheden zaden opeten, met meldingen van meer dan 95 % zaadpredatie binnen twee weken ⁽⁴⁴³⁾. Dit zou betekenen dat het in sommige situaties dus gunstiger kan zijn om onkruidzaad op het oppervlak te laten en juist niet onder te werken ⁽³⁸⁸⁾.

Opnieuw spelen ook andere teelttechnische maatregelen hierin een bijzonder belangrijke rol. Zo blijkt de onkruiddruk onder RB sterk gerelateerd te zijn aan de voorteelt (C.2). Indien daarin veel onkruid zaad vormt, dan valt ook in de volgende teelt meer onkruid te verwachten ⁽³⁹⁾. Belangrijk is daarom om in elke teelt te zorgen dat het onkruid geen zaad kan vormen. Verder kan onkruid vaak efficiënt onderdrukt worden door het gebruik van snelgroeibende groenbedekkers ⁽²²³⁾ (C.3).

Kader 7. Kunnen NKG en biologische landbouw met elkaar verenigd worden?

Omwille van een aantal kenmerken van de biologische teelt is de toepassing van NKG er doorgaans minder vanzelfsprekend dan bij de conventionele (gangbare) teelt. Denk daarbij in eerste instantie aan het feit dat de inzet van herbiciden in de biologische landbouw niet is toegestaan, wat leidt tot een potentieel hogere onkruiddruk en een moeilijkere vernietiging van groenbedekkers.

Toch worden beiden in de praktijk regelmatig succesvol gecombineerd. Zo worden goed ontwikkelde teeltsystemen met NKG regelmatig in de Amerikaanse biologische landbouw toegepast, en heeft men in Duitsland in de biolandbouw ook al lang ervaring met minimale bodembewerking (vaak in teeltrotaties met veel graan) ⁽⁶¹⁾. In Nederland lag in 2009 meer dan 400 ha van de biolandbouw onder NKG, en dat areaal groeit snel aan ⁽⁶¹⁾. Vaak gebeurt daar de toepassing in combinatie met RTK-GPS (GPS met stuursysteem dat rechtstreeks een werktuig bestuurt) en vaste rijpaden. Proeven liggen ondermeer aan in het project BASIS ⁽²⁰⁾. Voor Vlaanderen zijn geen cijfers beschikbaar, maar met een oppervlakte van om en bij de 4.000 ha onder biolandbouw, waarvan een 2000-tal ha effectief bewerkt wordt, ligt het areaal onder NKG vermoedelijk rond de 100 à 200 ha (L. Delanote, pers. comm.). Proeven liggen ondermeer aan bij PCBT ⁽¹¹²⁾ en ILVO ⁽⁴⁴⁸⁾. De omschakeling naar NKG vereist een zorgvuldige aanpak en de uitvoering blijkt daarbij effectief niet altijd mee te vallen: grassen en onkruid, overwinterende groenbemesters en ruwe organische mest niet kerend verwerken, mechanisch en via

oppervlaktecompostering, neemt arbeid en tijd in beslag. Desondanks werden vaak gelijkaardige opbrengsten bekomen als bij ploegen (althans bij een voldoende diepe bewerking), en is op korte termijn reeds een verbetering in de bodemstructuur merkbaar.

Hieruit blijkt dat bovenstaande knelpunten niet onoverkomelijk zijn. Daar kunnen diverse argumenten voor aangehaald worden:

(1) Onkruidbestrijding dient te gebeuren op een geïntegreerde manier. Dat betekent dat gestreefd moet worden naar een optimalisatie van het volledige teeltsysteem over een langere periode, eerder dan naar onkruidcontrole op zich. Een **uitgekiende afstemming van teelttechnische maatregelen**, inclusief bemestingsregime, teeltkeuze en –rotatie, speelt een doorslaggevende rol, nog sterker dan bij de gangbare teelt. Zo heeft de **bemesting** een sterke invloed op de competitie tussen onkruid en gewas, en kan organische mest een relatief goedkoop substraat vormen voor de introductie van bv. schimmels toegepast voor biologische onkruidonderdrukking⁽³²⁾. Daarnaast kan de toepassing van compost een oplossing bieden in situaties waar ruwere vormen van organische mest een bron van onkruidzaad kunnen vormen, althans als de temperatuur hoog genoeg oploopt tijdens het composteringsproces⁽³²⁾ ([C.5.2](#)). Ook het beheer van **groenbedekkers** vormt een belangrijk aspect ([C.3](#)). Algemeen worden een tijdige vernietiging en de toepassing van goed wortelende en onkruidonderdrukkende groenbedekkers aanbevolen. De mechanische onkruidbestrijding zelf dient natuurlijk tijdig en gepast te gebeuren. Voor een meer gedetailleerde beschrijving van recente ontwikkelingen op het vlak van effectieve onkruidbestrijding, wordt verder verwezen naar [C.5.2](#).

(2) Na een potentieel moeilijkere overgangperiode blijkt de functionele biodiversiteit toe te nemen, via een verhoging van het OS-gehalte en de microbiële activiteit in de toplaag. Zodoende neemt ook de natuurlijke bodemweerstand toe. Men moet er dus van uitgaan dat NKG pas op langere termijn rendeert.

(3) Tot slot kan geargumenteed worden dat NKG en biologische landbouw rond bepaalde aspecten een gelijkaardige filosofie volgen: minder intensieve niet-kerende bodembewerking spaart de bodemstructuur en het bodemleven, elementen die bepalend zijn voor het welslagen van een biologische teelt.

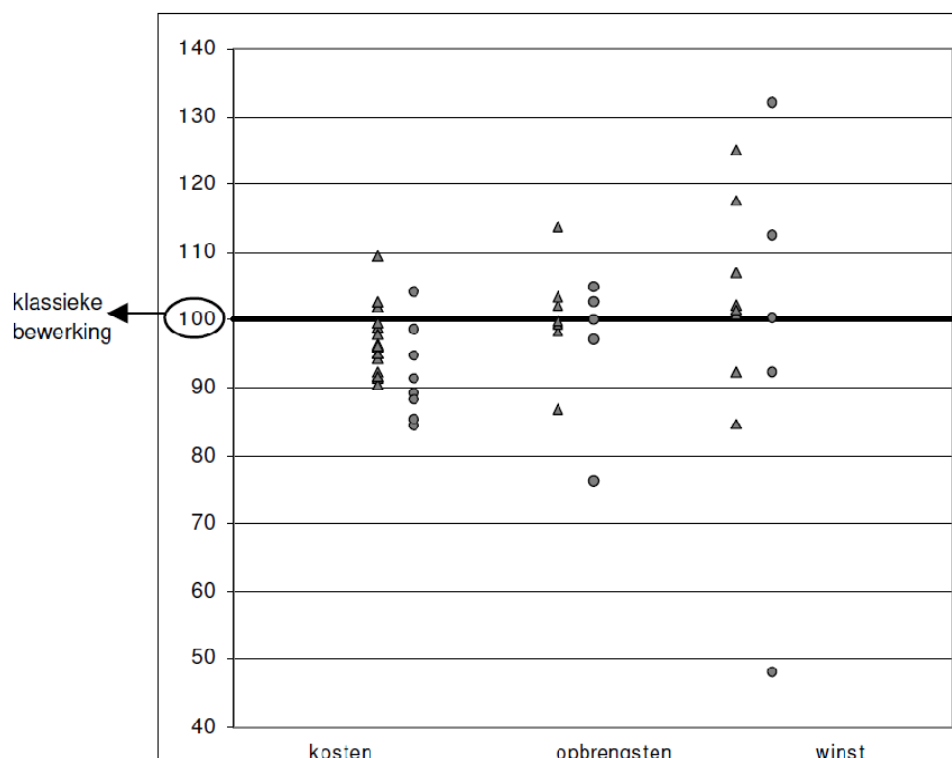
Ondanks de soms moeilijkere uitvoering, blijkt daarom binnen een doordachte bedrijfsvoering de vereniging van NKG en biologische landbouw zeker mogelijk te zijn. Een te radicale benadering is echter uit den boze: iedere keuze moet optimaal gemaakt worden naargelang de omstandigheden. Uiteindelijk is niet de bewerking op zich, maar de interactie tussen alle maatregelen en de geschiktheid van het moment, bepalend voor het eindresultaat.

C.1.6.4. Effect op gewasopbrengst en teeltkosten

Brengt de toepassing van RB op termijn meer, evenveel of minder op dan klassiek ploegen? Dit is een belangrijke vraag, en een positief antwoord erop is voor de landbouwer een noodzakelijke voorwaarde om een nieuwe bewerkingstechniek effectief toe te passen. In de zoektocht naar een mogelijk antwoord dient men in rekening te brengen dat de uiteindelijke economische opbrengst niet alleen bepaald wordt door de biomassaproductie of gewaskwaliteit, maar ook afhankelijk is van de investeringskosten gerelateerd aan een bepaald type bodembewerking. Dit vraagt dan ook een uitgebreide kosten-batenanalyse. Binnen het projectgebied werden op die manier in een onderzoeksproject met medewerkers van de K.U.Leuven en de BDB de nodige gegevens voor dergelijke analyse verzameld over meerdere jaren, voornamelijk voor de teelt van maïs en suikerbiet^(153,257,421). In de uiteindelijke analyse werden zowel (interne en externe) kosten als gewasopbrengsten in rekening gebracht, en dit voor de toepassing van CB, NKG tot ploegdiepte, oppervlakkige NKG en directzaai. Hieruit bleek enerzijds dat gewasopbrengsten heel gelijkaardig zijn (doorgaans +/- 5 %), en anderzijds dat voor bijna alle proefvelden de bewerkingskosten bij een minimale bodembewerking gemiddeld genomen kleiner zijn dan de bewerkingskosten bij een klassieke bewerking⁽¹⁵³⁾. Desalniettemin zouden de totale kosten globaal vergelijkbaar zijn, en treedt eerder een verschuiving op van bewerkingskosten naar kosten voor gewasbescherming. Verder bleek er vrij veel variabiliteit te bestaan tussen individuele percelen en jaren, met een sterke afhankelijkheid van ervaring en specifieke bodem- en weersomstandigheden (Figuur 20). Het resultaat is inderdaad

niet steeds eenduidig. Hierna worden twee belangrijke facetten binnen dergelijke kosten-batenanalyse in meer detail toegelicht: investeringskosten gerelateerd aan brandstofverbruik en arbeidsefficiëntie enerzijds, en gewasopbrengsten anderzijds.

Figuur 20. Relatieve kosten, opbrengsten en winsten bij het toepassen van RB tov CB (CB = 100%). De proeven werden gedurende drie jaar (2001-2003) uitgevoerd op percelen met bieten Δ en maïs O (bron: Gillijns et al. ⁽¹⁵³⁾).



“Daalt het brandstofgebruik en stijgt de arbeidsefficiëntie onder RB?”

Verschillende ervaringsdeskundigen en literatuurbronnen uit Nederland, Vlaanderen en daarbuiten geven aan dat het globale brandstofverbruik beduidend lager en de capaciteit (de te bewerken oppervlakte per uur) tot dubbel zo hoog kan zijn bij RB in vergelijking met traditioneel ploegen ^(61,135,151,359,388,402,406).

Zo bleek uit het hiervoor beschreven vergelijkend onderzoek in Vlaanderen dat de totale bewerkingskost voor de teelt van suikerbiet en maïs bij het uitvoeren van een oppervlakkige bodembewerking of directzaai gemiddeld genomen kleiner is dan de totale bewerkingskost bij een klassieke bewerking ^(151,153). De hoofdreden daarvoor zou zijn dat er op een minimaal bewerkte akker één of meerdere werkgangen en daarmee ook brandstof uitgespaard kan worden. In een gelijkaardig Frans rapport wordt eveneens beweerd dat bij granenteelt het gemiddelde verbruik van 100 l/ha/jaar onder ploegen verminderd kan worden tot 75 l/ha/jaar door conserverende bodembewerking toe te passen. Bij directe inzaai zou men zelfs 50 l/ha/jaar bereiken ⁽³⁶²⁾. Op ruimere schaal wordt ook binnen een grootschalig Europees experiment onder leiding van Amazone ⁽¹²⁶⁾ dezelfde trend waargenomen.

Hoewel deze bewering bevestigd wordt door een aantal landbouwers in onze contreien, wordt vanuit de praktijk evenzeer regelmatig het signaal gegeven dat het brandstofverbruik net gaat toenemen, omwille van een aantal extra benodigde inspanningen bij een niet-kerende bewerking. Een genuanceerde interpretatie van de gepresenteerde ervaringen is dan ook van belang. Desondanks zijn voor de West-Europese landbouw relatief weinig gegronde onderzoeksresultaten terug te vinden waarin het brandstofverbruik consequent werd bijgehouden over een langere periode, om deze bewering met concreet cijfermateriaal te staven.

Het brandstofverbruik wordt hoofdzakelijk bepaald door twee criteria: (1) de trekkrachtvereisten en capaciteit op het perceel, en (2) het aantal benodigde werkgangen.

Dat voor de bewerking van eenzelfde perceel één enkele werkgang ploegen gemiddeld een hoger brandstofverbruik en een lagere capaciteit kent dan één enkele werkgang RB, kan met vrij grote zekerheid bevestigd worden ⁽²⁶⁵⁾. Dit effect wordt sterker naarmate minder diep gewerkt wordt en de trekkrachtvereisten dus dalen.

Of gereduceerde bodembewerking ook effectief werkgangen uitspaart, is een complexere vraag, en hangt ondermeer af van de vorm en het tijdstip waarop de bewerking uitgevoerd kan worden. Voor directzaai of een niet-kerende bewerking onder de vorm van een oppervlakkige zaaibedbereiding in het voorjaar, kan doorgaans minstens één werkgang uitgespaard worden. Wanneer een (diepere) NKG noodzakelijk is in het najaar of de winter (C.1.9.3) wordt dit al minder vanzelfsprekend. Daarnaast dient men in rekening te brengen dat de omstandigheden in de praktijk vaak verschillend zijn van die onder proefomstandigheden. Zo vraagt het klepelen, bespuiten en/of inwerken van een eventuele groenbedekker onder een niet-kerende grondbewerking minstens één en vaak twee extra werkgangen in vergelijking met ploegen, waarbij het kerend inwerken van de groenbedekker automatisch gebeurt tijdens het ploegen zelf ^(265,273). Op dezelfde manier is onder directzaai of niet-kerende grondbewerking vaak een extra bewerking nodig voor het onderwerken van drijfmest. Hierdoor leidt een niet-kerende bewerking in de praktijk vaak net tot een toename van het aantal werkgangen en dus van het totaal brandstofverbruik.

Ook het type werktuig waarmee de bodembewerking uitgevoerd wordt, speelt een niet te onderschatten rol. Zo zouden bij een cultivator gebogen tanden minder trekkracht en dus minder verbruik eisen dan rechte tanden ⁽²⁶⁵⁾, varieert het brandstofverbruik tussen verschillende types woelers ⁽³⁷⁵⁾, stijgt het verbruik met toenemend percentage wielslip ⁽³⁷⁵⁾, en daalt het rendement van niet-kerende grondbewerking wanneer een voorbereiding noodzakelijk is ⁽²⁶⁵⁾.

Men kan concluderen dat het totale eindresultaat ondermeer zal afhangen van de termijn waaronder een bodem reeds onder niet-kerende grondbewerking ligt (en dus ook de ervaring van de landbouwer), het aantal benodigde werkgangen over de hele rotatie bekeken (dus inclusief de groenbedekkers), de bewerkingsomstandigheden, het type werktuig, en vooral de bewerkingsdiepte.

Verder kan men zich echter vragen stellen bij het belang van eventuele verschillen in brandstofverbruik tussen RB en ploegen in onze contreien, waar de percelen zelf relatief klein zijn en de afstanden tussen de percelen vaak groot ⁽²⁷³⁾. Gelijkaardig kan men stellen dat de arbeidsbehoefte wel kan dalen bij NKG, maar NKG dan wel net arbeid vereist in een periode die traditioneel reeds druk is. Om goed te zijn moet NKG namelijk onmiddellijk na de oogst gebeuren, vooraleer de bodem te nat wordt.

Tot slot willen we hier nog meegeven dat de brandstofefficiëntie voor een groot aandeel bepaald wordt door ondermeer het rijgedrag van de bestuurder ⁽¹¹⁷⁾ (vergelijk met de principes van eco-driving bij personenwagens, zie bv. www.ecodriving.be of www.ecodrivingnederland.nl), correct gebruik van frontgewichten, en aangepast gebruik van bandentype, -breedte en -spanning (C.1.9).

Naast (positieve of negatieve) gevolgen op het vlak van brandstofverbruik, is een andere economische consequentie van NKG de eventuele noodzaak om nieuwe machines aan te schaffen ⁽³⁸⁸⁾. Verder duurt het enige jaren voordat de systemen echt tot hun recht komen en maximaal op input bespaard kan worden.

“Levert de omschakeling naar NKG andere gewasopbrengsten op?”

Het effect van bodembewerking op de uiteindelijke gewasopbrengst wordt ruwweg bepaald door de integratie van alle voorgaande effecten. Zo kan bv. een verlies optreden door toegenomen ziektedruk, een dunne gewasstand en bijgevolg lagere opbrengst door verslemping na te natte omstandigheden, of extra winst door betere waterbeschikbaarheid en nutriëntenstatus. Over opbrengsteffecten zijn dan ook moeilijk universeel geldende uitspraken te doen. Of de uiteindelijke balans positief zal zijn, is zeer situatie- en gewasafhankelijk, wordt mede bepaald door de exacte methode waarop een bewerking

wordt uitgevoerd, en valt regio per regio te bekijken ⁽¹⁵⁹⁾. Zo blijkt uit onderzoek in onze contreien dat het risico op een lagere opbrengst onder NKG zou toenemen bij afnemende bewerkingsintensiteit (bv. minder diepe bewerking) ^(153,257,290,388). Bovendien speelt het bemestingsregime hierin vaak een belangrijke rol (zie C.4). Resultaten van verschillende studies zijn dan ook vaak contrasterend.

In een metaregressie analyse van 47 Europese studies vergelijken Van den Putte et al. ⁽³⁸⁶⁾ opbrengsten van maïs, suikerbiet, aardappel, zomergranen en wintergranen onder CB, RB en no-till. Daarbij worden ook de potentiële effecten van gewastype en -rotatie, bewerkingsdiepte, klimaat en toepassingstermijn in rekening gebracht. Deze analyse toont aan dat, hoewel de omschakeling naar RB in Europa effectief tot een opbrengstdaling kan leiden, deze effecten vaak beperkt zijn, met een gemiddelde afname van 4.5 % onder RB. Onder directzaai wordt een iets groter afname van gemiddeld 8.5 % verwacht. Die reductie zou bovendien enkel plaatsvinden bij teelt van maïs en wintergranen, wat in overeenstemming is met de bevindingen van Gillijns et al. voor de Vlaamse situatie ^(151,257). Een mogelijke verklaring, met name voor maïs, zou de gevoeligheid van de wortels voor wijzigingen in bodemdichtheid kunnen zijn ⁽³⁸⁶⁾.

Globaal wordt vastgesteld dat de gewasopbrengsten bij ploegen en een niet-kerende bewerking voor de meeste gewassen van eenzelfde grootteorde zijn, zeker in een gevarieerde teeltrotatie ^(273,307,388). Dat blijkt ook uit meerdere proefveldmetingen uitgevoerd binnen het projectgebied in Nederland en Vlaanderen ^(72,151,153,257,265,385,421).

Hoewel regelmatig wordt beweerd dat de toepassing van NKG bij bovengronds geoogste gewassen eenvoudiger zou zijn dan bij rooivruchten, toonden de resultaten van verschillende praktijkproeven in onze contreien aan dat NKG ook haalbaar is voor suikerbieten en aardappelen, met een opbrengst en oogstkwaliteit die vergelijkbaar is met deze bij klassiek ploegen ^(165,385,386,415).

Op kortere termijn wordt net iets vaker een lichte daling van de opbrengst onder NKG ten opzichte van CB vastgesteld, met name wanneer die niet-kerende bewerking oppervlakkiger werd uitgevoerd. Veelal wordt dan ook beweerd dat de bodem tijd nodig heeft om de bodemgesteldheid te optimaliseren en een nieuw evenwicht te vinden. Zo dient bv. het bodemleven zich verder te ontwikkelen, en kan de penetratieweerstand tijdelijk hoger liggen in de bodemlaag 10-30 cm ⁽⁹¹⁾.

Verder dient men ook de kwaliteit van het eindproduct in rekening te brengen (bv. suikergehalte bieten, onderwatergewicht aardappelen, kolfbezetting maïs). Hoewel een aantal studies melding maakt van kwaliteitsproblemen bij aardappelen en suikerbieten ⁽³⁸⁸⁾, is ook de kwaliteit gemiddeld vergelijkbaar voor NKG en ploegen ^(265,290). Afhankelijk van het beschouwde systeem en de concrete situatie, kan bovendien een eventuele minderopbrengst gecompenseerd worden door het feit dat de kosten soms afnemen (zie hiervoor: potentieel lager brandstofverbruik?) ⁽³¹⁶⁾.

Dit alles in overweging nemende, kan aangenomen worden dat NKG zeker een economisch haalbare optie kan zijn in Europa ^(153,386). In elk geval is het eindresultaat sterk afhankelijk van een correcte uitvoering van de bewerking (bv. voldoende diep) binnen een gewasspecifiek, aangepast geheel aan teelttechnische maatregelen.

C.1.7. Gewasspecifieke ervaring met gereduceerde bodembewerking

De ruime expertise rond conserveringslandbouw en NKG in Zuid-Amerika, de Verenigde Staten, Canada en Australië ⁽³⁸⁸⁾ ontwikkelde zich tot dusver vooral onder teeltrotaties die hoofdzakelijk opgebouwd zijn uit graangewassen, soja en maïs ⁽⁹³⁾. Vaak wordt dan ook geargumenteed dat de typische teeltrotaties in West-Europa minder geschikt zijn voor RB omdat deze vaak bieten en aardappelen bevatten, waarbij een sterke verstoring van de bodem plaatsvindt bij de vorming van ruggen en bij de oogst ⁽⁹³⁾. De potentiële positieve effecten van RB zouden dan ook mogelijks beperkt zijn. Verder stelt men zich ook de vraag of NKG mogelijk is bij de teelt van fijnzadige gewassen, zoals zaaiui of cichorei.

In C.2. wordt verder ingegaan op de effecten van teeltkeuze- en rotatie op de bodemkwaliteit, maar hier worden reeds een aantal maatregelen aangehaald voor teelten waarbij aan de bodembewerking eventueel specifieke eisen gesteld worden.

C.1.7.1. Aardappel- en bietenteelt

Hiervoor werd reeds aangegeven dat RB bij aardappel- en bietenteelt wel degelijk haalbaar is, en dat opbrengst en kwaliteit gemiddeld vergelijkbaar zijn met CB. Toch dient bij deze teelten rekening gehouden te worden met een aantal specifieke aandachtspunten.

“Behouden teeltrotaties met biet of aardappel de positieve effecten van RB?”

Ondanks de regelmatige verstorend van de bodem, blijkt dat op zijn minst toch een aantal van de hiervoor beschreven effecten van RB ook tot uiting kunnen komen bij teeltrotaties waarin bieten en aardappelen voorkomen ⁽⁴¹⁵⁾. Uit onderzoek door D’Haene et al. ^(91,93,94) in Vlaanderen komt bijvoorbeeld naar voor dat in dergelijke situaties de aggregaatstabiliteit van de bovenste bodemlaag (0-10 cm) al op korte termijn na omschakeling naar RB stijgt, de infiltratiesnelheid toeneemt, en zodoende de erosieverliezen lager zijn dan onder CB. Ook de stratificatie van het % OC en totale N in de bodemlaag blijkt groter voor RB dan CB, hoewel de totale OC-voorraad in de bodem niet noodzakelijk hoger ligt. Het potentieel voor koolstofopslag onder RB is onder dergelijke rotatie dan ook wellicht minimaal.

Verder blijkt ook de impact op het bodemleven vergelijkbaar met andere situaties. Onder RB is een toename waar te nemen van de microbiële biomassa in de bovenste 10 cm (1,5 tot 3 maal hoger in de percelen onder RB in vergelijking met CB), evenals een stijging van het aantal regenwormen ⁽³⁷³⁾, ook al is de teelt van biet of aardappel op zich vaak minder gunstig voor regenwormen (zie [C.2.2](#)).

Figuur 21. Aardappelteelt: ondanks de vrij intensieve bodemverstorend, kunnen een aantal gunstige effecten van gereduceerde bodembewerking behouden blijven.



“Stijgt het risico op misvormingen en verhoogt de grondtarra?”

Voor een optimale wortelgroei is een los en homogeen bodemprofiel nodig, zonder bruuske onderbrekingen. Verdichte zones, holten en verhoogde penetratieweerstand kunnen tot een vervorming (of vertakking) van de wortels leiden, wat zeker bij gevoelige wortelgewassen zoals bieten nadelig kan zijn voor de opbrengst. De aanwezigheid van vertakte wortels brengt ook een verhoging van de grondtarra met zich mee ⁽⁴¹⁵⁾. Gezien de dikwijls meer heterogene bodemcondities, wordt dan ook vaak beweerd dat het risico op misvormingen en hogere grondtarra bij bieten onder RB groter is. Hoewel directzaai geen optie zou zijn voor de bietenteelt, voornamelijk wegens een gebrekkig zaaibed en onvoldoende poriënruimte voor een goede wortelontwikkeling ^(273,386), blijkt uit de praktijk dat RB wel goede resultaten kan opleveren ^(72,265,385,415,449). Dit op voorwaarde dat de bodembewerkingen correct en niet te oppervlakkig (minimaal 25 cm diep) worden uitgevoerd. Zo toonde onderzoek naar bodemcondities onder RB bij typisch West-Europese teeltrotaties met bieten en aardappelen aan dat de penetratieweerstand in de bodemlaag 20-30 cm alleen hoger was bij ondiepe bodembewerkingen (<10 cm diep) ⁽⁹¹⁾. Vaak terugkerende problemen bij bieten zijn ondermeer:

- Het niet voldoende diep losmaken van de bodem;
- Het zeer onregelmatig losbreken van de bodem wanneer de aarde tussen twee tanden onvoldoende gescheurd en gebroken wordt;
- Een te hoog vochtgehalte op het moment van het losbreken, met snelle versmering en verdichting tot gevolg;
- Een te droge grond op het moment van het losbreken, met de vorming van blokken en holten tot gevolg;
- Een te slechte bodemstructuur bij aanvang ⁽⁴¹⁵⁾.

Ook een vlakke en fijne zaaibedbereiding (tot 7 cm) is belangrijk ⁽²⁷³⁾. Verder wordt aangeraden om na de oogst storende lagen op te heffen, het land vlak te maken en het blad licht in te werken. Met andere woorden: of men nu opteert voor ploegen of ploegloze teelt, het eindresultaat wordt sterk beïnvloed door een correcte uitvoering, het werken onder gunstige (voldoende droge) omstandigheden, de uitrusting van de machines en hun afstelling ^(18,415). Het werken onder ideale omstandigheden is echter niet altijd verenigbaar met de praktijksituatie (bv. late oogst, nat voorjaar). Anderzijds zijn de afgelopen jaren heel wat machines voor de bietenteelt (zaaimachines, oogstmachines, siloreinigers, etc.) sterk gemoderniseerd, waardoor de toepassingsmogelijkheden voor RB verder toenemen ⁽¹⁷⁾.

Ook bij aardappelen blijkt uit de praktijk dat de grondtarra sterk kan toenemen onder RB, en stijgen bovendien het risico op groenverkleuring door scheuren in de grond, en het risico op stootblauw door de vele kluiten bij oogst onder droge omstandigheden ⁽²⁶⁵⁾. Toch demonstreert een meerjarige studie (2006-2010) in Wallonië rond bodembewerking bij aardappelen dat de grondtarra bij RB dikwijls gelijkaardig is of zelfs significant lager dan bij ploegen ⁽¹⁶⁵⁾. Het slotrapport van deze studie zal pas eind 2010 verschijnen, maar algemeen blijkt uit de resultaten van de eerste drie jaar dat de hoeveelheid grondtarra erg variabel is, afhankelijk van ondermeer de intensiteit en het tijdstip van de bewerking, het specifieke type werktuig, en de bodem- en weersomstandigheden ⁽¹⁶⁵⁾. Ook de bodemtextuur speelt een doorslaggevende rol voor de hoeveelheid grondtarra, met een toenemend risico op kluitvorming in zwaardere gronden ⁽³²¹⁾.

Niet-kerende bodembewerking bij aardappelen kan goede resultaten geven indien een aantal teeltspecifieke maatregelen in acht genomen worden. Zo wordt aangeraden om zeker een najaarsbewerking uit te voeren voorafgaande aan de teelt en zo de doorlatendheid te garanderen, zonder daarbij de bodem té fijn te maken. Ook na de oogst wordt aangeraden om direct te woelen om te voorkomen dat water blijft staan ⁽¹²⁰⁾. Hoewel bij RB effectief meer grond op de rooier terecht kan komen, wordt dit grotendeels terug verwijderd met de axiaalrollen of de rollen op de stortbak wanneer de kluiten mooi los zitten, en hoeft dit dus niet perse een groot probleem te vormen ⁽²⁷³⁾. Ook hier geldt: werken onder gunstige omstandigheden en kiezen voor een bewerking aangepast aan die omstandigheden is belangrijker dan een té rigide keuze voor niet-kerende bewerking ⁽¹⁶⁵⁾.

“Welke andere erosiebestrijdende maatregelen zijn mogelijk in de aardappelteelt?”

De afgelopen decennia werd in Zuid-Limburg (NL) en later ook in België gezocht naar mogelijkheden voor erosiebestrijdende maatregelen in de aardappelteelt. Een aantal binnen- en buitenlandse technieken werd daarbij, met wisselend succes, uitgetest. Naast het opteren voor minimale bodembewerking (NKG), betreft het ondermeer de teelt van aardappelen in herfststruggen, de teelt in bedden, het aanbrengen van een strodek, de aanleg van aardappeldrempels alsook het poten en aanaarden van de aardappelrug in één fase ^(148,265). We beperken ons hier tot een overzicht en korte update van deze technieken. Voor meer detail wordt verwezen naar de resultaten van het [Interregproject Erosiebestrijding](#) ⁽¹⁴⁷⁾.

Herfststruggen

Door reeds in de herfst ruggen op te bouwen en dan direct in te zaaien met een groenbedekker, kan veel van de bodembedekking behouden worden bij het poten in het voorjaar. Toch levert deze teeltwijze nog problemen op, vooral inzake de inzaai van de rug en het bedekken van de poter. Bovendien neemt de kans op erosie tijdens de winter toe ^(147,148).

Beddenteelt

Eind jaren '90 werden te Wijnandsrade (NL) proeven verricht naar de mogelijkheden van vlakveldse beddenteelt voor aardappelen. Dergelijke bedden zouden het voordeel hebben dat ze beter vocht kunnen opnemen dan ruggen, waardoor er minder snel water afstroomt ⁽⁶⁶⁾. Bovendien gaat bij het aanaarden van ruggenteelt veel van de bodembedekking door gewasresten verloren. De resultaten van het onderzoek leerden echter dat een slechtere structuur in combinatie met een tragere opkomst tot een tragere sluiting van het gewas leidde. Bovendien gaven de bedden veel problemen bij het rooien, en bleek het erosiebeperkend effect eerder gering ^(147,148).

Strodek

Bij de teelt onder een strodek wordt de groenbedekker die voor de strooisellaag zorgt niet ter plekke geteeld, maar na het poten aangebracht. De intensiteit van de bodembewerking is bij dit systeem geen belemmering, daar de groenbedekker pas achteraf wordt aangebracht. Dergelijk strodek bleek effectief erosie tegen te gaan, wanneer ze aangebracht werd na het aanaarden. Het bodemverlies daalde met 75 % en de waterafvoer met 95 %. De opbrengst wordt er gemiddeld niet door beïnvloed, maar het aanbrengen van het strodek is arbeidsintensief en duur ⁽¹⁴⁸⁾.

Aardappeldrempels

Aardappeldrempels zijn kleine verhogingen die bij het frezen van de ruggen tussen de aardappelruggen worden aangelegd. Door het trapsgewijs afstromen, krijgt het water niet de kans om snelheid te maken, verhoogt de infiltratie en vermindert daardoor de erosie ⁽¹⁴⁷⁾. Deze effecten werden bevestigd door praktijk en onderzoek in Nederland, Vlaanderen en Wallonië ^(148,235,259,297). Dit onderzoek geeft verder aan dat de aardappelopbrengst met en zonder drempels sterk vergelijkbaar is, en dat het verminderde water- en sedimentverlies ook een opmerkelijk lager verlies van fytosanitaire producten inhoudt ⁽²⁹⁷⁾. De aanleg van de drempels zou weinig praktische problemen stellen, hoewel de praktijk leert dat het succes afhangt van weers- en bodemomstandigheden ⁽¹⁶⁹⁾. Zo resulteert een onvoldoende losse grond vaak in minder hoge drempels en daardoor een beperkter effect. Bij zeer hevige neerslag kunnen de drempels vernietigd worden en hun functie verliezen ⁽²⁵⁹⁾. Belangrijk is dat de drempels de tijd krijgen om te stabiliseren (lichte neerslag nodig na de aanleg) ⁽²³⁵⁾. Bij te hevige regenval kan het aan te bevelen zijn om de drempels door te steken, om ernstiger schade te voorkomen ⁽¹⁶⁹⁾. Andere struikelblokken waarvoor in de nabije toekomst naar oplossingen dient gezocht te worden, zijn de moeilijkheden bij het loofklappen en rooien, waarbij de klapper of rooibek teveel beweegt en de rooidiepte varieert ^(169,265). Bij rooien met een verstekrooier (die niet tussen de ruggen doorrijdt), speelt dit probleem minder. Momenteel wordt aan een oplossing gewerkt, samen met telers. Een mogelijkheid zou de toepassing van een soort “drempelwiser” kunnen zijn (Meuffels, pers. comm.). Hoewel aardappeldrempels door telers vaak als een alternatief voor NKG beschouwd worden, blijkt uit praktijkproeven in Nederlands Limburg dat beide maatregelen goed te combineren

zijn ⁽²⁶⁵⁾. Toch is die combinatie in andere streken op heden zelden of niet onderzocht (Greenotec, pers. comm.).

Poten en aanaarden van de aardappelrug in één fase

In een demoproef uitgevoerd te Wijnandsrade ⁽²⁶⁵⁾ werden ondermeer het in één fase aanbouwen van de aardappelrug tijdens het poten vergeleken met poten en rugopbouw in twee fasen. Eén fase bespaart een extra werkgang en dus mogelijke verdichting en erosie. Nadelen van de één fase werktuigen zijn het gewicht en duurdere aanschaf. In een eerste proefjaar waren de effecten op de opbrengst nagenoeg verwaarloosbaar.

C.1.7.2. Fijnzadige teelten

“Kan NKG toegepast worden bij fijnzadige teelten?”

Naast rooigewassen vormen ook fijnzadige gewassen zoals ui, cichorei, koolzaad en wortelen een extra uitdaging voor de toepassing van gereduceerde bodembewerking. Deze teelten vereisen namelijk een homogeen, vlak en fijn zaaibed, wat niet steeds vanzelfsprekend is onder NKG ⁽⁷²⁾. Hoewel dit een aandachtspunt blijft voor toekomstig onderzoek en de opbrengst vermoedelijk steeds wat lager ligt dan bij ploegen ⁽²⁶⁵⁾, leert praktijkervaring reeds dat NKG bij fijnzadige teelten wel degelijk kan, mits gepaste maatregelen en afhankelijk van het bodemtype. Zo kan het interessant zijn om op zwaardere lössgrond, waar de toepassing meer problemen oplevert, te voorwoelen in de winter, om op die manier een betere structuur te bekomen in het voorjaar. Op deze zware gronden wordt namelijk in het voorjaar teveel natte grond naar boven gehaald bij een diepe bodembewerking (J. Crijns & G. Meuffels, pers. comm.).

C.1.8. Alternatieve vormen van bodembewerking

Tot dusver werd gefocust op het onderscheid tussen en de effecten van kerende en niet-kerende bodembewerking. Een aantal minder frequent toegepaste vormen van minimale bodembewerking komt daarbij nauwelijks aan bod. Denk bv. aan ruggenteelt (Eng. *ridge till*), strokenteelt (Eng. *strip till*) of de toepassing van vaste rijpaden (Eng. *precision cultivation and definite riding tracks*).

- Bij **ruggenteelt** blijft de grond onaangeroerd tot het planten, en gebeurt dus geen hoofdgrondbewerking. Het zaaibed wordt met behulp van schijven, spades of andere werktuigen klaargelegd. Daarbij wordt een beetje aarde op de top van de (blijvende) ruggen verwijderd, om een effen plantvlak te creëren. Tijdens de teelt vindt een aanaardende schoffebewerking plaats. De rug wordt dus hersteld tijdens de teelt of vlak na de oogst, waarbij slechts de bovenste paar cm van de bodem verstoord worden. Ruggenteelt wordt vooral gebruikt bij rijenteelten zoals maïs ⁽¹⁵⁸⁾.
- Ook bij de vlakke **strokenteelt** blijft de grond onaangeroerd tot het planten. Wanneer men gaat zaaien zorgt men ervoor dat smalle stroken vrijgemaakt worden van oogstresten door middel van een strokenfrees, cultivator of andere werktuigen. Op de rest van het perceel blijven de gewasresten liggen. Strokenteelt kent vooral toepassingsmogelijkheden in de teelt van maïs ⁽¹⁵⁸⁾.

Ook spitten is een vorm van bodembewerking die geen specifiek onderdeel uitmaakt van deze studie. Toch willen we niet nalaten om een aantal belangrijke aandachtspunten en praktijkvragen summier aan te halen. Onder bepaalde omstandigheden vraagt de toepassing van NKG bv. om aangepaste maatregelen, of ligt ze bijzonder moeilijk. In dat geval kan gezocht worden naar alternatieve maatregelen of maatregelpakketten, die mee bijdragen tot een duurzame landbouwpraktijk. Binnen het [Interreg project BodemBreed \(activiteit 3\)](#) wordt gezocht naar dergelijke alternatieven in een afzonderlijke opdracht, uitgevoerd door DLV Plant en Plant Research International (PRI, Wageningen). We beperken ons hier dan ook tot een korte toelichting van twee potentieel interessante alternatieven, zijnde spitten en de toepassing van vaste rijpaden.

C.1.8.1. Effecten en mogelijkheden van spitten

“Is spitten een waardevol alternatief voor ploegen?”

De laatste jaren neemt de interesse in spitten toe. Daar waar het toepassingsgebied van de krukasspitmachine (steekspitten) beperkt is tot zwaardere kleigronden, wordt op heden de roterende spitmachine (spitfrees) gebruikt onder een steeds bredere waaier van omstandigheden. Hoewel tot op heden eerder beperkt, zijn er een aantal proeven waarin spitten mee opgenomen werd in de vergelijking tussen verschillende types bodembewerking. In een vergelijkend onderzoek tussen ploegen en roterend spitten kwamen bv. de volgende voordelen van spitten tot uiting ⁽¹⁹⁷⁾:

- de combinatiemogelijkheden met zaaien of kunstmeststrooien, en zodoende de beperking van het aantal werkgangen;
- de beperkte trekkrachtbehoefte en het bewegen bovenop de bodem (en niet in een ploegvoor). Hierdoor daalt het brandstofverbruik en het risico op versmering/verdichting;
- de mogelijkheid om onder zeer zware omstandigheden te werken;
- de mogelijkheid om grote hoeveelheden OM gelijkmatig in te werken. Dit zou leiden tot een goede verdeling en hoger gehalte aan OS, een betere vertering, een grotere bodemvruchtbaarheid, een betere waterhuishouding en diepere beworteling;
- de afwezigheid van een ploegzool;
- de mogelijkheid om tot op de kant te werken, zonder extra werk aan de kopakkers.

Toch blijkt de toepassing in de praktijk niet steeds vanzelfsprekend te zijn, en zijn de ervaringen binnen het projectgebied erg variabel ⁽⁷²⁾. Spitmachines zijn relatief zwaar en duur, vergen redelijk wat aandrijfvermogen, vragen veel onderhoud, en kennen een snelle slijtage. Deze nadelen zijn meer uitgesproken voor een krukas- dan voor een roterende spitmachine. Bovendien leent niet iedere bodem zich tot spitten. Regelmatig wordt beweerd dat er voldoende OS moet zijn en de structuurstabiliteit hoog moet zijn. Zo zou je lichte zandgronden soms snel te los kunnen maken, en wordt vaak aangenomen dat ook lichte zavelgronden minder geschikt zijn: de grond zou te fijn komen te liggen en hierdoor weer makkelijk verdichten, met name bij gebruik van een krukasspitmachine ⁽²²³⁾. Veel hangt daarbij echter af van hoe men met de machine omgaat. Daarbij is bv. de afstelling van de harkrol van belang, evenals de rijsnelheid. Bepaalde spitmachines gaan bij een hoge rijsnelheid ook het toerental verhogen van de rotor, waardoor men eerder gaat frezen dan spitten, met alle mogelijke negatieve gevolgen voor de bodemstructuur.

Roterend spitten in het voorjaar bleek in recente praktijkproeven op zandleem en leem teveel natte grond naar boven te brengen onder bepaalde omstandigheden, verslemping in de hand te werken, en vaak te resulteren in een vrij grof zaaibed met opbrengstderving tot gevolg ^(72,265). Ondanks bovenstaande beweringen blijkt in een demonstratieproef op zandgronden in de Kempen roterend spitten tot dusver wel degelijk zijn nut te bewijzen (LCV, pers. comm.).

Tot slot willen we hier toch meegeven dat spitten een intensieve vorm van bodembewerking is, die toch wel een groot risico van structuurbederf en verstoring van het bodemleven inhoudt. Aangenomen wordt voorlopig dat de sterktes van spitten voornamelijk te vinden zijn op het gebied van een betrouwbaar lager brandstofverbruik en hogere capaciteit dan ploegen, eerder dan op het gebied van verbeterde bodemkwaliteit. Bovendien ontbreekt bij spitten de typische stratificatie kenmerkend voor NKG, en vallen de voordelen naar erosiebestrijding toe weg. Met uitzondering van zware kleigronden, zijn de toepassingsmogelijkheden voor spitten in onze contreien vooral te zoeken bij de roterende spitmachine, en dit eerder in combinaties met een cultivator dan op zichzelf ^(72,265). Een goede techniek, correcte afstelling van de spitmachine en aangepaste rijsnelheid zijn doorslaggevend voor een goed eindresultaat.

C.1.8.2. Effecten en mogelijkheden van vaste rijpaden

Een oplossing voor mogelijke verdichtingproblemen is de toepassing van rijpadenteelt. In de mate van het mogelijke rijdt de trekker hierbij voor alle bewerkingen jaarlijks in hetzelfde spoor, waardoor vaste rijpaden ontstaan. Door gebruik te maken van GPS ligt het spoor steeds op dezelfde plaats, en met rupsbanden wordt afglijden van de paden onder natte omstandigheden voorkomen en het aantal

werkbare dagen vergroot ^(55,425,457). Zo ontstaat op de rijpaden zelf door het jaar na jaar berijden een dichte ondergrond die zelfs onder natte omstandigheden goed bereikbaar is. De teeltzone wordt niet bereiden, waardoor hier een gebied ontstaat met een uitstekende bodemstructuur. Verschillende experimenten toonden reeds aan dat de bodemstructuur er effectief op vooruit gaat, en zodoende ook de beworteling en het bodemleven positief beïnvloed worden door dit systeem van vaste rijpaden ^(425,457). Een lager energieverbruik tijdens de hoofdbewerking, een goed toepasbare mechanische onkruidbestrijding, een lager gebruik van gewasbeschermingsmiddelen en bemesting, en een hogere kwaliteit en kwantiteit van de productie zijn andere beschreven voordelen ⁽⁴²⁵⁾. In dit systeem gaat ook bijzondere aandacht uit naar lage druk in de banden of rubber rupswielen om hoge wiellasten in de relatief smalle sporen te vermijden (zie technische aspecten in [C.1.9](#)). Op heden gaat ook aandacht uit naar de combinatie van vaste rijpaden met RB.

Moeilijkheden zijn dan weer de niet-standaard uitrusting en de breedte op de weg ⁽⁴²⁵⁾. Een ander fundamenteel probleem op dit moment is dat oogstmachines vaak niet op dezelfde sporen lopen. Werken met een rijpadensysteem wordt pas echt waardevol wanneer ook de oogst via de rijpaden afgevoerd kan worden ^(55,457). Verschillende experts (pers. comm.) zijn bovendien van mening dat een toepassing in onze contreien praktisch moeilijk ligt, wegens onregelmatige perceelsvormen en kleine perceelsafmetingen. Ook zou het systeem zich volgens bepaalde beweringen eerder lenen voor de tuinbouw dan voor de akkerbouw. Toch worden vaste rijpaden met name in Nederland geleidelijk aan meer toegepast, en is dit systeem volop in ontwikkeling (B. Vermeulen, pers. comm.). Hoewel het economische voordeel van de rijpadenteelt in het verleden niet dusdanig was dat een invoering rendabel leek, wordt verwacht dat die rendabiliteit steeds toeneemt met de steeds scherpere regelgeving rond bemesting en gebruik van gewasbeschermingsmiddelen.

C.1.9. Technische aspecten van belang bij bodembewerking

Uit het voorgaande blijkt reeds dat voor de toepassing van NKG geen standaard recept bestaat dat onder alle omstandigheden en op elk tijdstip toepasbaar is. NKG kan onder heel wat verschillende vormen toegepast worden, aangepast aan de specifieke situatie en bodem. Denk daarbij bv. aan variaties in diepte of tijdstip, of in type, afstelling en combinatie van gebruikt materiaal. Uiteindelijk draait het om de principes en niet om één enkele gebruiksaanwijzing. De manier waarop de bewerking uitgevoerd wordt, heeft dan ook een potentieel grote impact op de bodem- en gewaskwaliteit. In wat volgt worden daarom een aantal technische aspecten nader toegelicht. Bodembewerking wordt hier in de brede zin van het woord benaderd, hoewel de nadruk opnieuw op NKG ligt.

C.1.9.1. Welke bewerking op welke bodem?

“Kan NKG steeds op alle bodemtypes toegepast worden?”

Uit de praktijk is reeds gebleken dat NKG in principe toepasbaar is op de meeste bodemtypes, mits voldoende rekening gehouden wordt met de specifieke situatie bij het zoeken naar een geschikte vorm. Globaal genomen zou het bodemtype dan ook relatief weinig impact hebben op de gewasopbrengst bij NKG ⁽³⁰⁷⁾. Vaak is de toepassing echter minder vanzelfsprekend op lichte zand- of zandleemgronden: hoe lichter de zandgrond, hoe eerder die weer bezakt en verdicht, zeker bij een laag OS-gehalte ⁽²²³⁾. Hoewel dit ook geldt voor ploegen, wordt de eventuele verdichting daarbij op meer regelmatige basis opgeheven. Zwaardere zandgronden met meer structuurstabiliteit lenen zich dan weer beter voor NKG. Ook leemgronden, inclusief zware leemgrond, vormen in principe geen probleem voor de toepassing van NKG ⁽¹⁶⁹⁾. Hoe hoger het kleigehalte echter wordt, des te moeilijker is de bodem te verkruiden, zeker als het kalk- en/of OS-gehalte laag zijn. Het juiste tijdstip (zie hierna) is dan belangrijk. Toch worden vaak de beste resultaten bekomen op de zwaarste kleibodems, die op conventionele manier moeilijk te bewerken zijn ⁽³⁰⁷⁾.

Algemeen kan gesteld worden dat NKG niet of weinig geschikt is op ⁽³⁸⁸⁾.

- Bodems die bij aanvang van de omschakeling al te dichte lagen hebben. In dat geval is een diepe bewerking gedurende één of meerdere jaren noodzakelijk (zie hierna);

- Bodems met slechte drainage op locaties met veel neerslag, waar de grond moeilijk uitdroogt in het voorjaar. In dergelijke situaties kan het gebruik van permanente bedden een oplossing bieden;
- Bodems met hoge percentages silt of fijn zand en een zwakke, onstabiele structuur;
- Bodems met een hoge concentratie aan niet-zwellende kleimineralen. Bij voldoende zwel- en krimpgedrag ontstaat een goede verkrumming van dichte kleibodems, anders kan een kerende bodembewerking noodzakelijk zijn.

C.1.9.2. Diepte bewerking – opheffen van een storende laag

(20,55,169,223)

“Is een diepe bodembewerking aanbevolen om verdichting aan te pakken?”

Onder bepaalde omstandigheden kan een diepe mechanische bodembewerking essentieel blijken, bv. wanneer een diepere bodemlaag verdicht is.

Toch is het een belangrijk uitgangspunt om **nooit dieper** te bewerken **dan strikt noodzakelijk** is. Hoe dieper een bewerking namelijk wordt uitgevoerd, des te intensiever de verstoring die hierdoor wordt veroorzaakt. Hiervoor werd reeds duidelijk gemaakt dat een bodembewerking de fysische bodemstructuur slechts tijdelijk verbetert, met het risico dat de bodem achteraf snel terug gevoelig wordt voor verdichting door natuurlijke verzakking en het verbreken van wormgangen en wortelkanalen. Bovendien ontstaan verdichtingen steeds op het scheidingsvlak tussen losse en vaste natuurlijke ondergrond. Wanneer men de grond dieper losmaakt dan waar de verdichting aanwezig is, komen toekomstige verdichtingen alleen maar dieper te zitten.

Een ander belangrijk voordeel van ondiepe bodembewerking is het behoud van organisch materiaal in de toplaag, waar veel zuurstof aanwezig is en het materiaal dus vlot kan verteren. Hierdoor stijgt ook het waterbergend vermogen en de aggregaatstabiliteit in die landbouwkundig zeer belangrijke toplaag. Een ondiepe bewerking vraagt ook steeds minder trekkracht, en verhoogt zodoende de arbeidsefficiëntie.

Heeft men toch met een ernstig verdichtingsprobleem te kampen, dan moet eerst en vooral gezocht worden naar de oorzaak. Men dient zich de vraag te stellen of een verdichting een natuurlijke (bv. een inspoelingslaag, een slechte ontwatering) of een mechanische oorzaak (bv. te hoge druk, te natte werkomstandigheden) heeft. Kan de oorzaak op een andere manier weggenomen worden dan door bewerking, dan verdient dit vaak de voorkeur. Blijkt uiteindelijk een diepe bodembewerking toch onvermijdelijk, dan zijn dit alvast enkele aspecten om in acht te nemen:

- Bepaal bij het constateren van een verdichte laag eerst de bewerkingsdiepte, en beoordeel tijdens het werk of het werktuig diep genoeg gaat. Belangrijk is verder ook om de textuur van de bodem te kennen, omdat de aanpak zal variëren naargelang de bodemtextuur. Diepte en textuur kunnen eenvoudig geëvalueerd worden na het graven van een profielkuil;
- Afhankelijk van de situatie zal een bepaalde bewerking de voorkeur genieten. Diepe bodembewerking kan bv. met een ploeg, een diepwoeler of een diepspitter gebeuren. Ook bv. de voorkeur voor een bepaalde breedte van de beitels zal afhankelijk zijn van de beschouwde situatie⁽²⁰⁾ (zie werktuigen hierna);
- Werk niet in een te natte grond (max. 0,20 g/g vochtgehalte);
- Rij direct na de bewerking op lage druk en alleen onder goede (droge) omstandigheden;
- Voer de bewerking bij voorkeur uit voor het zaaien van de groenbedekker en niet voor de inzaai van het hoofdgewas, om de impact op het bodemleven en met name de regenwormpopulatie te beperken⁽¹⁴⁷⁾;
- Teel na de bewerking een diep wortelend gewas als graan of luzerne om de betere doorwortelbaarheid te consolideren. Dergelijke “natuurlijke” aanpak kan zelfs voldoende zijn om lichte verdichting aan te pakken zonder mechanische bewerking.

Tot slot nog dit: wanneer wortelontwikkeling, gasuitwisseling en drainage niet belemmerd worden door de verdichte laag, kan deze een belangrijke rol vervullen bij het absorberen van compactiedrukken alvorens die de losse ondergrond bereiken. In dat geval zou het vernietigen van deze laag de diepere

bodemlagen alleen maar gevoeliger maken voor verdichting en is het ten stelligste aanbevolen om de dichte laag in stand te houden ⁽³⁷⁷⁾.

C.1.9.3. Tijdstip van bewerking

“Kan een (niet-kerende) bodembewerking op elk ogenblik uitgevoerd worden, en beïnvloedt dit de resultaten?”

Het tijdstip waarop een bewerking uitgevoerd wordt, en de daarmee samenhangende bodemcondities, hebben een potentieel grote impact op het eindresultaat. Iedere periode heeft bovendien zijn praktische voor- en nadelen. Wellicht de belangrijkste tijdgerelateerde parameter is het **vochtgehalte** van de bodem. Net als bij ploegen, ligt het risico op versmering door de cultivatortanden of slip van de trekkerwielen hoger onder natte omstandigheden. Voor een gegeven externe belasting neemt daarom de verdichting van de bodem toe met het bodemvochtgehalte ⁽³⁷⁷⁾. In het voorjaar bestaat het risico dat de bovengrond op een bepaald ogenblik reeds voldoende droog is, maar de onderlaag nog te nat. Bij een diepe bewerking in het voorjaar wordt dan vaak natte grond naar boven gehaald, waardoor het verkrijgen van een goed zaaibed bemoeilijkt wordt. Anderzijds geeft een bewerking onder te droge omstandigheden te veel kluiten ⁽²²³⁾. Het is daarom vaak weinig vanzelfsprekend om het meest gepaste ogenblik uit te kiezen. In het najaar is dit in hoofdzaak problematisch bij de oogst van bv. maïs en suikerbiet, en bij de inzaai van bv. wintertarwe.

Vaak wordt voor een niet-kerende grondbewerking aanbevolen om, althans onder gunstige omstandigheden, een perceel na de oogst zo snel mogelijk te bewerken (stoppelbewerking en woelen) en storende lagen direct op te heffen ⁽¹²⁰⁾. Concreet kan daarom ook gesuggereerd worden om bv. na een voortelt van aardappelen het rooien af te wisselen met direct losmaken van de bodem, eerder dan eerst alle rooiwerk uit te voeren en dan pas de grond los te maken.

Toch zijn er een aantal andere, cruciale factoren die het tijdstip van de bewerking uiteindelijk sterk gaan beïnvloeden. In eerste instantie zijn dat **de voorvrucht en de volgteelt**, en het al dan niet toepassen van een **groenbedekker**. Indien bv. na maïs wintertarwe wordt ingezaaid, zal de hoofdbewerking in het najaar moeten plaatsvinden. Aangezien wintertarwe een veel voorkomend gewas is en goed reageert op NKG, wordt een aanzienlijk deel van de NKG-oppervlakte in Vlaanderen en Nederland daarom in het najaar bewerkt. Op dezelfde manier gaat men vaak een hoofdbewerking uitvoeren in het najaar vóór de inzaai van een groenbedekker. Een intensieve bewerking in de winter is dan namelijk niet mogelijk zonder de groenbedekker te vernietigen. Bij afwezigheid van een groenbedekker en voor veel teelten die in het voorjaar ingezaaid worden (bv. maïs, bieten, aardappelen, erwten, bonen), bestaat er in principe niet echt een voorkeur.

Veel hangt dan af van de **bodemtextuur**. In een traditioneel systeem gaat men vaak ploegen op de wintervoor en decompacteren in het voorjaar, kort voor de aanleg van het zaaibed. Op lichte (zand)gronden vindt doorgaans echter zowel een hoofdbewerking als zaaibedbereiding plaats in het voorjaar. Deze gronden drogen eerder uit en zijn dus ook sneller bewerkbaar dan zwaardere (klei)gronden. Ook een ondiepe NKG wordt vaak in het voorjaar uitgevoerd. Dit laat vaak toe om tegelijkertijd het zaaibed aan te leggen en zo werkgangen te combineren ^(120,223). Bij het uitvoeren van een intensieve NKG in het voorjaar, bestaat wel het risico op een moeilijk herstel van de capillariteit bij een droge zomer ⁽¹⁶⁹⁾.

Daar waar op lichtere (zand)gronden het loswerken van de bodem in het voorjaar vaak voldoende is, is op zwaardere gronden een (diepere) bewerking in het najaar of op de wintervoor echter erg belangrijk. Op zware polder- of lössgronden zorgt een diepe grondbewerking er namelijk voor dat deze grond kan verbrokkelen als gevolg van krimp en zwel veroorzaakt door vorst. Dit is te vergelijken met het effect van ploegen op de wintervoor.

Toch is die winterbewerking niet steeds voordelig. Ze is niet alleen onmogelijk te verenigen met de teelt van wintergewassen of groenbedekkers, maar brengt ook de kou diep de bodem in. Dit effect is het sterkst bij ploegen en bij sneeuwval. De (koude) lucht die in de bodem bij het ploegen of diepwoelen ingebracht wordt, zal dan bovendien isolerend werken en de kou tot een eind in het voorjaar vasthouden. Een gevolg kan dus zijn dat het in het voorjaar langer gaat duren vooraleer de bodem is opgewarmd ⁽⁴⁶⁾.

Naast de belangrijke impact op bodemstructuur, heeft het bewerkingstijdstip ondermeer invloed op de onkruidontwikkeling, waarbij een najaarsbewerking meer onkruidrukkend zou werken dan een hoofdbewerking in het voorjaar (C.1.6).

C.1.9.4. Werktuigen voor (niet-kerende) bodembewerking

Hiervoor werd reeds duidelijk gemaakt dat er heel wat systemen van RB bestaan. Bovendien bestaat voor ieder systeem een breed aanbod aan mogelijk bruikbare machines en werden de laatste jaren heel wat aangepaste machines ontwikkeld, door de stijgende interesse in RB:

- RB kan uitgevoerd worden met bv. een ecoploeg, een rotorkoeg, een decompactor, een ganzenvoetcultivator, een vleugelschaarcultivator, een pennenfrees, een triltandcultivator, een (diep)woeler, een schijveneg. Verschillende machines worden ook vaak met elkaar en met zaaimachines gecombineerd;
- Binnen deze types kan ook nog eens gevarieerd worden met bv. het aantal tanden of beitels, met smalle of brede beitels, met gebogen of rechte tanden;
- Ook de ophanging en bevestiging van de tanden kan sterk verschillen. Sommige zijn vast op het frame gemonteerd, andere zijn uitgerust met een veersysteem. Dit systeem, bestaande uit een bladveer, spiraalveer of demper, zorgt ervoor dat de tanden uitwijken naar boven bij het in aanraking komen van een hard voorwerp⁽⁴⁵⁰⁾.

Al deze variabelen kunnen een belangrijke invloed uitoefenen op het uiteindelijke resultaat van de bewerking. Hoewel in heel wat studies die variabiliteit erkend wordt, wordt tot dusver slechts in uitzonderlijke gevallen effectief aandacht besteed aan de effecten van de gebruikte types werktuigen. Het zou ons te ver leiden om een volledige vergelijking te brengen voor elk van deze machines, maar hierna volgt alvast een olijsting van de voornaamste aandachtspunten:

- Het directe effect van vrijwel elk bodembewerkingswerktuig komt tot stand door een combinatie van de reacties: verdichten, snijden, transport en breukvorming⁽³²⁷⁾.
- In overeenstemming met de bewerkingsdoelen (zie C.1.1) kan men gebruikte machines ruwweg opdelen in vier categorieën: (1) ontstoppelaars, (2) diepere bewerkingsmachines, (3) zaaibedbereidingsmachines, en (4) direct- en mulchzaaimachines. Deze indeling mag echter niet te strak gezien worden, aangezien verschillende machines voor meerdere doeleinden gebruikt kunnen worden^(402,450).
- **Ontstoppelaars**, gebruikt voor een oppervlakkige (5-10 cm) bodembewerking, houden de onkruiddruk onder controle en laten toe een goed zaaibed te bereiden. De laatste jaren is het marktaanbod sterk toegenomen. Hiertoe behoren de traditionele schijveneg en schijvencultivator, de compactschijveneg, ganzevoetcultivator en ontstoppeleg⁽⁴⁰²⁾.
- Een **schijveneg** is vaak erg zwaar, maakt de aansluiting tussen werkgangen moeilijk, resulteert in een onregelmatige ondergrond, is niet ideaal voor het afsnijden van gras of distels, maar heeft het voordeel niet verstopt te raken en ook op zeer zware grond toepasbaar te zijn⁽³⁸⁾. Bij de nieuwe systemen met individuele schijven is de bouwwijze vaak compacter en zijn de hoeken beter in te stellen. Ook kan bij de nieuwe ontwerpen de bodem zeer oppervlakkig bewerkt worden en tegen een hogere snelheid gereden worden, wat in natte omstandigheden tot een beter resultaat kan leiden⁽¹⁵⁸⁾.
- Tot de **diepere bewerkingsmachines** behoren ondermeer decompactors, (diep)woelers en ploegvervangende machines⁽⁴⁰²⁾.
- De **decompactors** hebben vaak tot doel een verharde, storende laag terug los te maken, en kunnen ingezet worden voor een (diepe) beluchting. Een onderscheid kan gemaakt worden tussen decompacterende machines met gebogen tanden ("Micheltanden", zie Figuur 22) en rechte tanden met brede voeten (bv. type "Combiplow" of de Beken erosieploeg). Indien veel plantenresten aanwezig zijn, zal een decompactor met rechte tanden minder snel tot verstopping leiden^(402,450). Anderzijds kan de brede voet wel versmering en zo verdichting in de hand werken. Decompactors met gebogen tanden verstoren de bodem doorgaans minder dan andere diepwerkende machines, en verluchten de bodem terwijl de bodemlagen op hun oorspronkelijke niveau blijven en het profiel dus weinig verstoord wordt.

- Bij extreme verdichtingen worden **diepwoelers** ingezet, die tot dieptes van 50 cm en meer reiken ⁽⁴⁰²⁾.
- De ploegvervangende machines of **cultivators** zijn opgebouwd uit een reeks tanden, met voldoende tussenruimte (Figuur 22). Tot een diepte van ongeveer 25 cm verbrijskelen ze de bodem en verdelen ze organisch materiaal. Men kan de machines onderling onderscheiden door het aantal balken met tanden, het soort tanden, instelbaarheid van de werkdiepte en de niveleerschijven. Onder aan de tanden zijn vaak vleugelscharen bevestigd met een werkbreedte van 25-50 cm ⁽¹⁵⁸⁾.
- De hellingshoek van de tanden is heel belangrijk: een cultivator met gebogen tanden of tanden met een kleine hellingshoek vraagt minder trekkracht en reduceert dus het brandstofverbruik ⁽²²³⁾, maar laat een stukje grond onbewerkt op de aansluiting van de werkgangen. Een grotere hellingshoek leidt dan weer tot een zeer onregelmatig bodemprofiel ^(402,450).
- Meer tanden betekent een betere beluchting en vaak hogere opbrengst ⁽²⁶⁵⁾, maar ook een intensievere verstoring en een grotere kans op verstopping indien veel gewasresten aanwezig zijn.
- Bredere, horizontale (platte) beitels breken de bouwvoor open zonder veel vermenging, maar veroorzaken meer versmering. Een smalle, stekende (verticale) beitel zorgt voor een sterkere vermenging, maar doet het risico op versmering dalen ^(147,265).
- Een bijzondere tussenvorm is de "**ecoploeg**" (Rumpstad). Deze ploeg en zijn varianten zijn speciaal ontworpen om ondiep te kunnen ploegen en over nog niet geploegde grond te rijden. Op deze manier verdicht de ondergrond in de voor niet. Nadelen ten opzichte van conventioneel ploegen zijn echter dat hoge groenbedekkers moeilijker onder te werken zijn, meer stuurmanskunst nodig is, en bij een natte toplaag van kleigronden slip ontstaat en trekkracht verloren gaat ⁽²²³⁾.
- Voor de **zaaibedbereiding** kan men de rotoeg, de pennenfrees, de triltandcultivator, of bepaalde combinaties gebruiken. De pennenfrees kan daarbij best overweg met gewasresten, terwijl de rotoeg een vlakker zaaibed aanlegt. De triltandcultivator is de machine bij uitstek om in het voorjaar een goed zaaibed te bereiden ⁽⁴⁰²⁾. Een veelgebruikte combinatie bestaat uit woelpoten vooraan, gevolgd door een rotoeg, en een zaaimachine achterop.
- De bewerkingsintensiteit van de rotoeg is in te stellen aan de hand van de werkdiepte, het toerental van de rotoeren, de vorm van de tanden en de hoek waaronder ze gemonteerd zijn.
- Zaaibedbereiding gebeurt, althans zeker op zandgrond, bij voorkeur door een getrokken en niet met een aangedreven machine, aangezien die laatste de structuur ernstige schade kan toebrengen ⁽²²³⁾. Gebruik van een getrokken werktuig vraagt echter meer ervaring, is vaak moeilijk toepasbaar op steilere hellingen, en kent een grote werkbreedte en lange terugverdientermin ⁽³⁸⁾. In het studiegebied worden ze dan ook slechts sporadisch ingezet.
- Vooral bij de **zaaimachines** vraagt RB drastische veranderingen, aangezien deze aangepast moeten worden aan het resterend plantenmateriaal op de akker. De **directzaaimachines** kunnen het gewas inzaaien in een onbewerkte grond, door in één enkele bewerking de verdichte grond los te maken ter hoogte van de zaairij, het zaad af te leggen, en het zaad aan te drukken en te bedekken. Voordelen zijn het relatief beperkte gevraagde vermogen en de hoge rijnsnelheid ⁽¹⁵⁸⁾. Bij **mulchzaai** vindt doorgaans een (aangedreven of niet-aangedreven) bewerking plaats vóór het zaaien ⁽⁴⁰²⁾. Het is steeds belangrijk dat kouters en schijven niet verstopt raken door gewasresten.
- Zaaimachines met grote combinaties hebben het voordeel dat ze het aantal werkgangen kunnen beperken, maar te zware combinaties leiden dan weer tot verslamping bij regenval vlak na de zaai, en vereisen veel trekkracht ⁽³⁸⁾.
- Om de schade voor de bodem minimaal te houden, kan het raadzaam zijn om te kiezen voor meesturende assen van werktuigen ⁽²⁰⁾.
- Plasvorming kan voorkomen worden door het gebruik van sporenwissers.
- Hoe sneller je over de bodem gaat, hoe minder bodemschade maar hoe meer machineslijtage ⁽³⁸⁾.

Figuur 22. Enkele voorbeelden van werktuigen voor niet-kerende grondbewerking. Boven: tandcultivator met smalle beitels, en achteraan twee rijen gekartelde schijven. Onder: woelerbalk met gebogen woelpoten (type decompactor), gevolgd door twee rijen gekartelde schijven.



C.1.9.5. Banden, wielen en rupsen

“De juiste band, brede banden en een beperkte bandenspanning?”

In onze West-Europese landbouw neemt de druk op de bodem steeds verder toe door de inzet van alsmaar zwaardere machines. Een grotere insporingsdiepte betekent niet alleen meer verdichting, maar ook een groter energieverbruik: per cm diepere insporing neemt het dieselverbruik met zo'n 10 % toe ^(117,274).

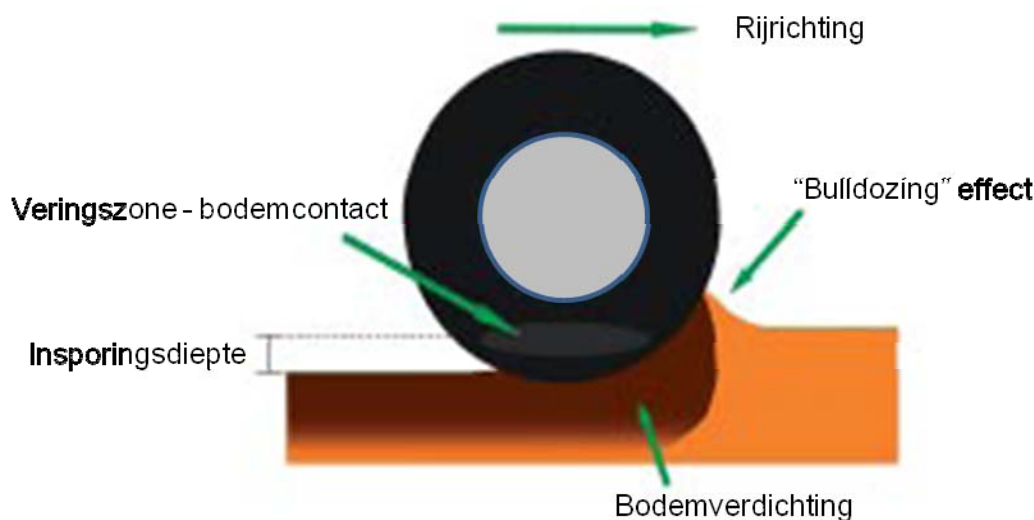
De keuze voor een juiste band, juiste breedte en aangepaste bandenspanning, kan echter een groot verschil betekenen, zowel naar bodemverdichting als naar trekkracht efficiëntie toe. Toch kunnen beide aspecten tegenstrijdige maatregelen vragen. Bovendien is het belangrijk te beseffen dat de trekkerbalans wijzigt bij de omschakeling van ploegen naar NKG ⁽²⁷⁴⁾. We geven beknopt weer welke factoren een rol spelen in deze complexe interacties.

Een eerste en belangrijke maatregel om verdichting tegen te gaan, is te zorgen voor een niet al te hoge bandenspanning. Een lage druk betekent een groter contactoppervlak en daardoor minder insporing. Concreet wordt aanbevolen om de druk rond de **0,8 à 1 bar** te houden tijdens het seizoen, en **onder de 0,4 bar** tijdens het natte voorjaar ^(20,223). Daarnaast is ook het type band belangrijk: doorgaans is een radiaalband een betere optie dan een stuggere diagonaalband voor een minimale bodemdruk ⁽²²³⁾. Een belangrijk knelpunt is dat de eisen voor landgebruik en weggebruik duidelijk verschillend zijn: op de weg is een hoge druk en een stugge, smalle band een stuk sneller en zuiniger dan een “bolle” band bij een lage bandendruk. Een trekker uitgerust met een luchtdrukwisselsysteem, waarbij lucht uit een binnenband snel naar een buitenband gepompt kan worden, kan daartoe een zinvolle oplossing zijn ⁽²⁰⁾.

Tenslotte speelt ook de breedte van de band een belangrijke rol. Doorgaans worden brede banden aanbevolen, om zodoende het contactoppervlak te vergroten, en dus insporing en verdichting te

reduceren. Naar trekkracht toe hebben bredere banden wel het nadeel dat ze over een grotere breedte het opgehoopt “bergje” vooraan het wiel omhoog moeten ^(117,274) (“bulldozing” effect, zie Figuur 23).

Figuur 23. Overzicht van de impact van een band op het bodemoppervlak. (bron: Deutscher Landwirtschaftsverlag ⁽¹¹⁷⁾).



Samengevat beïnvloeden de volgende bandenparameters de drukverdeling, en dus ook de insporing, verdichting en trekkrachtefficiëntie:

- Bandenspanning;
- Type banden;
- Breedte;
- Percentage van de zijkant dat band is (ten opzichte van ijzeren velg);
- Diameter van de velg (grijze cirkel in Figuur 23).

Een hoger percentage band aan de zijkant reduceert de stijfheid, waardoor een drukpiek aan die buitenzijde vermeden wordt. Een lange bandafdruk is naar trekkracht toe efficiënter dan een brede bandafdruk met een gelijk afdruk oppervlak.

Boven 200 pk is een **rupstrekker** een efficiënt alternatief ^(223,274). Voordelen hiervan zijn een hogere trekkracht efficiëntie (tot 15 %), de mogelijkheid om binnen de 3 m te blijven, een drukreductie tot 0,45 à 0,50 bar, en een lager slippercentage waardoor de schade aan het bodemleven verder afneemt. Vooral in zachte bodem nemen deze voordelen toe. Een nadeel is echter slijtage van rupsbanden bij transport op de weg, en het trillen. De flexibele (verende) tussenwielen zijn belangrijk omdat men anders ook bij rupsen een star systeem krijgt met piekdrukken ⁽²⁷⁴⁾.

C.1.10. Bodembewerking: conclusies

C.1.10.1. Diversiteit, complexiteit en interacties

- Er bestaat niet één maar vele systemen voor de toepassing van RB. Die grote diversiteit en de interacties met andere teelttechnische maatregelen, bodemcondities en weersomstandigheden, leiden tot een brede waaier aan mogelijke resultaten. Het is dan ook niet onlogisch dat vaak sterk variabele uitkomsten gerapporteerd worden. Een kritische beschouwing van onderliggende factoren en een correcte benaming van bewerkingstermen zijn steeds van groot belang voor een juiste interpretatie. Onderzoek om die vele systemen te vergelijken ontbreekt grotendeels.

- De impact van bodembewerking hangt sterk samen met het residubeheer. Doorgaans worden de beste resultaten bekomen bij een behoud van gewasresidu aan het bodemoppervlak. Te veel residu is echter ook niet goed. Heel wat niet-kerende machines en zaaimachines verstopen wanneer teveel residu aanwezig is, en teveel residu kan in sommige gevallen ook aanleiding geven tot ziektes en plagen. Het voornaamste is dat er bij NKG steeds iets van residu aan het oppervlak blijft. Dit zal de bodem (deels) bedekken en anderzijds een zekere bodemruwheid induceren.
- Vaak is een differentiatie van effecten binnen het bodemprofiel merkbaar, waarbij vooral de toplaag sterk beïnvloed wordt. Die laag is vanuit landbouwkundig oogpunt de belangrijkste zone. Het is de groeizone van de gewassen, en de zone waar bv. OC cruciale functies uitoefent betreffende aggregaatvorming, tegengaan van verslemping en erosie, en nutriëntenvrijstelling.
- Een aantal bodemeigenschappen en –processen worden niet rechtstreeks door de bodembewerking beïnvloed, maar onrechtstreeks door de impact op andere eigenschappen. Zo is de invloed op chemische eigenschappen vaak het gevolg van een gewijzigde fysische bodemkwaliteit, en vormt ook de potentiële impact op het OC-gehalte een belangrijke tussenschakel naar verdere effecten.

C.1.10.2. De overgangsperiode

De meningen over het tijdseffect bij de toepassing van een gereduceerde bodembewerking zijn verdeeld. Doorgaans gaat men er van uit dat het bij de omschakeling een aantal jaar duurt vooraleer een nieuwe stabiliteit optreedt. Tijdelijk wordt leergeld betaald en zijn de risico's groter. Verwacht wordt echter dat na ongeveer vijf jaar een stabiel systeem ontstaat, waarbij de bodem in de gewenste toestand is en minder gevoelig wordt voor ziekten en plagen. De opbouw van zo'n ziektewerend systeem is nochtans niet steeds vanzelfsprekend.

Omgekeerd wordt ook beweerd dat net die eerste jaren naar gewasopbrengst toe het minst problemen opleveren, daar waar in de loop der jaren de ziektedruk of structuurproblemen zullen accumuleren ^(192,386). Het laatste woord is hier nog niet over gezegd, en veel hangt af van het streefdoel wat men voor ogen stelt: er bestaat geen twijfel over dat de opbouw van een actief en divers bodemleven en een sterke bodemstructuur tijd vergt. Anderzijds zijn effecten naar bv. opbrengst en erosiebestrijding toe reeds merkbaar na het eerste jaar van omschakeling.

Voor een diepgaande benadering van de vraag op welke termijn een stabilisatie van de toestand te verwachten is, wordt verwezen naar een afzonderlijke studie door de Bodemkundige Dienst van België in het kader van dit project ([BodemBreed Activiteit 3](#)).

C.1.10.3. Differentiatie naargelang het bodemtype

Verschillende bodemtypes reageren anders op een ingreep, en vragen om aangepaste bewerkingsmethodes. Zo bleek reeds uit het voorgaande dat het tijdstip van bewerking maar ook de geschiktheid van een bepaald werktuig sterk afhankelijk zijn van de bodemtextuur (zie met name [C.1.9](#)).

Verder kan wellicht geconcludeerd worden dat de toepassing van RB voor de akkerbouwer meest loont op (erosiegevoelige) lemige gronden. Eerst en vooral is de toepassing eenvoudiger op zwaardere zandleem- en leemgronden dan op lichte zand- of zandleemgronden, die een minder stabiele structuur hebben en sneller opnieuw bezakken en verdichten, zeker bij een laag OS-gehalte. Regelmatig ploegen met een vorenpakker ligt hier meer voor de hand. Ook op kleigronden brengt RB een aantal complicaties met zich mee: het verkrumelen van de bodem wordt moeilijker, en het juiste tijdstip voor bewerking daarom belangrijker. De grootste moeilijkheden met RB worden verwacht op slechte gedraineerde kleibodems. Toch worden bij voldoende drainage vaak zeer goede resultaten bekomen op de zwaarste kleigronden.

Daarnaast zijn ook de voordelen op erosiegevoelige leemgronden sterkst uitgesproken, met een effectieve reductie van run-off en erosie, en een betere infiltratie, drainage en waterberging. De voordelen voor (vlakke) zand- en kleigronden, die eerder te zoeken zijn op het vlak van arbeids- of brandstofbesparing, zijn minder eenduidig.

C.1.10.4. Tot slot

- De toepassing van NKG heeft een aantal substantiële voordelen, zeker in combinatie met behoud van gewasresidu. Verminderde run-off en bodemerosie, minder uit- en afspoeling van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen, een verhoogd OC-gehalte in de toplaag, een verbeterde bodemstructuur en stabiliteit, en een betere drainage en waterberging zijn effecten die mits een correcte toepassing op termijn praktisch steeds gehaald worden. Andere effecten zijn minder eenduidig voorspelbaar, en vaak sterk situatiegebonden. Een goede aanpak binnen een geïntegreerd geheel van teelttechnische maatregelen is van groot belang.
- Effecten op gewasopbrengst en –kwaliteit zijn doorgaans relatief beperkt: verliezen zijn zeker niet dramatisch, maar men hoeft ook geen spectaculaire meeropbrengst te verwachten. De opbrengst is best bij de toepassing van NKG tot ploegdiepte. Vermoed wordt vaak dat het relatieve voordeel van RB zou toenemen onder meer kritische omstandigheden (bv. extreem droge jaren), maar daarrond bestaat nog onvoldoende duidelijkheid.
- Zou men kunnen concluderen dat de vraag “ploegen of niet-kerende bewerking?” in synthese beantwoord kan worden met “ploegen én niet-kerende bewerking, maar zo min mogelijk verstorend”? Gezien de vaak erg variabele resultaten naargelang een hele reeks bijkomende factoren, en het doorslaggevende belang van een bewerking aangepast aan en onder gunstige omstandigheden, zou het gezond boerenverstand moeten primeren boven een té rigide benadering van de keuze voor een bepaald type bewerking. Onafhankelijk van de keuze voor ploegen of niet, kunnen een aantal logische regels nageleefd worden. Denk aan niet te snel en geen te natte grond bewerken, niet dieper bewerken dan nodig, zo min mogelijk mengend werken, bandenspanning aanpassen, greppels graven bij plasvorming ⁽²²³⁾. Op die manier kunnen een aantal bodemeigenschappen, waaronder bodemstructuur en afwatering, op relatief korte termijn in de goede richting gestuurd worden.

C.2. Teeltkeuze &-rotatie en interactie met andere maatregelen

C.2.1. Inleiding

Vruchtwisseling wordt gedefinieerd als het afwisselend telen van gewassen in de tijd op een perceel. De ervaring leert daarbij dat niet alleen de gewaskeuze maar ook de specifieke volgorde van gewasopvolging een belangrijke rol speelt. Beiden worden vastgelegd in een **teeltrotatie**. Merk op dat een teeltrotatie niet exact hetzelfde is als een **bouwplan**: de teeltrotatie verwijst naar de gewasopvolging in de **tijd**, terwijl een bouwplan slaat op de verdeling van het grondgebruik (in de **ruimte**) over de verschillende gewassen.

Een zorgvuldig opgestelde teeltrotatie vervult twee belangrijke functies. In de eerste plaats blijkt het een erg efficiënte maatregel bij het voorkomen en/of beheersen van ziekten, plagen en onkruiden. Daarenboven helpt het bij het in stand houden/verbeteren van de bodemvruchtbaarheid door het uitoefenen van een gunstige invloed op de fysische, chemische en biologische bodemeigenschappen. Een goede rotatie vervult beide functies optimaal en legt daarmee de basis voor gezonde en vitale gewassen, wat kan leiden tot betere gewasprestaties ⁽⁴⁴⁶⁾.

Typische akkerbouwgewassen in het projectgebied werden in de inleiding toegelicht, en zijn vooral granen voor de korrel, voedergewassen, suikerbieten en aardappelen. Enkele voorbeelden van gebruikelijke rotaties van de hoofdteelt zijn bv. ⁽¹⁵⁵⁾:

- aardappel-winterarwe-raaigras-maïs
- winterarwe-bieten-winterarwe-aardappel
- maïs-aardappel-winterarwe-bieten
- maïs-maïs-maïs-tijdelijk grasland
- bieten-winterarwe-raaigras-aardappelen-wortelen
- cichorei-winterarwe-raaigras-aardappelen
- winterarwe-wintergerst-bieten
- winterarwe-maïs

Rotaties in de biologische landbouw (vaak 1:6) zijn doorgaans iets ruimer dan in de gangbare landbouw (vaak 1:3 of 1:4).

De bodem- en milieu-impact verschilt aanzienlijk tussen deze gewassen en teeltrotaties. In de volgende paragrafen worden eerst de effecten van teeltkeuze en –rotatie op bodemeigenschappen en –processen algemeen benaderd ([C.2.2-C.2.4](#)). Daarna worden een aantal concrete keuzes en situaties doorgelicht, waaronder de teelt van gras-klaver en luzerne ([C.2.5-C.2.7](#)). Specifieke effecten van rooigewassen in de teeltrotatie kwamen reeds aan bod in [C.1.7](#). De toepassing van onderzaai en tussenteelt wordt benaderd in [C.3](#), waar groenbedekkers apart beschouwd worden, ook al zou je ze als onderdeel van de teeltrotatie kunnen zien.

C.2.2. Effect op chemische, fysische en biologische bodemeigenschappen

C.2.2.1. Effect op chemische bodemeigenschappen

^(190,191)

Effect op organische (kool)stof

Het OS-gehalte bepaalt in belangrijke mate het functioneren van bodems ⁽³⁰⁸⁾, zoals hiervoor uitvoerig benaderd. OS verhoogt het waterbergend vermogen van de bodem, verlaagt de schijnbare dichtheid, stabiliseert de bodemstructuur, dient als een voedselbron voor het bodemleven en levert nutriënten aan de planten.

Een uitgebreide analyse op basis van 67 lange termijn experimenten ⁽⁴⁴²⁾ gaf aan dat de impact van bodembewerking (met name no-till; zie [C.1.2](#)) op mogelijke OS-toename en dus **C-opslag** (Eng. *carbon sequestration*) in de bodem potentieel groter is dan de impact van toename in complexiteit van de gewasrotatie (bv. achterwege laten van braak, meer gewassen binnen een rotatie, of omschakelen

van monocultuur naar rotatie). Desalniettemin speelt gewaskeuze een grote rol in het behoud of de verhoging van het OS-gehalte, en is C-opslag doorgaans efficiënter onder rotatie dan onder monocultuur (behalve dan onder permanent grasland). Een lange termijn experiment in Canada geeft bovendien aan dat de impact van gewasrotatie groter zou zijn dan die van bodembewerking wat betreft de **kwaliteit** van de bodem OS ⁽³⁴⁶⁾.

De potentieel gunstige invloed van de teeltrotatie wordt voornamelijk bepaald door de input van organisch materiaal (OM) onder de vorm van oogstresten. Sommige gewassen laten bij de oogst weinig (bv. aardappelen en voedermaïs) en andere relatief veel (bv. graangewassen en een aantal vollegrondsgroenten zoals bloemkool, broccoli en spruitkool) OM na onder de vorm van oogst- en rooiresten. Gewassen in die laatste groep bezitten immers een relatief lage **oogstindex** (verhouding tussen de hoeveelheid droge stof in de oogstbare producten en de totale hoeveelheid droge stof in de hele plant), wat het aandeel gewasresten sterk ten goede komt. Het is dan ook belangrijk om in een teeltrotatie gewassen die weinig oogstresten nalaten af te wisselen met gewassen die veel oogstresten nalaten ⁽³⁶⁹⁾. Dit werd bevestigd door Carter et al. ⁽⁷⁰⁾. Uit hun experiment, waarin aardappel afgewisseld werd met Italiaans raaigras of gerst, bleek dat na 11 jaar de OC-verliezen bij gerst opliepen tot 16 %. De grotere hoeveelheden bovengrondse en wortelbiomassa van het raaigras beperkten deze verliezen tot amper 4 %.

Een typisch voorbeeld van een enge teeltrotatie als gevolg van de toenemende specialisatie in de landbouwsector in onze contreien ⁽³¹⁰⁾, is de **monocultuur** van **maïs**. Het merendeel van de maïs wordt onrijp geoogst en volledig verhakfeld (grofgemalen). Het wordt als snijmaïs of kuilmaïs voornamelijk aan rundvee gevoerd (voedermaïs). Een klein deel van de maïs wordt ook als korrelmaïs geoogst. In dit laatste geval blijft het gewas tot half november op het veld staan, totdat de aren volledig ontwikkeld en gedroogd zijn. De aren worden dan machinaal geoogst, de dorre plantenresten blijven op het veld achter. Van voedermaïs wordt verwacht dat de fysische en chemische bodemvruchtbaarheid achteruit zullen gaan. Ze voegt immers weinig organisch materiaal toe aan de bodem, met een daling in het OS-gehalte tot gevolg.

Niet alleen de hoeveelheid, maar ook de **snelheid van afbraak** van dit materiaal speelt een essentiële rol ⁽²⁵⁵⁾. Die afbraakkinetiek wordt sterk bepaald door de C/N verhouding van het OM (zie [A.2.1](#)). Van materialen rijk aan N en dus met een lage C/N verhouding is bekend dat ze gemakkelijker afbreken dan materialen die arm zijn aan N. Materialen met een hoge C/N verhouding zullen doorgaans langer in de bodem aanwezig blijven, wat resulteert in een betere C-opslag maar tijdelijk sterkere N-immobilisatie. De hoeveelheid stabiele C die een gewas aanbrengt verschilt dan ook aanzienlijk ⁽¹⁴⁵⁾. Graangewassen hebben een hoge C/N verhouding en een relatief lage oogstindex (veel stro ten opzichte van graan) waardoor stro-incorporatie interessant lijkt voor C-opslag. Oogstresten van de meeste groentegewassen hebben dan weer een lage C/N-verhouding. De oogst van rooigewassen (bv. bieten, aardappelen) gaat gepaard met een sterke verstoring van de bodem, wat op korte termijn een sterke afbraak van OM met zich meebrengt ([C.1.7](#)).

Permanent grasland garandeert een sterke OS-opbouw door de constante bedekking, sterke beworteling en beperkte verstoring van de bodem, waardoor de afbraak van OS minimaal is en de opbouw van een actief bodemleven maximaal ⁽¹⁴⁶⁾. Hoewel permanent grasland vaak geen optie is, verdient daarom de incorporatie van tijdelijk grasland in de teeltrotatie de nodige aandacht. Dit wordt onderbouwd door van Eekeren et al. ⁽³⁹⁴⁾. In een experiment uitgevoerd gedurende 36 jaar (sinds 1966) aan de proefhoeve van de Universiteit Gent, werd de bodemkwaliteit vergeleken tussen permanent grasland, een wisselbouwsysteem (drie jaar tijdelijk grasland, drie jaar maïs) en permanent akkerland (monocultuur snijmaïs tot en met 1981, rotatie van snijmaïs, voederbiet en veldboon sinds 1981). Hierin werd aangetoond dat bij permanent akkerland na 36 jaar het OC-gehalte tot één derde terugviel in vergelijking met permanent grasland. Bij het wisselbouwsysteem bleef deze terugval beperkt tot ongeveer de helft.

Er zijn verschillende beheermaatregelen om het OC-gehalte te verhogen. Twee daarvan passen binnen deze context: (1) beheer van oogstresten en (2) keuze van gewassen en teeltrotatie. Tot slot is een permanente bodembedekking door een geschikte gewasopvolging van belang om rechtstreekse verliezen van OC door erosie te vermijden. Zie daarvoor ook [C.3.3.2](#).

Effect op nutriëntengehaltes en -beschikbaarheid

Gewassen kunnen een grote impact hebben op de chemische bodemvruchtbaarheid. Enkele typische voorbeelden:

- Diepwortelende gewassen (bv. luzerne) zijn in staat om nutriënten uit diepere bodemlagen naar boven te pompen. Daar worden ze tijdelijk gestockeerd in het gewas, om bij afbraak terug vrij te komen.
- Bepaalde groentegewassen laten veel oogstresten na die veel stikstof bevatten. Dit kan ten goede komen van het volggewas ⁽¹¹⁸⁾.
- Vlinderbloemigen (bv. luzerne, klaver, wikke, lupine, veldbonen, erwten) binden luchtstikstof, waardoor N-bemesting geheel of gedeeltelijk achterwege kan blijven en ook het volggewas van N voorzien wordt ⁽⁶⁹⁾.

Op gelijkaardige manier laat wisselbouw met een herhaalde opvolging van drie jaar tijdelijk grasland en drie jaar akkerland toe om een belangrijke hoeveelheid minerale N uit te sparen. Nevens en Reheul ⁽²⁸³⁾ toonden aan dat gewassen volgend op grasland weinig tot geen N-bemesting nodig hebben, door de vrijstelling van N opgebouwd onder het grasland. Bovendien voorkomen een goed uitgekende bemesting en teeltplan excessieve N-uitspoeling na het onderploegen van het grasland. (Bv. telen van voederbiet na grasland, waarbij een diep wortelstelsel en lang groeiseizoen zorgen voor een grondige exploitatie van minerale stikstof uit de bodem). De bevindingen van Nevens en Reheul werden bevestigd door Kayser et al. ⁽²¹¹⁾, waarbij verschillende 3-jarige rotaties werden gevolgd door de teelt van zomertarwe in het vierde jaar. De opbrengst van de zomertarwe verdubbelde daarbij wanneer deze vooraf gegaan werd door drie jaar gras-klaver. Uit hetzelfde onderzoek bleek verder dat in het najaar het mineraal N-residu het hoogst was na het onderploegen van het 3 jaar oude gras-klaver bestand, waarmee nogmaals het belang van een goed, stikstofbehoevend volggewas onderstreept werd.

C.2.2.2. Effect op fysische bodemeigenschappen

(190,191)

Teeltrotatie heeft een sterke invloed op de fysische bodemkwaliteit. Het afwisselen van gewassen met een verschillende groeikarakteristiek en een verschillend zaai- en oogsttijdstip verdient daarbij doorgaans de voorkeur ten opzichte van monocultuur. Algemeen kan gesteld worden dat de kwaliteit en hoeveelheid geleverde organisch materiaal, de bewortelingsintensiteit en –diepte, en de teeltduur kenmerken zijn die een bijzondere rol spelen:

- Rotaties die het **OS-gehalte** verhogen, zullen de microbiële activiteit stimuleren (zie [C.2.2.3](#)) en de **aggregaatstabiliteit** verhogen. Hierdoor neemt de **porositeit** toe en daalt de **schijnbare dichtheid**.
- Ook een intensief wortelend gewas met een uitgebreid netwerk van **fijne wortels** houdt de bodemaggregaten bijeen en bevordert zo de **aggregaatvorming en stabiliteit** ⁽⁶⁷⁾. Dit is een typisch kenmerk voor zodevormende gewassen (gewassen die uitstoelen en zo een dichte mat vormen) zoals grassen of witte klaver.
- Het afwisselen van ondiep met **diep wortelende** gewassen (zoals granen, maïs, koolzaad of luzerne) verbetert de **gasuitwisseling** en **drainage**. Zeker gewassen met diepgaande, dikkere penwortels maken een snelle waterinfiltratie mogelijk. Na de oogst worden de wortelresten afgebroken tot humus, waarna de wortelgangen als poriën achterblijven. Diep wortelende gewassen rijken ook diepere bodemlagen aan met organisch materiaal, dat op zijn beurt het cement vormt waarmee bodemdeeltjes aan elkaar kitten tot aggregaten.
- Vooral **meerjarige gewassen** blijken zeer effectief te zijn in het verbeteren van de bodemfysische eigenschappen. De afwezigheid van werkzaamheden in het voorjaar (bv. ploegen, zaaien) en in het najaar (oogsten) verlaagt het risico op verdichting. Bovendien zorgt het uitgebreid wortelstelsel voor een stabiel poriënnetwerk waardoor volggewassen vlotter kunnen wortelen en minder onderhevig zijn aan droogtestress ^(36,370). In deze context toonden Gardi et al. ⁽¹⁴⁶⁾ ook nog aan dat de aggregaatstabiliteit hoger is onder permanent **grasland** dan onder permanent akkerland.

Andere effecten vloeien dan weer onrechtstreeks voort uit deze invloeden, zoals overzichtelijk voorgesteld werd in Figuur 10.

C.2.2.3. Effect op biologische bodemeigenschappen

Effect op micro-organismen

Plantenwortels spelen een belangrijke rol in de vorming van de microbiële bodemgemeenschap en selectie van bepaalde bacteriële groepen, ondermeer door de excretie van gewasspecifieke stoffen en de invloed op bodemfysische omstandigheden ⁽²⁵²⁾. Ingham ⁽³⁴⁴⁾ besluit dan ook dat elk gewas een specifieke **schimmel/bacterie verhouding** stimuleert. Doorgaans is het aandeel schimmels hoger onder permanente/meerjarige teelten, terwijl bij eenjarige gewassen de bacteriën dominant zijn. Zodoende zou een afwisseling van beide kunnen resulteren in een meer diverse microbiële gemeenschap dan een monocultuur. Uit meerdere studies blijkt dat de samenstelling van de microbiële gemeenschapsstructuur of het bodemvoedselweb algemeen sterk verschilt tussen permanent grasland en permanent akkerland ⁽⁶⁵⁾. Zo vonden ook Yeates et al. ⁽⁴⁵⁵⁾ en Steenwerth et al. ⁽³⁵¹⁾ een meer divers microbieel leven onder permanent grasland.

In een onderzoek, uitgevoerd door Moore et al. ⁽²⁷¹⁾, werd een vergelijking gemaakt tussen een monocultuur maïs en een 4-jarige rotatie (maïs, sojaboon, haver en luzerne). Daaruit kwam naar voor dat de **microbiële biomassa** beduidend hoger lag in de rotatie. De grotere diversiteit aan oogstresten en wortellexudaten in een rotatie werd hier aangehaald als een mogelijke verklaring. Ook in het hiervoor beschreven experiment uitgevoerd gedurende 36 jaar aan de Universiteit Gent, werd in de periode 2002-2004 de biologische bodemkwaliteit vergeleken tussen een aantal teeltsystemen: permanent grasland, een wisselbouwsysteem (drie jaar tijdelijk grasland, drie jaar maïs) en permanent akkerland ⁽³⁹⁴⁾. Hieruit bleek dat de microbiële biomassa tweemaal hoger ligt onder grasland dan onder akkerland. De bacteriële groeisnelheid lag dan weer hoger onder akkerland.

Effect op nematoden

Bij de evaluatie van de effecten op de nematodengemeenschap, dient steeds de samenstelling van die gemeenschap in acht genomen te worden. Slechts een beperkt aantal nematoden is namelijk schadelijk voor de landbouw, daar waar vele andere soorten erg nuttig kunnen zijn (zie ook [C.1.4](#), [A.2.3.2](#) en Figuur 7).

Uit het meerjarig experiment met wisselbouwsystemen aan de universiteit Gent ⁽³⁹⁴⁾ bleek dat de permanente systemen (grasland of akkerland) zich onderscheiden van het wisselbouwsysteem in de aanwezigheid van hogere aantallen carnivore en omnivore nematoden, wat wijst op een stabielere nematodengemeenschap. Verder bleek dat de totale nematodenaantallen doorgaans hoger liggen onder permanent grasland. Dit komt voornamelijk door het hoger aantal plantparasitaire (en dus schadelijke) nematoden in respons op het uitgebreide wortelstelsel onder grasland. Het akkerland werd dan weer gedomineerd door bacterievore nematoden. Het wisselbouwsysteem neemt een tussenpositie in. Ook Yeates et al. ⁽⁴⁵⁵⁾ en Steenwerth ⁽³⁵¹⁾ vonden meer (plantparasitaire) nematoden onder permanent grasland. Het is dan ook een vaak voorkomende misvatting dat extensivering steeds en per definitie zal leiden tot een verlaging van de ziektedruk (zie [C.2.4.1](#)).

Het aandeel plantparasitaire nematoden kan gereduceerd worden door een meer gevarieerde gewasrotatie. Zo werd in een meerjarig veldexperiment uitgevoerd door Rahman et al. ⁽³⁰⁵⁾, de nematodenpopulatie van een monocultuur tarwe vergeleken met die van een tweejarige rotatie tarwe-lupine. Het onderzoek wees uit dat de hoeveelheid vrijlevende nematoden hoger lag in de gewasrotatie terwijl de plantparasitaire nematoden de bovenhand namen in de monocultuur. Dit werd ook bevestigd door Yeates ⁽⁴⁵⁴⁾, die eerder al het gunstige effect van gewasrotaties op de nematodenabundantie rapporteerde.

Effect op de macrofauna

Regenwormen gedijen het best onder grasland, dat een stabiele omgeving en een relatief constant aanbod aan OM als voedselbron biedt. Onder akkerland liggen de aantallen gevoelig lager ^(373,394). Naast de rechtstreekse impact door bewerking (zie [C.1.4](#)) zorgt het afwezig zijn van een permanente

bodembedekking onder akkerland voor een grotere variabiliteit in bodemtemperatuur en vochtregime, wat de regenwormen negatief beïnvloedt. Ook het gebrek aan voldoende voedsel vormt een serieuze dreiging, vooral bij gewassen die weinig tot geen oogstresten achterlaten (bv. wortel- en knolgewassen). In die zin komt de toepassing van gewassen die meer oogstresten nalaten, zoals granen, korrelmaïs en bepaalde groentegewassen, ten goede van regenwormpopulaties. Maar vooral het inpassen van tijdelijk grasland in een rotatie, of de toepassing van groenbedekkers ([C.3](#)) zorgt voor een substantiële stijging in de regenwormenaantallen ⁽³⁷³⁾.

De aardappelteelt blijkt dan weer zeer nadelig te zijn. Niet alleen blijven er na de oogst weinig oogstresten achter, deze teelt vereist ook een intensievere werkgang en vaak een intensief gebruik van gewasbeschermingsmiddelen. Ook de oogst zorgt voor een ernstige bodemverstoring. In een Australische studie ⁽⁶⁴⁾ werd permanent grasland omgezet in akkerland. Op het akkerland werden aardappelen geteeld en reeds in het 1^e jaar werd een halvering van de wormenpopulatie vastgesteld.

C.2.3. Effect op bodemprocessen

C.2.3.1. Effect op verslemping, verdichting en erosie

Afwisseling en gewasresidu reduceren de risico's

Binnen de akkerbouw is het afwisselen van gewassen met een verschillende groeiduur en een verschillend zaai- en oogsttijdstip een belangrijke maatregel om de bedekkingsgraad van de bodem het jaar rond te maximaliseren. Dit is van groot belang om risico's op verslemping, verdichting of erosie te beperken.

Gewasrotaties die het OS-gehalte positief beïnvloeden of waarin ondiep met diep wortelende gewassen worden afgewisseld, bewerkstelligen bovendien een bodemstructuur met stabiele aggregaten en een goede drainage (zie [C.2.2.2](#)). Dit alles reduceert het risico op verslemping en verdichting, en zodoende ook op erosie. Ook het achterlaten van gewasresten na de oogst zorgt voor een significante afname van de slompgevoeligheid van de grond, en beperkt bijgevolg ook het risico op erosie ⁽¹⁶⁹⁾.

Gewasgerelateerd risico op verdichting en erosie

Een **erosiegevoelig gewas of rotatie** is een gewas/rotatie die slechts een beperkte capaciteit heeft om erosie te reduceren. Deze gevoeligheid verschilt van gewas tot gewas, en wordt met name beïnvloed door de bedekkingsgraad van de bodem, de hoogte van het bladerdek en de teelttechnische maatregelen gerelateerd aan een bepaald gewas ⁽¹⁵⁵⁾ (zie [B.6.5](#)).

Voorbeelden van een aantal gewasrotaties met een beperkt risico op erosie, zijn ⁽¹⁵⁵⁾:

- Bieten-wintertarwe-raaigras
- Wintertarwe-wintergerst-bieten
- Bieten-wintertarwe-aardappelen-wintergerst

Voorbeelden van een aantal gewasrotaties met een hoge erosiegevoeligheid, zijn ⁽¹⁵⁵⁾:

- Selder-prei-aardappelen
- Aardappelen-maïs-bieten-wintertarwe-raaigras-bieten
- Maïs-raaigras-maïs-raaigras-maïs-raaigras-aardappelen

Merk op dat een rotatie weinig erosiegevoelig kan zijn, zelfs al bevat ze een erosiegevoelig gewas (bv. bieten). Een goede opvolging en combinatie met andere gewassen is daarbij belangrijk.

Uit een Duitse studie naar de milieu-impact van gewassen ⁽³¹³⁾ blijkt dat grasland en wintergranen zeer goed scoren bij het voorkomen van erosie en verdichting. Grasland zorgt immers voor een bodembedekking het jaar rond en vereist weinig gebruik van zware machines. Wintergranen bedekken de bodem tijdens de wintermaanden en de oogst gebeurt doorgaans onder gunstige weersomstandigheden, waardoor de zware machines weinig structuurschade berokkenen. Erosie kan wel nog optreden rond de inzaai en de opkomst van de granen. Wanneer er echter voldoende vroeg gezaaid wordt en de granen voldoende ontwikkeld zijn, wordt het verlies aan bodem beperkt. Veel

neerslag na de oogst kan wel verslemping van de bovengrond veroorzaken waardoor er tijdens de winter veel water kan afspoelen. De inzaai van een groenbedekker biedt hier een oplossing.

Luzerne (*Medicago sativa*) zou net als grasland zeer goed scoren bij het beperken van erosie ⁽¹⁶⁹⁾, en wordt hierna (C.2.6) afzonderlijk behandeld.

Maïs, aardappelen en bieten scoren dan weer slecht. Deze gewassen worden geteeld in rijen, met een hoog risico op erosie tijdens de voorjaarsbuien (april-mei). Inzaai in de gewasresten van de vorige teelt of van een afgestorven groenbedekker zou dan een erg nuttige maatregel kunnen zijn ⁽¹⁵³⁾ (zie ook C.1.5.3). Een bijkomend nadeel, met name voor maïs en bieten, is dat deze gewassen na de oogst vaak het inzaaien van een groenbedekker niet meer toelaten. Hierdoor is de bodem tijdens een lange periode onderhevig aan erosie. Een wintergraan als volggewas kan hier een oplossing bieden. Door het late oogsttijdstip vindt de oogst van maïs, aardappel of biet vaak plaats in slechte weersomstandigheden, met een groot risico op structuurschade door de machines

De oogst van wortel- en knolgewassen, zoals bieten en aardappelen, resulteert ook in de export van aanzienlijke hoeveelheden grond van de akker. In België is dat voor aardappelen gemiddeld 2,3 ton per ha per oogst. Dit kan oplopen tot meer dan 45 ton bij bodems met een grote fractie bodempartikels <16 µm. In zwaardere gronden neemt het risico op kluitvorming immers toe. Het bodemverlies bij de suikerbieten oogst bedraagt gemiddeld 10 ton per ha per oogst in België en 4,5 ton in Nederland. Deze cijfers zijn gebaseerd op de grondtarracijfers bepaald in de suikerfabrieken. Het bodemverlies bij de suikerbieten oogst is voornamelijk afhankelijk van het vochtgehalte van de bodem. Op rotatieniveau is het gemiddeld jaarlijks bodemverlies door de oogst van gewassen sterk afhankelijk van de gewas types in de rotatie. Het bedraagt in de Kempen 0,7, in de zandleemstreek 2,3 en in de leemstreek 2,6 ton per ha per jaar (gemiddeldes voor de periode 1980-2004) ⁽³²¹⁾. Bovendien vereisen suikerbiet en aardappelen zware rooimachines door hun hoog oogstgewicht, waardoor de kans op bodemverdichting veel groter is. Dit werd ook bevestigd door Boizard et al. ⁽⁵¹⁾, die de bodemcompactie onderzochten voor verschillende gewasrotaties. De rotaties met maïs en biet gaven daarbij meer aanleiding tot gecompacteerd zones dan de rotaties met winter tarwe en koolzaad. Vooral de oogst van suikerbieten in natte omstandigheden zorgde voor aanzienlijke bodemcompactie.

Figuur 24. Het late rooien van bieten dient plaats te vinden onder goede omstandigheden om structuurschade en bodemverlies te beperken.



C.2.4. Effect op landbouwkundige parameters

C.2.4.1. Effect op ziektedruk, plagen en onkruidontwikkeling

(310)

Het roteren van verschillende gewassen helpt ziekten en plagen te beheersen, in functie van hun mobiliteit en specificiteit. Zo rapporteerden Ryszkowski et al. ⁽³²³⁾ bv. een verarming van de aanwezige fauna en een toename van plantenziekten in een monocultuur gerst. Teeltrotatie blijkt erg effectief te zijn als men te maken heeft met bodemgebonden, gewasspecifieke plagen (bv. aardappelpystenaaltje), die met andere woorden enkel kunnen leven en schade veroorzaken bij één gewas. Lang wachten om hier met hetzelfde gewas opnieuw te komen, kan voldoende zijn om de plantenbeschadigers te verminderen in aantal of helemaal te doen verdwijnen, wegens gebrek aan een waardplant ⁽²³³⁾. Ook de toepassing van variëteiten op verschillende percelen of in verschillende jaren kan hier een interessante optie zijn ⁽²⁶⁷⁾. Hoewel maïs doorgaans relatief weinig last ondervindt van bodemgebonden ziekten en plagen stellen Visscher et al. ⁽⁴³⁰⁾ vast dat de kans op wortelverbruining (een schimmelaantasting door o.a. *Pythium* spp. en *Fusarium* spp) toeneemt onder monocultuur. Dit geldt ook voor de wortelaaltjes *Pratylenchus* en *Tylenchorhynchus*. De omvang van de schade is daarbij moeilijk aan te geven, maar kan toch enkele procenten van de opbrengst bedragen.

Het effect van gevarieerde teeltrotaties is echter minimaal wanneer men te maken heeft met mobiele, niet-gewasspecifieke (polyfage) plantenbeschadigers (bv. polyfage bladluissoorten). Ook tegen bodempathogenen die een lange tijd in de bodem kunnen overleven zonder waardplant (bv. *Fusarium*) is de effectiviteit van rotatie beperkt ⁽³⁵⁷⁾. Het is dan ook een vaak voorkomende misvatting dat extensivering steeds en per definitie zal leiden tot een verlaging van de ziektedruk. Het gaat eerder om de manier waarop een ruimere rotatie ingevuld wordt: doe je dit met verkeerde gewassen, dan kan de ziektedruk van veel polyfage pathogenen zelfs verergeren.

Sommige planten scheiden chemische stoffen af als wortellexudaten of tijdens de afbraak van plantenresten ⁽²⁹⁾. Deze stoffen kunnen de micro- en macrofauna in de wortelzone sterk beïnvloeden. Zo kunnen bij de afbraak van oogstresten van Brassicaceae isothiocyانات vrijkomen, die gekend zijn voor hun fungicide werking (zie ook [C.3.2.5](#)). Dit werd gestaafd door Kirkegaard et al. ⁽²¹⁶⁾, die tijdens een in vitro experiment een onderdrukking van verschillende wortelpathogenen bij graangewassen (*Rhizoctonia solani*, *Fusarium graminearum*, *Pythium irregulare*) vaststelden na toevoeging van deze isothiocyانات.

Een goede teeltrotatie kan ook het onkruidprobleem sterk reduceren, waardoor minder chemische bestrijdingsmiddelen nodig zijn ^(366,430). Zo komen kiemplanten van onkruiden die vóór de winter kiemen (bv. duist, echte kamille) minder voor in zomergewassen, terwijl thermofiele onkruiden (bv. zwarte nachtschade, melganzevoet) geen kans krijgen in een wintergewas. Op termijn leidt teeltrotatie tot een afname van de zaadvoorraad in de bodem. Dit wordt ondersteund door onderzoek van Tomasoni et al. ⁽³⁶⁶⁾, waarbij de onkruidzaadbank onder verschillende teeltrotaties (monocultuur maïs, drie jaar maïs – drie jaar tijdelijk grasland, permanent grasland) onderzocht werd. Twaalf jaar na aanvang, bleek de factor teeltrotatie een aanzienlijke invloed uit te oefenen op de onkruidflora (zowel kwantitatief als kwalitatief). De monocultuur maïs bleek daarbij de grootste onkruidzaadbank met de minste diversiteit te bezitten. Permanent grasland beschikte dan weer over de kleinste zaadbank. Opvallend was het 'opruimeffect' van tijdelijk grasland. Het inpassen van tijdelijk grasland na 3 jaar maïs zorgde voor een eliminatie van één derde van de initiële zaadbank. Het land voor vrij lange tijd onder grasland leggen is dan ook één van de meest efficiënte methoden om ernstige onkruidproblematiek aan te pakken. Zaden die niet erg lang kiemkrachtig blijven, verliezen hun kiemkracht tijdens de graslandperiode en komen in een volgende akkerfase niet meer voor. Teeltrotatie betekent ook een afwisseling van gewasbeschermingsmiddelen. Zeker voor herbiciden en fungiciden is dit het geval omdat veel middelen gewasspecifiek zijn. Het afwisselen van deze middelen

betekent een verlichting van de selectiedruk op onkruiden en schimmels waardoor het ontwikkelen van resistentie vertraagt ⁽³⁰⁹⁾.

Niet alleen een goede teeltrotatie, maar ook de gewaskeuze op zich is belangrijk: onkruiddruk neemt af onder snelgroeiende en dekkende gewassen.

De potentiële positieve impact maar ook risico's bij de toepassing van groenbedekkers, worden in [C.3](#) behandeld.

C.2.4.2. Effect op opbrengst en teeltkosten

De ervaring leert dat het afwisselen van gewassen in de tijd een garantie is voor betere gewasprestaties ⁽⁴⁴⁶⁾. De hiervoor beschreven gunstige invloed op de fysische, chemische en biologische bodemvruchtbaarheid vertaalt zich op termijn in een gezondere plant en hogere opbrengsten. Zo stelden Nevens en Reheul ^(281,282) vast dat kuilmaïs geteeld in teeltrotatie quasi altijd significant meer opbrengt dan in monocultuur en bovendien de aanwezige nutriënten beter benut. Hierdoor neemt meteen ook de veevoederwaarde van het gewas toe. Ook Berzsenyi et al. ⁽⁴⁰⁾ voerden gelijkaardig onderzoek uit (start in 1961) en observeerden hogere opbrengsten voor maïs en wintertarwe in rotatie. Desalniettemin is maïs behoorlijk zelfverdraagzaam waardoor de opbrengstderving door monocultuur meevalt in vergelijking met andere monoculturen.

De specialisatie in de land- en tuinbouw heeft het toepassen van een teeltrotatie op bedrijfsniveau echter bemoeilijkt. Het is immers economisch efficiënter om een beperkt aantal gewassen te verbouwen. Zo vereist het verbouwen van veel gewassen een groter machinepark, meer verschillende gewasbeschermingsmiddelen, een uitgebreide kennis, wat resulteert in hogere teeltkosten. Het toepassen van een teeltrotatie over verschillende bedrijven heen kan hier mits duidelijke afspraken een oplossing bieden ⁽³¹⁰⁾.

C.2.5. Alternatieve teelten

C.2.5.1. Gras-klaver

(104,105)

De term gras-klaver duidt in onze regio meestal op de associatie van grassen (vaak Engels raaigras) met witte klaver (*Trifolium repens*). Het grootste voordeel van de toevoeging van klaver is het vermogen ervan om via symbiose met *Rhizobium* bacteriën stikstof (N) uit de lucht te fixeren. Deze N komt dan ten goede van het gras (en de volgteelt), waardoor de N-bemesting sterk teruggeschoefd kan worden. Klaver zorgt ook voor een substantiële bijdrage aan de eiwitvoorziening van het vee. Bovendien is de verteerbaarheid van witte klaver iets beter dan die van Engels raaigras en maakt de regelmatige N-voorziening van de omringende grasplanten de kans op kroonroest in het gras kleiner. Dit maakt dat de verteerbaarheid en smakelijkheid van het mengsel bewaard blijven ⁽³¹⁰⁾.

Net zoals een pure graszode, wordt de associatie gras-klaver gekenmerkt door een intensieve beworteling wat ten goede komt van de bodemstructuur. Daarnaast brengt gras-klaver aanzienlijke hoeveelheden OM aan en zorgt de permanente bodembedekking voor een erosiereducerend en onkruidonderdrukkend effect. De onverstoorde bodem en het ruime voedselaanbod weerspiegelen zich in een divers en abundant bodemleven. Opvallend is daarbij dat onder gras-klaver meer regenwormen zouden voorkomen dan onder gewoon grasland ⁽¹⁰⁸⁾. Dit zou te danken zijn aan de N-rijke gewasresten van de klaver.

Belangrijk om op te merken is dat de groei van witte klaver wispelturig is en het groeipatroon anders is dan bij gras. Het percentage klaver in de zode varieert dan ook van jaar tot jaar of zelfs binnen het jaar, wat maakt dat de stabiliteit van een gras-klaver zode minder groot is dan die van een pure graszode. Het aandeel klaver mag enerzijds niet te hoog zijn omdat dit de smakelijkheid van het mengsel doet afnemen en anderzijds niet te laag aangezien dit de productiviteit van het gras-klaver bestand doet dalen. Het beheer van een gras-klaver bestand is dan ook complexer dan dat van een zuivere graszode. Na het scheuren van meerjarige gras-klaver (meestal 2 à 3 jaar), dient tevens

rekening gehouden te worden met de enorme N-mineralisatie die op korte termijn plaatsvindt, en het daarmee gerelateerde risico op nitraatuitspoeling. Scheuren in het voorjaar en een N-vragend volggewas in combinatie met een vanggewas vormt de aanbevolen praktijk.

Naast witte klaver kan ook rode klaver (*Trifolium pratense*) toegepast worden. Rode klaver fixeert in vergelijking met witte klaver iets minder N, heeft een lagere energie-inhoud, wordt gekenmerkt door een diepere beworteling (penwortel), is goed bestand tegen droogte, maar verdraagt geen begrazing en is maximaal twee jaar productief (zie ook Bijlage I). Het feit dat rode klaver enkel gemaaid kan worden, maakt het systeem iets minder flexibel en verklaart de meer beperkte toepassing in de praktijk. Rode klaver kan zowel op zichzelf (reinteelt) als gemengd met gras geteeld worden. Dit laatste beperkt de problemen met onkruiden en verhoogt de verteerbaarheid. Het gebruik van een mengsel van gras met witte én rode klaver kan ook. In de biologische veehouderij zijn daarmee goede ervaringen opgedaan ⁽¹⁰⁴⁾.

C.2.5.2. Luzerneteelt

Luzerne is een meerjarige teelt (3 à 5 jaar), inheems in Europa. In principe wordt ze als reinteelt uitgezaaid, maar een combinatie met gras is mogelijk ⁽¹⁰⁴⁾. Ze groeit liefst op goed doorlatende gronden met hogere pH (zie ook Bijlage I). De spruitgroente (ontkiemde zaden) van luzerne heet alfalfa. Luzerne is een eiwitrijke plant en kan samen met maïs (levert de energie) het basisrantsoen vormen voor de rundveehouderij. Het areaal in België en Nederland is uiterst klein. Knelpunten bv. zijn het feit dat er geen N en dus ook geen mengmest mag toegediend worden, dat het gewas reeds na twee jaar te sterk uitdunt, en dat luzerne een relatief lage energiewaarde heeft. Voordelen voor de veeteelt zijn dan weer de structuurwaarde en het gehalte aan mineralen. In de zoektocht naar lokale eiwitten ter vervanging van soja, kan dit gewas misschien aan belang winnen ⁽⁴⁴⁰⁾.

De intensieve doorworteling van de bodem tot 30-40 cm diep, verbetert de drainage en gasuitwisseling van de bodem en zorgt voor een grote aanrijking met organisch materiaal ⁽³¹⁰⁾. Luzerne is ook bijzonder goed geschikt in het kader van reductie van run-off en erosie. De gewasstructuur van luzerne laat meer ruimte voor infiltratie in de bodem in vergelijking met grasland. Meek et al ⁽²⁶¹⁾ waarschuwden in die optiek wel voor een verhoogd risico op N-uitloging. Net als bij de andere vlinderbloemigen, zorgt het stikstofbindend vermogen van Luzerne ook nog voor een aanzienlijke N-nalevering aan het volggewas. Carpenter-Boggs et al. ⁽⁶⁹⁾ onderzochten de invloed van verschillende gewasrotaties (monocultuur maïs, maïs-sojaboon, maïs-sojaboon-tarwe-luzerne) op de N-mineralisatie en concludeerden dat na acht jaar de N-mineralisatie het hoogst was bij de luzerne-rotatie. Bovendien zorgde het onderploegen van de luzerne voor aanzienlijk meer N-nalevering dan maïs of sojaboon ⁽¹⁶⁹⁾.

C.2.6. Teeltkeuze en –rotatie: conclusies, suggesties en belang

C.2.6.1. Gewaskeuze en duurzaamheid

Het duurzaam karakter en de impact op de bodemkwaliteit van een teelt variëren aanzienlijk naargelang het beschouwde gewas. Doorgaans blijken meerjarige teelten (met name grasland) minder druk op het milieu met zich mee te brengen in vergelijking met de meeste eenjarige gewassen ^(136,313). Deze gewassen slagen er veel beter in om erosie te vermijden en vereisen weinig bodembewerkingen, nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen. Verder zorgt een vaak uitgebreid, diep wortelstelsel voor een stabiele bodemstructuur en beperkt risico op bodemverdichting.

Bij de conventionele eenjarige gewassen halen de granen over het algemeen de beste score. Suikerbieten en aardappelen, nochtans belangrijke teelten in onze contreien, scoren een pak minder goed.

De vernauwing van de teeltrotatie bij een monocultuur snijmaïs, een typisch voorbeeld binnen het projectgebied, brengt een achteruitgang van de fysische en chemische bodemvruchtbaarheid met zich mee. Een mogelijke oplossing is om eens in de zoveel jaar korrelmaïs te telen in plaats van snijmaïs. Ook de afwisseling van grasland en maïs kan deze monocultuur doorbreken. Het inbouwen van

grasland in de rotatie, bovendien een verplichting onder derogatie in Vlaanderen (Kader 9) en op zand- en lössgronden in Nederland, helpt de bodemvruchtbaarheid in stand te houden en/of te verbeteren. Bovendien laat de N-nalevering van het ingewerkte gras toe om gelijk welk gewas te telen zonder N-bemesting gedurende het eerste jaar na omploegen van de zode. Desalniettemin blijkt uit praktijkervaring dat het uitvoeren van een niet-kerende grondbewerking na late oogst van een grassnede moeilijkheden op vlak van veronkruiding en onderwerken van de grasresten met zich meebrengt. Vooral de voortelt Italiaans raaigras vormt een probleem bij niet ploegen. Een aangepaste onkruidbestrijding dringt zich daarom op (G. Meuffels en G. Van de Ven, pers. comm.).

C.2.6.2. Algemeen geldende regels en suggesties voor een goede praktijk

(222,310)

Bij het opstellen van een gewasrotatie moeten een aantal regels in acht genomen worden. Een voorafgaand gewas kan immers een positief of negatief effect hebben op de teelt van het volggewas. Kolbe ⁽²²²⁾ brengt via een literatuuroverzicht van verschillende gewasopvolgingen de wederzijdse effecten van 25 veel voorkomende gewassen in kaart. Iedere mogelijke combinatie in een gewasopvolging wordt daarbij gescoord, waaruit een aantal algemene aanbevelingen naar voor komen:

- Opeenvolgingen van hetzelfde gewas of genetisch verwante gewassen leiden meestal tot opbrengstverlies, stimulatie van ziekten en plagen, en de ontwikkeling van moeilijk te bestrijden onkruiden. Zomertarwe, winterrogge en maïs vormen hierop een uitzondering. Hoewel niet steeds optimaal, leiden monoculturen van deze gewassen niet tot onoverkomelijke problemen. Algemeen kunnen we stellen dat men in een teeltrotatie een bepaalde soort best niet vaker teelt dan in een frequentie van 1 jaar op 4. Ook verschillende soorten die tot éénzelfde gewasgroep behoren en qua ziekten en plagen verwant zijn, teelt men beter niet meer dan 1 jaar op 3 ⁽³¹⁰⁾;
- De gewasopvolging kiest men in functie van het vorige gewas, rekening houdend met de oogstdatum van het vorige gewas en de zaaidatum van het volgende gewas. Ook met de waarde van de voorvrucht (bv. de te verwachten N-resten, zie C.3) dient rekening gehouden te worden;
- Onderploegen van permanent of tijdelijk grasland zorgt voor een grote N-mineralisatie. Om N-verliezen te beperken, is het scheuren van grasland in het voorjaar te verkiezen boven scheuren in het najaar. Na grasland opteert men best voor een gewas dat veel N opneemt en exporteert (bv. voederbiet) of een gewas met een matige N-export gevolgd door een vanggewas. Een legergevoelig graangewas of een gewas met een lage stikstofbehoefte (bv. vlas) is uit den boze. Ook suikerbieten teelt men beter niet op een bodem met een grote N-nalevering. Te veel vrije N in de bietenwortel bemoeilijkt immers de suikerextractie;
- In de akkerbouw wisselt men graag een rooigewas af met een maaigewas. Een belangrijke reden daarvoor is dat een rooigewas gepaard gaat met het verwerken van grote volumes grond (bv. wortel- of knolgewassen) terwijl bij een maaigewas geen verwerking van grond tijdens het oogsten verondersteld wordt (bv. graangewassen, grassen). In een optimale teeltrotatie wordt aandacht besteed aan afwisseling met ⁽⁶⁷⁾:
 - Gewassen met intensieve beworteling, zoals granen, grassen, andijvie. Wortels scheiden bepaalde stoffen uit en leveren OM, waardoor de aggregaatvorming door het bodemleven wordt gestimuleerd. Daarnaast houden wortels kleine aggregaten bijeen tot grotere aggregaten en kluitjes;
 - Gewassen met diepe penwortels, zoals luzerne en bieten, die de infiltratie naar de diepere bodemlagen verbeteren;
 - Gewassen met veel gewasresten en daardoor veel toevoeging van OM, zoals grassen, granen, en bepaalde groenbedekkers;
 - Vroegruimende gewassen, zoals graangewassen, erwten, plantuien, vroege aardappelen en vroege groentegewassen. Ze bieden gelegenheid voor de teelt van groenbedekkers.

C.3. Groenbedekkers en interactie met andere maatregelen

C.3.1. Inleiding

C.3.1.1. Groenbedekkers als bijzondere maatregel binnen de teeltrotatie

(183,223,237,299,364)

Een groenbedekker kan gedefinieerd worden als een gewas dat voor het in stand houden of verbeteren van de fysische, chemische en biologische bodemcondities wordt geteeld. Dit gewas levert meestal geen te verkopen of in de bedrijfsvoering te gebruiken product op ⁽³⁶⁴⁾. Hoewel in principe te beschouwen als onderdeel van de teeltrotatie, wordt hier een afzonderlijke tekstdeel besteed aan het belang en de kenmerken van deze groenbedekkers. Hun teelt vormt namelijk een bijzondere maatregel met kenmerkende functies en aandachtspunten. Groenbedekkers maken reeds eeuwenlang deel uit van de teeltrotatie, zij het om diverse beweegredenen en met een omschakeling naar andere types in de loop van de geschiedenis ⁽¹⁸³⁾. Daar waar in het verleden de nadruk lag op de verhoging van de chemische bodemvruchtbaarheid (groenbemesters), is de vernieuwde interesse in groenbedekkers op vandaag hoofdzakelijk te danken aan de mogelijkheden om het bodemoppervlak te beschermen tegen erosie en om stikstofverliezen te beperken door het vasthouden van nutriënten in de winter en het ter beschikking stellen ervan aan de volgteelt (vanggewas). Daarnaast zijn groenbedekkers ook nuttig om het OS-gehalte te verhogen, het bodemleven te bevorderen, de bodemstructuur te verbeteren, aaltjes, plagen of schimmels te bestrijden en onkruidontwikkeling af te remmen. In die optiek wordt hier dan ook consequent de term “groenbedekkers” en niet “groenbemesters” gehanteerd, aangezien die laatste benaming te zeer de focus op één functie lijkt te leggen. Vanggewassen, bodembedekkers of groenbemesters, elk met hun specifiek doel, kunnen hier in principe allen onder diezelfde noemer van groenbedekkers ondergebracht worden.

Maar komen die vele voordelen ook steeds allemaal tot uiting in de praktijk? In wat volgt proberen we op basis van voorgaand onderzoek en praktijkervaring één en ander te verduidelijken. In aanvulling op deze tekst, wordt in een afzonderlijke bijlage (Bijlage I) een overzicht gegeven van mogelijke groenbedekkers, met informatie omtrent hun typische groeikenmerken, groeivereisten, inzaaimogelijkheden, mogelijke voor- en nadeelt, droge stof productie, voederwaarde, stikstofvang en andere eigenschappen.

C.3.1.2. Interactie met andere maatregelen?

Vanzelfsprekend bestaat er een heel sterke relatie tussen de teelt van groenbedekkers en de teeltkeuze en –rotatie in z'n geheel (C.2). In wat volgt wordt verduidelijkt hoe de keuze voor een bepaalde teelt de toepassing van bepaalde soorten groenbedekkers namelijk zal toelaten of uitsluiten, en omgekeerd. Daarnaast beïnvloeden groenbedekkers echter ook het bemestingsregime (C.4), omwille van hun effect op nutriëntenbenutting en OS opbouw, zoals hierna zal blijken. Tot slot bestaat ook een sterke interactie met bodembewerking (C.1), met name in relatie tot tijdstip van bewerkbaarheid, en de mogelijkheden om een groenbedekker te vernietigen en onder te werken.

C.3.1.3. Toepassing van groenbedekkers in Europa, België en Nederland

Binnen de Europese Unie wordt steeds meer aandacht besteed aan de toepassing van groenbedekkers, zeker in erosiegevoelige gebieden en met het oog op de Kaderrichtlijn Water. Zo is in Frankrijk vanaf 2012 in kwetsbare gebieden een bodembedekking van 100 % verplicht gedurende de periode met risico op nitraatuitspoeling ⁽¹⁹⁸⁾. In Nederland is men sedert 2006 op zand en löss verplicht om na maïs een groenbedekker te telen. Daarbij zijn rogge, gras, bladkool en bladrammenas toegelaten. Het inwerken mag pas na 1 februari gebeuren. Binnen de voorschriften voor de erosiebestrijding in Zuid-Limburg (NL) geldt bovendien dat het inzaaien van een bodembedekker (bv. gras, granen of groenbedekker) verplicht is indien in het teeltjaar een erosiebevorderend gewas wordt geteeld op een perceel met meer dan 2 % helling en meer dan 50 m hellingslengte. Deze bodembedekker moet direct na de oogst en uiterlijk op 1 december gezaaid zijn.

Ook in Vlaanderen is men verplicht om na de maïs oogst gras in te zaaien wil men derogatie bekomen (Kader 9). Daarnaast werd in Vlaanderen in het kader van het eerste Vlaamse Plan voor

Plattelandontwikkeling (PDPO I) een Agromilieumaatregel groenbedekking opgenomen. Via deze weg konden landbouwers op vrijwillige basis een verbintenis van vijf jaar aangaan en een subsidie van 50 €/ha aanvragen. In het nieuwe plan (2007-2013) is deze maatregel echter geschrapt; de uitdovende maatregel loopt voor verbintenissen aangegaan vóór 2007 nog maximaal tot 2010 (meer info: www.vlaanderen.be/landbouw)⁽²⁹⁹⁾. Op het hoogtepunt in 2006 werd voor Vlaanderen een areaal van ongeveer 80.000 ha groenbedekkers aangevraagd. Andere financiële stimulansen bestaan nog steeds via een aantal gemeentelijke subsidiëringen en tussenkomst in het kader van de Gemeenschappelijke Marktordening Groenten en Fruit (GMO)⁽²⁹⁹⁾.

Door het wegvallen van de Agromilieumaatregel rijst bij een aantal landbouwers de vraag of het inzaaien van groenbedekkers wel economisch rendabel is. Uit wat volgt zou moeten blijken dat, mits een doordachte keuze, de teelt van groenbedekkers doorgaans meer voor- dan nadelen inhoudt.

In het kader van regelgeving willen we tot slot nog een belangrijke **kanttekening** plaatsen bij de interpretatie van een aantal hierna voorgestelde proefresultaten. In het verleden konden groenbedekkers zonder problemen bemest worden. Onder de huidige mestwetgeving is dit moeilijker tot quasi onmogelijk, waardoor de vraag rijst in hoeverre een aantal beschikbare gegevens betreffende opbrengst, N-opname (zie met name [C.3.3.3](#)) en andere aspecten rond de ontwikkeling van groenbedekkers nog volledig bruikbaar zijn.

C.3.2. Effect op chemische, fysische en biologische bodemeigenschappen

Hoewel de specifieke kenmerken en invloed van groenbedekkers op bodem en omgeving sterk kunnen variëren naargelang de beschouwde soort, kunnen een aantal eigenschappen en effecten beschreven worden die kenmerkend zijn voor groenbedekkers algemeen.

C.3.2.1. Effect op organische (kool)stof

“Dragen groenbedekkers bij tot de opbouw van bodem organische stof?”

Door de wortelontwikkeling en nadien het onderwerken van groenbedekkers, wordt organisch materiaal ingebracht in de bodem⁽²⁹⁹⁾. Hoe omvangrijk en belangrijk die verrijking is, hangt echter af van de beschouwde soort en omstandigheden voor ontwikkeling, en wordt grotendeels bepaald door de droge stofopbrengst (DS, ton/ha na drogen bij 70° C tot constant gewicht). Uiteindelijk draagt bovendien slechts een beperkte fractie, zijnde de effectieve organische stof (EOS), bij tot de opbouw van de OS-voorraad in de bodem⁽¹⁸³⁾. In Bijlage I wordt voor de meest voorkomende groenbedekkers de gemiddelde DS en EOS weergegeven. Wat opvalt, is dat de OS-aanrijking door groenbedekkers relatief laag is ten aanzien van de bijdrage die door het inwerken van stro plaatsvindt^(404,444). Door de lage C/N verhouding en de beperkte hoeveelheid moeilijk afbreekbaar materiaal, is de hoeveelheid EOS die door de meeste groenbedekkers geleverd wordt beperkt^(48,275). Vooral grassen (zie [C.3.5](#)) kunnen een aanzienlijke bijdrage leveren aan de OS-voorziening in de bodem.

Belangrijk is verder ook de manier waarop groenbedekkers in de bodem ingewerkt worden. Bij onderploegen van een volumineuze groenbedekker bestaat het risico dat alle organisch materiaal geconcentreerd wordt op één plaats, en zodoende een compacte, zure en slecht verterende anaerobe laag gevormd wordt. Een slecht doorwortelbare laag en bijgevolg een lagere opbrengst van het volggewas zijn het resultaat^(183,263).

Het belang en de talrijke functies van bodem OS werden hiervoor reeds uitvoerig besproken ([A.2.1.1](#) en [A.4.1](#)). De invloed van groenbedekkers op dit OS-gehalte ligt dan ook aan de basis van meerdere andere effecten van groenbedekkers op de fysische, chemische en biologische bodemgesteldheid.

C.3.2.2. Effect op nutriëntengehaltes en -beschikbaarheid

Voor de effecten op N-opname, -vrijstelling en -uitspoeling wordt verwezen naar [C.3.3](#).

Fosfor wordt eerst opgenomen door de groenbedekker. Na het inwerken van de residu's, wordt die P geleidelijk terug vrijgesteld. Ze is in die organische vorm minder onderhevig aan adsorptie en fixatie dan anorganische fosfaatmeststoffen. De uiteindelijke fosfaatbeschikbaarheid voor het volggewas

wordt daarbij hoofdzakelijk bepaald door de C/P verhouding van het residu en de fosfaatstatus van de bodem⁽³⁶³⁾.

Kalium opgenomen door de groenbedekker wordt doorgaans relatief snel terug vrijgegeven na het inwerken van het gewasresidu.

C.3.2.3. Effect op bodemstructuur en aggregaatstabiliteit

“Zorgen groenbedekkers voor een permanent verbeterde bodemstructuur?”

De wortelontwikkeling van groenbedekkers draagt bij tot het behoud en de verbetering van de bodemstructuur, via de vele kleine kanaaltjes die op die manier gevormd worden. Hierdoor neemt ook het poriënvolume toe. Verder resulteren de positieve impact op de bodem OS en het bodemleven (zie hierna) in een verhoogde aggregaatstabiliteit⁽³⁶³⁾. In vergelijking met bv. stro of stalmest gebeurt de stabilisatie door organisch materiaal afkomstig van groenbedekkers relatief snel en intens, maar de impact is van erg beperkte duur^(6,99,444).

C.3.2.4. Effect op percolatie, permeabiliteit en waterhuishouding

“Stijgt het waterbergend vermogen? Droogt de bodem sneller uit?”

Groenbedekkers beïnvloeden via diverse processen de waterhuishouding in de bodem. Doorgaans leidt een regelmatige toepassing van groenbedekkers tot een hogere permeabiliteit en een groter waterbergend vermogen, dankzij hun beworteling, OS-opbouw en effecten op de bodemstructuur en porositeit. Ook na het afsterven van de wortels maken de wortelkanalen een verdere waterafvoer mogelijk. Dit effect is echter vrij beperkt en afhankelijk van de beschouwde soort groenbedekker.

Een ander effect is de toenemende vochtverdamping door transpiratie van de groenbedekker en de daarmee gepaard gaande wateropname, waardoor de onderlaag van de bodem in het voor- en najaar doorgaans sneller droog is. Toch betekent dit niet steeds dat ze ook sneller bewerkbaar is, aangezien het uitdrogen van de toplaag meestal langzamer verloopt door de bedekking⁽²⁷³⁾. Op droogtegevoelige gronden en bij overmatig vochtgebruik, kan het voordeel van een snellere uitdroging bovendien omslaan in een nadeel, en ten koste gaan van de vochtvoorziening van het hoofdgewas⁽¹⁸³⁾. Tijdig inwerken is dan de boodschap. De groenbedekking kan in principe als een buffer beschouwd worden, die de bodem beschermt tegen vocht- maar ook temperatuurextremen⁽²⁷³⁾.

C.3.2.5. Effect op bodemleven

“Stimuleren groenbedekkers een actief en divers bodemleven?”

Voor een gedetailleerde benadering van de effecten op het bodemleven, wordt verwezen naar een afzonderlijke studie rond functionele agrobiodiversiteit (FAB), eveneens uitgevoerd in het kader van het [Interreg project BodemBreed \(activiteit 4\)](#).

Het ingewerkte OM van groenbedekkers vormt een **bron van voedsel** en stimuleert zo een actief en divers bodemleven⁽²²³⁾. Ook de plantenwortels van de nog levende groenbedekkers spelen hier een belangrijke rol, via symbiose met mycorrhiza en door het afscheiden van suikers en hormonen. Voor een actief en goed ontwikkeld microbieel bodemleven is een continue aanvoer van deze stoffen belangrijk, wat de cruciale rol van een tussenteelt met groenbedekkers bevestigt⁽²⁷³⁾.

Ook op meso- en macrofauna hebben groenbedekkers een belangrijk, doorgaans stimulerend effect⁽³⁶³⁾. In een studie uitgevoerd in het kader van het IWT-project Ecoworm⁽³⁷³⁾, werden de effecten van groenbedekkers op de voedselvoorkeur en habitatkeuze van regenwormen nagegaan. Hoewel er momenteel nog relatief weinig gegevens zijn, werd reeds duidelijk dat regenwormen de voorkeur geven aan een bedekte bodem, en dat het blad als voedselbron het meest geliefd was en de wortel het minst. Groenbedekkers kunnen echter ook een negatieve impact hebben. Zo kunnen kort na het afdoden en inwerken schadelijke isothiocyanaten vrijkomen. Hoewel deze interessant zijn voor controle van ziektes en plagen (zie verder), zouden ze een potentieel negatief effect op de wormenpopulatie kunnen hebben. Uit hetzelfde IWT-project⁽³⁷³⁾ kwam naar voor dat dit schadelijk effect echter snel afneemt. Ook de afscheiding van afstotende wortellexudaten door gele mosterd bleek alvast geen groot probleem te vormen. Verder wordt aangeraden om de groenbedekker niet in

te ploegen: onder NKG komen namelijk minder isothiocyاناتen vrij door een vlottere afbraak, en vervluchtigen ze sneller.

C.3.3. Effect op bodemprocessen

C.3.3.1. Effect op verslemping, versmering en verdichting

“Bieden groenbedekkers bescherming tegen verslemping en verdichting?”

De verbeterde bodemstructuur en de toegenomen aggregaatstabiliteit, permeabiliteit en bedekking van het oppervlak bij toepassing van groenbedekkers, resulteren in een effectieve bescherming tegen oppervlakkige en interne slomp. Op die manier spelen groenbedekkers ook een belangrijke rol tegen potentiële verdichting^(183,273,299). Vooral op slompgevoelige leem- en zandleembodems is dit potentieel van groot belang.

Groenbedekkers hebben niet enkel een preventieve functie op vlak van verdichting: diepwortelende groenbedekkers (zoals gele mosterd) kunnen ook ingezet worden om een bestaande verdichting op natuurlijke wijze terug op te heffen⁽³⁷⁷⁾.

C.3.3.2. Effect op run-off en erosie

“Dalen run-off en erosie bij de toepassing van groenbedekkers?”

^(183,263,299)

Twee grote factoren beperken run-off en erosie onder groenbedekkers, wellicht één van hun belangrijkste functies. **Bovengronds** bedekken groenbedekkers met hun bladerdek de bodem, waardoor het risico op losmaken en transporteren van bodempartikels door de inslag van regendruppels afneemt. De bovengrondse biomassa reduceert ook de snelheid van afstromend water. **Ondergronds** koloniseren groenbedekkers met hun wortelstelsel het bodemprofiel, en draagt de verbeterde bodemstructuur bij tot een verhoogde permeabiliteit en aggregaatstabiliteit, en bijgevolg tot meer weerstand tegen verslemping en afspoeling (zie ook Figuur 8). Naast watererosie, beperkt een groenbedekking uitstekend de verstuijing van bodemdeeltjes bij hevige wind in de winter en het vroege voorjaar.

Concrete cijfers zijn zeldzaam, maar de praktijk leert dat de effecten zeer groot kunnen zijn. Op de demonstratievelden van het Interreg project Mesam⁽²⁶³⁾ te Kemmel (West-Vlaanderen) en Nukerke (Oost-Vlaanderen) verminderde de run-off met 60 tot 100 %, en werd geen erosie meer vastgesteld bij de inzaai van Engels raaigras ten opzichte van een naakte bodem⁽²⁰⁹⁾. Gelijkaardige demonstratieproeven te Maarkedal, Zottegem en Geraardsbergen (Vlaamse Ardennen), gaven aan hoe de sedimentconcentratie (g/l) van opgevangen run-off tijdens de winter met 68 tot 76 % reduceerde onder Engels en Italiaans raaigras, en tot 83 % onder wintertarwe als groenbedekker⁽³¹⁷⁾.

C.3.3.3. Effect op stikstofopname, -vrijstelling en -uitspoeling

^(183,299,363,364)

(zie ook kanttekening onder [C.3.1.3](#))

“Resulteert de inzaai van groenbedekkers in minder nitraatuitspoeling?”

Zoals besproken onder [A.3.2.2](#) wordt de nitraatvoorraad in de bodem op elk moment (en dus ook het nitraatresidu in het najaar) beïnvloed door een brede waaier aan processen en factoren (zie Figuur 9). Input gebeurt hoofdzakelijk onder de vorm van bemesting, mineralisatie van OS en vrijstelling uit oogstresten. Output vindt plaats door vervluchtiging, denitrificatie, uitspoeling, run-off, erosie, en opname door het gewas of de groenbedekker.

Zelfs wanneer er geen gewas op het veld staat, loopt de mineralisatie onder gunstige omstandigheden verder. Dit kan leiden tot toenemende nitraatconcentraties in de bodem, waardoor het nitraatresidu en de -verliezen door uitspoeling hoog kunnen oplopen, vooral na teelten die vroeg op het seizoen geoogst worden.

Door de inzaai van een groenbedekker na de oogst van het hoofdgewas, zal deze nitraatvrijstelling (gedeeltelijk) gecompenseerd worden. De groenbedekker zal de nitraatstikstof opnemen en zo het

nitraatgehalte in de bodem verminderen. Hierdoor zal de uitspoeling van nitraten naar het grondwater tijdens de herfst en winter dalen. Dergelijke opname van stikstof door een groenbedekker varieert doorgaans tussen 20 en 100 kg N/ha, met extremen tussen 10 en 300 kg N/ha^(78,363). Dit is afhankelijk van ondermeer de beschouwde soort groenbedekker, de bodem- en weersomstandigheden, de bodembewerking⁽¹⁸³⁾, het zaaitijdstip, en de vegetatieve ontwikkeling. Een grove regel stelt daarbij dat per ton droge biomassa ongeveer 30-35 kg N wordt opgenomen. Die droge stofproductie kan variëren tussen 0,5 en meer dan 5 ton DS/ha⁽²⁷²⁾. Voldoende N bij de zaai en opkomst is van groot belang voor een goede ontwikkeling en dus ook een maximale N-opname. Paradoxaal genoeg kan hierdoor initieel een, zij het beperkte, bijbemesting nuttig zijn. Vooral bij de teelt in een N-arme stoppel (bv. na graan of gras) kan een startgift noodzakelijk zijn voor een sterkere ontwikkeling van de groenbedekker, zonder daarmee een ongewenst hoog nitraatresidu te bekomen. Op N-rijke percelen is een N-bemesting echter uit den boze⁽⁴¹⁹⁾.

Groenbedekkers zijn het meest effectief op goed gedraineerde zandbodems, die het grootste risico inhouden op nitraatuitspoeling⁽²⁵³⁾. Voor een optimale ontwikkeling en dus een maximale opname, is een vroege zaai sterk aan te raden, en dienen groenbedekkers minimum 6 à 8 groeiweken te hebben^(168,363). De positieve effecten van tijdige zaai en lange groeiperiode werden voor het projectgebied ook bevestigd in het kader van het demonstratieproject “Beheersing van het nitraatresidu in de akkerbouw: een permanente uitdaging”^(71,183). Echter, net die vroege inzaai kan een knelpunt zijn voor de landbouw in onze contreien, aangezien belangrijke gewassen zoals maïs en bieten pas laat van het veld gaan.

De reductie in gemeten residu komt ongeveer overeen met 80 tot 100 % van de N-opname, en daarmee zijn groenbedekkers wellicht te beschouwen als de meest efficiënte landbouwkundige manier om uitspoeling te beperken, meer nog dan bv. het inwerken van koolstofresidu, RB of reductie in bemesting^(82,272).

Omdat groenbedekkers bijdragen aan de organische stofopbouw van de bodem kan op langere termijn de opgenomen stikstof terug vrijkomen via mineralisatie en alsnog uitspoelen.

“Stijgt de stikstofbeschikbaarheid voor het volggewas?”

Na het onderwerken van de groenbedekker in het voorjaar zal de opgenomen N terug vrijgesteld worden uit de gewasresten en gedeeltelijk benut kunnen worden door het volggewas. Let wel: ondanks de belangrijke en duidelijke impact van groenbedekkers op de beperking van nitraatuitspoeling, is het effect op de hoeveelheid N beschikbaar voor de volgteelt veel minder eenduidig en doorgaans eerder beperkt. Het netto effect voor N-beschikbaarheid is het resultaat van de combinatie van N-opname tijdens de ontwikkeling (doorgaans in het najaar en de winter) en N-vrijstelling door mineralisatie na onderwerken (doorgaans in het voorjaar). Met andere woorden: wat vaak over het hoofd gezien wordt, is het feit dat groenbedekkers in tegenstelling tot een minerale bemesting niet zomaar N toevoegen aan de bodem, maar het eerst onttrekken aan de bodem tijdens het najaar en nadien slechts gedeeltelijk terug vrijstellen. Onder bepaalde omstandigheden leidt dit zelfs tot een reductie in N-beschikbaarheid voor het volggewas (ten opzichte van het niet toepassen van een groenbedekker). Dit komt vaak voor in het eerste jaar na toepassing van een groenbedekker⁽³⁶³⁾, zeker bij bv. grasachtigen die een langzame vertering kennen.

De N-nalevering hangt vooral af van de C/N verhouding van de groenbedekker. Hoe lager, hoe meer N wordt vrijgesteld. Voor een optimale overdracht, gebeurt het inwerken liefst zo laat mogelijk (maar vóór half maart) (C.3.6). In elk geval zal steeds een deel van de vrijgezette N uitspoelen, denitrificeren of geïmmobiliseerd worden door humificatie, en zal tot maximum 1/3 nuttig gebruikt kunnen worden voor het volggewas⁽²⁷²⁾. In een gemiddeld jaar vertaalt dit zich in een bescheiden winst aan N-vrijstelling in de orde van 5 tot 20 kg N/ha, met cijfers die kunnen oplopen tot 80 kg N/ha^(263,327). Bovendien is niet alleen de hoeveelheid, maar ook het tijdstip waarop de N-nalevering gebeurt van groot belang. In principe kan het zelfs gebeuren dat een deel van de N uit ingewerkte groenbedekkers zo laat vrijkomt dat het een negatief effect heeft op (de kwaliteit van) het volggewas⁽¹⁸³⁾.

Ook de verdeling van beschikbare N in de bodem wordt door groenbedekkers beïnvloed, wat zich doorgaans vertaalt in een concentratie in de toplaag en reductie in de diepere bodemlagen. Dit

dynamisch en moeilijk voorspelbaar fenomeen hangt ondermeer af van het inwerkijdstip, de weersomstandigheden, de bodem, de (opnamecapaciteit van de) volgteelt en de soort groenbedekker.

“Meer of minder N-bemesting bij toepassing van groenbedekkers?”

De eventuele vrijstelling van N in het voorjaar kan een besparing op de N-bemesting betekenen, en dus ook vanuit financieel oogpunt een pluspunt zijn. Voor een beredeneerde N-bemesting aan de hoofdteelt is het dan ook belangrijk deze nawerking in rekening te brengen. Ook op langere termijn kan een na-effect ontstaan door de geleidelijke toename van labiele OS.

Echter, zoals hiervoor besproken is het effect van groenbedekkers op N-beschikbaarheid erg variabel. Afhankelijk van de omstandigheden, ligt de aanbevolen N-bemesting voor de volgteelt bij de toepassing van groenbedekkers daarom soms lager, maar soms ook hoger. Globaal kan gesteld worden dat de toepassing van groenbedekkers meestal resulteert in een bescheiden afname van de N-bemesting, met een iets sterkere daling (een totale daling van 10-12 kg N/ha) voor gewassen met een oppervlakkige beworteling als gevolg van het effect van N-concentratie in de toplaag door groenbedekkers ^(263,272,363).

Het type groenbedekker kan hierop in belangrijke mate een impact hebben. Vooral N-fixerende vlinderbloemigen (zie [C.3.5](#)) verschillen hierin sterk van andere groenbedekkers. Met name in bodems waar N-beschikbaarheid beperkt is, zijn vlinderbloemigen door het binden van N uit de lucht in staat om langer N op te nemen dan andere groenbedekkers, en zo nadien meer N beschikbaar te stellen van het volggewas. Dit levert een besparing in N-bemesting tot 30 kg N/ha ⁽¹¹¹⁾. Merk echter op: net omwille van de N-fixatie uit de lucht, worden ze algemeen beschouwd als minder efficiënt voor de opname van nitraat uit de bodem. Daarom zijn vooral (mengsels met) andere groenbedekkers interessant in bodems met een hoog risico op nitraatuitspoeling ⁽³⁶³⁾.

C.3.3.4. Effect op verlies van gewasbeschermingsmiddelen

Verschillende van de hiervoor beschreven processen geven reeds aan dat groenbedekkers nuttig kunnen zijn met het oog op beperking van verlies van gewasbeschermingsmiddelen. Belangrijke indicatoren hiervoor zijn ondermeer de afname van run-off en erosie. Ook de stimulering van het bodemleven kan leiden tot een snellere afbraak en verminderde uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen ⁽³⁶³⁾ (zie ook [A.3.2.4](#)). Dit is echter een aspect waar tot dusver weinig aandacht aan werd besteed.

C.3.4. Effect op landbouwkundige parameters

C.3.4.1. Effect op ziektedruk, plagen en onkruidontwikkeling

“Stijgt het ziekteverend vermogen van de bodem?”

In het merendeel van de studies waarbij aandacht besteed wordt aan de effecten van groenbedekkers op bodemgebonden ziektes, wordt gefocust op de potentiële effecten op plantparasitaire nematoden of aaltjes ⁽³⁶³⁾. Enerzijds kunnen groenbedekkers **waardplanten** zijn van bepaalde aaltjes, anderzijds kan de teelt van **aaltjesresistente** groenbedekkers leiden tot een afname van de aaltjespopulatie. De soort groenbedekker speelt hier een doorslaggevende rol. Een groenbedekker die de ene aaltjesgroep bestrijdt kan het probleem met een andere groep net verergeren. Bij de keuze van een groenbedekker zal men daarom rekening dienen te houden met de eigenschappen van de gewassen in het teeltplan, en wordt afgeraden een groenbedekker uit te zaaien die tot dezelfde familie behoort als de volgteelt ⁽¹⁸³⁾ (zie ook [C.2.4](#)). Zo past bv. gele mosterd niet in een teeltplan met koolsoorten vanwege het gevaar op knolvoet. Groenbedekkers zoals facelia en nyger zijn niet verwant aan andere cultuurgewassen en vormen daarom minder gevaar ⁽²⁹⁹⁾.

Aaltjesresistentie kan een natuurlijke eigenschap zijn van bepaalde soorten, maar kan ook het gevolg zijn van selectie en ontwikkeling van resistente rassen ⁽⁷⁸⁾.

Voor een efficiënt aaltjesreducerend effect is niet alleen de soortkeuze belangrijk, maar moet ook de groeiperiode van de groenbedekker voldoende lang zijn, en de bodemtemperatuur en –vochtigheid

voldoende hoog ^(78,183). Ook hier is een tijdige inzaai dus van groot belang. In bepaalde gevallen van ernstig (aaltjes)verziekte gronden, kan het zelf belangrijk zijn om gedurende één teeltseizoen het hoofdgewas te laten vallen en te opteren voor de volle teelt van een groenbedekker (vaak Bladrammenas), ingezaaid in het (late) voorjaar als lokgewas, om op die manier de grond terug teeltgeschikt te krijgen ⁽¹³⁰⁾.

Een overzicht van vatbaarheid van groenbedekkers voor belangrijke aaltjes, is terug te vinden op www.aaltjesschema.nl. Algemene informatie over de soorteigenschappen en een overzicht van de eigenschappen van de rassen binnen iedere soort zijn weergegeven in de Nederlandse Aanbevelende rassenlijst Akkerbouw en de Belgische beschrijvende en aanbevelende rassenlijst voor voedergewassen en groenbedekkers ^(78,130).

“Neemt de plaagdruk toe?”

Door de teelt van groenbedekkers kunnen in een aantal gevallen problemen met slakken optreden in de volggewassen. Dit vanwege het voedselaanbod en de beschutting die de groenbedekkers bieden. Deze beschutting is sterk afhankelijk van de geproduceerde biomassa en vorstgevoeligheid van de groenbedekker ⁽¹⁹⁴⁾. Om een toename van de slakkenpopulatie vermijden, is het aan te raden om voor een vorstgevoelige groenbedekker te kiezen of de groenbedekker vroeg genoeg te vernietigen ⁽²⁶⁶⁾. Vermijd daarnaast een te grote zaaidichtheid ⁽²⁹⁹⁾, en pas in risicosituaties eventueel een chemische bestrijding toe in het voorjaar. Ook een lichte bodembewerking geeft door een snellere opkomst van het volggewas minder kans op schade door slakken ⁽¹⁹⁴⁾. Met andere woorden: of de toenemende slakkenpopulatie effectief een probleem vormt, is vaak eerder een kwestie van bodembewerkingen en de fijnheid waarmee het zaaibed klaargelegd wordt volgende op de groenbedekker.

Andere problemen zijn die met muizen of bv. de bonenvlieg, die afkomt op de geur van rottend materiaal ⁽²⁷³⁾.

“Daalt de onkruidontwikkeling?”

^(183,299,363)

Net als voor ziekteveredheid, spelen ook hier diverse processen die tot **variabele resultaten** kunnen leiden. Enerzijds kunnen groenbedekkers onkruidonderdrukkend werken, door het belemmeren van de kieming van onkruidzaad. Dit kan door directe competitie door toepassing van groenbedekkers met een snelle beginontwikkeling en bodembedekking, of door het vrijkomen van bepaalde giftige stoffen (allelopatische of fytotoxische effecten) na het inwerken van de groenbedekkers ⁽³²⁷⁾.

Anderzijds kunnen groenbedekkers chemische of mechanisch onkruidbehandeling bemoeilijken en zo tot een sterkere onkruidontwikkeling leiden. Dit is bv. het geval bij overblijvende onkruiden zoals kweek en akkermelkdistel. Bovendien kan (niet-gecertificeerd) zaad van een groenbedekker verontreinigd zijn met onkruidzaden. Tot slot bestaat het risico van opslag uit gewasresten of zaad, waarbij groenbedekkers zich zelf gaan manifesteren als onkruid in het volggewas.

Het is dan ook niet verrassend dat in verschillende studies erg variabele en inconsistente resultaten gevonden worden. In een vergelijkende studie uit Noord-Frankrijk ⁽²⁴⁴⁾ werd geconcludeerd dat een herhaalde stoppelbewerking doorgaans een efficiëntere manier is dan de inzaai van een groenbedekker om de oppervlakkige zaadbank van onkruid te reduceren.

C.3.4.2. Effect op teeltkosten en opbrengst volggewas

“Hebben groenbedekkers een impact op de opbrengst van het hoofdgewas?”

Hoewel verschillende van de hiervoor beschreven voordelen een positieve impact op de opbrengst van de hoofdteelt kunnen hebben, leidt de toepassing van groenbedekkers soms ook tot **opbrengstderving en/of oogstproblemen**:

- Bij onderzaai van de groenbedekker in de hoofdteelt, kan de groenbedekker te hoog opgroeien. Dit komt doorgaans voor bij een foute keuze of te vroege inzaai van de groenbedekker, of bij een slechte ontwikkeling van de dekvrucht ⁽¹⁸³⁾;

- Wanneer de ondergewerkte groenbedekker een hoge C/N verhouding heeft, is ze moeilijk afbreekbaar en onttrekt ze N ten koste van het volggewas ⁽²³⁰⁾;
- Na het inwerken van de groenbedekkers kunnen allelopatische of fytoxische effecten de gewasontwikkeling onderdrukken ⁽³⁶³⁾;
- Een te sterk ontwikkelde groenbedekker, kan leiden tot een te trage opdroging van de bodem en slechte kieming van het volggewas ⁽¹⁶⁹⁾. Onder dergelijke vochtige omstandigheden stijgt bij behoud van de groenbedekking ook het risico op ziektes en plagen;
- Anderzijds kan overmatig vochtgebruik bij laat inwerken ten koste gaan van de vochtvoorziening van het hoofdgewas ^(116,183);
- Veronkruiding of opslag uit gewasresten kan tot problemen leiden bij de teelt van het volggewas ⁽¹⁸³⁾;
- Een slechte vernietiging kan ook leiden tot de vorming van roestvlekken ⁽¹¹⁶⁾.

Toch leren de praktijk en verschillende veldproeven dat een **(lichte) opbrengststijging** ook tot de mogelijkheden behoort. Een kleine greep uit enkele resultaten:

- In een lange termijn experiment (sinds 1990) uitgevoerd te Noord-Frankrijk ⁽⁸²⁾, wordt ondermeer de impact van groenbedekkers op de opbrengst van volggewassen nagegaan. Hieruit komt een sterk fluctuerend, maar gemiddeld licht positief effect naar voor ⁽¹¹⁶⁾;
- Een andere regionale proef te Noord-Frankrijk ⁽¹¹⁶⁾ gaf voor de aardappelteelt een neutraal (voor bv. facelia of gras) tot licht positief effect (voor vlinderbloemigen) op de netto-opbrengst aan. Op de kwaliteit van de aardappelen was het effect nagenoeg te verwaarlozen;
- In een Nederlandse meerjarige proef met continueelt van snijmaïs ⁽⁴⁰⁴⁾ was er gemiddeld geen significant effect van de teelt van groenbedekkers op de droge stofopbrengst van maïs, ondanks de relatief grote verschillen tussen enkele individuele objecten. Enkel bij een laag bemestingsniveau werd een positief effect aangetoond van de teelt van rogge;
- In een Nederlands onderzoek uitgevoerd te Lelystad en Kollumerwaard ⁽³⁹⁸⁾ werden de effecten van de toepassing van bladrammenas en Engels raaigras opgevolgd. Hoewel de resultaten duidelijk varieerden naargelang de weersomstandigheden, resulteerde de voorafgaande teelt van een groenbedekker onder droge omstandigheden in een 600 tot 800 kg/ha hogere korrelopbrengst bij zomergerst, en een hogere wortelopbrengst en iets betere kwaliteit bij bieten na bladrammenas.

Globaal kan geconcludeerd worden dat er voor de meeste groenbedekkers doorgaans weinig tot geen effect is op de opbrengst van de volgteelt, mits een geschikte keuze en goed beheer van de groenbedekker ⁽¹¹⁶⁾.

“Doet de toepassing van groenbedekkers de globale teeltkosten stijgen?”

De **teeltkosten** van groenbedekkers worden bepaald door (1) de kostprijs van de zaaibewerking, (2) het zaaizaad, (3) de eventuele bijbemesting met N, (4) het eventuele doodspuiten en (5) het onderwerken. Gemiddeld genomen kost een grondbewerking na de oogst van de teelt voorafgaand aan de groenbedekker 42 €/ha, het zaaien van de groenbedekker 95 €/ha, eventueel frezen in het voorjaar 70 €/ha, en chemisch afdoden 50 €/ha ⁽²⁹⁹⁾. Afhankelijk van de soort groenbedekker, de zaaidichtheid, de types bewerking en de bewerkingsomstandigheden, varieert de kostprijs daarmee vermoedelijk tussen de 100 en 250 €/ha ^(116,299).

Aan de andere kant van de balans, leveren groenbedekkers vaak een **directe besparing** in meststoffen op. Die besparing is vaak meer uitgesproken bij gebruik van vlinderbloemigen ⁽¹¹¹⁾. Een mogelijkheid om groenbedekkers nog beter als meststof te benutten is het gebruik van bv. grasklaver en luzerne als versgemaaide of ingekulde maaimeststoffen. Dergelijke maaimeststoffen zijn een mogelijk alternatief voor gebruik van dierlijke meststoffen in de biologische akkerbouw ⁽³³⁰⁾. Toch hoort men regelmatig de reactie dat de kostprijs van N-bemesting relatief laag is in verhouding tot de kost om een groenbedekker op te kweken ⁽³⁶³⁾. Compensaties in de vorm van subsidies spelen daarom voor vele landbouwers een doorslaggevende rol.

Men mag echter ook de vele **indirecte kostenbesparingen** niet uit het oog verliezen, die gerelateerd zijn aan een potentieel verbeterde bodemstructuur, hogere bodemvruchtbaarheid, beperking van het nitraatresidu en bestrijding van erosie. Daarnaast leveren bepaalde groenbedekkers vaak een extra voedersnede, of zouden ze geteeld kunnen worden als energiegewas (denk daarbij aan grassen of vroeg rassen wintergranen). Kunnen we concluderen dat groenbedekkers doorgaans ook economisch rendabel zijn? Een doordachte bedrijfsvoering en optimale combinatie van teelttechnische maatregelen, kunnen hier in elk geval een groot verschil uitmaken. Ook een goede combinatie met vlinderbloemigen kan tot 40 €/ha voordeel uitmaken ⁽¹¹¹⁾.

C.3.5. Types groenbedekkers

(20,183,273)

Hiervoor werden een aantal eigenschappen beschreven die algemeen kenmerkend zijn voor groenbedekkers. Toch kwam daarbij regelmatig naar voor dat hun specifieke kenmerken en invloed op bodem en omgeving sterk kunnen variëren naargelang de beschouwde soort. Ruwweg kunnen de huidig toegepaste groenbedekkers opgedeeld worden in een drietal groepen.

C.3.5.1. Grasachtigen

Van deze groenbedekkers worden vaak Italiaans of Engels raaigras gebruikt, en minder frequent ook Westerwolds raaigras, rogge of haver. Groenbedekkers die tot de grasachtigen behoren, kennen doorgaans volgende eigenschappen:

- Vlotte opkomst met een hoge, maar langzame N-opname;
- Niet of matig vorstgevoelig, waardoor de N-opname in het voorjaar gewoon verder loopt;
- Hoge C/N verhouding, en daardoor langzame vertering en late vrijstelling van de vastgelegde N;
- Intensieve en homogene beworteling, en daardoor sterke bijdrage aan de OS-voorziening van de bodem. Hoge EOS (effectieve organische stof) in vergelijking met bladrijken;
- Goede onkruidbestrijding van wortelonkruiden (tweezaadlobbigen) mogelijk met groeistoffen (hormonen) ⁽¹³⁰⁾. Kweekbestrijding mogelijk door minimaal een week voor het ploegen met glyfosaat te spuiten.
- De voorkeur gaat uit naar tetraploïde rassen. Deze geven een vlotgroeiend, bladrijk gewas dat weinig door ziekten wordt aangetast ^(78,364).

C.3.5.2. Bladrijken

Vaak zijn dit kruisbloemigen. Regelmatig gebruikte soorten in onze contreien zijn gele mosterd, bladrammenas en facelia. Bladrijke groenbedekkers kennen doorgaans volgende eigenschappen:

- Snelle beginontwikkeling, uitgesproken bovengrondse groei en aanzienlijke N-opname;
- Doorgaans erg vorstgevoelig, waardoor bladrijken vaak de winter niet overleven. Bij zachte winter dient de landbouwer echter het gewas vóór de zaadvorming te vernietigen;
- Vrij snelle vertering na het onderwerken, en daardoor vroege vrijstelling van de vastgelegde N;
- Ondanks de soms diepe beworteling (bv. facelia) of aanwezigheid van een penwortel (bv. gele mosterd, bladrammenas en bladkool), is de hoeveelheid zijwortels beperkt en blijft de totale wortelmasse lager dan bij grassen en de meeste vlinderbloemigen. De bijdrage aan OS-opbouw is hierdoor eerder beperkt;
- Snelle bodembedekking, en daardoor goede onkruidonderdrukking;
- Regelmatig problemen met slakken in het volggewas;
- Kruisbloemigen zijn gevoelig voor structuurbederf, en kennen daardoor een onregelmatige gewasstand en pleksgewijs zeer vroege bloei.
- Specifiek effect op ziektedruk (zie bv. www.aaltjesschema.nl). Zo zijn kruisbloemigen vaak waardplanten voor het bietencystenaaltje.

C.3.5.3. Vlinderbloemigen

Van de vlinderbloemigen wordt klaver wellicht meest gebruikt. Minder gekend maar zeer interessant zijn bv. wikke en lupine. Groenbedekkers die tot de vlinderbloemigen behoren, kennen doorgaans volgende eigenschappen:

- Snelle en uitgesproken bovengrondse groei;
- Matig tot sterk vorstgevoelig, afhankelijk van de beschouwde soort;
- Snelle vertering na het onderwerken, en daardoor vroege en grote vrijstelling van de vastgelegde N;
- N-fixerend vermogen door symbiose met *Rhizobium*-bacteriën die nodules vormen;
- Omvangrijk wortelstelsel van dunne, soms diepreikende wortels, waardoor ook N uit de diepere lagen (60-90 cm) wordt opgenomen.

Niet enkel de soort- maar ook de rassenkeuze zal bepalend zijn voor een aantal specifieke kenmerken. Daarbij is het van belang op te merken dat tetraploïde rassen doorgaans verkozen worden boven diploïde rassen, vaak omwille van de snellere jeugdgroei en bedekking ^(78,130). Voor tetraploïde rassen is wel een grotere zaaihoeveelheid benodigd. Voor een uitgebreide lijst van soorten die tot elk van de drie hoofdgroepen behoren, wordt verwezen naar Bijlage I.

Figuur 25. Combinatie van zomerhaver en facelia in een experimentele opzet (Hoogede-Gits 2009).



C.3.5.4. Combinaties

Ook de combinatie van twee of meer groenbedekkers op één perceel is een optie. Hiervoor werd reeds aangegeven dat met name een mengsel van een gras of bladrijke groenbedekker met een vlinderbloemige interessant kan zijn. Uit een studie uitgevoerd door het Franse ITB (Institut Technique de la Betterave) waarin combinaties met vlinderbloemigen bestudeerd werden ⁽¹¹¹⁾, kwamen volgende voordelen tot uiting:

- Gemiddeld kent een mengeling een betere ontwikkeling dan een zuivere soort;

- Gemiddeld is de totale N-inhoud in het najaar van een mengsel vergelijkbaar met de totale N-inhoud van een zuiver vlinderbloemige, en beter dan dat van een zuiver kruisbloemige;
- De N-opname efficiëntie is lager voor een zuiver vlinderbloemige dan voor een kruisbloemige of mengsel van beide;
- De minerale N-bemesting kan gereduceerd worden door gebruik vlinderbloemigen;
- De complementariteit van wortelstelsels kan een belangrijke meerwaarde zijn.

Toch kon men tot op heden in mengsels maar zelden de resultaten van een goede enkelvoudige groenbedekker overschrijden ⁽²⁹⁹⁾. Belangrijke aandachtspunten bij menging zijn alvast gelijke grootte van zaad en beperkte ruimte-competitie (in horizontale maar ook in verticale ruimte-inname). Combinaties met meer dan twee soorten zijn zelden succesvol ⁽¹¹¹⁾.

C.3.6. Technische aspecten van belang bij de toepassing van groenbedekkers

Naast de selectie van een bepaalde soort, spelen een aantal andere technische aspecten een cruciale rol in de uiteindelijke effecten die de toepassing van een groenbedekker met zich mee brengt.

C.3.6.1. Plaats binnen de teeltrotatie

Eén van de belangrijkste maatregelen om de effecten van de groenbedekker te optimaliseren, is het kiezen van de juiste plaats binnen een teeltrotatie. Met het oog op het bereiken van bv. een hoge N-efficiëntie (hoge N-vang en nadien hoge N-beschikbaarheid voor het volggewas), moet men eerst en vooral rekening houden met de hoeveelheid uitspoelbaar nitraat aanwezig op het perceel bij aanvang. Dit zal afhankelijk zijn van de voorteelt, teeltgeschiedenis, mesttoediening en bodembewerking. Zo kan men een hoge N-beschikbaarheid voor de groenbedekker verwachten wanneer voorafgaand een diepe bodembewerking of veel N-bemesting plaatsvond, of een gewas geteeld werd met een N-rijk gewasresidu of een oppervlakkig wortelstelsel. Daarnaast moet rekening gehouden worden met de te verwachten respons van de teelten volgend op de groenbedekker. Daarbij zijn oppervlakkig wortelende gewassen qua N-beschikbaarheid relatief bevoordeeld ten opzichte van diepe wortelaars, door de concentratie van N in de toplaag na de teelt van een groenbedekker ⁽³⁶³⁾ (C.3.3.3).

Een gelijkaardige analyse dient gemaakt te worden met het oog op bv. het onderdrukken van ziektes en plagen. Bij dit alles dient men ook rekening te houden met de technische mogelijkheden van het bedrijf. In de literatuur zijn een aantal interessante overzichtsschema's terug te vinden rond mogelijke combinaties ^(222,234). Een vereenvoudigde voorstelling voor een set relevante groenbedekkers en gewassen is hierna weergegeven in Tabel 5.

Tabel 5. Schematisch overzicht van een aantal combinatiemogelijkheden van groenbedekkers met een teelt volgend op de groenbedekker. (Gebaseerd op Labreuche & Cohan ⁽²³⁴⁾).

Volgteelt/groenbedekker	gele mosterd	blad-rammenas	koolzaad	raapzaad	facelia	nyger	Italiaans raaigras	vlinderbloemigen
Wintergerst							-	+ N
Tarwe	+ T	+ T	+ T	+ T			-	+ N
Zomergerst							-	+ N
erwten						-	(-) O	-
maïs	(-) M	(-) M	(-) M	(-) M			(-) O,N	+ N
biet	+ H	+ H	(-) H	- H, O			(-) O,N	+ N
aardappel							(-) O,N	+ N

-: afgeraden groenbedekker; (-): groenbedekker met bepaalde risico's; +: groenbedekker met positieve impact; lege cel: geen effect

N: stikstofeffect, afhankelijk van de soort positief of negatief;

T: onderdrukken van Tarwehalmdoder;

O: risico op veronkruiding;

M: negatieve impact op ontwikkeling van maïs bij late vernietiging van de groenbedekker;

H: impact op de vermenigvuldiging van nematoden (Heterodera).

C.3.6.2. Zaaitijdstip

Het is reeds duidelijk dat een **vroege zaai** doorgaans aan te raden is, zowel om technische maar ook vaak om reglementaire redenen. Verschillende proeven bevestigen effectief dat vroege zaai van belang is voor een optimale ontwikkeling en dus ondermeer een maximale N-opname, N-vrijstelling en aaltjesonderdrukkend effect ^(71,103,299). De effectiviteit daalt steeds naarmate de inzaai later gebeurt ^(183,398,406), en een te late inzaai in september kan zelf resulteren in het volledig achterwege blijven van het positief effect op bv. N-opname ⁽¹⁰³⁾. Vroege zaai is extra van belang voor die groenbedekkers die zich langzaam ontwikkelen (bv. wicken, rogge) of die warmtebehoevend zijn (bv. nyger). Een ietwat latere inzaai is echter aan te raden voor die soorten die snel tot bloei komen. Een overzicht van geschikte zaaidata voor verschillende groenbedekkers is terug te vinden in Bijlage I. Vroege inzaai kan een ernstig knelpunt zijn voor de landbouw in onze contreien, waarbij gewassen vaak te laat geoogst worden. Denk daarbij bv. aan bieten of korrelmaïs, die pas vanaf oktober van het veld gaan. Men is daarbij niet alleen afhankelijk van de gewasontwikkeling en bodemgeschiktheid, maar ook van de planning van de verwerkende industrie ^(391,403). Bovendien is het veld daarna niet steeds onmiddellijk bewerkbaar, bv. wanneer de oogst onder natte omstandigheden plaatsvond of na de oogst een natte periode aanbreekt. Het is met name die problematiek van tijdige inzaai die rond de toepassing van groenbedekkers een aantal praktische twijfels doet rijzen. Daarbij bestaat ook de vrees dat late inzaai van groenbemesters meer schade doet aan de bodemstructuur dan het voordeel wat inzaai oplevert ⁽²⁶⁶⁾.

Toch kan in vele omstandigheden aan deze problemen tegemoetgekomen worden mits toepassing van een aantal geschikte teeltmaatregelen. Zo kan men bij de teelt van maïs opteren voor het zaaien van half tot vroeg afrijpende rassen, die 1 à 2 weken vroeger van het veld kunnen. Dit verhoogt de kansen voor de inzaai van een groenbedekker, en maakt in opbrengst vaak nauwelijks een verschil uit. Een andere potentieel interessante oplossing die vroegtijdige vestiging mogelijk maakt, is het toepassen van **onderzaai** van de groenbedekker in het hoofdgewas. Vooral verschillende grassoorten en vlinderbloemigen (bv. klaver) komen hiervoor in aanmerking. Zowel in Vlaanderen als Nederland werd de afgelopen jaren bv. onderzoek uitgevoerd naar onderzaai van gras bij maïs ^(106,266). Niet alle mogelijkheden zijn echter wettelijk toegestaan. Denk bv. aan de beperking tot rogge, gras, bladkool of bladrammenas na maïs in Nederland, of het feit dat vlinderbloemigen in het grasmengsel in Vlaanderen niet steeds toegestaan zijn in het kader van derogatie. Bovendien zijn heel wat groenbedekkers niet geschikt voor onderzaai, en in de praktijk vallen de resultaten regelmatig tegen. Hierdoor wordt onderzaai in onze contreien op heden relatief weinig toegepast ⁽¹⁰⁶⁾. Naast praktische beperkingen (bv. op het vlak van inzetbare herbiciden), kan er een competitieprobleem ontstaan, wat zowel tot een onderontwikkeling van de groenbedekker als tot een opbrengstverlies van het hoofdgewas kan leiden ⁽¹⁰⁶⁾. Specifieke oplossingen hiervoor zijn gewas- en plaatsafhankelijk, maar een late onderzaai, zeker bij snel opkomende groenbedekkers, kan een mogelijkheid zijn om het hoofdgewas een competitief voordeel te gunnen ⁽³⁶³⁾.

C.3.6.3. Zaaidichtheid

Een mogelijkheid om de teeltkosten van groenbedekkers te beperken, is het reduceren van de zaaidichtheid. Aangeraden wordt om zeker niet teveel uit te zaaien, aangezien een te dichte stand de ontwikkeling van de planten belemmert. Een overzicht van soortspecifieke benodigde zaaidichtheden is terug te vinden in Bijlage I. Op demonstratievelden van het Interregproject Prosensols werd nagegaan wat de effecten waren van zaaidichtheid en –tijdstip op opkomst, ontwikkeling, bedekkingsgraad en N-opname. Hieruit bleek dat bij vroege zaai de zaaidichtheid verlaagd kan worden ⁽²⁹⁹⁾. Anderzijds blijkt uit een gelijkaardige proef uitgevoerd te Melles (Henegouwen) ⁽¹⁰³⁾ dat een lagere dichtheid kan leiden tot een afname in N-vang, zeker gedurende het eerste deel van de groeiperiode. Ook hier zijn de resultaten soortgebonden. Voor bepaalde soorten bleek die afname beperkt te zijn, maar voor een soort als bladrammenas was het verschil opmerkelijk groot.

C.3.6.4. Bodemcondities bij inzaai

Net zoals voor andere gewassen is een geschikte bodemconditie bij aanvang van belang voor een optimale vestiging en ontwikkeling van de groenbedekker. Bijzondere aandachtspunten zijn daarbij:

- Voldoende N in de bodem. Input in de vorm van een mestgift of bodembewerking (bv. diepe stoppelbewerking) om N-mineralisatie te stimuleren, kan noodzakelijk zijn;
- Voldoende overblijvende vochtigheid in de bodem;
- Voldoende hoge temperatuur om te genieten van de mineralisatie van de OS in de bodem.

Daarnaast kunnen ook bepaalde teelttechnische maatregelen toegepast bij de voortelt de kieming en vestiging van groenbedekkers bemoeilijken. Denk daarbij in eerste instantie aan het gebruik van bepaalde gewasbeschermingsmiddelen die een residu nalaten. Zo is er op percelen waarbij in de voorvrucht het herbicide “isoxaben” gebruikt is kans op nawerking in een kruisbloemig volggewas. Een aantal andere producten met mogelijk schadelijke restanten in de bodem zijn bv. chloortoluron, methabenzthiazuron, triasulfuron of chloorsulfuron ⁽⁶²⁾.

C.3.6.5. Tijdstip en methode van vernietiging en onderwerken

“Nemen de voordelen toe naarmate groenbedekkers langer blijven staan?”

Hoewel sommige vorstgevoelige groenbedekkers automatisch afsterven tijdens de winter, dienen vele soorten door de landbouwer vernietigd te worden. Niet alleen het tijdstip van inzaaien, maar ook het tijdstip van vernietiging en onderwerken kan beschouwd worden als een belangrijke beheermaatregel, waarbij een verschil van enkele weken een significant effect kan hebben op bv. de globale N-opname en –vrijstelling, maar ook op de kwaliteit van het gewasresidu ⁽³⁶³⁾. Een latere vernietiging betekent doorgaans een grotere N-opname maar ook een hogere C/N verhouding (en daardoor langzamere N-mineralisatie), een sterkere concentratie van N in de toplaag, en meer waterverbruik. Of dit als positief dan wel negatief te beschouwen is, is situatiegebonden en zal afhangen van ondermeer de volgteelt ⁽³⁶³⁾. Gewoonlijk wordt aanbevolen om te wachten tot **minstens twee maanden** na inzaai/opkomst met het vernietigen van de vegetatie, zodat de groenbedekker zijn beoogde rol fatsoenlijk kan vervullen. Anderzijds dient men de groenbedekker **minimaal 6 tot 8 weken** vóór de inzaai van de volgteelt te vernietigen, om de bodembewerkingen en vertering vlot te laten verlopen, en de volgteelt niet te benadelen ^(134,263). Een te late vernietiging kan het risico op bv. zaadzetting en veronkruiding doen stijgen, bemoeilijkt vaak de vernietiging van volumineuze groenbedekkers (bv. winterrogge), en kan de waterbeschikbaarheid voor en ontwikkeling van het volggewas in het gedrang brengen.

“Doodspuiten of niet?”

Groenbedekkers kunnen chemisch of mechanisch afgedood worden. Doodspuiten kan voordelig zijn, omdat bv. aaltjes door het tijdig doodspuiten minder tijd hebben om zich op de groenbedekker te vermeerderen. Bovendien kan hergroei (met name bij grassen) zo voorkomen worden, kan het gewas makkelijker ingewerkt worden, en gebeurt de vertering sneller. Toch dreigt in dat geval het ecologische voordeel van vermindering van N-uitspoeling door een groenbedekker weg te vallen door de emissie van glyfosaat. Aan het Centrum voor Landbouw en Milieu (CLM, Nederland) wordt geargumenteed dat alleen in uitzonderingsgevallen, met veel diep wortelende onkruiden, een eenmalige inzet van chemie verstandig kan zijn ⁽³²⁸⁾. In veel andere situaties kan de groenbedekker mits een goed beheer perfect mechanisch afgedood worden (zie hierna). Bovendien is het gebruik van glyfosaat sowieso niet toegelaten in de biologische landbouw.

“Hoe kan men groenbedekkers best onderwerken, ook onder NKG?”

De methode van vernietigen en onderwerken heeft een belangrijke impact, vooral ook op de ontwikkeling van het volggewas. Daar waar binnen de conventionele landbouw gebruik gemaakt wordt van (stoppel)ploegen, gevolgd door (schijf)eggen of een andere grondbewerking om het gewasresidu onder te werken, het zaaibed voor te bereiden en het onkruid te bestrijden ⁽⁴⁰⁶⁾, dient onder minimale bodembewerking gezocht te worden naar geschikte alternatieven, zoals beschreven onder [C.1](#). Dit is

ook zo bij het afdoden en onderwerken van groenbedekkers. Hoewel de interesse groeit, zijn de beschikbare, veelal buitenlandse systemen en/of technieken nog niet optimaal ontwikkeld voor onze specifieke landbouwpraktijk. Toch zijn specifieke machines ontwikkeld om de groenbedekker in het voorjaar zodanig te bewerken dat er een volggewas in gezaaid of geplant kan worden. Het is belangrijk om na te gaan welke mogelijkheden deze machines bieden voor verschillende teelten en bodems.

Maaïen of klepelen is een van de meest effectieve en meest gebruikte methoden om een groenbedekker mechanisch te doden, waarbij het gewasresidu op het grondoppervlak achtergelaten wordt als deklaag. Maaïen of klepelen zorgt ervoor dat de groenbedekker in kleine stukken wordt verdeeld, die makkelijker verteren. Andere methodes zijn bv. **rollen**, **kneuzen**, vlak **onder de grond afsnijden**, of **beschadigen** met een schijveneg of frees om de uitlopers te onderdrukken en de hergroei te beperken ⁽⁸⁷⁾. Bij frezen wordt het gehakseld gewas met de bovenste paar centimeter van de bouwvoor gemengd, en zo de vertering gestimuleerd. Een vrij hoge groenbedekker kan gekneusd worden met een kneuzer voorop de trekker. De groenbedekker wordt hierbij alleen plat gedrukt en met verticale bladen gekneusd. Door de gewassen in een laat stadium van de groei (bloeifase) te rollen of te kneuzen worden de gewassen wel gedood maar nog niet ingewerkt. Ze verteren langzamer, waardoor een langere bodembedekking wordt verkregen ⁽⁴⁰⁶⁾. Vooral op (erosie)gevoelige bodems is het effectief aan te raden om de vernietigde groenbedekker zo lang mogelijk aan het oppervlak te behouden ⁽²⁶³⁾. Het succes van de verschillende methoden is deels afhankelijk van het gewas- en groeistadium ⁽⁴⁰⁶⁾.

Een zorgvuldige techniek en een correct tijdstip van vernietiging zijn van groot belang, ook voor de volgteelt. Een slecht uitgevoerde vernietiging kan leiden tot ondermeer watergebrek, N-gebrek, roestvlekken of opslag van de groenbedekker ⁽¹¹⁶⁾. Zonder er in detail op in te gaan, worden hierna een aantal van de voornaamste praktische aanbevelingen op een rijtje gezet:

- Om het ontstaan van een geconcentreerde laag groene massa in een afgesloten, anaerobe omgeving te voorkomen, wordt aangeraden om de groenbedekkers eerst te maaïen, niet te diep in te werken (< 20 cm), en bij volumineuze groenbedekkers ploegen te vermijden ^(223,263);
- Voldoende diep inwerken (>12 cm) is wel nodig wanneer kleigronden op de wintervoor worden geploegd. Ook bij het onderwerken van een rogge-groenbedekker in het voorjaar op zandgronden moet men de omvangrijke groene massa diep genoeg onderwerken ⁽²²³⁾;
- Voer de bewerkingen steeds onder goede (voldoende droge) omstandigheden uit, om een beschadiging van de bodemstructuur te vermijden (zie [C.1](#));
- Bij een te vroeg uitgevoerde mechanische vernietiging, is het risico groot dat de groenbedekker terug opschiet;
- Het kan nuttig zijn om een voorbereiding uit te voeren, bv. met een schijveneg ⁽²²³⁾;
- In ploegsystemen is het aan te raden een stro-aflieger te gebruiken in plaats van een voorschaar op de ploeg ⁽²²³⁾. Ploegen is enkel aan te raden voor het vernietigen van niet te sterk ontwikkelde groenbedekkers ⁽¹¹⁶⁾.
- Ook het gebruik van een veertand of vaste tand cultivator werkt alleen vlot als de groenbedekker reeds is afgestorven.

C.3.7. Groenbedekkers: conclusies, suggesties en belang

C.3.7.1. Belang van groenbedekkers

- Zowel het directe effect van de beworteling, als het indirecte effect via toelevering van OS, zijn voor de bodemstructuur van groot belang ⁽³²⁷⁾, en liggen aan de basis van een aaneenschakeling van doorgaans positieve effecten op ondermeer aggregaatstabiliteit, porositeit, permeabiliteit, waterbergend vermogen, bodemleven, en reductie van verslemping en verdichting. Zeker op wat langere termijn kan deze uitwerking een significant verschil uitmaken.
- Die effecten, samen met een bovengrondse bedekking, resulteren in een effectieve reductie van run-off en erosie, en via die weg ook een verminderde afspoeling van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen.

- Een groenbedekker kan een deel van de N vastleggen die na de oogst van het hoofdgewas in de bodem is achtergebleven of vrijkomt bij de vertering van gewasresten en mineralisatie van bodem OS. Daardoor kan de N-uitspoeling tijdens de daaropvolgende periode worden verlaagd, als de gebonden N tenminste niet vrijkomt vóór of tijdens de winter door snelle afbraak. Een volggewas kan hiervan profiteren, doordat de N uit de verterende gewasresten van de groenbedekker geleidelijk beschikbaar wordt gesteld. Hoeveel N werkelijk gebonden en daarna vrijgegeven wordt, is afhankelijk van diverse factoren en daardoor vaak moeilijk voorspelbaar ⁽³²⁷⁾.
- Effecten van groenbedekkers op ziekte-, plaag- en onkruiddruk zijn sterk variabel. Voor een effectieve bestrijding zijn een aangepaste keuze van een groenbedekker en geschikte teelttechnische maatregelen van doorslaggevend belang.

C.3.7.2. Selectiecriteria

(20,183,263)

Een doordachte keuze van een groenbedekker berust op meerdere criteria:

- Bedrijfseconomische criteria, zoals zaai- en vernietigingskosten, besparing op bemesting, of eventuele subsidies;
- Technische criteria, zoals efficiënte vernietiging, beschikbaar werkmateriaal, geschiktheid voor de grondsoort, geschiktheid voor inzaai onder een dekvrucht, of geschiktheid binnen de teeltrotatie. Bij die laatste spelen vooral het mogelijke zaaitijdstip en de kans op aaltjesbesmetting of – onderdrukking een doorslaggevende rol;
- Biofysische criteria, zoals groeisnelheid, vorstgevoeligheid, droge stofproductie, EOS, C/N verhouding, N-opname en –nalevering, opslagrisico of onkruidonderdrukking;
- Bodemgerelateerde criteria, zoals geschiktheid voor de grondsoort of plaag- en ziektedruk in de bodem.

Voor een beoordeling van specifieke groenbedekkers op een aantal van deze criteria, wordt verwezen naar Bijlage I. Het relatief belang gehecht aan elk van deze criteria bij het nemen van een beslissing, zal afhangen van de specifieke situatie en het geheel van teelttechnische keuzes, en verschilt vaak voor landbouwers (focus op bv. kostenefficiëntie, impact op de volgteelt) en beleidsmakers (focus op milieu-impact). De ideale groenbedekker bestaat wellicht niet, maar heel gunstig zijn doorgaans een zeer snelle beginontwikkeling, een goedkope groenbedekker, en een groei-afname in het voorjaar.

Een aantal algemeenheden op een rijtje:

- Met het oog op combinaties met NKG, zijn belangrijke vragen bv. welke groenbedekkers een luchtige bodem creëren die in het voorjaar snel opdroogt en bewerkbaar is, en welke groenbedekkers het minst hinderen bij niet-kerende inzaai van (fijnzadige) gewassen ⁽²⁶⁶⁾.
- Voor een rundveebedrijf met gras en maïs als hoofdteelten kan aangenomen worden dat Italiaans raaigras een goede keuze is, dankzij zijn forse groei en hoge voederwaarde. Ook rogge en Engels raaigras komen hier in aanmerking.
- Voor een akkerbouwbedrijf met aardappelen, bieten en/of granen in de rotatie, zijn facelia, bladrammenas, gele mosterd en grasachtige groenbedekkers interessante opties.
- Voor bedrijven met vollegrondsgroenten zijn eerder tagetes, facelia, bladrammenas of grasachtigen als groenbedekker te overwegen ⁽³⁹⁰⁾.
- Bij een groot risico op sterke nitraatuitspoeling of vroege mineralisatie van gewasresten van de voorteelt, verdienen snelgroeiende soorten de voorkeur (bv. koolzaad, gele mosterd, facelia).
- Bij een late mineralisatie gaat de voorkeur uit naar groenbedekkers met een langzame maar langdurige ontwikkeling. Denk daarbij aan een aantal grasachtigen.

C.3.7.3. Knelpunten

De toepassing van groenbedekkers brengt een aantal praktische moeilijkheden met zich mee. De drie wellicht voornaamste knelpunten die om extra aandacht vragen zijn:

- Tijdige inzaai is bij een late oogst van de teelt voorafgaand aan de groenbedekker vaak niet mogelijk;
- Bodembewerking in het najaar moet wegens tijdsgebrek vaak in ongunstig natte omstandigheden gebeuren, en een bewerking op de wintervoor (van belang voor een goede vorstwerking op zwaardere kleigronden; zie [C.1.9.3](#)) is niet mogelijk wanneer een groenbedekker op het veld staat;
- Extra inspanningen zijn vereist voor een efficiënte vernietiging en inwerking van groenbedekkers in het voorjaar.

C.4. Bemesting en interactie met andere maatregelen

C.4.1. Inleiding

Dit hoofdstuk behandelt het effect van bemesting op bodem en landbouwkundige parameters. Onder meststoffen worden deze stoffen verstaan die voedingsstoffen leveren aan de plant of de bodem. Daarnaast kunnen deze stoffen ook een bodemverbeterende werking hebben. Omdat dit hoofdstuk maar een beperkt deel van deze studie inneemt, worden de louter bodemverbeterende middelen zoals humuszuren buiten beschouwing gelaten.

Een onderscheid kan gemaakt worden tussen minerale mest, dierlijke meststoffen en andere organische meststoffen.

Minerale meststoffen

Minerale mest bevat geen organische stof (OS) en draagt dus niet bij tot de organische stofopbouw van de bodem.

Dierlijke meststoffen

Dierlijke meststoffen bevatten OS naast anorganische stoffen zoals ammonium (NH_4^+). Ze kunnen op basis van inhoud en vorm in een drietal groepen worden onderverdeeld ⁽⁸⁶⁾.

- **Drijfmest of mengmest.** Dit is een mengsel van faeces, urine en water en heeft een laag droge stofgehalte (3-15 %). Het water is afkomstig reinigingswater, gemorst drinkwater en regenwater. De mest bevat ook nog onverteerd en gemorst voeder;
- **Vaste mest.** Het verschil met drijfmest is dat vaste mest ook strooisel bevat en dat het alleen water en urine bevat die door het mengsel van strooisel en faeces wordt vastgehouden. Het droge stofgehalte bedraagt minstens 15 %. In deze studie wordt soms ook over stalmest gesproken;
- **Gier** bestaat uit urine, water en uitgeloopte vaste bestanddelen.

De samenstelling van dierlijke mest is heel variabel en is niet alleen afhankelijk van de diersoort en de types hierboven beschreven maar o.a. ook van rantsoensamenstelling, bijmenging van water door mors- en reinigingswater, staltype, opslagduur, strooisel, ontmenging, vervluchtiging en mixen van de mest. Daarenboven kan dierlijke mest ook worden bewerkt. Voorbeelden zijn het scheiden in een dunne en dikke fractie, het drogen van mest en het composteren.

Andere organische meststoffen

Naast de dierlijke meststoffen bestaat er een waaier aan andere organische meststoffen zoals compost en organisch-biologische afvalstoffen (o.a. slib uit de voedingsindustrie). In dit hoofdstuk beperken we ons wat deze groep betreft tot compost. Compost bestaat uit stabiele organische componenten (humus), minerale componenten en bodemorganismen. Het uitgangsmateriaal kan zowel van plantaardige als dierlijke oorsprong zijn. Tijdens het composteringsproces verhoogt de verhouding van schimmel-etende nematoden ten opzichte van bacterie-etende nematoden ⁽³⁵⁰⁾ omdat bacteriën zich doorgaans voeden met sneller afbreekbaar organisch materiaal en de schimmel-etende nematoden zich voeden met moeilijker afbreekbaar materiaal. De samenstelling van de microflora in de compost kan bijgevolg ook aangestuurd worden door de keuze van het uitgangsmengsel. Doordat tijdens het composteringsproces de temperatuur doorgaans oploopt tot 60-70 °C verlies het merendeel van de onkruidzaden en plantpathogene organismen zijn kiemkracht. Naast aanvoer van minerale voedingsstoffen stelt compost ook geleidelijk voedingsstoffen vrij uit de organische fractie. De grote variatie aan uitgangsmaterialen en composteringsomstandigheden zorgt ervoor dat de samenstelling en de eigenschappen van compost (zoals stabiliteit) heel variabel zijn.

Een bemestingsstrategie kan gericht zijn op het voeden van de plant of de bodem. Meststoffen die de plant rechtstreeks voeden zijn bv. minerale mest en drijfmest aangezien zij veel plantopneembare nutriënten bevatten. Meststoffen die de bodem voeden, zoals compost en vaste dierlijke mest, bevatten veel nutriënten die via het bodemleven ter beschikking van de plant komen. Bodemvoedende meststoffen helpen mee aan de opbouw van OS in de bodem en begunstigen over het algemeen de

bodemkwaliteit. Volgens Zanen et al. ⁽⁴⁵⁸⁾ is een strategie waarbij plant- en bodemvoedende meststoffen worden gecombineerd de meest duurzame. In een biologische proefopzet leidde een dergelijke combinatiestrategie tot de hoogste opbrengsten en beperkte verliezen naar het milieu.

In dit hoofdstuk worden een aantal proeven vaak besproken. Omdat het vermelden van de achtergrond van deze proeven de leesbaarheid zou verstoren, zijn de voornaamste gegevens opgenomen in Bijlage II achteraan dit rapport.

C.4.2. Effect op chemische bodemeigenschappen

C.4.2.1. Belang van organische bemesting voor de aanvoer van organische stof

“Stijgt het bodemorganische stofgehalte door toediening van organische mest?”

Naast het toedienen van voedingsstoffen is een tweede belangrijke functie van organische bemesting het op peil houden of verhogen van het organische stofgehalte van de bodem. Nationaal en internationaal proefondervindelijk onderzoek kan dit bevestigen ^(96,115,238,354,376,461). Niet alle organische mesttypes zijn echter even effectief voor de opbouw van bodemorganischestof. De meststoffen worden door het bodemleven afgebroken en ofwel omgezet naar bodem OS (humificatie) ofwel naar nutriënten en CO₂ (mineralisatie). De snelheid van deze processen is ten dele bepaald door de afbreekbaarheid van de meststof. Een maat voor die afbreekbaarheid is de humificatiecoëfficiënt (Hc). Dit is de fractie van effectieve organische koolstof (EOC) op de totale koolstofaanvoer, waarbij de EOC gedefinieerd wordt als de organische koolstof die één jaar na toediening nog in de bodem aanwezig is ([A.2.1.1](#)). In Tabel 6 wordt een overzicht gegeven van de aanvoer van koolstof, de Hc en de EOC of EOS (effectieve organische stof) van enkele organische mestsoorten.

Tabel 6. Overzicht van koolstofaanvoer (C), humificatiecoëfficiënt en effectieve organische koolstof (EOC) en stof (EOS) voor enkele organische mestsoorten.

Mestsoort	C ⁽⁶⁾ (ton / 10 ton vers materiaal)	Humificatie- coëfficiënt ⁽⁶⁾	EOC ⁽⁶⁾ (ton / 10 ton vers materiaal)	EOS ⁽⁵³⁾ (ton/ 10 ton vers materiaal)	EOS ⁽²²³⁾ (ton/ 10 ton vers materiaal)
Leghennenmest (droog)	2,96	0,50	1,48	1,88	1,43
Slachtkuikenmest	2,90	0,50	1,45	2,80	1,83
GFT-compost	1,54	0,86	1,32	1,60	1,83
Champost	1,33	0,91	1,21	0,89	0,89
Groencompost	1,16	0,95	1,10		
Konijnenmest	1,22	0,50	0,61		
Champignonmest	1,16	0,50	0,58		
Varkensstalmest	1,13	0,50	0,57	0,64	
Paardenmest	1,04	0,50	0,52		
Runderstalmest	0,93	0,50	0,46	0,84	0,77
Kippendrijfmest	0,49	0,40	0,20	0,37	0,31
Runderdrijfmest	0,38	0,40	0,15	0,30	0,33
Vleesvarkensdrijfmest	0,31	0,40	0,12	0,18	0,20
Zeugendrijfmest	0,25	0,40	0,10	0,11	0,12
Kalverdrijfmest	0,05	0,40	0,02	0,05	
Rundveegier			0,05		
Varkensgier			0,02		
Zeugengier			0,03		

Naargelang de geraadpleegde bron kunnen deze cijfers nogal variëren. Dit heeft ondermeer te maken met de variabele samenstelling binnen één bepaald mesttype. Bovendien is de oorsprong van vele

geciteerde cijfers moeilijk te achterhalen. Een aantal cijfers zijn gebaseerd op metingen, andere eerder op aannames. Over het algemeen dragen gier en drijfmestsoorten het minste bij aan de OS van de bodem. Dit is zowel te wijten aan een laag OS-gehalte (C-aanvoer) als aan een snelle afbreekbaarheid (lage Hc). Compost breekt het traagste af (hoogste Hc). Middelen met een trage werking hebben een hoge C/N verhouding (zie [A.2.1.6](#)) of een stabiele koolstofinhoud. Voorbeelden zijn respectievelijk stalmest en compost. Deze bodemvoedende meststoffen dienen in de eerste plaats voor de opbouw van bodem OS. Middelen die in de eerste plaats als plantvoedende meststof dienen moeten een grote nutriënteninhoud hebben en goede afbreekbaarheid. Deze meststoffen, zoals drijfmest, hebben een lage C/N verhouding en geen stabiele koolstofinhoud.

Een effectieve methode om het OC-gehalte van de bodem te verhogen door het type bemesting aan te passen is het vervangen van drijfmest door stalmest, of nog beter compost. Zwart ⁽⁴⁶¹⁾ toonde bv. aan dat in een 60 jaar durende veldproef de bodem OS van 2,7% enkel op peil gehouden kon worden door de toediening van compost terwijl groenbedekkers, tarwestro en stalmest enkel instonden voor een remming in daling van het bodem OS-gehalte. Men kan ook kiezen voor mestsoorten die meer EOS bevatten per eenheid fosfaat of stikstof. Voor eenzelfde stikstof- of fosfaatgift kan er zo meer OS worden opgebouwd. De vervanging van varkensdrijfmest door runderdrijfmest is hier een voorbeeld van ⁽³⁹⁷⁾. In de praktijk is er echter meestal weinig keuze en wordt het gebruikte type meststof bepaald door de beschikbaarheid van de meststof, de nood voor mestafzet, de kostprijs en de beperkingen van de mestwetgeving (zie Kader 9).

Kader 8. Minerale Bemesting in perspectief.

Het gebruik van minerale meststoffen of kunstmeststoffen (hier als synoniem gebruikt terwijl beide termen niet altijd dezelfde lading dekken) blijft een onderwerp van discussie. Minerale mest is beter te doseren en af te stemmen op de behoefte van de plant. Het gebruik van kunstmest leverde mede een bijdrage aan de groene revolutie die voor enorme opbrengststijgingen heeft gezorgd. Voorstanders menen dan ook dat kunstmest noodzakelijk is om de groeiende wereldbevolking te blijven voeden. Een ander voordeel is dat, anders dan bij het uitrijden van dierlijke mest, minder zware machines nodig zijn voor het uitrijden van kunstmest. Dit leidt dan weer tot minder risico op structuurschade. De mening leeft dat kunstmest een positieve impact heeft op de bodem OS omdat het gewasopbrengsten en dus de hoeveelheid gewasresten die op de akkers achterblijft doet toenemen.

Hoewel het gebruik van minerale meststoffen **onmiskenbare voordelen** biedt, wijzen anderen dan weer op de **negatieve gevolgen** die het gebruik ervan met zich mee kan brengen. In de biologische sector is het gebruik van minerale mest zelfs niet toegestaan. Ten eerste vraagt de productie veel energie en is de milieu-impact van ontginning vaak groot (zie [Samenvattende conclusies en suggesties](#), pg 165). Ten tweede zou minerale mest de bodemvruchtbaarheid op langere termijn ondermijnen omdat het rechtstreeks gericht is op de voeding van de plant en niet van de bodem. Het zou negatief zijn voor het bodemleven en, in tegenstelling tot de bewering van voorstanders, zorgen voor een aantasting van de bodem OS. Die OS is van groot belang voor het garanderen van de chemische, fysische en biologische bodemkwaliteit, en dus de productiecapaciteit op langere termijn. Minerale stikstof, als bron van voedsel, kan dan wel de micro-organismen in de bodem stimuleren, maar voor die groei is ook een koolstofbron nodig. Omdat minerale mest die koolstofbron niet biedt gebruiken micro-organismen hiervoor de bodem OS, die dus geleidelijk aan zal afnemen. Khan et al. ⁽²¹⁴⁾ en Mulvaney et al. ⁽²⁷⁸⁾ onderbouwden deze stelling met gegevens van diverse lange termijn experimenten, maar de conclusies werden door Reid ⁽³¹¹⁾ en Powlson et al. ⁽²⁹⁸⁾ betwist. Een daling van de bodem OS kan volgens hen ook te wijten zijn aan het instellen van een nieuw evenwicht na het veranderen van de bemestingsstrategie waarbij minder externe koolstof wordt aangevoerd. De verschillende visies leiden in de onderzoekswereld dus nog steeds tot een polemiëk.

C.4.2.2. Organische bemesting, stikstofmineralisatie en stikstofuitspoeling

“Leiden verschillende organische meststoffen tot verschillen in beschikbare stikstof?”

Bij de mineralisatie van toegediend organisch materiaal komt stikstof (N) vrij. De hoeveelheid hangt af van de C/N verhouding van dat materiaal. Hoe lager die verhouding, hoe meer N vrij zal komen. Bij de toediening van stoffen met hoge C/N verhoudingen (20-40) kan netto N-immobilisatie optreden ⁽⁴⁸⁾ (zie [A.2.1.6](#)). In een Nederlandse bemestingsproef voor de biologische teelt ⁽⁴⁶⁰⁾ werd de N-beschikbaarheid nagegaan na de toediening van verschillende organische meststoffen. Toepassing van vinasse (een restproduct van de suikerbietenindustrie) leidde tot veel beschikbare N. Door toediening van geitenmest of groencompost was de beschikbaarheid van N lager dan de onbemeste controle, wat er op wijst dat N door deze toepassing werd geïmmobiliseerd. Alleen deze meststoffen toedienen kan er toe leiden dat, vooral in het voorjaar, te weinig N in de bodem aanwezig zal zijn. Daarom is het beter om het gebruik van dergelijke meststoffen te combineren met een snelwerkende meststof zoals vinasse. Ook kan men er voor kiezen om deze meststoffen voor hun bodemverbeterende werking toe te passen in het najaar, voor het inzaaien van een groenbemester. Eventuele stikstofimmobilisatie vormt dan geen knelpunt, doch eerder een voordeel in verband met het beperken van het N-residu.

Ondanks het risico op N-immobilisatie, kunnen op langere termijn jaarlijkse toepassingen van traagwerkende meststoffen zoals stalmest en compost voor een hogere N-nalevering zorgen. Van Geel en de Haan ⁽³⁹⁷⁾ modelleerden het verloop van de N-mineralisatie gedurende 25 jaar na jaarlijkse toepassing van groencompost of runderdrijfmest. De gebruikte hoeveelheden lagen binnen de grenzen van het bereiken van een fosfaatevenwicht (aanvoer = afvoer) voor een zesjarige rotatie. Het gebruik van groencompost leidt aanvankelijk nauwelijks tot een hogere mineralisatie vanwege de langzame afbraak (hoge Hc) en het lage N-gehalte. Bij meerjarige toediening accumuleert de mineralisatie uit de giften van de afzonderlijke jaren en stijgt het mineralisatieniveau van de bodem. Bij meerjarige toediening van drijfmest stijgt het mineralisatieniveau van de bodem eveneens, maar komt het lager uit dan bij gebruik van compost. Dit verschil werd toegeschreven aan het verschil in aanvoer van organisch gebonden stikstof. De N-mineralisatie op korte en lange termijn is echter sterk afhankelijk van de samenstelling van de beschouwde meststof. Ook binnen één mestsoort, zoals compost, valt een ruime variatie te verwachten.

“Leidt frequente organische bemesting steeds tot nitraatuitspoeling?”

Het risico van een verhoogde N-mineralisatie in de bodem is dat N vrijkomt op een moment dat er geen gewas op de akker staat of dat het gewas het nitraat onvoldoende kan opnemen. Dit kan aanleiding geven tot verhoogde nitraatuitspoeling. Een groenbedekker kan dat nitraat gedeeltelijk vasthouden en na onderwerken terug vrijstellen voor het volgende hoofdgewas ([C.3.3.3](#)). Om het risico op uitspoeling te beperken is een oordeelkundige bemesting aangewezen. Hierbij moet de bemesting worden aangepast aan de behoefte van het gewas, de voorraad van minerale N in de bodem en de verwachte vrijstelling van N uit bodem OS en recent toegediend organisch materiaal onder de vorm van gewasresten, groenbedekkers of organische mest. Een frequente toepassing van organische bemesting zoals compost hoeft daarom niet altijd tot onaanvaardbare risico's op nitraatuitspoeling te leiden ^(79,412).

C.4.2.3. Effect van bemesting op de zuurgraad van de bodem

“Leidt elke toepassing van meststoffen tot een verhoging van de pH?”

Het toepassen van **minerale** meststoffen kan een zure, neutrale of basische werking op de bodem hebben. Zuurwerkende meststoffen verlagen de pH, basisch werkende meststoffen verhogen de pH. De zure of basische werking van een meststof is het eindresultaat van drie processen ⁽⁴¹⁴⁾. Ten eerste is een minerale meststof een zout en elk zout heeft een impact op de pH naar gelang het kation een sterke of zwakke base is en het anion een sterk of zwak zuur. Ten tweede wordt de pH beïnvloed door bacteriële omzettingen van ionen. Zo zorgt de bacteriële omzetting van ammonium in nitraat voor een

sterke verzuring. Tot slot kunnen plantenwortels bij de opname van kationen H^+ (zuur) en bij de opname van anionen OH^- (base) aan de bodemoplossing afstaan.

Organische meststoffen zoals vaste mest, compost en champost werken basisch en vormen een buffer tegen verzuring⁽²²³⁾. Een verhoging van de pH door organische bemesting werd aangetoond in een aantal bemestingsproeven in België. Bij bodems waarbij de pH bij aanvang al hoog is, kan meestal geen effect worden aangetoond⁽⁴¹²⁾.

Kalkmeststoffen zijn meststoffen die voor het grootste deel bestaan uit basisch werkende calcium- en magnesiumverbindingen. Het gebruik van kalkmeststoffen heeft als doel de pH van de landbouwgronden te verhogen of op peil te houden en/of de structuur te verbeteren. De verhoging van de pH door kalkmeststoffen wordt niet veroorzaakt door de calcium- of magnesiumionen maar door de begeleidende anionen (oxiden, hydroxiden, carbonaten of silicaten)⁽¹³⁸⁾.

Kader 9. Mestwetgeving en beperking voor aanvoer organische stof via bemesting.

Onder impuls van de Europese nitraatrichtlijn van 1991, die de lidstaten oplegt eutrofiëring omwille van bemesting te voorkomen (zie [A.3.2.2.](#)), werd zowel in Vlaanderen als in Nederland een mestwetgeving uitgevaardigd. Deze wetgeving beperkt de hoeveelheid meststoffen die op landbouwgrond mogen worden toegepast.

In **Nederland** mag de gebruikte mest op het bedrijf de **gebruiksruimte** van dat bedrijf niet overschrijden. Deze ruimte is afhankelijk van de gebruiksnorm voor dierlijke mest, de stikstofgebruiksnorm en de fosfaatgebruiksnorm. De **gebruiksnorm voor dierlijke mest** limiteert de hoeveelheid N uit dierlijke mest met 170 kg per ha per jaar. Onder strikte voorwaarden (**derogatie**) is het mogelijk meer dierlijke mest toe te dienen. De **stikstofgebruiksnorm** bepaalt de totale hoeveelheid werkzame stikstof die per hectare en per jaar mag worden toegediend. Dit is afhankelijk van de grondsoort, het gewas en soms de gewasvariëteit. De werkzame stikstof van een bepaalde mestsoort wordt berekend aan de hand van forfaitaire werkingscoëfficiënten. De totale stikstofgebruiksnorm van een bedrijf kan berekend worden door voor elk gewas de gebruiksnorm te berekenen, dit te vermenigvuldigen met het areaal van dat gewas en dit vervolgens voor alle gewassen op te tellen. Op een analoge manier kan de fosfaatgebruiksnorm worden berekend. De **fosfaatgebruiksnormen** zijn verschillend voor grasland en akkerland en zijn afhankelijk van de fosfaattoestand van de bodem. Deze wordt uitgedrukt in PAL-waarde of Pw-waarde en is een maat voor de hoeveelheid fosfaat in de bodem beschikbaar voor het gewas (zie [B.3.4.](#)). Buiten deze categorieën bestaat er nog een verhoogde fosfaatgebruiksnorm van 120 kg per hectare per jaar voor fosfaatarme en fosfaatfixerende gronden. Deze verhoging mag op akkerland alleen worden ingevuld met kunstmest behalve voor de biologische teelt. Voor de periode 2010-2013 daalt de fosfaatgebruiksnorm voor gronden met een neutrale tot hoge fosfaattoestand jaar na jaar. Het is de bedoeling om in 2015 te komen tot een evenwichtsbemesting op percelen met een neutrale of hoge fosfaattoestand. Hierbij wordt maar evenveel bemest als wordt afgevoerd door de gewassen.

Eenmaal de gebruiksruimte van een bedrijf is gekend, is de landbouwer vrij om te kiezen op welke percelen de mest toegediend zal worden. Hierbij wordt uitgegaan van een goede landbouwpraktijk waarbij het belangrijk is de inzet van de verschillende meststoffen zo goed mogelijk af te stemmen op de behoefte. Voor meer informatie omtrent de mestwetgeving in Nederland zie www.hetlnvloket.nl⁽²⁵⁰⁾.

Vlaanderen werkte een eigen aanpak uit om tot de doelstellingen van de Europese nitraatrichtlijn te komen. Zo is er een **bemestingsnorm** voor fosfaat, totale stikstof, stikstof uit dierlijke mest, stikstof uit kunstmest en stikstof uit andere meststoffen, gedifferentieerd voor zeven gewasgroepen. Sinds 2010 is er voor totale stikstof een differentiatie tussen zand- en andere gronden. Voor dierlijke mest en andere organische meststoffen wordt met de totale stikstofinhoud gerekend en niet met werkingscoëfficiënten zoals in Nederland. Er bestaan uitzonderingsregimes voor percelen met beheerovereenkomsten of percelen gelegen in kwetsbaar gebied 'natuur'. In de fosfaatverzadigde gebieden, door de Vlaamse Regering afgebakend, gelden strengere normen voor fosfaat. Net zoals in Nederland kan onder derogatievoorwaarden meer dierlijke mest worden toegediend dan de standaardnorm van 170 kg N/ha. Een belangrijk verschil met Nederland is de controle op perceelsniveau door het meten van het nitraatresidu in de bovenste 90 cm van de bodem in het

najaar. Op het moment van publicatie van deze studie zijn onderhandelingen lopende tussen Vlaanderen en Europa betreffende een nieuw actieprogramma 2011-2014 voor de uitvoering van de nitraatrichtlijn. Wellicht zullen de normen voor fosfaat nog strenger worden, waardoor de aanvoer van OS via de bemesting nog wordt beperkt. Voor meer informatie omtrent de mestwetgeving in Vlaanderen zie www.vlm.be ⁽⁴³⁴⁾.

De bezorgdheid groeit of er binnen de **strengere bemestingsnormen** nog wel voldoende organische meststoffen kunnen aangebracht worden om het **OS-gehalte van de bodem** te behouden of te verhogen. Een aantal scenariostudies toonden aan dat die vrees inderdaad gegrond is. Vanongeval et al. ⁽⁴¹⁸⁾ berekenden het verloop van het OS-gehalte van de bodem voor een lemige grond met een rotatie van granen en suikerbieten en voor een zandgrond met een monocultuur kuilmaïs in België. Beide gronden vertrokken van een normaal OC-gehalte. Ze toonden aan dat het met de toen geldende normen (eind jaren '90) niet evident is om dit OC-gehalte op peil te houden. Zonder het gebruik van dierlijke mest kan dit alleen als naast de gewone oogstresten ook stro wordt ingewerkt. Met dierlijke bemesting kan het OS-gehalte op peil worden gehouden met stalmest. Indien varkensdrijfmest wordt gebruikt, is dit moeilijker zonder extra maatregelen. Voor de zandgrond werden eveneens enkele simulaties uitgevoerd met runderdrijfmest. In het scenario voor de verscherpte limiet 'water', representatief voor de huidige normen, kan ook met runderdrijfmest in combinatie met stoppels en wortels die op de akker achterblijven, het koolstofgehalte niet op peil worden gehouden.

Om het OS-gehalte van de bodem te behouden, zullen dus extra inspanningen geleverd moeten worden. Denk daarbij bv. aan het inzaaien van een groenbedekker en het zoveel mogelijk inwerken van gewasresten. Ook het gebruik van compost is een effectieve manier om het OS-gehalte van de bodem te behouden of te verhogen. Het voornaamste knelpunt daarbij is echter dat door het gebruik van compost, die al een deel van de gebruikersruimte voor stikstof en fosfaat inneemt, minder andere meststoffen aangebracht kunnen worden. Omdat de nutriënten in compost eerder traag vrijkomen, kan de nutriëntenbeschikbaarheid in het gedrang komen op het moment dat het gewas het nodig heeft. Om toch aan de OS-opbouw van de bodem te kunnen werken, werden speciale uitzonderingsregels in de wetgeving ingeschreven. Zo moet in Nederland voor de eerste 7 g fosfaat per kg droge stof slechts de helft van de hoeveelheid fosfaat in compost worden meegeteld. De stikstofwerkingscoëfficiënt van compost, van belang voor het berekenen van de gebruikersruimte voor stikstof, bedraagt bovendien slechts 10 %. In Vlaanderen mag op percelen met een te laag OC-gehalte driejaarlijks tot 10 ton GFT-compost of 15 ton groencompost per hectare aangewend worden bovenop de bemestingsnormen, op voorwaarde dat het nitraatresidu het jaar voordien niet hoger was dan de maximale nitraatresiduwaarde.

Nederland engageerde zich om tegen 2015 te komen tot een **evenwichtsbemesting voor fosfaat** en ook in België zullen de fosfaatbemestingsnormen in het nieuwe Mestactieplan wellicht zo evolueren. Naast een implicatie voor het behoud en de opbouw van het OS-gehalte van de bodem, is de vraag wat het effect op de fosfaatbeschikbaarheid voor het gewas en de opbrengst zal zijn. Veel onderzoek is hierover nog niet uitgevoerd. Toch kunnen een paar Nederlandse studies ^(110,129,401), die zich baseren op enkele lange termijn experimenten, reeds een indicatie geven. Algemeen kan gesteld worden dat de hoeveelheid beschikbaar fosfaat (uitgedrukt als Pw of PAL-getal) bij een evenwichtsbemesting geleidelijk aan zal afnemen. Bij grasland leidde dit na tien jaar tot een afname in droge stofstofopbrengst tot 600 kg/ha. Dit is echter veel kleiner dan het verschil in opbrengst tussen de jaren. Een evenwichtsbemesting van 60 kg fosfaat per ha zou alleen bij fosfaatbehoefte gewassen zoals bladgewassen en aardappelen tot een opbrengstderving leiden indien het Pw-getal niet te laag is (<25-30). Bij een Pw van 30 neemt de opbrengst van aardappelen met 2 % af bij een bemesting van 60 kg ten opzichte van een bemesting van 120 kg fosfaat/ha. De opbrengstreactie van suboptimale P-bemesting is veel geringer dan die bij suboptimale N-bemesting omdat bij fosfaat eerder de bodem het gewas voedt en de directe bijdrage van de P-bemesting aan de opbrengst beperkt is. Van iedere 100 kg fosfaat die via de bemesting wordt toegediend wordt in het eerste jaar maar 10-20 kg opgenomen. De rest wordt tijdelijk vastgelegd in de bodem en komt pas later ter beschikking van het gewas. De fosfaattoestand van de bodem is dus veel belangrijker dan de fosfaatbemesting (zie [B.3.4](#)).

C.4.3 Effect op fysische bodemeigenschappen

Doorgaans kan verwacht worden dat het effect van bemesting op de fysische bodemeigenschappen kan gelinkt worden met de impact die bemesting heeft op het organisch stofgehalte (OS) van de bodem (C.4.2) en het bodemleven (C.4.4, zie ook A.4.1.3). Organische meststoffen die veel effectieve organische stof aanbrengen zouden dus de grootste positieve effecten op fysische bodemeigenschappen moeten hebben.

C.4.3.1. Effect op bodemstructuur en aggregaatstabiliteit

“Leidt de toepassing van organische bemesting tot een hogere aggregaatstabiliteit?”

Een hoger OS-gehalte van de bodem leidt tot stabielere aggregaten ^(76,188) (C.1.3.1). Er wordt dus verwacht dat organische bemesting de aggregaatstabiliteit zal verhogen. Dit werd in Vlaanderen ondermeer bevestigd in de meststoffenproef ⁽²³⁸⁾ en de GFT-compostproef te Melle ⁽²⁴⁰⁾ (zie Bijlage II). In deze laatste proef was de aggregaatstabiliteit het hoogste op de plots waaraan zowel drijfmest als GFT-compost wordt toegevoegd, gevolgd, in volgorde van afnemende stabiliteit, door de compostplots, de drijfmestplots en de plots zonder organische bemesting ⁽²⁴⁰⁾. In een gelijkaardige proef met GFT-compost te Boutersem (zie Bijlage II) werd na 5 en 6 jaar een (niet-significante) verhoging van de aggregaatstabiliteit vastgesteld bij jaarlijkse applicaties van 15 of 45 ton/ha ^(115,358). Ook in de internationale literatuur wordt melding gemaakt van een verhoging van de aggregaatstabiliteit door toediening van compost ^(5,218), stalmest ⁽¹⁷⁹⁾ of organische bemesting in het algemeen ⁽¹²⁸⁾.

De hoogste OS-gehalten leidden in de meststoffenproef te Melle echter niet tot de hoogste aggregaatstabiliteit ⁽²³⁸⁾. Andere factoren spelen dus ook een rol. Leroy ⁽²³⁸⁾ toonde aan dat de aggregaatstabiliteit significant was gecorreleerd met microbiële biomassa en aantal regenwormen. Een significant positieve correlatie met microbiële biomassa na toediening van compost werd ook gevonden door Annabi et al. ⁽¹⁵⁾.

In de proefvelden Mest als Kans ⁽⁴⁵⁸⁾ en de Rusthoeve ⁽²²⁵⁾ (zie Bijlage II) werd de bodemstructuur beoordeeld. Er werden niet steeds significante verschillen gevonden. Wel bleek vaste mest en compost tot een hogere percentage kruimels in de bodem te leiden dan minerale mest ⁽²²⁵⁾.

C.4.3.2. Effect op bodemdichtheid en penetratieweerstand

“Dalen bodemdichtheid en penetratieweerstand door organische bemesting?”

In verschillende studies over de toepassing van compost werd het effect op bodemdichtheid en penetratieweerstand onderzocht. In de hiervoor beschreven GFT-compostproef te Boutersem werd na vijf jaar een significante daling in de bodemdichtheid op 15-20 cm diepte vastgesteld bij de jaarlijkse toepassing van 45 ton/ha ten opzichte van de minerale bemesting en de lagere dosis van 15 ton/ha per jaar ⁽¹¹⁵⁾. Een gunstig effect van compost werd in de internationale literatuur eveneens vastgesteld door onder andere Aggelides en Londra ⁽²⁾ en Strauss en Murer ⁽³⁵⁴⁾. In deze laatste studie werd een daling van 1,41 g/cm³ naar 1,35 g/cm³ gevonden na 7 jaar toediening van compost.

Ook andere organische bemestingstypes kunnen tot een verlaging van de bodemdichtheid leiden. Dit werd vastgesteld in een doorlichting van verschillende internationale lange termijn bemestingsproeven ⁽¹²⁸⁾. In een aantal meststoffenproeven in Vlaanderen en Nederland werd echter geen (significant) effect waargenomen of werden tegenstrijdige resultaten bekomen. Dat was ondermeer het geval voor de boerderijcompostproef te Melle ^(96,412), de meststoffenproef te Melle ⁽⁴¹²⁾, het proefveld Mest als Kans ⁽⁴⁵⁸⁾, en de meststoffenproef in Beitem (Vlaanderen) ^(98,113). Diepte en tijdstip (zomer of najaar) van meting maakten daarbij vaak een verschil uit.

We kunnen besluiten dat organische bemesting en meer in het bijzonder compost, een positief effect kan hebben op de bodemdichtheid. Deze effecten kunnen echter niet steeds aangetoond worden. Heel belangrijk om op te merken is dat in deze proeven met name het effect van het type meststof zelf beschouwd werd. Wellicht minstens even belangrijk als het type mest is de wijze waarop deze bemesting wordt aangebracht. Zeker bij drijfmest, waarbij zware machines worden gebruikt, is er een risico op verdichting onder de rijsporen. Dit risico is het grootst in de vroege lente wanneer de bodem relatief nat is ⁽³⁹⁵⁾. Deze problematiek werd reeds behandeld onder C.1.9.

C.4.3.3. Effect op waterhuishouding

“Stijgt de waterbeschikbaarheid door composttoepassing?”

De toepassing van compost kan de hoeveelheid beschikbaar vocht in de bodem verhogen, waardoor het risico op droogtestress daalt. In de compostproef te Boutersem steeg het beschikbaar vocht (tussen veldcapaciteit en verwelkingspunt, zie [A.2.2.6](#)) significant van 25,1 naar 28,9 % (cm³/cm³) bij een jaarlijkse toepassing van GFT-compost van 45 ton/ha ⁽¹¹⁵⁾. Dit effect op vochtretentie wordt bevestigd door Duits ⁽²¹⁸⁾ en Pools ⁽⁴³⁹⁾ onderzoek. In deze laatste studie bleek het effect van een eenmalige composttoediening (72 ton droge stof per ha) op de vochtretentie echter beperkt in tijd omdat na één jaar geen verschil met de controlebehandeling meer op te meten was. In de proef met GFT-compost en drijfmest te Melle kon na 9 jaar mesttoepassingen geen verschil in vochtretentie vastgesteld worden ⁽²⁴⁰⁾.

C.4.4. Effect op biologische bodemeigenschappen

Aangezien organisch materiaal de basis vormt van het voedselweb, wordt verwacht dat organische bemesting een gunstige impact zal hebben op het bodemvoedselweb en zijn functies. Te hoge dosissen kunnen echter toxisch zijn vanwege een hoge concentratie ammonium of zouten.

Er wordt verwacht dat drijfmest de bacteriën en bacterie-etende nematoden bevordert omdat het relatief veel stikstof bevat (lage C/N verhouding). Compost zou dan weer gunstig zijn voor schimmels en schimmeletende nematoden omdat het relatief weinig stikstof bevat maar wel moeilijk afbreekbare koolstofverbindingen die door schimmels worden afgebroken ⁽³⁵⁰⁾. Het effect van vaste mest zou ergens tussenin moeten liggen ^(225,238).

In wat volgt wordt een overzicht gegeven van proefveldonderzoek waarin het effect van diverse mestsoorten op micro-organismen, nematoden, springstaarten en mijten, en regenwormen onderzocht werd.

C.4.4.1. Effect op micro-organismen

“Stijgt de omvang van de microbiële biomassa door organische bemesting?”

Doorgaans stijgt de microbiële biomassa met hogere OS-gehaltes van de bodem. Toediening van organische bemesting kan de microbiële biomassa dus verhogen. Dit wordt bevestigd door internationaal onderzoek ^(254,256,293), waaronder lange termijn experimenten in Duitsland (Keulen) ⁽²⁵⁶⁾ en Zwitserland ⁽²⁵⁴⁾, en onderzoek in Vlaanderen met verschillende mestsoorten ⁽²³⁸⁾ en met compost ^(96,412). Bacteriën blijken doorgaans positief begunstigd door organische bemesting, maar het is niet eenduidig welke types bacteriën hiervan profiteren ^(128,238,256,293). In de meststoffenproef te Melle werd ook een verhoging van de actinomyceten en mycorrhiza-schimmels vastgesteld. Een verhoging van actinomyceten werd ook gerapporteerd in een lange termijn proef te Rothamsted (UK) ⁽¹²⁸⁾. Er werden geen verschillen gevonden voor bacteriële en schimmelbiomassa tussen de bemestingsregimes in de proefvelden Mest als Kans ⁽⁴⁵⁸⁾ en De Rusthoeve ⁽²²⁵⁾. Wel was in het proefveld Mest als Kans de bacteriële activiteit groter bij de potstalmest, kippenmest en de diverse soorten compost dan bij de drijfmest en de minerale bemestingsvariant ⁽⁴⁵⁸⁾. Dat activiteit en biomassa niet altijd gerelateerd zijn aan elkaar werd ook bevestigd door de Duitse bemestingsproef ⁽²⁵⁶⁾. Hoewel dus kan aangetoond worden dat organische bemesting een impact heeft op de microbiële biomassa en de gemeenschapsstructuur, is het blijkbaar moeilijk verschillen te detecteren tussen de verschillende organische bemestingsvormen onderling ^(225,238,256,458). De hypothese dat drijfmest bacteriën stimuleert en compost schimmels kon door de aangehaalde experimentele studies niet worden aangetoond. Leroy ⁽²³⁸⁾ wijst erop dat resultaten heel variabel zijn in de tijd en men daarom voorzichtig moet omspringen met het interpreteren van data waarbij slechts op één tijdstip metingen werden uitgevoerd. Dat is bij de meeste studies het geval. Bovendien kunnen ook andere factoren zoals type bodembewerking een rol spelen.

C.4.4.2. Effect op nematoden

“Verandert de nematodengemeenschap door organische bemesting?”

Nematoden kunnen worden onderverdeeld in diverse groepen naargelang de organismen waarop ze grazen. De verdeling tussen deze groepen kan iets vertellen over bodemkwaliteit en de stabiliteit van het bodemvoedselweb. Er wordt verwacht dat bemesting een impact zal hebben op de nematodengemeenschap omdat die gevoelig is aan verstoringen. Ook kan men verwachten dat de nematodengemeenschap zal variëren naar gelang het type bemesting. Zo wordt een relatief hoog aandeel van schimmel-etende nematoden aangetroffen in compost⁽³⁵⁰⁾ en wordt verwacht dat drijfmest bacterie-etende nematoden stimuleert^(225,238).

De meeste studies die het effect van bemesting op nematoden bestuderen, beschouwen enkel de planten-etende nematoden (zie C.4.5.2). Zowel in de meststoffenproef te Melle als in de proefvelden Mest als Kans en de Rusthoeve werd de nematodengemeenschap echter meer in detail bestudeerd. In het proefveld Mest als Kans waren de bacterie-etende nematoden in de meerderheid. In Melle en op de Rusthoeve waren naast deze groep ook veel planten-etende nematoden aanwezig. Het hoge aantal bacterie-etende nematoden in bemeste velden is normaal omdat deze veel voorkomen na verstoring. Alleen op de Rusthoeve werden duidelijke verschillen tussen de bemestingsregimes waargenomen, maar deze kwamen niet helemaal overeen met de eerder vermelde hypothesen^(225,238,458).

C.4.4.3. Effect op springstaarten en mijten

“Stijgt het aantal springstaarten en mijten door composttoepassing?”

In de GFT-compostproef te Melle was na 7 jaar een effect van composttoepassing op springstaarten waar te nemen. Daarbij neemt het aantal springstaarten toe van geen compost, over een toepassing van 22,5 ton compost/ha.jaar tot 45 ton compost/ha.jaar. Compost bleek ook een positieve impact te hebben op mijten, maar die tendens was niet significant. Drijfmest had geen significant effect op beide organismen⁽²³⁹⁾.

C.4.4.4. Effect op regenwormen

“Stijgt het aantal en de biomassa van regenwormen door organische bemesting?”

Gebaseerd op een literatuurstudie rapporteert Curry⁽⁹⁰⁾ dat het effect van minerale bemesting op de regenwormenpopulatie over het algemeen positief is vanwege een toenemende massa gewasresten, maar dat regenwormenpopulaties achteruit kunnen gaan bij heel hoge stikstofdosissen. Vooral verzurende meststoffen hebben hierbij een negatief effect. Organische bemesting zal regenwormen begunstigen door het voorzien in extra voedsel en het stimuleren van plantengroei en dus gewasresten. Vooral stalmest wordt als een positieve maatregel beschouwd om de regenwormenpopulatie te begunstigen. Hoge hoeveelheden organische bemesting, zoals drijfmest, die hoge dosissen van ammonium of zouten bevatten, kunnen toxisch zijn voor regenwormen. Negatieve effecten van matige drijfmestdosissen zijn echter van voorbijgaande aard en het lange termijn effect is meestal positief.

Het gunstig effect van diverse types organische bemesting (o.a. stalmest, drijfmest, compost) op biomassa en/of aantal regenwormen kan ook door een Zwitserse lange termijn proef⁽²⁵⁴⁾ en diverse experimenten in onze regio bevestigd worden. Soms zijn deze effecten duidelijk, soms minder. In elk geval kon het omgekeerde nooit significant worden aangetoond, namelijk dat minerale bemesting beter zou zijn dan organische bemesting voor de regenwormenpopulatie^(96,98,238,241,358,412,458).

Verskillende metingen in de meststoffenproef in Melle geven aan dat biomassa en aantal regenwormen hoger is bij stalmest en drijfmest dan composttoepassingen^(238,412). In de meststoffenproef te Beitem werden op twee meettijdstippen de hoogste aantallen regenwormen geobserveerd in de behandeling met een combinatie van stalmest en drijfmest en het laagste bij boerderijcompost. De behandelingen met alleen stalmest en drijfmest afzonderlijk lagen samen met de groencompostobjecten ergens tussenin^(34,98). Volgens Koopmans et al.⁽²²⁵⁾ is vaste mest gunstig voor regenwormen omdat de wormen organische mest direct consumeren en vaste mest een evenwichtig aanbod van stikstof en koolstof biedt. Drijfmest zorgt dan weer dat regenwormen meer

jong strooisel kunnen consumeren door een versterkte groei van het gewas. Dit effect zou in principe ook met minerale bemesting kunnen worden vastgesteld.

C.4.5. Effect op landbouwkundige parameters

C.4.5.1. Bemestingsmethodes en effect op stikstofbenutting

(232)

Strengere bemestingsnormen leiden tot steeds meer aandacht voor een optimale benutting van de toegediende meststoffen door de plant. De stikstofbenutting kan worden vergroot door het aanbod in de ruimte en in de tijd zo goed mogelijk af te stemmen op de opname en de behoefte van het gewas.

Betere benutting in de ruimte

- **Het verbeteren van de toepassingswijze.**

Door aandacht te hebben voor de toepassingswijze van de meststof kunnen voedingsstoffen daar worden aangebracht waar ze worden opgenomen, met name in de wortelzone.

- **Rijenbemesting.** In tegenstelling tot een breedwerpige gift zorgt rijenbemesting ervoor dat de bemesting wordt toegediend daar waar de wortels van het gewas het gemakkelijk kunnen bereiken. Hierdoor wordt de uitspoeling van mobiele nutriënten (zoals stikstof) beperkt omdat de grond in de niet-bewortelde delen niet wordt bemest. Rijenbemesting kan zowel bij minerale mest als bij injectie van drijfmest worden toegepast. Injectie van drijfmest in de rij is technisch iets moeilijker omdat er gevaar is voor wortelschade door de kouters van de mestinjecteur. Daardoor moet men iets verder van de rij bemesten. Dit kan worden voorkomen door gelijktijdig met het zaaien te bemesten. In de teelt van snijmaïs kan tot 30% op de mestgift bespaard worden door het toepassen van rijenbemesting;
- **Beddenbemesting.** Dit volgt het principe van de rijenbemesting. Bij beddenbemesting wordt er niet bemest tussen de bedden en op de kopakkers; alleen de bedden waarop verschillende rijen van het gewas staan worden bemest;
- **Fertigatie.** Bij fertigatie worden opgeloste meststoffen door middel van irrigatieslangen dicht bij de planten gebracht. Het is een dure techniek die alleen kan werken bij gewassen met een hoog rendement;
- **Bladbemesting.** Hierbij worden meststoffen rechtstreeks op de plant gespoten in plaats van toegediend aan de bodem. Dit wordt gebruikt om een acuut stikstofgebrek op te heffen of om een gewas visueel aantrekkelijker te maken.
- **Het inspelen op de ruimtelijke variabiliteit van een perceel.**
Bij het bepalen van een bemestingsadvies gaat men er meestal van uit dat een perceel een homogeen geheel is. In werkelijkheid kunnen echter grote variaties optreden in de bodemeigenschappen binnen een perceel. Hierdoor worden bepaalde delen onderbemest en andere delen overbemest. De benutting van de meststof is hierdoor suboptimaal en in de overbemeste delen kunnen verliezen ontstaan. Door de ruimtelijke variabiliteit van een perceel in rekening te brengen kan de bemesting veel beter worden afgestemd op de behoefte van het gewas. Dergelijke systemen vergen een extra investering, zijn complexer en vereisen de nodige ervaring om een maximaal resultaat te verkrijgen.

Betere benutting in de tijd

Een betere benutting van meststof kan bekomen worden door niet veel tijd tussen het bemesten en het zaaien te laten. Op deze manier is er minder kans op verliezen. Daarnaast kan de benutting nog worden verhoogd door het bemesten te fractioneren in de tijd en gebruik te maken van “slow- en controlled-release” meststoffen.

- **Fractionering van bemesting in de tijd.**

Dit betekent dat gedurende het groeiseizoen één of meerdere keren wordt bijbemest. Op die manier kan beter worden ingespeeld op het verloop van de opname door het gewas. De bijbemesting kan worden gebaseerd op stikstofmetingen in het bodemprofiel tijdens het

groeiseizoen, op plantsapmetingen of op metingen van de bladkleur of gewasreflectie (bv. chlorofylmeting).

- **Gebruik van slow- en controlled-release meststoffen.**

De nutriënten in deze meststoffen komen geleidelijk beschikbaar voor de plant. Op die manier wordt de beschikbaarheid van de toegediende nutriënten gespreid over de tijd (2-9 maanden). Deze beschikbaarheid is sterk afhankelijk van temperatuur en neerslag. Slow- en controlled-release meststoffen kunnen op verschillende principes gebaseerd zijn. Een voorbeeld is een nitrificatierepeller die de omzetting van ammonium in nitraat vertraagt, zodat uitspoeling en denitrificatie van nitraat wordt voorkomen en de benutting van de gegeven stikstof verhoogt. De werking bedraagt 6-8 weken.

Door de bemestingstechnieken aan te passen kan de stikstofbenutting dus verhoogd worden. Anderzijds leeft de hypothese dat een goede chemische, fysische en biologische bodemkwaliteit de stikstofbenutting verhoogt. Momenteel loopt hierover op ILVO in samenwerking met de telersvereniging Symbios en Universiteit Gent een doctoraatsonderzoek.

C.4.5.2. Effect op ziektedruk

“Kent compost een ziekteonderdrukkend effect?”

Aan compost wordt vaak een ziekteonderdrukkend effect toegeschreven. Dit wordt bevestigd door vele experimenten in de internationale literatuur met GFT- en groencompost ⁽²⁸⁴⁾. Het ziekteonderdrukkend effect kan te danken zijn aan biologisch antagonisme waarbij andere organismen de ziekteorganismen hinderen in hun groei en activiteit (A.6.3.1) ^(238,284). Fysische en chemische factoren, zoals de impact van compost op de bodem-pH kunnen echter ook een rol spelen ⁽²⁸⁴⁾. De meest onderzochte ziektes zijn *Fusarium sp.*, *Phytophthora sp.*, *Pythium sp.* en *Rhizoctonia solani*. Naar plantparasitaire nematoden is veel minder onderzoek gebeurd. De resultaten zijn meestal positief, maar sterk variabel. Voorlopig kan niet voorspeld worden aan de hand van composteigenschappen in welke mate compost ziekteonderdrukkend zal werken en tegen welke ziekte. De meeste experimenten gebeurden ook in potten of containers en de resultaten kunnen niet zonder meer voor veldsituaties worden veralgemeend. Van de 21 gerapporteerde veldexperimenten zijn er acht waarvan compost een neutraal effect heeft op pathogenen en 13 waarvan compost ziekteonderdrukkend werkt. Er zijn aanwijzingen dat grote ziekteonderdrukking (>50 %) slechts bereikt wordt met grote toepassingen van compost (>100 ton/ha). Dit kan mogelijk conflicten geven met de mestwetgeving ⁽²⁸⁴⁾. Bockhorst en ter Berg ⁽⁵³⁾ zien de rol van compost niet als snelwerkend preventief of genezend ziekteverminderend middel maar als een onderdeel van goed bodembeheer dat een goede vruchtwisseling met voldoende OS-opbouw combineert en zo het bodemleven versterkt en bodemziekten onderdrukt.

Naast compost is aangetoond dat ook andere organische meststoffen ziekteverminderend kunnen werken ⁽⁴⁾. Dit wordt ook bevestigd door een aantal proeven in Vlaanderen en Nederland ^(54,238,241,412,458). De resultaten zijn echter divers en te variabel om eenduidige conclusies te kunnen trekken.

C.4.5.3. Effect op gewasopbrengst

“Brengt de toepassing van organische mest meer of minder op?”

Doorgaans valt te verwachten dat organische mest, vanwege zijn organische component, een meerwaarde heeft ten opzicht van minerale meststoffen. Denk hierbij aan de opbouw van het OS-gehalte, effecten op fysische bodemeigenschappen en ziekteverminderbaarheid van de bodem. Bokhorst en ter Berg ⁽⁵³⁾ vermelden twee studies die de meerwaarde van stalmest en GFT-compost ten opzichte van minerale mest aantonen. Bij opdrijving van minerale stikstof kon bij mineraal bemeste veldjes nooit de opbrengst behaald worden als bij veldjes waarbij een combinatie van minerale stikstof en stalmest of GFT-compost werd toegepast. Ook D'Hose et al. (2010) stellen na vier jaar compostgift (boerderijcompostproef Melle) een significante stijging van de gewasopbrengst vast die niet louter toe te schrijven is aan een stikstofeffect, maar aan een verbeterde bodemkwaliteit. Deze effecten zijn

echter niet universeel ⁽¹²⁸⁾. Veel hangt af van de lokale situatie en het geteelde gewas. In bodems waar problemen optreden kan het effect veel duidelijker zijn dan waar gewasopbrengst niet gelimiteerd wordt door een slechte bodemkwaliteit ⁽⁵³⁾. Edmeades ⁽¹²⁸⁾ leidt uit een aantal internationale lange termijn experimenten af dat wellicht heel grote verschillen in bodem OS, veroorzaakt door toepassing van organische bemesting, nodig zijn vooraleer er een effect op de gewasopbrengst, andere dan het effect van de nutriënteninput, tot uiting komt.

Figuur 26. Injectie van drijfmest met zware machines dient op het gepaste moment te gebeuren om structuurschade te vermijden.



C.4.6. Bemesting: conclusies

Het effect van bemesting op bodemkwaliteit hangt nauw samen met het al dan niet aanbrengen van organisch materiaal en de kwaliteit ervan. Het aanbrengen van organisch materiaal is niet alleen gunstig voor de opbouw van bodem OS, maar ook voor fysische en biologische bodemeigenschappen. Deze gunstige effecten van organische bemesting ten opzicht van minerale mest konden experimenteel worden aangetoond. Resultaten zijn echter variabel en hoewel ook verschillen te verwachten zijn tussen organische mestsoorten, zoals compost versus drijfmest, is het niet evident om deze verschillen ook in het veld op te meten. In de bodem werken veel processen op elkaar in. Ook de Ausgangssituatie, de periode waarover een bepaalde strategie wordt toegepast en de bodembewerking bepaalt in welke mate een effect duidelijk meetbaar is. Verder wordt in experimenten naast het hoofdtype bemesting, zoals compost, soms ook nog andere types zoals minerale mest toegepast om de plant van voldoende nutriënten te voorzien, of zijn er verschillen in wijze en tijdstip waarop de meststoffen worden toegepast (bv. stalmest in de herfst en minerale bemesting in het voorjaar). Ook deze factoren verklaren mee waarom effecten soms moeilijker meetbaar zijn ⁽¹²⁸⁾.

Daarnaast is het voor de praktijk belangrijk om de haalbaarheid van bepaalde maatregelen te evalueren binnen het volledige teelttechnisch systeem. Zo kan men bv. veronderstellen dat directzaai moeilijk te combineren valt met drijfmestinjectie, vermits drijfmestinjectie doorgaans gevolgd wordt door een bewerking van de bodem. Redenen voor die bewerking zijn (1) de noodzaak om de structuurschade door de zware machines op te heffen en wielsporen uit te wissen, en (2) de kans dat de gewassen gezaaid worden in de rij waar drijfmest geïnjecteerd werd indien er geen bewerking gebeurt. In dat laatste geval zal de opkomst van de gewassen erg bemoeilijkt worden. Toch is men ook in dergelijke situatie niet noodzakelijk louter aangewezen op gebruik van minerale meststoffen. Zo wordt in Nederland (WUR) momenteel onderzoek gedaan naar de mogelijkheden om drijfmest aan te voeren via precisie-toediening. Hierbij wordt drijfmest in rijen geïnjecteerd en wordt vervolgens in een tweede werkgang gezaaid, met een precisie van ongeveer 2 cm (H. ten Berge, pers. comm.).

Strengere bemestingsnormen zorgen ervoor dat zorgvuldig met de bemesting moet worden omgesprongen. Hierbij kan het best gestreefd worden naar een strategie waarbij zowel aandacht is voor de plant (minerale en snelwerkende organische meststoffen) als de bodem (stabiele organische meststoffen).

C.5. Gewasbescherming en interactie met andere maatregelen

C.5.1. Inleiding

Onkruidruk, ziektes en plagen kunnen een aanzienlijk opbrengstverlies veroorzaken. Uit de voorgaande paragrafen bleek reeds dat het voorkomen van onkruiden, ziektes en plagen in belangrijke mate wordt beïnvloed door teelttechnische maatregelen ⁽³⁵⁷⁾. Bodembewerking, teeltkeuze en –rotatie, groenbedekkers en bemesting hebben allen een aanzienlijke impact. Daar waar in de voorgaande tekst per type maatregel met name de effecten op ziekte-, plaag- en onkruidruk beschreven werden, wordt in deze laatste paragraaf een poging ondernomen om de conclusies hierrond te bundelen, en een aantal efficiënte methodes op het vlak van bestrijding summier te beschrijven. Uitgangspunt is telkens het belang van een holistische **systeembenadering**.

Aandacht gaat met name uit naar meer duurzame, alternatieve bestrijdingsconcepten. De chemische benadering van ziekten, plagen en onkruid in de land- en tuinbouw begint namelijk haar grenzen te bereiken, mede door regelgeving maar ook door het groeiende besef van duurzaamheid in de sector en bij consumenten ⁽⁴⁵⁹⁾.

C.5.2. Duurzame onkruidbestrijding

(171)

In het verleden steunde onkruidbestrijding in de akkerbouw vaak op de toepassing van breedwerkende herbiciden. Dit was eenvoudig en relatief goedkoop, maar gaf op langere termijn aanleiding tot uitbreiding van minder gevoelige onkruidsoorten, resistentieontwikkeling, en contaminatie van bodem en oppervlaktewater. Ook de korte termijnvisie die de laatste decennia ontstond, en gericht is op het gebruik van herbiciden om een specifieke, actuele onkruidproblematiek in een gegeven gewas aan te pakken, zorgde voor een toename van de onkruidruk, moeilijker te beheersen onkruidsoorten en het ontstaan van resistentie. Op lange termijn werd zo het probleem van veronkruiding steeds groter, en stegen de bestrijdingskosten.

Hierdoor is de interesse in alternatieve concepten voor onkruidbestrijding (bv. spuitschema's op basis van verlaagde dosissen, combinatie van chemische en mechanische bestrijding) sterk toegenomen.

Een meer duurzaam uitgangspunt is dat onkruidbestrijding dient te gebeuren op een **geïntegreerde manier**. Dat betekent dat gestreefd moet worden naar een optimalisatie van het volledige teeltsysteem over een langere periode, eerder dan naar onkruidcontrole op zich. Een **uitgekiende afstemming van teelttechnische maatregelen** speelt een doorslaggevende rol. Op deze manier evolueert men van onkruidbestrijding naar onkruidmanagement. De belangrijkste componenten van dergelijke **preventieve benadering** van onkruiden zijn:

- Tijdstip en keuze van bodembewerkingen;
- Teeltkeuze, rassenkeuze en teeltrotatie;
- Gebruik van groenbedekkers;
- Zaaitijdstip en –dichtheid;
- Rijenafstand;
- Bemestingsregime;
- Akkerrandenbeheer.

Bodembewerkingen en de aanleg van een vals zaaibed

(Zie ook [C.1.6.3](#))

Het effect van bodembewerkingen is direct: onkruiden worden afgesneden, onworteld, bedekt. Verder heeft de bodembewerking een belangrijke invloed op de kieming van onkruidzaden. Ook de keuze voor een **kerende dan wel niet-kerende bodembewerking** speelt een grote rol: doorgaans ontstaat een sterkere onkruidruk door grasachtigen en wortelonkruiden onder NKG ^(223,388).

De frequentie en het tijdstip van de bodembewerkingen zijn evenzeer bepalend voor het effect op de onkruidpopulatie. Een mooi voorbeeld daarvan is het principe van een **vals zaaibed**, waarbij onkruidzaad geëlimineerd wordt vóór de inzaai van het gewas. Een aantal weken voor de zaai wordt

het perceel eerst diep en daarna oppervlakkig bewerkt, bv. met een wiedege, rotorkopege of ontstoppelaar. Hierdoor gaan de onkruidzaden massaal kiemen, waarna de kiemplanten vervolgens bij de eigenlijke zaaibedbereiding afgedood worden.

Teeltrotatie, teelkeuze en rassenkeuze

(Zie ook [C.2.4.1](#))

Ieder gewas en teeltsysteem wordt gekarakteriseerd door een specifieke onkruidflora, bestaande uit soorten wiens ontwikkelingspatroon samenvalt met dit van het gewas. Bij monocultuur of beperkte vruchtwisseling ontstaat een grote selectiedruk ten voordele van één groep onkruiden, die dan ook massaal zullen uitbreiden. Daarom wordt doorgaans aanbevolen om in een teeltrotatie de gewastypes zodanig op elkaar te laten volgen dat de selectiedruk op de onkruidpopulaties gering is. Dit kan door bv. zomer- en wintervruchten, of granen en rooivruchten afwisselend toe te passen ⁽³⁶⁶⁾.

Wat rassenkeuze betreft, bepalen snelheid van bodembedekking en bladrijckdom de onderdrukingskracht van het gewas ten opzichte van onkruid.

Groenbedekkers

(Zie ook [C.3.4.1](#))

Ook het beheer van groenbedekkers vormt een belangrijk aspect. Groenbedekkers kunnen onkruidonderdrukkend werken door directe competitie voor licht, nutriënten, water en ruimte, of door het vrijkomen van bepaalde giftige stoffen (allelopatische of fytoxische effecten) na het inwerken van de groenbedekkers. Algemeen wordt de toepassing van goed wortelende, snelgroeende groenbedekkers aanbevolen (zie hiervoor Bijlage I).

Bemestingsregime

(Zie ook [C.4.6.2](#))

Bemesting, en met name de snelheid van vrijgave van nutriënten, heeft eveneens een sterke invloed op de competitie tussen onkruid en gewas. Veel onkruiden zijn stikstofminnend.

Organische mest kan een relatief goedkoop substraat vormen voor de introductie van bv. schimmels toegepast voor biologische onkruidonderdrukking. Anderzijds kan organische mest ook in sterke mate bijdragen tot de verspreiding van onkruidzaden. De toepassing van compost kan op dat vlak een oplossing bieden. Voorwaarde is dat tijdens het compostingsproces een voldoende hoge temperatuur (>60°C) werd bereikt zodat de onkruidzaden hun kiemkracht verliezen ⁽³²⁾.

Andere teelttechnische maatregelen

Andere aspecten met een impact op de onkruidpopulatie zijn de **zaaimodaliteiten** en het **akkerrandenbeheer**. Zo worden doorgaans minder onkruiden aangetroffen bij een latere zaai, en bepalen de zaaidichtheid en rijenafstand de dichtheid van het gewas en dus het onderdrukkend vermogen. Een degelijk (mechanisch) onderhoud van de perceelsranden is van belang om invasie van onkruiden vanuit de akkerrand te voorkomen. Eventueel kan men er voor kiezen om maaisel af te voeren en zo de randen te verschrallen.

Mechanische onkruidbestrijding

Actieve onkruidbestrijding behoeft niet steeds de inzet van chemie. Net als bij een chemische bestrijding, kan het onkruid aangepakt worden voor of na het zaaien, en voor of na de opkomst van het gewas. Goed om weten is dat bij ieder tijdstip een andere techniek past. Naargelang het tijdstip en de omstandigheden, kan een mechanische bestrijding uitgevoerd worden met ondermeer een net- of wiedege, vaste schoffels, triltand- of rolschoffels, vinger-, torsie- of harkwieders. Verder spelen de zaaibedbereiding, de afstelling van de machines en de weersomstandigheden een belangrijke rol.

- Hoe kleiner het onkruid bij de bewerking, hoe beter het resultaat. Vaak spreekt men over het “witte-draadjes” stadium: het onkruidzaad is dan pas gekiemd en uiterst gevoelig voor bewerking.

- Tijdens en na de bewerkingen zijn droge weersomstandigheden een must. Een mechanische onkruidbestrijding lukt ook makkelijker op lichtere gronden.
- Een vlak zaaibed is steeds een vereiste om tot een goed resultaat te komen.
- Een goed afgestelde machine is van groot belang. Aandacht gaat daarbij in eerste instantie naar de plaatsing van de messen en tanden.
- Een volledig mechanische onkruidbestrijding is doorgaans erg moeilijk en leidt vaak tot een iets lagere opbrengst. Betere resultaten worden doorgaans geboekt met een combinatie van chemische en mechanische onkruidbestrijding.

C.5.3. Preventieve maatregelen om ziekte- en plaagwerendheid te vergroten

(88,357,459)

Bodemgebonden ziektes komen zelden voor in natuurlijke ecosystemen. In de landbouwcultuur kunnen ze echter voor hardnekkige problemen zorgen. Besmetting komt vaak door te intensief telen van een gewas, of aanvoer van besmet plant- of grondmateriaal (bv via rooimachines van loonwerkers). Een goed doordachte teeltrotatie is de basis om bodemziekten te beheersen, eventueel met aanvullende maatregelen als chemie of alternatieve (biologische) beheermaatregelen. Bestrijdingsmiddelen zouden echter zoveel mogelijk beperkt moeten worden, want sommige organismen wil je net behouden. Net als bij onkruidbestrijding het geval is, speelt een uitgekiende afstemming van teelttechnische maatregelen een doorslaggevende rol in een geïntegreerde ziekte- en plaagbestrijding.

Bodembewerking

(Zie ook [C.1.6.3](#))

Het effect van bodembewerking op ziekte- en plaagwerendheid is niet eenduidig. Enerzijds leiden kerende bodembewerkingen doorgaans tot afname van schade door wortelrot verwekkers (zoals *Fusarium*). Anderzijds is een kerende bodembewerking schadelijk voor belangrijke bodembiota, waaronder schimmels en microfauna. Het zijn net die micro-organismen die wortels gezond houden en bescherming bieden tegen lage dichtheden van ziekteverwekkers. Ook gereduceerde bodembewerking kan verschillende effecten hebben op ziekteontwikkeling. Als de gewasresten op het bodemoppervlak blijven of gedeeltelijk ondergewerkt worden, kan dit de microbiële biomassa en activiteit in de bodem bevorderen. In sommige gevallen leidt dit tot een verhoogde weerbaarheid, maar in andere gevallen zullen gewasresten er net voor zorgen dat een pathogeen kan overleven op plantenresten. Andere effecten zijn het gevolg van het onderwerken van de bodem bij een kerende bewerking. Dit kan ervoor zorgen dat pathogenen naar een diepere, minder gunstige omgeving verplaatst worden. Anderzijds hebben bepaalde pathogenen met persistente overlevingsstructuren hier juist voordeel van, en kunnen deze overlevingsstructuren bij een volgende diepe bewerking terug omhoog gehaald worden.

Teeltkeuze en -rotatie

(Zie ook [C.2.4.1](#))

In het algemeen wordt verondersteld dat een grotere diversiteit het bodemsysteem minder gevoelig maakt voor stress. Een grotere functionele plantdiversiteit maakt het waarschijnlijker dat binnen een bodem veel verschillende mechanismen actief zijn die leiden tot een grotere ziekte- en plaagwerendheid. Teeltrotatie wordt dan ook van oudsher gebruikt om ziekteverwekkers uit de bodem te weren. Door gewassen in de rotatie op te nemen die niet voor dezelfde ziekteverwekkers vatbaar zijn, zijn de schadelijke organismen immers uitgehongerd voordat het volgende vatbare gewas geteeld wordt. Dergelijke aanpak werkt natuurlijk minder effectief om ziekteverwekkers te onderdrukken die van een bredere waaier aan waardplanten of van afgestorven materiaal kunnen leven, en soorten die een efficiënte manier hebben om lang zonder voedsel te overleven ^(203,294,295).

Niet alleen een goede teeltrotatie, maar ook de gewas- en rassenkeuze op zich zijn erg belangrijk, met vaak een grote variabiliteit tussen rassen inzake resistentie tegen bepaalde pathogenen. Voor een aantal problemen kunnen wellicht ook genetisch gemanipuleerde organismen (ggo's) een oplossing zijn, maar daarover worden in de context van de huidige studie verder geen uitspraken gedaan.

Groenbedekkers – vanggewassen

(Zie ook [C.3.4.1](#))

De teelt van groenbedekkers kan een oplossing bieden bij de bestrijding van bepaalde hardnekkige ziektes en plagen. De keuze van de groenbedekker is daarbij bepalend, en kan aangestuurd worden om bodemgebonden ziektes en plagen te weren. Zo kunnen bepaalde rassen van het Afrikaantje (*Tagetes*) bodemaaltjes zoals het wortellesieaaltje vrijwel geheel uit bodems weren^(1,229). Echter, waar sommige ziekteverwekkers geweerd worden, worden andere juist gestimuleerd. Alvorens een keuze te maken is het daarom belangrijk te achterhalen voor welke ziekteverwekkers de groenbedekker werend is, en voor welke juist waardplant. Nuttige hulpmiddelen hierbij zijn de overzichtelijke programma's zoals Aaltjesschema (www.aaltjesschema.nl) en het Actieplan aaltjesbeheersing⁽¹⁾.

Compost

(Zie ook [C.4.5.2](#))

Dat compost een ziekteverwende werking kan hebben, is bekend. Het mechanisme achter de ziekte- en plaagwering door compost ligt in het feit dat een divers en actief microbieel bodemleven, gestimuleerd door compost, ziekteorganismen hindert in hun groei en activiteit. Ook effecten van compost of de fysische en chemische bodemeigenschappen zoals pH kunnen een rol spelen. De onderdrukking van compost varieert naargelang het type compost, de fysisch-chemische bodemsamenstelling, en de combinatie van plant en pathogeen. Voorlopig is het weinig bekend welk type compost in welke omstandigheden tegen welk organisme zal werken^(284,361).

Andere maatregelen

Andere preventieve maatregelen zijn ondermeer de toepassing van deklagen, het gebruik van chitine, of de introductie van specifieke antagonisten via compost, in de bodem, of tijdens de opkweek.

Een **deklaag** ("mulchlaag") kan bestaan uit vergaen of rottend organisch of ander materiaal, en wordt met name gebruikt om onkruiden tegen te gaan en vruchten schoon te houden. Ze kunnen echter ook de verspreiding van bepaalde bodemgebonden ziekten en plagen voorkomen.

Chitine is het hoofdbestanddeel van de huid van ongewervelden (bv. insecten, spinnen, garnalen en andere kreeftachtigen). Ook enkele schadelijke bodemorganismen zoals aaltjes en schimmels bevatten chitine. Door chitine op het land uit te rijden worden schimmels en bacteriën gestimuleerd die chitine af kunnen breken en daardoor ook groepen van ziekteverwekkers aantasten.

Wat de **introductie van specifieke antagonisten** betreft, kan het optreden van specifieke ziekteverwering versneld worden door preparaten van natuurlijke vijanden (schimmels of bacteriën) aan de bodem toe te voegen. Ook in de open teelten is een dergelijke benadering haalbaar, ondanks de minder stuurbare en beheersbare condities.

Tot slot kan opgemerkt worden dat twee of meerdere van de hiervoor beschreven methodes vaak succesvol gecombineerd kunnen worden. Zo worden sinds 2006 op een proefperceel in Nederland (Vredepeel) 10 verschillende behandelingen voor aaltjesbeheersing vergeleken, en blijkt bv. een combinatie van *Tagetes*, compost en chitine meest effectief te zijn⁽²²⁹⁾.

C.5.4. Actieve bestrijding van bodemziektes en –plagen

Voorkomen is steeds beter dan genezen, en een actieve bestrijding zou dan ook als laatste redmiddel moeten worden beschouwd, enkel toe te passen wanneer de ziektedruk werkelijk te hoog is opgelopen. Voor vele, vooral generieke (niet-specifieke) vormen van actieve bestrijding geldt namelijk

dat niet alleen pathogene organismen worden getroffen maar het gehele biotische systeem in meer of mindere mate aangetast wordt.

Gewasbespuiting met chemicaliën – hoe de impact te beperken?

(21,171,429)

De chemische bestrijding is nog steeds de meest gebruikte techniek. Hoe je het ook draait of keert, chemische bestrijdingsmiddelen blijven belangrijk. In België bv. ligt het verbruik vrij stabiel rond de 10.000 ton per jaar, waarvan ongeveer 60 % door de land- en tuinbouw gebruikt wordt.

Toch zijn ze bij voorkeur slechts als laatste redmiddel te beschouwen, want chemische bestrijdingsmiddelen richten heel wat schade aan. Niet alleen is de impact op het milieu en de biodiversiteit groot, ook de tol op de mens is bijzonder zwaar. Hoewel de gehanteerde residunormen in onze contreien voldoende strikt zijn om er van uit te gaan dat ons voedsel veilig is, is de blootstelling bij toepassing een groter gevaar. Jaarlijks krijgen wereldwijd miljoenen landbouwarbeiders te kampen met ernstige gezondheidsproblemen als gevolg van vergiftiging door bestrijdingsmiddelen.

Toch wordt steeds meer aandacht besteed aan het enigszins beperken van de negatieve impact van een chemische bestrijding. Zo werd het aantal bestrijdingsmiddelen tussen 1991 en nu van een kleine 1000 naar een 100-tal teruggedrongen, en de schadelijkheid tot zo'n 50 % gereduceerd. Daarnaast kan de landbouwer zich voor sommige teelten laten informeren via waarschuwingssystemen. Dergelijk systeem helpt een teler om op het juiste moment met het juiste middel te spuiten, op basis van ondermeer weersomstandigheden en actuele aanwezigheid van ziekte of sporen. Zo kan met een minimum aan middelen een ziekte of plaag zo effectief mogelijk bestreden worden.

Zonder verder op de details van chemische bestrijding in te gaan, worden hierna een aantal algemene, doorgaans gekende richtlijnen en mogelijkheden opgesomd voor een meer duurzame toepassing. Deze richtlijnen gelden zowel voor ziekte en –plaagbestrijding als voor chemische onkruidbestrijding:

- Pas een geïntegreerd bestrijdingssysteem toe, dat ondermeer steunt op teeltrotatie en een optimaal gebruik van bodembewerkingstechnieken;
- Kies steeds een product in functie van de te bestrijden onkruiden, pathogenen of plagen;
- Kies bij het samenstellen steeds voor de minst milieukritische componenten;
- Gebruik geen werkzame stoffen die in functie van de onkruidflora, pathogenen of plagen niet noodzakelijk zijn;
- Respecteer de bufferzone;
- Gebruik drift reducerende doppen in de nabijheid van oppervlaktewater;
- Vermijd puntvervuiling en doseer;
- Pas spuitboomhoogte en spuitsnelheid aan naargelang de omstandigheden;
- Besteed aandacht aan de homogeniteit van de spuitvloeistof.

Chemische, fysische en biologische grondontsmetting

(88,318,459)

In deze paragraaf wordt tot slot kort een overzicht geschetst van de aanpak van bodemgebonden ziektes en plagen door **grondontsmetting**. Merk op dat deze technieken in onze contreien in de volleveldsteelt nauwelijks toegepast worden wegens weinig rendabel of effectief.

Een chemische grondontsmetting is doorgaans een stuk effectiever dan vele andere middelen, maar vaak ook schadelijker voor mens en milieu. In de aaltjesbeheersingsstrategie bv., betekent **natte grondontsmetting** een grote aanslag op het bodemleven, dat daardoor langere tijd verstoord kan zijn. **Granulaire** nematiciden hebben een veel geringere impact: zij verdoven aaltjes tijdelijk zodat de plant de kans krijgt ongestoord te groeien.

De laatste jaren is er door het teruggedrongen arsenaal aan chemische middelen, steeds meer aandacht gekomen voor fysische en biologische vormen van grondontsmetting. **Stomen** is daarbij de meest rigoureuze methode: door verhitting van de bouwvoor met stoom wordt al het bodemleven gedood. Er kleven echter meerdere bezwaren aan stomen. Zo blijft bv. na verwijdering van de stoomzeilen een min of meer steriel substraat achter, dat zeer snel opnieuw gekoloniseerd wordt vanuit de lucht en de niet-ontsmette gronddelen aan de randen. Deze pathogenen hebben vrij spel, waardoor het probleem na afloop van het stomen in sterkere mate terugkomt.

Anaerobe (biologische) grondontsmetting en biofumigatie worden vaak als afgezwakte varianten van stomen beschouwd. Het principe van een **anaerobe of biologische grondontsmetting** is dat een grote hoeveelheid vers OM wordt fijngemaakt en in de bouwvoor wordt ingewerkt. Na afdekken van het perceel met een zuurstofdicht plastic, leidt de anaerobe vertering van deze massa tot afbraakproducten die dodelijk zijn voor veel aaltjessoorten en andere ziekteverwekkers.

Bij **biofumigatie** wordt gebruik gemaakt van gewasresten van planten uit de Brassicaceae familie, die glucosinolaat bevatten. Bij de afbraak hiervan komen namelijk stoffen vrij die schimmelremmende of – dodende eigenschappen hebben. Net als bij anaerobe grondontsmetting, worden de gewasresten ondergewerkt en kunnen ze vervolgens afgedekt worden met folie (hoewel dit niet noodzakelijk is). Hoe deze biofumigatie uitpakt met betrekking tot duurzame ziekteverwerendheid, kan nog niet worden beoordeeld.

Andere vormen van grondontsmetting zijn solarisatie, inundatie, hete luchtbehandeling, of bestraling met gamma-, UV- of X-stralen, microgolven, ultrasoon of elektrocutie. Tot dusver hebben deze in onze contreien niet echt geleid tot praktijktoepassingen.

Samenvattende conclusies en suggesties

Bodemkwaliteit en landbouw: complexiteit en samenhang

Voor veel vragen die aan bod komen in het interreg project BodemBreed is reeds een antwoord te vinden in publicaties over eerder en elders uitgevoerd onderzoek. Het zou zonde zijn om van die informatie geen gebruik te maken. Toch is die kennis erg versnipperd, en beperkt ze zich vaak tot één heel concrete situatie. De uitdaging van deze literatuurstudie is dan ook om een breed beeld te schetsen van de bodem, en om op een objectieve wijze en op basis van gefragmenteerde informatie de effecten van het landbouwkundig gebruik op bodemkwaliteit en landbouwkundige geschiktheid inzichtelijk te maken.

In het theoretisch **deel A** van deze studie werden bodemkwaliteit en landbouwkundige geschiktheid gedefinieerd en het belang van individuele bodemeigenschappen en –processen toegelicht. In dit deel wordt reeds duidelijk hoe complex de interacties in de bodem kunnen zijn, en hoe een wijziging van één aspect vaak een kettingreactie van veranderingen in de bodem op gang kan brengen. Die **complexiteit en samenhang** komt verder tot uiting in **deel C**, waar de relaties tussen bodemkwaliteit en het beheer van de bodem in kaart gebracht wordt door het beschrijven van de invloed van bodembewerking, teeltkeuze en –rotatie, groenbedekkers, bemestingsregime en gewasbescherming op de bodemkwaliteit. De ervaring leert inderdaad dat tussen teelttechnische maatregelen onderling en tussen maatregelen en de natuurlijke omgeving vaak complexe interacties bestaan.

Dat is bv. zo voor **bodembewerking**, waar naast de interacties met andere teelttechnische maatregelen, met bodemcondities of met weersomstandigheden, ook de enorme diversiteit aan systemen en bruikbare machines tot een brede waaier aan mogelijke effecten leiden.

Een grondige evaluatie van de op dit moment beschikbare kennis en ervaring leert dat de toepassing van gereduceerde (niet-kerende) bodembewerking een aantal substantiële voordelen kent, zeker in combinatie met behoud van gewasresten. Verminderde run-off en bodemerosie, minder uit- en afspoeling van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen, een verhoogd organisch koolstofgehalte in de toplaag, een verbeterde bodemstructuur en stabiliteit, en een betere drainage en waterberging zijn effecten die mits een correcte toepassing op termijn praktisch steeds gehaald worden. Andere effecten zijn minder eenduidig voorspelbaar, en vaak sterk situatiegebonden. Effecten op gewasopbrengst en –kwaliteit zijn doorgaans relatief beperkt: verliezen zijn zeker niet dramatisch, maar men hoeft ook geen echte meeropbrengst te verwachten. De gewasopbrengst is best bij de toepassing van niet-kerende grondbewerking tot ploegdiepte. Men zou wellicht kunnen concluderen dat de vraag “ploegen of niet-kerende bewerking?” in synthese beantwoord kan worden met “ploegen én niet-kerende bewerking, maar zo min mogelijk verstorend”. Gezien de vaak erg variabele resultaten naargelang een hele reeks bijkomende factoren, en het doorslaggevende belang van een bewerking aangepast aan en onder gunstige omstandigheden, zou het gezond boerenverstand moeten primeren boven een té rigide benadering van de keuze voor een bepaald type bewerking. Onafhankelijk van die keuze kunnen in elk geval een aantal logische regels nageleefd worden. Denk aan niet te snel en geen te natte grond bewerken, niet dieper bewerken dan nodig, zo min mogelijk mengend werken, bandenspanning aanpassen enzovoort. Verder is een goede afstemming met andere teelttechnische maatregelen hier van groot belang.

Zo vervult ook een zorgvuldig opgestelde **teeltrotatie** een aantal cruciale functies. Het roteren van verschillende gewassen blijkt bovenal een erg efficiënte maatregel te zijn bij het voorkomen en/of beheersen van bodemgebonden en gewasspecifieke ziekten, plagen en onkruiden. Maar bij de gewasopvolging dient met nog heel wat andere zaken rekening gehouden te worden. Denk daarbij bv. aan een goede afstemming met de oogstdatum van het vorige gewas en de zaaidatum van het volgende gewas. Ook het inbouwen van voldoende diep en intensief wortelende gewassen voor een stabiele bodemstructuur, een goede infiltratie en beperkt risico op bodemverdichting, of het inbouwen van gewassen die veel en kwaliteitsvol organisch materiaal nalaten onder de vorm van oogstresten is belangrijk. Bij de conventionele eenjarige gewassen scoren graangewassen doorgaans best op het

vlak van duurzaamheid, maar vooral meerjarige teelten vereisen vaak weinig bodembewerkingen, nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen en slagen er heel goed in om erosie te vermijden.

Als onderdeel van de teeltrotatie vormt de teelt van **groenbedekkers** een bijzondere maatregel. Hoewel de specifieke invloed van groenbedekkers op bodem en omgeving sterk varieert naargelang de beschouwde soort, kunnen een aantal algemeen kenmerkende trends beschreven worden. Via beworteling en de toelevering van organisch materiaal, zijn groenbedekkers voor de bodemstructuur van groot nut, en liggen aan de basis van een aaneenschakeling van doorgaans positieve effecten op ondermeer aggregaatstabiliteit, porositeit, permeabiliteit, waterbergend vermogen en reductie van verslumping en verdichting. Zeker op wat langere termijn kan deze uitwerking een significant verschil uitmaken. Samen met een bovengrondse bedekking resulteert dit in een effectieve reductie van run-off en erosie. Een functie die op heden bijzonder veel aandacht krijgt, is de mogelijkheid om een deel van de stikstof vast te leggen die na de oogst van het hoofdgewas in de bodem is achtergebleven of vrijkomt bij mineralisatie van organische stof. Daardoor kan de stikstofuitspoeling tijdens de daaropvolgende periode worden verlaagd en kan een volggewas profiteren van de geleidelijk beschikbaar gestelde stikstof uit de gewasresten van de groenbedekker. Hoeveel stikstof werkelijk gebonden en daarna vrijgegeven wordt, is afhankelijk van diverse factoren en daardoor vaak moeilijk voorspelbaar.

Meststoffen leveren voedingstoffen aan het gewas of de bodem, maar kunnen daarnaast ook een bodemverbeterende werking hebben. Het effect van **bemesting** op bodemkwaliteit hangt nauw samen met het al dan niet aanbrengen van organisch materiaal, wat niet alleen gunstig is voor de opbouw van bodem organische stof, maar ook voor een aantal fysische en biologische bodemeigenschappen. Niet alleen tussen minerale en organische meststoffen, maar ook tussen organische mestsoorten onderling zijn verschillen te verwachten. Toch is het niet evident om deze verschillen ook in het veld op te meten, omdat ook hier opnieuw veel processen in de bodem tegelijk een rol spelen en op elkaar inwerken. Ook de uitgangssituatie en de periode waarover een bepaalde strategie wordt toegepast, bepaalt in welke mate een effect duidelijk meetbaar is. Strengere bemestingsnormen zorgen ervoor dat zorgvuldig met de bemesting moet worden omgesprongen. Hierbij kan best gestreefd worden naar een strategie waarbij zowel aandacht is voor de plant (via minerale en snelwerkende organische meststoffen) als de bodem (via stabiele organische meststoffen).

Opvallend is dat bij elk van die teelttechnische maatregelen in de praktijk een aantal gelijkaardige **knelpunten** regelmatig terug op de voorgrond treden. Een belangrijke problematiek in onze contreien is met name het **tijdstip** waarop een maatregel uitgevoerd kan worden. Denk aan de bezorgdheid om de bodem op het gepaste tijdstip te kunnen bewerken en zo verdichting te vermijden, of de moeilijkheid om groenbedekkers tijdig in te zaaien bij een late oogst van de voorteelt. Men is daarbij niet alleen afhankelijk van de gewasontwikkeling en bodemgeschiktheid, maar ook van de planning van de verwerkende industrie. Zeker een combinatie van niet-kerende grondbewerking en teelt van groenbedekkers blijkt soms moeilijk te verzoenen, waarbij bv. een voorafgaande bodembewerking in het najaar vaak in ongunstig natte omstandigheden moet gebeuren, of een bewerking op de wintervoor (van belang voor een goede vorstwerking op zwaardere kleigronden) niet mogelijk is wanneer een groenbedekker op het veld staat. Ook de vernietiging en inwerking van groenbedekkers vereist onder niet-kerende grondbewerking extra inspanningen.

Verder vormt de impact van concrete maatregelen op **onkruid-, plaag- en ziektedruk** een terechte bezorgdheid, waarbij het erg moeilijk is om eenduidige antwoorden te bieden gezien de vaak erg variabele resultaten. De boodschap die hier telkens terug doorklinkt is dat een goede afstemming met andere teelttechnische maatregelen van fundamenteel belang is.

Dat is ook het uitgangspunt van een duurzame, preventieve en geïntegreerde benadering in de **ziekte-, plaag- en onkruidbestrijding**. Een optimalisatie van het volledige teeltsysteem over een langere periode leidt uiteindelijk tot betere resultaten dan de individuele aanpak van een concreet probleem op zich. De chemische benadering van ziekten, plagen en onkruid in de land- en tuinbouw bereikt bovendien haar grenzen, mede door regelgeving maar ook door het groeiende besef van duurzaamheid in de sector en bij consumenten.

Inzicht in de hiervoor beschreven interacties tussen landbouwkundig gebruik, bodemkwaliteit en landbouwkundige geschiktheid maakt het mogelijk een aantal concrete problemen op een gerichte manier aan te pakken. Zeker wanneer men voor een specifieke situatie en voor belangrijke bodemeigenschappen ook nog eens duidelijke streefzones kan afbakenen, zoals in **deel B** voorgesteld werd.

Een mooi voorbeeld van hoe een concreet probleem aangepakt kan worden door een uitgekiende afstemming van verschillende teelttechnische maatregelen, is de aanpak van de **dalende trend van het organische stofgehalte** in de bodem. Om die negatieve trend te keren, moet met name de aanvoer van effectieve organische stof toenemen en de afbraak van stabiele organische stof beperkt worden. Een greep uit de voornaamste suggesties:

- Beperk de toepassing van intensieve **bodembewerking**. Zodoende kan men de afbraaksnelheid van organische koolstof beperken. Daarnaast concentreert een niet-kerende bodembewerking organische stof in de toplaag;
- Besteed aandacht aan de inbouw in de **teeltrotatie** van gewassen die kwaliteitsvol organisch materiaal nalaten op het veld. Denk daarbij bv. aan graangewassen;
- Besteed aandacht aan de teelt van **groenbedekkers**. Vooral bij een goede ontwikkeling zorgt dit voor een sterke aanvoer van vers organisch materiaal. De effectieve organische stofaanrijking is variabel, maar doorgaans relatief laag ten aanzien van bv. de bijdrage die door het inwerken van graanstro plaatsvindt;
- Vervang indien haalbaar **dierlijke mest** met een laag effectief organisch stofgehalte (bv. varkensdrijfmest) door dierlijke mest met een hoge effectief organisch stofgehalte (bv. runderdrijfmest) per toegediende eenheid stikstof of fosfaat;
- Overweeg de toepassing van **compost**. Dit is wellicht de meest waardevolle maatregel, maar de huidige regelgeving en trage vrijstelling van stikstof vormen op heden belangrijke knelpunten.

Op gelijkaardige manier kunnen een aantal afgestemde maatregelen gesuggereerd worden om een goede bodemstructuur te verzekeren en **verdichting** tegen te gaan:

- **Bewerk** nooit dieper dan strikt noodzakelijk is. Wanneer men de grond dieper losmaakt dan waar de verdichting aanwezig is, komen toekomstige verdichtingen alleen maar dieper te zitten;
- Het tijdstip van bewerking heeft een potentieel grote impact op het eindresultaat. Vermijd werken onder ongunstige (te natte) omstandigheden;
- Afhankelijk van de situatie zal een bepaalde bewerking de voorkeur genieten. Het opheffen van diepe verdichting behoeft daarbij niet altijd een ploeg. Diepe bodembewerking kan bv. ook met een decompactor, een diepwoeler of een diepspitter gebeuren;
- Rij direct na de bewerking op lage druk en alleen onder goede (droge) omstandigheden;
- Rij (zeker vlak na de bewerking) op lage druk;
- Vermijd bij toepassing van een niet-kerende bewerking het werken met woelers die over een grote breedte in het horizontale vlak door de grond snijden wanneer het risico op verdichting reëel is. Een smalle, stekende beitel doet het risico op versmering dalen;
- Zaaimachines met te zware combinaties beperken dan wel het aantal werkgangen, maar leiden tot verslemping bij regenval vlak na de zaai, en zodoende tot verdichting;
- Gebruik sporenwissers om plasvorming te voorkomen, en ondergronders (op een zandige bodem) om de vorming van een ploegzool te vermijden;
- Overweeg de teelt van een diep wortelende **groenbedekker** na de diepe, corrigerende bewerking. Zo kan de doorwortelbaarheid geconsolideerd en de impact op het bodemleven en met name de regenwormpopulatie beperkt worden;
- Ook andere **diep wortelende gewassen** als graan of luzerne zijn in die optiek erg nuttig. Dergelijke “natuurlijke” aanpak kan zelfs voldoende zijn om lichte verdichting aan te pakken zonder mechanische bewerking.

Dit is slechts een kleine greep uit de aanbevelingen die geformuleerd kunnen worden op basis van de informatie ingebouwd in deze studie. Voor een meer volledige benadering van een aantal

praktijkgerichte vragen, wordt verwezen naar de website van het interreg project BodemBreed (www.bodembreed.eu), waar een vertaalslag wordt voorgesteld naar een breed publiek van landbouwers, om zo de resultaten op een eenvoudige manier toegankelijk te maken.

Haalbare evolutie naar een bewust bodemgebruik in de landbouw?

Doorheen de tijd hebben snelle maatschappelijke veranderingen de landbouwer steeds in een bepaalde denk- en werkrichting gedwongen. De landbouwpraktijk zoals we die hier vandaag kennen wordt sterk beïnvloed door een combinatie van vele factoren: de liberalisering van de wereldmarkt voor landbouwproducten, de nog steeds stijgende wereldvraag naar voedsel, de scherpe prijzenpolitiek, de strenge kwaliteitseisen, hoge investeringskosten. Productiviteit en snelheid hebben in die context decennialang bijna alle aandacht opgeëist.

Vaak noodgedwongen werden en worden daarbij nog steeds teelttechnische maatregelen en controle van eventuele problemen uitgevoerd met onvoldoende aandacht voor de gevolgen op langere termijn. Denk daarbij aan intensieve bodembewerking, korte teeltrotaties en chemische benadering van ziekten, plagen en onkruid. Hoewel op korte termijn vrij doeltreffend om bovengronds zichtbare problemen in de hand te houden, worden problemen betreffende ondermeer bodemstructuur, contaminatie van bodem en oppervlaktewater, ziektedruk en veronkruiding daarbij op lange termijn steeds groter, en stijgen de kosten.

Mede door regelgeving, maar ook binnen de grenzen van het ecosysteem bereikt deze benadering haar grenzen. Ook binnen de huidige context van groeiend respect voor milieu en natuurlijke rijkdommen en aandacht voor klimaatverandering, is die korte termijnredenering op vandaag niet langer houdbaar. Onder de scherpe mestwetgeving en normering van het gebruik van chemische gewasbeschermingsmiddelen, is er sprake van een toenemende afhankelijkheid van natuurlijke processen in de bodem om de bodemvruchtbaarheid op peil te houden en ziektedruk laag te houden. De bodem is een essentiële hulpbron waarmee de mens opnieuw moet samenwerken in plaats van haar te willen controleren. Juist onder het maaiveld bevindt zich het fundament van een duurzame en gezonde landbouwpraktijk. Dat is dan ook de kernboodschap van het Interregproject BodemBreed, waarbinnen deze studie werd uitgevoerd: het herstellen, behouden en verbeteren van de bodemkwaliteit door optimalisatie van bodembeheer vormt de essentie van een duurzame en kostenefficiënte landbouwpraktijk.

Sociaal en ecologisch duurzaam bodemgebruik hoeft daarbij niet in strijd te zijn met een optimale economische output, dit integendeel. De economische haalbaarheid van praktijkmaatregelen dient terecht beklemtoond te worden. Toch is het belangrijk te beseffen dat we uiteindelijk maar één aarde hebben die ons draagt of uitspuwt. De ecologische draagkracht van onze planeet is dan ook per definitie de basis voor een sociaal- en economisch rechtvaardige landbouw ⁽⁴²⁷⁾.

Duurzaam bodemgebruik in een globale context

(374, 427)

Deze studie behandelt duurzaam bodemgebruik in een context van akker- en tuinbouw in Vlaanderen en Nederland. Maar de impact van ons bodemgebruik en onze landbouwactiviteit beperkt zich niet tot de landsgrenzen. Zeker binnen de huidige context van een steeds verdere liberalisering van de wereldhandel in landbouwproducten, hebben lokale keuzes vaak verstrekkende gevolgen.

In Zuid-Amerika bv. wordt een enorme hoeveelheid soja verbouwd die gebruikt wordt als eiwitbron om onze veestapel te voeden. Dat heeft grote gevolgen voor het milieu en de lokale bevolking in landen zoals Brazilië en Argentinië. Om te kunnen voldoen aan de stijgende vraag is steeds meer grond nodig om de soja te telen. Op relatief korte tijd werden hele gebieden woud omgezet in soja-akkers en moet de productie van lokaal voedsel steeds meer wijken voor die van soja. Daarbovenop komen nog milieu- en gezondheidsproblemen door onzorgvuldig gebruik van minerale mest en gewasbeschermingsmiddelen ⁽⁴⁴¹⁾.

Ook ondoordacht gebruik van nutriënten brengt niet alleen lokaal maar ook globaal grote consequenties met zich mee. Door import van nutriënten uit het buitenland via bv. veevoeding (soja, maïs) en minerale (fosfaat)mest (ontgonnen in mijnen) worden de bodems van West-Europa steeds rijker, en die van voornamelijk Afrika, Zuid-Amerika en China steeds armer. Binnen enkele decennia zouden de fosfaatmijnen in China en Marokko uitgeput zijn, en over pakweg 100 jaar de wereldvoorraad. Hierdoor ontstaan “onduurzaamheidsspiralen”: in de arme spiraal wordt door uitputting de bodem steeds minder productief en door ontginning de omgeving vervuild, en in de rijke spiraal worden door overmatige inzet van hulpmiddelen bodemfuncties aangetast en de omgeving eveneens verontreinigd⁽³⁷⁴⁾.

Een aantal oplossingen ligt vandaag reeds binnen handbereik en werd ook binnen deze studie aangekaart. Denk daarbij bv. aan de eigen teelt van eiwitrijke gewassen zoals grasklaver, luzerne, lupine of kemp als alternatieven voor soja, of het creëren van voldoende mogelijkheden voor een efficiëntere toepassing van eigen organische mest en compost.

Niet alleen de landbouwer en het landbouwbeleid spelen hier een belangrijke rol, ook de consument bepaalt mee de keuzes die gemaakt worden, door wat hij aankoopt en wat hij eet. Een minstens even grote verantwoordelijkheid ligt bij de verwerkende industrie en groothandel.

Met de vinger wijzen naar één bepaalde groep werkt weinig constructief en is ook zelden terecht. Verantwoordelijkheid is steeds iets om te delen. Een grote uitdaging is daarom om niet alleen de hokjesmentaliteit in de natuur- en landbouwsector te doorbreken, maar nog wat verder te durven kijken: landbouwers, consumenten, verwerkende industrie, milieuorganisaties maar ook de derdewereldbeweging moeten daarvoor samen rond de tafel kunnen zitten. Haalbaarheid en een eerlijk inkomen voor de landbouwer moet daarbij steeds beklemtoond worden.

Bijlage I. Groenbedekkers: kenmerken en mogelijkheden

Voornaamste informatiebronnen: Belgische beschrijvende en aanbevelende rassenlijst voor voedergrassen en groenbedekkers ⁽⁷⁸⁾, Aanbevelende rassenlijst akkerbouw Nederland ⁽¹³⁰⁾, BDB ⁽¹⁸³⁾, Arvalis Institut du Végétal ⁽²³⁴⁾, Chambres d'Agriculture France ^(116,272), Proclam ^(263,299), POVLIT, Wageningen UR (PPO, PRI & ASG) ^(327,364), UCL ⁽⁹⁹⁾, K.U.Leuven ⁽³⁷³⁾, ITB ⁽¹¹¹⁾, Greenotec ⁽⁴⁴⁴⁾, Nitrawal, Agrotansfert ⁽²⁴⁴⁾, KBIVB, LCV, PIBO ⁽⁷²⁾, Hooibeekehoeve ⁽²⁶⁶⁾.

Groenbedekker ⁽¹⁾	Wetenschappelijke naam	Vorstgevoeligheid ⁽²⁾	Droogte-gevoeligheid	Opkomst en ontwikkeling
Grasachtigen		niet tot matig		
Italiaans raai gras	<i>Lolium multiflorum</i>	weinig	sterk	snelle opkomst, lange ontw ikkelings tijd
Engels raai gras	<i>Lolium perenne</i>	zeer weinig		snelle opkomst, lange ontw ikkelings tijd
Westers wolds raai gras	<i>Lolium multiflorum</i> var. <i>westers woldicum</i>			snelle opkomst, lange ontw ikkelings tijd
Winterrogge	<i>Secale cereale</i>	niet	weinig	matig snelle opkomst, lange ontw ikkelings tijd
Zomerhaver	<i>Avena sativa</i>	matig	weinig	matig snelle opkomst, lange ontw ikkelings tijd
Japanse haver	<i>Avena strigosa</i>	matig	weinig	snelle opkomst, lange ontw ikkelings tijd
Triticale	<i>Triticum aestivum</i> x <i>Secale cereale</i>	zeer weinig		
Bladrijken		weinig tot zeer sterk		
Gele mosterd	<i>Sinapis alba</i>	sterk	sterk	snelle opkomst, relatief korte ontw ikkelings tijd
Bladrammenas	<i>Raphanus sativus</i> ssp. <i>oleifera</i>	matig	sterk	snelle opkomst, relatief korte ontw ikkelings tijd
Bladkool	<i>Brassica napus</i> ssp. <i>oleifera</i>	matig		snelle opkomst
Facelia	<i>Phacelia tanacetifolia</i>	sterk	weinig	snelle opkomst, lange ontw ikkelings tijd
Raapzaad	<i>Brassica rapa</i>	niet		snelle opkomst
Koolzaad	<i>Brassica napus</i>	niet		snelle opkomst
Nyger	<i>Guizotia abyssinica</i>	zeer sterk	sterk	relatief langzame opkomst
Vlinderbloemigen		matig tot sterk		
Witte klaver	<i>Trifolium repens</i>	matig		relatief langzame opkomst
Rode klaver	<i>Trifolium pratense</i>	matig		vrij snelle opkomst
Alexandrijnse klaver	<i>Trifolium alexandrinum</i>	sterk		snelle opkomst
Wikken	<i>Vicia sativa</i>	matig	sterk	snelle opkomst, lange ontw ikkelings tijd
Luzerne	<i>Medicago sativa</i>	weinig	weinig	relatief langzame opkomst
Lupine	<i>Lupinus</i> spp.	matig		snelle opkomst

⁽¹⁾ Deze lijst omvat een selectie van groenbedekkers die (regelmatig) toegepast worden binnen het projectgebied, en waarvoor voldoende informatie beschikbaar is.

De informatie is geldig voor de teelt van de beschreven groenbedekkers als stoppelgewas, d.w.z. na de oogst van een cultuurgewas, doorgaans vanaf het najaar.

⁽²⁾ Volledige vernietiging door vorst vanaf: 0 tot -1°C (zeer sterk), -4 tot -7°C (sterk), -7 tot -10°C (matig), -10-12°C (weinig), -12 tot -13°C (zeer weinig), <-13°C (niet)

Groenbedekker	Bodembedekking (snelheid & duur)	Bodem- bedekking (graad)	verhouding wortels/totale biomassa (%)	wortelstructuur	worteldiepte (m)	doorworteling
Grasachtigen				homogeen	vrij oppervlakkig	intensief
Italiaans raaigras	relatief langzaam, langdurig	+++	42	homogeen	0,3-0,6	intensief
Engels raaigras	langdurig	++	48	homogeen	0,7	intensief
Westerwolds raaigras	langdurig	+++	41	homogeen	0,8	intensief
Winterrogge	relatief langzaam, langdurig	+	(18-32)	homogeen	1,1	intensief
Zomerhaver	relatief langzaam, langdurig	++	(13-32)	homogeen		intensief
Japanse haver	snel en langdurig	+++		homogeen		intensief
Triticale	relatief langzaam, langdurig			homogeen		intensief
Bladrijken				vaak penwortel	diep wortelend	beperkt
Gele mosterd	zeer snel	+++	21 (16-26)	niet-verdikte penwortel	0,3-0,9	beperkt
Bladrammenas	zeer snel	+++	28 (16-36)	penwortel	1,1-2,4	beperkt
Bladkool	zeer snel	+	(22-25)	penwortel		matig
Facelia	relatief langzaam	++	11 (7-23)		beperkt	matig
Raapzaad						
Koolzaad		++	26	penwortel		
Nyger	variabel	+-		penwortel/gemengd	diep wortelend	
Vlinderbloemigen						intensief
Witte klaver	matig	++	31	uitlopers	oppervlakkig wortelend	intensief
Rode klaver	snel	++	31	penwortel	diep wortelend	intensief
Alexandrijnse klaver	snel	++	22			intensief
Wikken	snel	++	(14-17)	penwortel met zijwortels	diep wortelend	intensief
Luzerne	matig	+		dikke wortels	zeer diep bij meerjarige teelt	intensief
Lupine	snel	++	19			intensief

Groenbedekker	Effect op bodemstructuur	Biomassa (ton DS/ha) ^(3,4,5)	Effectieve organische stof (kg/ha) ⁽⁶⁾	N-opname (kg N/ha) ^(3,4)	Reductie-potentieel nitraatuitspoeling	N-levering ⁽¹⁰⁾
Grasachtigen	Zeer gunstig	2,5-4,5	++	40-80 ⁽⁷⁾	Beperkt tot sterk ⁽⁹⁾	laat (++)
Italiaans raaigras	+++	4,5 (0,35-7,8)	700-1200	40 (20-80)	+ / +++	
Engels raaigras	+++	4,2	600-1150	40 (30-60)	+ / +++	
Westenwolds raaigras	+++	4,1 (1,55-4,1)	700-1100	35 (35-60)	+ / +++	
Winterrogge	+++	2,5 (0,69-4,3)	400-850	80 (50-130)	++ / +++	
Zomerhaver	++	2,2 (1,7-3,8)	1300	60 (40-95)	+ / ++	
Japanse haver	++	1,5-2,4	1500	75 (22-125)		
Triticale	+++		1200			
Bladrijken	Gunstig	2,5-3,5	+	45-90	Relatief sterk	vroege (+)
Gele mosterd	++	3,9 (0,26-6,7)	750-950	40 (20-200)	+++	vnl afgegeven in top laag
Bladrammenas	++	3,9 (1,0-7)	750-950	50 (15-240)	+++	
Bladkool		4,00	750-950	80 (50-120)	++	
Facelia	+++	3,0 (0,9-3,4)	650-850	40 (25-200)	+	
Raapzaad		2,20			++	
Koolzaad			600-800		++	
Nyger		1,30			+	
Vlinderbloemigen	Gunstig	2,9-3,5	+	50-100 ⁽⁸⁾	Beperkt	vroege en veel (+++)
Witte klaver		3,0 (2,5-3,3)	750-900	80 (50-120)	+	
Rode klaver		3,5 (2,5-4,3)	1100-1200	100 (60-140)	+	
Alexandrijnse klaver		3,0 (2,5-2,8)	800	120 (100-175)	+	
Wikken	+	3,0 (1,4-4,0)	600-800	120 (50-200)	+	laag wegens lage C/N
Luzerne					+	
Lupine		3,1	600-800		+	

⁽³⁾ Sterk afhankelijk van ondermeer groeitijd (tijdstip van inzaai en vernietiging) en -condities.

⁽⁴⁾ Waarde stelt gemiddelde voor onder relatief gunstige condities en geen al te vroege vernietiging. Tussen haakjes: range zoals aangetroffen in verschillende studies.

⁽⁵⁾ Totale biomassa (boven+ondergronds). Merk echter op dat de ondergrondse biomassa niet in alle studies in rekening gebracht wordt.

⁽⁶⁾ De hoeveelheid organische stof die één jaar na inwerken nog aanwezig is in de bodem.

⁽⁷⁾ Hoewel de opname vaak langzamer verloopt dan bij bladrijken, loopt ze doorgaans verder tijdens en na de winter, waardoor de totale opname potentieel erg groot kan zijn.

⁽⁸⁾ Merk op dat voor vlinderbloemigen het merendeel van de N wordt opgenomen uit de lucht via N-fixatie.

Slechts een beperkt deel is afkomstig van de bodemvoorraad, waardoor vlinderbloemigen doorgaans weinig efficiënt zijn in de reductie van nitraatuitspoeling.

⁽⁹⁾ Afh. Van groeiperiode: veel grasachtigen hebben een sterk potentieel voor nitraatopname, maar kunnen die niet realiseren door vroegtijdige vernietiging.

⁽¹⁰⁾ Bij onderwerken in het voorjaar. +: gemiddeld 20, maximaal 45 kg N/ha; ++: gemiddeld 15, maximaal 50 kg N/ha; +++: gemiddeld 30, maximaal 90 kg N/ha.

Groenbedekker	Bodemvereisten	Gemak van inzaai	Optimaal zaaitijdstip	Uiterste zaaidatum
Grasachtigen				
Italiaans raaigras	geschikt voor alle grondsoorten	Delicaat tot matig	aug - sep	15 okt
Engels raaigras	geschikt voor alle grondsoorten		aug - sep	10 okt
Westerwolds raaigras	geschikt voor alle grondsoorten		aug - sep	30 sep
Winterrogge	rasafhankelijk - doorgaans best op leem- of zandbodem	Matig	juli - aug	31 okt
Zomerhaver		Matig	juli - aug	31 okt
Japanse haver		Matig	juli - aug	30 sep
Triticale			juli - aug	15 okt
Bladrijken		Doorgaans vrij eenvoudig		
Gele mosterd	bij voorkeur op leem en zand	Eenvoudig indien voldoende N bij aanvang	15 aug - 15 sep	30 sep
Bladrammenas	geschikt voor alle grondsoorten	Eenvoudig indien voldoende N bij aanvang	juli - aug	15 sep
Bladkool			juli - aug	31 aug - 31 okt ⁽¹¹⁾
Facelia	geschikt voor alle grondsoorten	Delicaat. Fijn, aangedrukt zaaiwed nodig, lichtgevoelig zaad	15 juli - 15 aug	20 aug
Raapzaad		Eenvoudig	juli - aug	15 sep
Koolzaad	geschikt voor alle grondsoorten	Eenvoudig	juli - aug	15 sep
Nyger	veeleisende soort	Eenvoudig	1 juli - 10 aug	31 aug
Vlinderbloemigen		Doorgaans vrij delicaat, goed zaaiwed nodig		
Witte klaver	geschikt voor alle grondsoorten	Delicaat	juli	10 aug
Rode klaver	geschikt voor alle grondsoorten	Delicaat	juli	20 aug
Alexandrijnse klaver	bij voorkeur op klei en leem	Delicaat	juli	20 aug
Wikken	rasafhankelijk - doorgaans best op leem- of kleibodem	Matig. Vraagt een niet te lage pH	1 juli - 15 aug	31 aug - 15 okt ⁽¹¹⁾
Luzerne	geschikt voor niet-zure gronden, best op zandleem-klei	Matig. Vraagt voedzame, goed doorw aterde en onkruidrijke grond	apr - aug	
Lupine	Vraagt een betrekkelijk lage pH, voornamelijk op zandbodem	Eenvoudig, maar vraagt wel voldoende vocht voor kieming.	juli - aug	15 aug

⁽¹¹⁾ Ras- en soortafhankelijk: wintergewas kan later ingezaaid worden dan zomergewas.

Groenbedekker	Zaaidichtheid (kg/ha) ⁽¹²⁾	Aantrek slakken	Onkruid- onderdrukking	Opslag uit zaad	Opslag uit gewasresten	Vernietigen/onderwerken ⁽¹³⁾			
						vorst	klepelen/ maaïen	frees/ cultivator/ ploeg	chemisch
Grasachtigen			Sterk maar vaak laat						
Italiaans raaigras	15-50	sterk	+	+	+	0	0	0	++
Engels raaigras	15-40	sterk	+	+	+	0	0	0	++
Westerwolds raaigras	30-60	sterk	++	+	+	0	0	0	++
Winterrogge	75-150	zeer sterk	+	-	+	0	0	+-	++
Zomerhaver	50-150	beperkt	+			+	0	+-	+++
Japanse haver	30-80	beperkt	+	-	+	+	0	+	++
Triticale			(+)	-	+	0			
Bladrijken			Sterk						
Gele mosterd	8-25	beperkt	++	+	-	++	+++	++	++
Bladrammenas	10-30	beperkt	++	+	+	+	+-	+-	+
Bladkool	8-12		++	-	+	+	++		
Facelia	6-15	beperkt	++	+	-	+	++	++	++
Raapzaad	6-10	beperkt	++			0	0	+-	
Koolzaad	5-7	zeer sterk	++	-	-	0	0	+-	
Nyger	7-10	zeer sterk	++			+++	+++	++	
Vlinderbloemigen			Variabel						
Witte klaver	5-15	sterk	+	-	-	0	+	++	++
Rode klaver	10-25	sterk	++	-	-	0	+-	+-	++
Alexandrijnse klaver	10-40	sterk	+			+	+-	+-	++
Wikken	50-125	matig	++	-	-	+	++	++	++
Luzerne			+		+	0	+-	+-	
Lupine	150-175	matig		-	-	+			

⁽¹²⁾ Ras- en soortafhankelijk. Ruime range zoals toegepast in een brede waaier van omstandigheden. Voor vlinderbloemigen: zaaidichtheid in mengsels.

⁽¹³⁾ 0: niet mogelijk/zeer moeilijk; +-: moeilijk; +: haalbaar; ++: eenvoudig; +++: zeer eenvoudig.

Groenbedekker	Indicatieve prijs zaaigoed (EUR/kg) (2009-2010)	Indicatieve prijs zaaigoed (EUR/ha) (2009-2010)	Andere voordelen	Andere nadelen	Opmerkingen
Grasachtigen					
Italiaans raaigras	1,2-1,5	37,5-60,5	Snelle voorjaarsgroei, goede voedernw aarde.	Sterk w aterverbruik, risico op opslag	Forsere groei dan Engels of Westerwolds raaigras
Engels raaigras	1,8-1,9	30-50			Zelden enkelvoudig, doorgaans in mengsel verkrijgbaar
Westerwolds raaigras	1,2-1,5	40-70	Kan kw aliteitsvolle voedersnede opleveren	Bij graszaadtelers niet gew enst vanw ege opslag	
Winterrogge	0,5-2,0	43-100	Kan kw aliteitsvolle voedersnede opleveren	Sterk w aterverbruik, trage opw arming bodem in voorjaar bij NKG	Snijrogge w ordt gemengd met lt. raaigras.
Zomerhaver	0,1-0,7	27,5-44			
Japanse haver	1,5	40-116			
Triticale	0,7		Kan kw aliteitsvolle voedersnede opleveren	Sterk w aterverbruik	
Bladrijken					
Gele mosterd	2-2,5	25-50	Niet-verdikte penw ortel ideaal voor infiltratie	Bij vroege zaai risico op zaadzetting onder droge condities	Uitstekende indicator voor structuurproblemen
Bladrammenas	4,1-4,5	50-83		Vaak vroegtijdige bloei (rasafhankelijk)	Combinatie met bepaalde groenten moeilijk door aaltjes
Bladkool	3,8	30-45	Kan gebruikt w orden als veevoeder		
Facelia	7,0-8,4	67-100	Bevat zeer veel nectar		
Raapzaad	3,5	30			
Koolzaad		50			
Nyger	3,5-5,5	20-44			Zaad nog niet gecertificeerd
Vinderbloemigen					
Witte klaver	7,0	50-80	Kan goed tegen natte gronden		Veelal onder dekrucht gezaaid (in maart-april)
Rode klaver	6,1	50-80	Kan goed tegen natte gronden		Veelal onder dekrucht gezaaid (in mei)
Alexandrijnse klaver	3,2-3,5	40			
Wikken	1,9	50-100			
Luzerne	5,5	180		Alleen als meerjarige teelt echt geschikt als groenbedekker	
Lupine					

Bijlage II. Bemesting: proevenoverzicht

Proefveld Mest als Kans

Behandelingen: verse potstalmest, drijfmest, minerale mest, GFT-compost + drijfmest, kippenmest, natuurcompost, GFT-compost, groencompost (er zijn nog meer behandelingen maar deze worden in deze studie niet besproken)

Startjaar: 1999

Bodemtype: lichte zavelgrond; 4,4% kalk; 1,6% organische stof; 9% lutum; pH-KCl: 7,6

Gewassen: rode kool, aardappel, herfstkroot, waspeen, pastinaak, broccoli, pompoen, bloemkool; groenbedekkers

Locatie: Lelystad, Nederland

Opmerking:

Deze proef past in een biologische bedrijfsvoering.

Meststoffen zijn meestal handmatig toegediend. Uitgangspunt voor de bemesting is om steeds 100 kg werkzame stikstof per ha per jaar te geven en om in 2 van de drie jaren te bemesten. Bij kippenmest en natuurcompost is de fosfaatnorm beperkend voor de stikstofgift en werd minder stikstof toegediend dan voor de andere behandelingen. Door de beperking van de wettelijk toegestane hoeveelheid droge stof van 6000 kg per ha per jaar voor GFT- en groencompost was de hoeveelheid aangevoerde stikstof en fosfaat beperkt en was geen volwaardige bemesting mogelijk op basis van deze compostsoorten.

Proefveld Rusthoeve

Behandelingen: vaste geitenmest, groencompost, GFT-compost, runderdrijfmest

Startjaar: ?

Bodemtype: Zware zavel; 18% lutum; 2,3% organische stof

Gewassen: zomertarwe, aardappelen, grasklaver, zaaiui, bruine boon, suikerbiet

Locatie: Colijnsplaat, Nederland

Opmerkingen:

Deze proef past in een biologische bedrijfsvoering.

Slechts deze behandelingen zijn hier weergegeven die werden opgemeten in het project Bodem, Bedrijf en Biodiversiteit (Koopmans et al., 2006).

Meststoffenproef Beitem

Behandelingen:

Drijfmest+stalmest, drijfmest+stalmest+groencompost, drijfmest+handelsmeststof, boerderijcompost, groencompost+handelsmeststof, stalmest

Startjaar: 2003

Bodemtype: (lichte) leem

Gewassen: prei, wortel, zomertarwe met onderzaai van klaver, bloemkool, aardappel met nateelt grasklaver, grasklaver

Locatie: Beitem, Vlaanderen

Opmerkingen:

Deze proef past in een biologische bedrijfsvoering

Meststoffenproef Melle

Behandelingen: stalmest, mengmest, GFT-compost, boerderijcompost 1 (vooral houdig materiaal, C/N: 20-40), boerderijcompost 2 (groen N-rijk materiaal, C/N: 10-20), minerale bemesting, geen bemesting, geen bemesting + geen gewas

Startjaar: 2005

Bodemtype: zandleem; pH-KCl: 5,9; %C: 1,01%

Gewassen: voederbiet, wintertarwe-facelia, rode kool, Italiaans raaigras, maïs

Locatie: Melle, Vlaanderen

Opmerkingen: Bemestingsstrategie is gericht op een gelijke koolstofgift. Er wordt minerale mest bijgegeven om voor elke behandeling een gelijke N-gift te bekomen en om P_2O_5 en K_2O op niveau te brengen. Drijfmest wordt niet geïnjecteerd maar handmatig toegediend. Op de drijfmest plots werd bij de eerste twee toepassingen een deel van de koolstof toegediend als gewasresten (stro of voederbietbladeren).

Boerderijcompostproef Melle

Behandelingen:

Factor 1: Vruchtwisseling: voederbiet, maïs, spruitkool, aardappel (- Italiaans raaigras)

Factor 2: N-trap: 0, 100, 200 kg N / ha (ammoniumnitraat 27%)

Factor 3: boerderijcompost: 0, 50 m³ compost/ha

Startjaar: 2004

Bodemtype: leembodem, pH-KCl: 6,3; %C: 1%

Gewassen: zie factor 1

Locatie: Melle, Vlaanderen

Opmerkingen: Aan de plots die geen compost ontvangen wordt P_2O_5 en K_2O toegediend onder vorm van minerale mest.

GFT-compostproef Melle

Behandelingen:

Factor 1: Mengmest – geen mengmest

Factor 2: 0 ton/ha, jaarlijks 22,5 ton/ha, driejaarlijks 22,5 ton/ha (tot 2003 2-jaarlijks 45 ton/ha)

Factor 3: 0, 100, 200 kg N/ha (ammoniumnitraat 27%)

Startjaar: 1997

Bodemtype: zandleem

Gewassen: maïs in monocultuur

Locatie: Melle, Vlaanderen

GFT-compostproef Boutersem

Behandelingen: onbemest, onbemest + onbegroeid, minerale bemesting volgens advies, driejaarlijks 15 ton GFT/ha, driejaarlijks 30 ton GFT/ha, driejaarlijks 45 ton GFT/ha, tweejaarlijks 15 ton GFT/ha, tweejaarlijks 30 ton GFT/ha, tweejaarlijks 45 ton GFT/ha, jaarlijks 15 ton GFT/ha, jaarlijks 30 ton GFT/ha, jaarlijks 45 ton GFT/ha

Startjaar: 1996

Bodemtype: leembodem

Gewassen: suikerbieten, wintertarwe, aardappelen, wortelen

Locatie: Boutersem, Vlaanderen

Opmerking: Het effect op fysische en biologische bodemeigenschappen werd niet op alle behandelingen onderzocht.

In de behandelingen met GFT-compost wordt er bijbemest met minerale bemesting volgens advies.

Referentielijst

1. **Aasman B., van Beers T., Wolfs A. & Rijzebol Y.** 2010. Aaltjesmanagement in de Akkerbouw. Actieplan aaltjesbeheersing, Den Haag, Nederland. 45 p.
2. **Aggelides S.M. & Londra P.A.** 2000. Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and a clay soil. *Bioresource Technology* 71: 253-259.
3. **AGIV.** Achtergrondinformatie bodemkaart. www.agiv.be/gis/diensten/geo-vlaanderen/?artid=261. Laatst geraadpleegd op 6-2010.
4. **Akhtar M. & Malik A.** 2000. Roles of organic soil amendments and soil organisms in the biological control of plant-parasitic nematodes: a review. *Bioresource Technology* 71: 35-47.
5. **Albiach R., Canet R., Pomares F. & Ingelmo F.** 2001. Organic matter components and aggregate stability after the application of different amendments to a horticultural soil. *Bioresource Technology* 76: 125-129.
6. **ALBON.** 2009. Organische stof: sleutel tot bodemvruchtbaarheid. Vlaamse Overheid, Departement Leefmilieu, Natuur en Energie (LNE), Afdeling Land en Bodembescherming, Ondergrond, Natuurlijke Rijkdommen, Brussel, België. 40 p.
7. **Alvarez R.** 2005. A review of nitrogen fertilizer and conservation tillage effects on soil organic carbon storage. *Soil Use and Management* 21: 38-52.
8. **Alvear M., Rosas A., Rouanet J.L. & Borie F.** 2005. Effects of three soil tillage systems on some biological activities in an Ultisol from southern Chile. *Soil & Tillage Research* 82: 195-202.
9. **Andersen A.** 1999. Plant protection in spring cereal production with reduced tillage. II. Pests and beneficial insects. *Crop protection* 18: 651-657.
10. **Andrews S.S., Karlen D.L. & Cambardella C.A.** 2004. The soil management assessment framework: a quantitative soil quality evaluation method. *Soil Science Society of America Journal* 68: 1945-1962.
11. **Angers D.A., Bissonnette N., Legere A. & Samson N.** 1993. Microbial and biochemical changes induced by rotation and tillage in a soil under Barley production. *Canadian Journal of Soil Science* 73: 39-50.
12. **Angers D.A., Bolinder M.A., Carter M.R., Gregorich E.G., Drury C.F., Liang B.C., Voroney R.P., Simard R.R., Donald R.G., Beyaert R.P. & Martel J.** 1997. Impact of tillage practices on organic carbon and nitrogen storage in cool, humid soils of eastern Canada. *Soil & Tillage Research* 41: 191-201.
13. **Angers D.A., N'dayegamiye A. & Cote D.** 1993. Tillage-induced differences in organic matter of particle-size fractions and microbial biomass. *Soil Science Society of America Journal* 57: 512-516.
14. **Angle J.S., Gross C.M., Hill R.L. & McIntosh M.S.** 1993. Soil nitrate concentrations under Corn as affected by tillage, manure, and fertilizer applications. *Journal of Environmental Quality* 22: 141-147.
15. **Annabi M., Houot S., Francou F., Poitrenaud M. & Le Bissonnais Y.** 2007. Soil aggregate stability improvement with urban composts of different maturities. *Soil Science Society of America Journal* 71: 413-423.

16. **Anonymus.** 2006. Adviesprogramma Erosiebestrijding. Partners van het Interregproject Erosiebestrijding.
17. **Anonymus.** Afstellen van oogstmachines. www.irbab-kbivb.be/nl/support/europe/interreg_3/machinery_cards/. Laatst geraadpleegd op 6-2010.
18. **Anonymus.** Vermindering van de grondtarra en optimalisering van de reiniging van bieten. www.irbab-kbivb.be/nl/support/europe/interreg_3/. Laatst geraadpleegd op 6-2010.
19. **Anonymus.** Bodemacademie: kenniscentrum voor duurzaam bodembeheer. www.bodemacademie.nl. Laatst geraadpleegd op 3-2010.
20. **Anonymus.** Spade: agrobiodiversiteit en duurzaam bodembeheer. www.spade.nl. Laatst geraadpleegd op 3-2010.
21. **Anonymus.** 2010. Spuitmachine herbergt heel wat techniek: studiedag laat zien dat spuiten een apart vak is. *Landbouwleven* 8-10.
22. **AOC raad.** Beeldenbank ziekten, plagen en onkruiden. www.databank.groenkennisnet.nl. Laatst geraadpleegd op 5-2010.
23. **Arbeli Z. & Fuentes C.L.** 2007. Accelerated biodegradation of pesticides: An overview of the phenomenon, its basis and possible solutions; and a discussion on the tropical dimension. *Crop protection* 26: 1733-1746.
24. **Arias-Estevez M., Lopez-Periago E., Martinez-Carballo E., Simal-Gandara J., Mejuto J.C. & Garcia-Rio L.** 2008. The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources. *Agriculture Ecosystems & Environment* 123: 247-260.
25. **Arrouays D., Balesdent J., Germon J.C., Jayet P.A., Soussana J.F. & Stengel P.** 2002. Contribution à la lutte contre l'effet de serre. Stocker du carbone dans les sols agricoles de France? Expertise scientifique collective INRA, France. 332 p.
26. **Azooz R.H. & Arshad M.A.** 1995. Tillage effects on thermal-conductivity of 2 soils in Northern British-Columbia. *Soil Science Society of America Journal* 59: 1413-1423.
27. **Azooz R.H., Lowery B., Daniel T.C. & Arshad M.A.** 1997. Impact of tillage and residue management on soil heat flux. *Agricultural and Forest Meteorology* 84: 207-222.
28. **Bailey K.L., Gossen B.D., Lafond G.R., Watson P.R. & Derksen D.A.** 2001. Effect of tillage and crop rotation on root and foliar diseases of wheat and pea in Saskatchewan from 1991 to 1998: univariate and multivariate analyses. *Canadian Journal of Plant Pathology-Revue Canadienne de Phytopathologie* 81: 789-803.
29. **Bailey K.L. & Lazarovits G.** 2003. Suppressing soil-borne diseases with residue management and organic amendments. *Soil & Tillage Research* 72: 169-180.
30. **Balesdent J., Chenu C. & Balbane M.** 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil & Tillage Research* 53: 215-230.
31. **Balota E.L., Colozzi A., Andrade D.S. & Dick R.P.** 2004. Long-term tillage and crop rotation effects on microbial biomass and C and N mineralisation in a Brazilian Oxisol. *Soil & Tillage Research* 77: 137-145.
32. **Barberi P.** 2001. Weed management in organic agriculture: are we addressing the right issues? *European Weed Research Society* 42: 177-193.

33. **Barthès B. & Roose E.** 2002. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion; validation at several levels. *Catena* 47: 133-149.
34. **Beeckman A., Delanote L. & Rapol J.** 2009. Meerjarig effect van compost en mest op de bodemvruchtbaarheid in de biologische landbouw. Verslag praktijkonderzoek 2003-2008. PCBT, Rumbeke-Beitem, België. 31 p.
35. **Bellamy P.H., Loveland P.J., Bradley R.I., Lark R.M. & Kirk G.J.D.** 2005. Carbon losses from all soils across England and Wales. *Nature* 937: 245-248.
36. **Benjamin J.G., Mikha M., Nielsen D.C., Vigil M.F., Calderón F. & Henry W.B.** 2007. Cropping intensity effects on physical properties of a no-till silt loam. *Soil Science Society of America Journal* 71: 1160-1165.
37. **Berkelmans R., Ferris H., Tenuta M. & Van Bruggen A.H.C.** 2003. Effects of long-term crop management on nematode trophic levels other than plant feeders disappear after 1 year of disruptive soil management. *Applied Soil Ecology* 23: 223-235.
38. **Bernaerts S.** Niet kerende grondbewerking: machines. Presentatie Introductiecursus NKG. www.nietkerendegrondbewerking.nl. Laatst geraadpleegd op 5-2010.
39. **Bernaerts S., Mijtjens S. & van Iperen C.** 2008. Niet kerende grondbewerking (NKG). BioKennis bericht nr. 15. Akkerbouw & Vollegrondsgroente. 8 p.
40. **Berzsenyi Z., Gyorffy B. & Lap D.Q.** 2000. Effect of crop rotation and fertilisation on maize and wheat yields and yield stability in a long-term experiment. *European Journal of Agronomy* 13: 225-244.
41. **Bisutti I., Hilke I. & Raessler M.** 2004. Determination of total organic carbon - an overview of current methods. *TRAC/Trends in Analytical Chemistry* 23: 716-726.
42. **Black A.L. & Tanaka D.L.** 1997. A conservation tillage-cropping study in the Northern Great Plains of the United States. In: Paul E.A. et al. *Soil organic matter in temperate agroecosystems - Long-term experiments in North America*. CRC Press, New York. pp. 335-342.
43. **Blanco-Canqui H. & Lal R.** 2008. No-tillage and soil-profile carbon sequestration: an on-farm assessment. *Soil Science Society of America Journal* 72: 693-701.
44. **BLGG.** Bemestingwijzer. www.bemestingwijzer.nl. Laatst geraadpleegd op 3-2010.
45. **Bloem J., Schouten T., Didden W.A.M., Jagers op Akkerhuis G.A.J.M., Keidel H., Rutgers M. & Breure A.M.** 2003. Measuring soil biodiversity: experiences, impediments and research needs. In: Anonymus. *Proceedings from the Organisation of Economic Co-operation and Development (OECD) Expert meeting 'Agricultural impacts on soil erosion and soil biodiversity: developing indicators for policy analysis'* Parijs, Frankrijk. pp. 109-120.
46. **Blok K.** 2010. Sneeuw niet onderploegen. *De Boerderij* 9 februari 2010.
47. **Bockstaller C., Guichard L., Makowski D., Aveline A., Girardin P. & Plantureux S.** 2008. Agri-environmental indicators to assess cropping and farming systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 28: 139-149.
48. **Bodemkundige Dienst van België en Universiteit Gent.** 2008. Ontwikkelen van een expertsysteem voor het adviseren van het koolstofbeheer in de landbouwbodems. Deel 1: Literatuurstudie & Deel 2: Uitwerking van het adviessysteem. BDB en UGent vakgroep Bodembeheer en Bodemhygiëne, Studie iov ALBON, Dienst Land- en Bodembescherming. 146 p.

49. **Bodemkundige Dienst van België en Universiteit Gent.** Stikstofadvies volgens N-index. www.bdb.be/Productendiensten/Analysesadviezen/StikstofadviesNindex/tabid/110/language/nl-BE/Default.aspx. Laatst geraadpleegd op 8-2010.
50. **Boesten J.J.T.I. & van der Pas L.J.T.** 2000. Movement of water, bromide and the pesticides ethoprophos and bentazone in a sandy soil: the Vredepeel data set. *Agricultural Water Management* 44: 21-42.
51. **Boizard H., Richard G., Roger-Estrade J., Dürr C. & Boiffin J.** 2002. Cumulative effects of cropping systems on the structure of the tilled layer in northern France. *Soil & Tillage Research* 64: 149-164.
52. **Bokhorst J.** 2008. Bodem onder het landschap. Roodbont, Nederland. 136 p.
53. **Bokhorst J. & ter Berg C.** 2001. Handboek mest en compost, behandelen, beoordelen en toepassen. Louis Bolk Instituut, Driebergen, Nederland. 292 p.
54. **Bokhorst J., ter Berg C., Zanen M. & Koopmans C.** 2008. Mest, compost en bodemvruchtbaarheid: 8 jaar proefveld Mest als Kans. Louis Bolk Instituut, Driebergen, Nederland. 28 p.
55. **Bommes C.** Wat kunnen we leren na 15 jaar ervaring met NKG in Duitsland? Presentatie masterclass NKG. www.nietkerendegrondbewerking.nl. Laatst geraadpleegd op 5-2010.
56. **Bongers T. & Bongers M.** 1998. Functional biodiversity of nematodes. *Applied Soil Ecology* 10: 239-251.
57. **Booij K. & van der Weide R.** 2005. Een andere kijk op onkruid. Interacties tussen onkruidbeheer, onkruid, plagen en natuurlijke vijanden. Rapport 108. Plant Research International, Wageningen, Nederland. 32 p.
58. **Boon W., Ver Elst P., Deckers S., Vogels N., Bries J. & Vandendriessche H.** 2009. Wegwijs in de bodemvruchtbaarheid van de Belgische akkerbouw- en weilandpercelen (2004-2007). Bodemkundige Dienst van België, Heverlee, België. 149 p.
59. **Borie F., Rubio R., Rouanet J.L., Morales A., Borie G. & Rojas C.** 2006. Effects of tillage systems on soil characteristics, glomalin and mycorrhizal propagules in a Chilean Ultisol. *Soil & Tillage Research* 88: 253-261.
60. **Bos J., de Haan J. & Sukkel W.** 2007. Energieverbruik, broeikasgasemissies en koolstofopslag: de biologische en gangbare landbouw vergeleken. Wageningen UR, Wageningen, Nederland. 76 p.
61. **Bos M., Zanen M., van der Weide R. & Vlaswinkel M.** 2009. Kennis en ervaring minimale grondbewerking. Verslag van de "FAB-2 bodem" bijeenkomst. Louis Bolk Instituut, Driebergen, Nederland. 12 p.
62. **Bottu T.** 2006. Teelt en verwerking van koolzaad op een gemengd landbouwbedrijf. Thesis, Katholieke Hogeschool Kempen, Geel, België. 45 p.
63. **Bradford J.M. & Peterson G.A.** 2000. Conservation tillage. In: Sumner M.E. *Handbook of soil science*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. pp. 247-269.
64. **Buckerfield J.C. & Wiseman D.M.** 1997. Earthworm populations recover after potato cropping. *Soil Biology & Biochemistry* 29: 609-612.
65. **Buckley D.H. & Smidt T.M.** 2001. The structure of microbial communities in soil and the lasting impact of cultivation. *Microbial Ecology* 42: 11-21.

66. **Bus C., van Loon C.D. & Veerman A.** 2003. Teelt van pootaardappelen. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen, Nederland. 79 p.
67. **Bussink D.W., van Schöll L., van der Draai H. & van Riemsdijk W.H.** 2009. Beter waterbeheer en -kwaliteitsmanagement begint op de akker. Nutrient Management Instituut, Wageningen, Nederland. 64 p.
68. **Capowiez Y., Cadoux S., Bouchant P., Ruy S., Roger-Estrade J., Richard G. & Boizard H.** 2009. The effect of tillage type and cropping system on earthworm communities, macroporosity and water infiltration. *Soil & Tillage Research* 105: 209-216.
69. **Carpenter-Boggs L., Pikul J.L., Vigil M.F. & Riedell W.E.** 2000. Soil nitrogen mineralization influenced by crop rotation and nitrogen fertilization. *Soil Science Society of America Journal* 64: 2038-2045.
70. **Carter M.R., Kunelius H.T., Sanderson J.B., Kimpinski J., Platte H. & Bolinder M.A.** 2003. Productivity parameters and soil health dynamics under long-term 2-year potato rotation in Atlantic Canada. *Soil & Tillage Research* 72: 153-168.
71. **Cauffman D.** 2009. Groenbemestersproef 2008. vzw PIBO - Campus, Tongeren, België. 8 p.
72. **Cauffman D.** 2010. Eindverslag BodemBreed Interreg Vlaanderen-Nederland. Teeltjaar 2008-2009. vzw PIBO - Campus, Tongeren, België. 33 p.
73. **CBS.** Centraal Bureau voor de Statistiek - Landbouw. www.cbs.nl. Laatst geraadpleegd op 6-2010.
74. **Chan K.Y.** 2001. An overview of some tillage impacts on earthworm population abundance and diversity - implications for functioning in soils. *Soil & Tillage Research* 57: 179-191.
75. **Chan K.Y., Heenan D.P. & Oates A.** 2002. Soil carbon fractions and relationship to soil quality under different tillage and stubble management. *Soil & Tillage Research* 63: 133-139.
76. **Chaney K. & Swift R.S.** 1984. The influence of organic matter on aggregate stability in some British soils. *Journal of Soil Science* 35: 223-230.
77. **Chardon W., Heesmans H. & Kuikman P.** 2009. Trends in carbon stocks in Dutch soils: datasets and modeling results. Alterra, Wageningen, Nederland. 43 p.
78. **Chaves B., Van Waes J., De Vliegheer A., Carlier L. & De Vooght N.** 2010. Belgische beschrijvende en aanbevelende rassenlijst voor voedergewassen en groenbedekkers. Mededeling ILVO nr 65. 95 p.
79. **Christiaens V.** 2002. Kwaliteitsevaluatie van compost en gebruik ervan in de maïsteelt. Doctoraatsthesis, Universiteit Gent, België. 133 p.
80. **Cloutier D.C., van der Weide R., Peruzzi A. & LeBlanc M.** 2007. Mechanical weed management. In: Upadhyaya M.K. & Blackshaw R.E. *Non-chemical weed management: principles, concepts and technology*. CABI, Oxon, UK. pp. 111-134.
81. **Compendium voor de Leefomgeving.** Areaal blijvend en tijdelijk grasland, 1980-2009. www.compendiumvoordeleefomgeving.nl. Laatst geraadpleegd op 8-2010.
82. **Constantin J., Mary B., Laurent F., Aubrion G., Fontaine A., Kerveillant P. & Beaudoin N.** 2010. Effects of catch crops, no till and reduced nitrogen fertilization on nitrogen leaching and balance in three long-term experiments. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 135: 268-278.

83. **Cook R.J.** 2006. Toward cropping systems that enhance productivity and sustainability. *Proceedings of the National Academy of Science USA* 103: 18389-18394.
84. **Cook R.J. & Baker K.F.** 1983. The nature and practice of biological control of plant pathogens. APS Press, USA. 539 p.
85. **Coorevits L.** 2009. Beworteling van groenbedekkers in functie van bodemverdichting - consequenties voor de stikstofdynamiek. Thesis, Katholieke Universiteit Leuven, België. 124 p.
86. **Coppens G., Vandendriessche H., Moens M. & Bries J.** 2009. De mestwijzer: overzicht van 15 jaar mestanalyses door de Bodemkundige Dienst van België. Bodemkundige Dienst van België, Heverlee, België. 95 p.
87. **Creamer N.G. & Dabney S.** 2002. Killing cover crops mechanically: review of recent literature and assessment of new research results. *American Journal of Alternative Agriculture* 17: 32-40.
88. **Cuijpers W., Smeding F. & van der Burgt G.** 2008. Bodemgezondheid in de biologische kasteelt, Deel 1: definitiestudie. Louis Bolk Instituut, Driebergen, Nederland. 35 p.
89. **Cullington J.E. & Walker A.** 1999. Rapid biodegradation of diuron and other phenylurea herbicides by a soil bacterium. *Soil Biology & Biochemistry* 31: 677-686.
90. **Curry J.P.** 2004. Chapter 6 - Factors affecting the abundance of earthworms in soils. In: Edwards C. *Earthworm ecology*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. pp. 91-113.
91. **D'Haene K.** 2008. The potential of reduced tillage agriculture in Flanders. Doctoraatsthesis, Universiteit Gent, België. 199 p.
92. **D'Haene K.** 2010. An indicator for soil physical quality in integrated sustainability assessment models. In: Anonymus. *International conference on soil fertility and productivity, two features to be distinguished - differences of efficiency of soils for land uses, expenditures and returns*, 17-3-2010. Berlijn, Duitsland. pp. 1-5.
93. **D'Haene K., Sleutel S., De Neve S., Gabriels D. & Hofman G.** 2009. The effect of reduced tillage agriculture on carbon dynamics in silt loam soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 84: 249-265.
94. **D'Haene K., Vandenbruwane J., De Neve S., Gabriels D., Salomez J. & Hofman G.** 2008. The effect of reduced tillage on nitrogen dynamics in silt loam soils. *European Journal of Agronomy* 28: 449-460.
95. **D'Haene K., Vermang J., Cornelis W.M., Leroy B.L.M., Schiettecatte W., De Neve S., Gabriels D. & Hofman G.** 2008. Reduced tillage effects on physical properties of silt loam soils growing root crops. *Soil & Tillage Research* 99: 279-290.
96. **D'Hose T., Cougnon M., De Vliegheer A., Van Bockstaele E. & Reheul D.** 2010. Influence of farm compost on soil quality and crop yields. In: Anonymus. *International conference on soil fertility and productivity, two features to be distinguished - differences of efficiency of soils for land uses, expenditures and returns* Berlijn, Duitsland.
97. **Danckaert F. & Delanote L.** 2007. Eenvoudige bouwstenen voor een betere bodemkwaliteit: zelf de bodem onderzoeken en beoordelen. PCBT, Rumbeke-Beitem, België. 12 p.
98. **Danckaert F., Delanote L. & Rapol J.** 2007. Meerjarig effect van compost en mest op de bodemvruchtbaarheid in de biologische landbouw. Verslag praktijkonderzoek 2007. PCBT, Rumbeke-Beitem, België. 33 p.

99. **Dautrebande S., Cordonnier H., Thirion M. & Biolders C.** 2006. Lutter contre l'érosion. Ministère de la Région wallonne, Direction générale de l'agriculture, België. 12 p.
100. **de Bakker H. & Schelling J.** 1966. Het systeem van bodemclassificatie voor Nederland, de hogere niveaus. Centrum voor Landbouwpublicaties en Landbouwdocumentatie, Wageningen, Nederland. 217 p.
101. **De Clercq P., Gertsis A.C., Hofman G., Jarvis S.C., Neeteson J.J. & Sinabell F.** 2001. Nutrient management legislation in European countries. Wageningen Pers, Wageningen, Nederland. 347 p.
102. **De Leenheer L. & De Boodt M.** 1959. Determination of aggregate stability by the change in mean weight diameter. *Mededeling van de Landbouwhogeschool en Opzoekingsstations van de Staat te Gent* 24: 290-300.
103. **De Toffoli M., Bontemps Y. & Lambert R.** 2010. Synthèse de résultats d'essais de cultures intermédiaires pièges à Nitrate à l'Université catholique de Louvain. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement* 14: 79-89.
104. **De Vliegheer A. & Carlier L.** 2005. Aanleg, verzorging en bemesting van vlinderbloemige voedergrassen. In: CLO - Departement Fytotechnie en Ecofysiologie. *Demonstratie: "mogelijkheden van klaver en luzerne in de moderne veehouderij"*. Landbouwcentrum voor Voedergrassen vzw, België. pp. 9-22.
105. **De Vliegheer A. & Carlier L.** 2008. Potential of fodder legumes under intensive farming conditions in Flanders. In: EGF. *Proceedings of the 14th EGF symposium "Biodiversity and animal feed - Future challenges for grassland production"*, 2008. pp. 1-3.
106. **De Vliegheer A., Latré J. & Carlier L.** 2009. *Lolium multiflorum* as a catch crop in maize. In: Cagas B., Machác R. & Nedelník J. *Proceedings of the 15th EGF symposium "Alternative functions of grassland".- Grassland science in Europe*. Brno, Czech republic. pp. 83-86.
107. **de Vries F.T., Hoffland E., van Eekeren N., Brussaard L. & Bloem J.** 2006. Fungal/bacterial ratios in grasslands with contrasting nitrogen management. *Soil Biology & Biochemistry* 38: 2092-2103.
108. **de Wit J., Van Dongen M., van Eekeren N. & Heeres E.** 2004. Handboek grasklaver - teelt en voeding van grasklaver onder biologische omstandigheden. Louis Bolk Instituut, Driebergen, Nederland. 109 p.
109. **Deckers J.** 1999. Bodemgeografie. Katholieke Universiteit Leuven, Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, Leuven, België. 279 p.
110. **Dekker P. & Postma R.** 2008. Verhoging efficiëntie fosfaatbemesting. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen, Nederland. 28 p.
111. **Delannoy V.** Stikstofbeheer: voordelen van combinaties met vlinderbloemigen. Presentatie praktijkdag Prosensols te Vaulx-Vraucourt (FR). Groenbedekkers: agro-milieumaatregelen, plaats in de teeltrotatie en technische aspecten. www.agrarischlandschap.com/prosensols/nl/agenda/legumineuses_NL.pdf. Laatst geraadpleegd op 5-2010.
112. **Delanote L.** 2009. Niet-kerende grondbewerking succesvol voor biologische teelten. *Landbouw en Techniek* 2: 45.
113. **Delanote L., Danckaert F. & Rapol J.** 2005. Meerjarig effect van compost en mest op de bodemvruchtbaarheid in de biologische landbouw. Verslag praktijkonderzoek 2005. PCBT, Rumbeke-Beitem, België. 22 p.

114. **Delbaere B.** 2002. An inventory of biodiversity indicators in Europe. Technical report n° 92. European Environment Agency (EEA), Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg. 42 p.
115. **Deproost P. & Elsen F.** 2003. Monitoring van GFT-toepassingseffecten op de fysische bodemkwaliteiten. Bodemkundige Dienst van België, Heverlee, België. 16 p.
116. **Derancourt F.** Groenbedekkers: plaats in het teeltplan. Presentatie praktijkdag Prosensols te Vaulx-Vraucourt (FR). Groenbedekkers: agro-milieumaatregelen, plaats in de teeltrotatie en technische aspecten. www.agrarischlandschap.com/prosensols/nl/agenda/legumineuses_NL.pdf. Laatst geraadpleegd op 5-2010.
117. **Deutscher Landwirtschaftsverlag GmbH.** 2008. Diesel sparen beim Fahren. *Neue Landwirtschaft* 1: 1-3.
118. **Diekow J., Mielniczuk J., Knicker H., Bayer C., Dick D.P. & Kögel-Knabner I.** 2005. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilisation in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. *Soil & Tillage Research* 81: 87-95.
119. **DIN 38414-3.** 1985. Bestimmung des Gluhdruckstandes und des Gluhverlustes der Trockenmasse eines Schlammes. *Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser, Abwasser und Schlammuntersuchung - Schlamm und Sedimente (Gruppe S)*. VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim.
120. **DLV Plant BV.** Niet-kerende grondbewerking. www.nietkerendegrondbewerking.nl. Laatst geraadpleegd op 5-2010.
121. **Dolan M.S., Clapp C.E., Allmaras R.R., Baker J.M. & Molina J.A.E.** 2006. Soil organic carbon and nitrogen in a Minnesota soil as related to tillage, residue and nitrogen management. *Soil & Tillage Research* 89: 221-231.
122. **Doran J.W.** 1980. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Science Society of America Journal* 44: 765-771.
123. **Doran J.W., Sarrantonio M. & Liebig M.A.** 1996. Soil health and sustainability. *Advances in Agronomy* 56: 1-54.
124. **Drury C.F., Mckenney D.J., Findlay W.I. & Gaynor J.D.** 1993. Influence of tillage on nitrate loss in surface runoff and tile drainage. *Soil Science Society of America Journal* 57: 797-802.
125. **Duiker S.W. & Beegle D.B.** 2006. Soil fertility distributions in long-term no-till, chisel/disk and moldboard plow/disk systems. *Soil & Tillage Research* 88: 30-41.
126. **Dutzi S.** 2009. Akkerbouwtechniek van de toekomst - capaciteit, energiebesparend, economisch! Presentatie studiedag NVTL Wageningen. Wageningen, Nederland.
127. **EC.** 2006. Thematische strategie inzake bodembescherming. Mededeling van de commissie aan de Raad, het Europees Parlement, het Economische en Sociaal Comité en het Comité van de Regio's. Europese Commissie (EC), 13 p.
128. **Edmeades D.C.** 2003. The long-term effects of manures and fertilisers on soil productivity and quality: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 66: 165-180.
129. **Ehlert P.A.I., Middelkoop J.C., van der Salm C. & Dekker P.** 2007. Effecten van fosfaatoverschotten op gras- en bouwland op lange termijn. Alterra, Wageningen, Nederland. 92 p.

130. **Elema M., Bossers A.J.B.P., van Elsen A.C. & Kasse D.** 2010. 85^e aanbevelende rassenlijst akkerbouw 2010. Plantum NL, Nederland. 90 p.
131. **Ellert B.H. & Bettany J.R.** 1995. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. *Canadian Journal of Soil Science* 75: 529-538.
132. **Emerson W.W.** 1959. The structure of soil crumbs. *Journal of Soil Science* 10: 235-244.
133. **Ernst G. & Emmerling C.** 2009. Impact of five different tillage systems on soil organic carbon content and the density, biomass, and community composition of earthworms after a ten year period. *European Journal of Soil Biology* 45: 247-251.
134. **Eschenbrenner G.** 2008. Early destruction of a green cover limits risks of loss at the emergence stage. *Selected Papers from ARVALIS - Institut du végétal* 7: 11-12.
135. **European Conservation Agriculture Federation (ECAf).** Conservation agriculture in Europe: environmental, economic and EU policies perspectives. www.ecaf.org. Laatst geraadpleegd op 5-2010.
136. **European Environment Agency (EEA).** 2006. How much bioenergy can Europe produce without harming the environment? EEA Report, No 7/2006, 67 p.
137. **Evanylo G. & McGuinn R.** 2009. Agricultural management practices and soil quality: measuring, assessing, and comparing laboratory and field test kit indicators of soil quality attributes. Virginia Cooperative Extension, Virginia, USA. 10 p.
138. **Evers M., Postma R., van Dijk T., Vergeer W. & Wierda C.** 2000. Praktijkgids bemesting. Nutrient Management Instituut, Wageningen, Nederland.
139. **Faber J.H., Jagers op Akkerhuis G.A.J.M., Bloem J., Lahr J., Diemont W.H. & Braat L.C.** 2009. Ecosysteemdiensten en transitie in bodemgebruik; maatregelen ter verbetering van biologische bodemkwaliteit. Alterra rapport 1813. Alterra, Wageningen, Nederland. 150 p.
140. **FAO.** 1990. Guidelines for soil description. Rome, Italy. 69 p.
141. **Ferris H., Bongers T. & de Goede R.** 2001. A framework for soil food web diagnostics: extension of the nematode faunal analysis concept. *Applied Soil Ecology* 18: 13-29.
142. **FOD Economie - K.M.O. M.e.E.** Landbouwenquête van mei 2009. Tabel B-2 Gereduceerde lijst van variabelen: resultaten per gemeente. www.economie.fgov.be/nl/modules/publications/statistiques/economie/landbouwenquete_van_2009.jsp. Laatst geraadpleegd op 7-2010.
143. **FOD Economie - K.M.O. M.e.E.** Statistieken Land- en tuinbouwbedrijven. Algemene Directie Statistiek en Economische Informatie (ADSEI). economie.fgov.be/nl/statistieken/cijfers/economie/landbouw/bedrijven/index.jsp. Laatst geraadpleegd op 8-2010.
144. **Franzluebbers A.J. & Hons F.M.** 1996. Soil-profile distribution of primary and secondary plant-available nutrients under conventional and no tillage. *Soil & Tillage Research* 39: 229-239.
145. **Gal A., Vyn T.J., Micheli E., Kladvko E.J. & Mcfee W.W.** 2007. Soil carbon and nitrogen accumulation with long-term no-till versus moldboard plowing overestimated with tilled-zone sampling depths. *Soil & Tillage Research* 96: 42-51.
146. **Gardi C., Tomaselli M., Parisi V., Petraglia B. & Santini C.** 2002. Soil quality indicators and biodiversity in northern Italian permanent grasslands. *European Journal of Soil Biology* 38: 103-110.

147. **Geelen P.** 2006. Handboek erosiebestrijding. Interregproject Erosiebestrijding. Provincie Limburg, Hasselt, België. 100 p.
148. **Geelen P., Crombach C. & Bus C.** 2004. Beperking van watererosie in aardappelen op lössgrond. Praktijkcentrum Plant & Omgeving, Wageningen, Nederland. 40 p.
149. **Ghani A., Dexter M. & Perrot K.W.** 2003. Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilization, grazing and cultivation. *Soil Biology & Biochemistry* 35: 1231-1243.
150. **Ghorbani R., Wilcockson S., Koocheki A. & Leifert C.** 2008. Soil management for sustainable crop disease control: a review. *Environmental Chemistry Letters* 6: 149-162.
151. **Gillijns K., Govers G., Leys A. & Verlinden G.** 2006. Erosiebestrijding door niet-kerende bodembewerking. Bodemkundige Dienst België & Katholieke Universiteit Leuven, België. 6 p.
152. **Gillijns K., Govers G., Poesen J., Mathijs E. & Bielders C.** 2005. Bodemerosie in België: stand van zaken. KINT vzw, België. 73 p.
153. **Gillijns K., Govers G., Poesen J., Van Hecke E., Verbist K. & Gabriels D.** 2004. Reductie van sedimentaanvoer naar waterlopen vanuit landelijke gebieden: begroting en evaluatie van controlemaatregelen. Katholieke Universiteit Leuven en Universiteit Gent, België. 74 p.
154. **Gillijns K., Lambrechts J., Mennens K., Serlet L., Stieperaere M. & Wittouck D.** 2005. Dossier: bestrijding van bodemerosie. *Boer&Tuinder* 21-28.
155. **Gillijns K., Verbist K., Gabriels D., Govers G., Poesen J. & Van Hecke E.** 2003. Richtlijnenboek erosiebestrijdingsmaatregelen. AMINAL, afdeling water, België. 152 p.
156. **Girardin P., Bockstaller C. & Van der Werf H.** 1999. Indicators: tools to evaluate the environmental impacts of farming systems. *Journal of Sustainable Agriculture* 13: 5-21.
157. **Goddard T., Zebisch M., Gan Y., Ellis W., Watson A. & Sombatpanit S.** 2007. No-till farming systems. Special publication no. 3. World Association of Soil and Water Conservation, Bangkok, Thailand. 539 p.
158. **Goris W.** 2005. Niet-kerende grondbewerking. Een alternatief voor de ploeg. Thesis, Katholieke Hogeschool Kempen, Geel, België. 72 p.
159. **Govaerts B., Mezzalama M., Sayre K.D., Crossa J., Nicol J.M. & Deckers J.** 2006. Long-term consequences of tillage, residue management, and crop rotation on maize/wheat root rot and nematode populations in subtropical highlands. *Applied Soil Ecology* 32: 305-315.
160. **Govaerts B., Mezzalama M., Unno Y., Sayre K.D., Luna-Guido M., Vanherck K., Dendooven L. & Deckers J.** 2007. Influence of tillage, residue management, and crop rotation on soil microbial biomass and catabolic diversity. *Applied Soil Ecology* 37: 18-30.
161. **Govaerts B., Sayre K.D. & Deckers J.** 2006. A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the highlands of Mexico. *Soil & Tillage Research* 87: 163-174.
162. **Govaerts B., Sayre K.D., Goudeseune B., De Corte P., Lichter K., Dendooven L. & Deckers J.** 2009. Conservation agriculture as a sustainable option for the central Mexican highlands. *Soil & Tillage Research* 103: 222-230.

163. **Govaerts B., Sayre K.D., Lichter K., Dendooven L. & Deckers J.** 2007. Influence of permanent raised bed planting and residue management on physical and chemical soil quality in rain fed maize/wheat systems. *Plant and Soil* 291: 39-54.
164. **Govaerts B., Verhulst N., Castellanos-Navarrete A., Sayre K.D., Dixon J. & Dendooven L.** 2009. Conservation agriculture and soil carbon sequestration: between myth and farmer reality. *Critical Reviews in Plant Sciences* 28: 97-122.
165. **Greenotec A.** Culture de la pomme de terre: avec ou sans labour? www.greenotec.be. Laatst geraadpleegd op 8-2010.
166. **Gregorich E.G., Beare M.H., Stoklas U. & St-Georges P.** 2003. Biodegradability of soluble organic matter in maize-cropped soils. *Geoderma* 113: 237-252.
167. **Gregorich E.G., Carter M.R., Angers D.A., Monreal C.M. & Ellert B.H.** 1994. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian Journal of Soil Science* 74: 367-385.
168. **Gselman A. & Kramberger B.** 2008. Benefits of winter legume cover crops require early sowing. *Australian Journal of Agricultural Research* 59: 1156-1163.
169. **Guisson R. & Crijns J.** 2006. Rapportage Kenniscirkel - Erosiebeperkende teeltsystemen in een Lössbouwplan met akkerbouwgewassen. DLV Plant BV, Horst, Nederland. 37 p.
170. **Gupta S.C., Larson W.E. & Linden D.R.** 1983. Tillage and surface residue effects on soil upper boundary temperatures. *Soil Science Society of America Journal* 47: 1212-1218.
171. **Haesaert G., Martens D. & Van De Ven G.** 2009. Optimalisatie van onkruidbestrijding in maïs. Landbouwcentrum voor Voedergewassen vzw, Geel, België. 42 p.
172. **Halberg N., Verschuur G. & Goodlass G.** 2005. Farm level environmental indicators: are they useful? An overview of green accounting systems for European farms. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 105: 195-212.
173. **Hanegraaf M., Bussink D.W., van Schöll L. & de Haas M.J.G.** 2009. De afbraaksnelheid van organische stof in Drenthe. Nutrient Management Instituut, Wageningen, Nederland. 77 p.
174. **Hanegraaf M., de Boer H., van Eekeren N. & Bussink D.W.** 2009. Schatting van C- en N-mineralisatie met indicatoren voor labiele organische stof en stikstof. Zorg voor Zand Rapport Nr. 6. Nutrient Management Instituut, Wageningen, Nederland. 46 p.
175. **Hanegraaf M. & de Visser M.** 2003. Naar een betere bodemkwaliteit op zandgrond. Animal Science Group, Wageningen, Nederland. 80 p.
176. **Hanegraaf M., Hoffmann C., Kuikman P. & Brussaard L.** 2009. Trends in soil organic matter content in Dutch grasslands and maize fields on sandy soils. *European Journal of Soil Science* 60: 213-222.
177. **Hardi P. & Zdan T.** 1997. Assessing sustainable development. Principles in practice. International Institute for Sustainable Development (IISD), Winnipeg, USA. 166 p.
178. **Hatfield J.L., Sauer T.J. & Prueger J.H.** 2001. Managing soils to achieve greater water use efficiency: a review. *Agronomy Journal* 93: 271-280.
179. **Hati K.M., Swarup A., Singh D., Misra A.K. & Ghosh P.K.** 2006. Long-term continuous cropping, fertilisation, and manuring effects on physical properties and organic carbon content of a sandy loam soil. *Australian Journal of Soil Research* 44: 487-495.

180. **Haynes R.J.** 2005. Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: an overview. *Advances in Agronomy* 85: 221-268.
181. **Haynes R.J. & Francis G.S.** 1993. Changes in microbial biomass-C, soil carbohydrate-composition and aggregate stability induced by growth of selected crop and forage species under field conditions. *Journal of Soil Science* 44: 665-675.
182. **Hendrickx G., Boon W., Bries J., Kempeneers L., Vandendriessche H., Deckers S. & Geypens M.** 1991. De chemische bodemvruchtbaarheid van het Belgische akkerbouw- en weilandareaal 1986-1989. Bodemkundige Dienst van België, Heverlee, België. 143 p.
183. **Hermans I., Elsen A. & Bries J.** 2010. Groenbemesters en nitraatresidu. Bodemkundige Dienst van België, Heverlee, België. 42 p.
184. **Hermle S., Anken T., Leifeld J. & Weisskopf P.** 2008. The effect of the tillage system on soil organic carbon content under moist, cold-temperate conditions. *Soil & Tillage Research* 98: 94-105.
185. **Heungens K. & Haesaert G.** 2007. *Fusarium* stengelrot en kolrot bij maïs: probleemsituering en effect van bodembewerking. *Drietandmagazine voor land- & tuinbouw* 34: 16-17.
186. **Hoffmann C., Linden S. & Koch H.J.** 1996. Influence of soil tillage on net N-mineralization under sugar beet. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 159: 79-85.
187. **Hoffmann C., Platte H., Lickfett T. & Koch H.J.** 1997. Microbial biomass and N mineralization in relation to N supply of sugar beet under reduced tillage. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 160: 187-193.
188. **Hofman G.** 1973. Critical study of the instability of soil aggregates and the influence on the soil physical properties. Doctoraatsthesis, Universiteit Gent, België.
189. **Hofman G.** 1983. Evolutie van minerale stikstof in profielen van zandleembodems. Aggregaatsthesis, Universiteit Gent, België. 183 p.
190. **Hofman G.** 2008. Bodemkunde. Universiteit Gent, Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, Gent, België. 276 p.
191. **Hofman G., De Neve S. & Salomez J.** 2003. Nutriëntenbeheer. Universiteit Gent, Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, Gent, België. 254 p.
192. **Holland J.M.** 2004. The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 103: 1-25.
193. **Housen B.** 2010. Het vergelijken van ploegen en spitmachines t.o.v. niet kerende grondbewerking. Thesis, Katholieke Hogeschool Kempen, Geel, België.
194. **Huiting H., Ester A. & Crombach C.** 2007. Effect van groenbemesters als bodembedekker op slakken, teeltjaar 2006. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen, Nederland. 26 p.
195. **Hussain I., Olson K.R. & Siemens J.C.** 1998. Long-term tillage effects on physical properties of eroded soil. *Soil Science* 163: 970-981.
196. **Ide G., Hofman G., Ossemerct C. & Van Ruymbeke M.** 1987. Subsoiling: time dependency of its beneficial effects. *Soil & Tillage Research* 10: 213-223.
197. **Imants BV.** Spitten aantoonbaar goedkoper dan ploegen. www.imants.com. Laatst geraadpleegd op 5-2010.

198. **Ineris.** Maîtriser le risque pour un développement durable. www.ineris.fr/aida/?q=consult_doc/consultation/2.250.190.28.8.2423. Laatst geraadpleegd op 5-2010.
199. **IPCC.** 2000. Land use, land use change and forestry. IPCC special report. Cambridge University Press, UK. 377 p.
200. **Ismail I., Blevins R.L. & Frye W.W.** 1994. Long-term no-tillage effects on soil properties and continuous corn yields. *Soil Science Society of America Journal* 58: 193-198.
201. **IUSS Working Group WRB.** 2006. World reference base for soil resources 2006 - World soil resources reports 103. FAO, Rome, Italy. 128 p.
202. **Janmaat L.** 2010. Special Fosfaat - Nieuwsbrief Bodemacademie nr. 6. Louis Bolk Instituut, Driebergen, Nederland. 8 p.
203. **Janvier C., Villeneuve F., Alabouvette C., Edel-Hermann V., Mateille T. & Steinberg C.** 2007. Soil health through soil disease suppression: Which strategy from descriptors to indicators? *Soil Biology & Biochemistry* 39: 1-23.
204. **Jinbo Z., Changchun S. & Wenyan Y.** 2006. Land use effects on the distribution of labile organic carbon fractions through soil profiles. *Soil Science Society of America Journal* 70: 660-667.
205. **Jones R.J.A., Le Bissonnais Y., Bazzoffi P., Diaz S.J., Düwel O., Loj G., Oygarden L., Prasuhn V., Rydell B., Strauss P., Üveges J.B., Vandekerckhove L. & Yordanov Y.** 2004. Nature and extent of soil erosion in Europe. In: Van Camp L. et al. *Reports of the technical working groups established under "Thematic strategy for soil protection"*. Office for official publications of the European Communities, Luxembourg. pp. 150-190.
206. **Jones R.J.A., Spoor G. & Thomasson A.J.** 2003. Vulnerability of subsoils in Europe to compaction: a preliminary analysis. *Soil & Tillage Research* 73: 131-143.
207. **Karlen D.L., Mausbach M.J., Doran J.W., Cline R.G., Harris R.F. & Schuman G.E.** 1997. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Science Society of America Journal* 61: 4-10.
208. **Kaspar T.C., Erbach D.C. & Cruse R.M.** 1990. Corn response to seed-row residu removal. *Soil Science Society of America Journal* 54: 1112-1117.
209. **Katuwal S.** 2007. Effect of root density and VFG-compost mulch on the erodibility of a loamy soil under simulated rainfall. Doctoraatsthesis, Interuniversity programme in physical land resources. Ghent University & Free University of Brussels, Belgium. 119 p.
210. **Kay B.D. & Vanden Bygaart A.J.** 2002. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. *Soil & Tillage Research* 66: 107-118.
211. **Kayser M., Jürgen A. & Müller A.** 2010. Nitrogen management in organic farming: comparison of crop rotation residual effects on yields, N-leaching and soil conditions. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 87: 21-31.
212. **Kemper W.D. & Koch E.J.** 1966. Aggregate stability of soils from western USA and Canada. USDA technical bulletin No. 1355. US Government Printing Office, Washington, DC, USA. 3 p.
213. **Kemper W.D. & Rosenau R.C.** 1984. Soil cohesion as affected by time and water content. *Soil Science Society of America Journal* 48: 1001-1006.

214. **Khan S.A., Mulvaney R.L., Ellsworth T.R. & Boast C.W.** 2007. The myth of nitrogen fertilization for soil carbon sequestration. *Journal of Environmental Quality* 36: 1821-1832.
215. **Kirkegaard J.A., Angus J.F., Gardner P.A. & Muller W.** 1994. Reduced growth and yield of wheat with conservation cropping. 1. Field studies in the 1st year of the cropping phase. *Australian Journal of Agricultural Research* 45: 511-528.
216. **Kirkegaard J.A., Wong P.T.W. & Desmarchelier J.M.** 1996. In-vitro suppression of fungal root pathogens of cereals by *Brassica* tissues. *Plant Pathology* 45: 593-603.
217. **Kladivko E.J.** 2001. Tillage systems and soil ecology. *Soil & Tillage Research* 61: 61-76.
218. **Kluge R. & Bolduan R.** 2001. Several years application of compost - Effects on physical and microbiological properties of soils. In: Amlinger F., Dreher P., Nortcliff S. & Weinfurter K. *Applying compost - benefits and needs. Seminar proceedings*. Brussel, België.
219. **KMI.** Koninklijk Meteorologisch Instituut. www.kmi.be. Laatst geraadpleegd op 8-2010.
220. **KNMI.** Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. www.knmi.nl. Laatst geraadpleegd op 8-2010.
221. **Koch bodemtechniek.** Bodemleven screening. www.eurolab.nl. Laatst geraadpleegd op 5-2010.
222. **Kolbe H.** 2006. Fruchtfolgegestaltung im ökologischen und extensiven Landbau: Bewertung von Vorfruchtwirkungen. *Pflanzenbauwissenschaften* 20: 82-89.
223. **Koopmans C., Bokhorst J., ter Berg C. & van Eekeren N.** 2007. Bodemsignalen: praktijkgids voor een vruchtbare bodem. Roodbont Uitgeverij, Louis Bolk Instituut, Driebergen, Nederland. 96 p.
224. **Koopmans C. & Brandts L.** 2003. Testkit bodemkwaliteit: ondersteuning van duurzaam bodembeheer. Louis Bolk Instituut, Driebergen, Nederland. 92 p.
225. **Koopmans C., Smeding F., Rutgers M., Bloem J. & van Eekeren N.** 2006. Biodiversiteit en bodembeheer in de landbouw. Louis Bolk Instituut, Driebergen, Nederland. 69 p.
226. **Koopmans C., Zanen M. & ter Berg C.** 2005. De Kuil: bodembeoordeling aan de hand van een kuil. Louis Bolk Instituut, Driebergen, Nederland. 16 p.
227. **Koopmans G.F., Van der Leeuw M.E., Romkens P.F.A.M., Chardon W.J. & Oenema D.O.** 2001. Identification and characterization of phosphorus-rich sandy soils. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 49: 369-384.
228. **Körschens M., Rogasik J. & Schulz E.** 2005. Bilanzierung und Richtwerte organischer Bodensubstanz. *Landbauforschung Volkenrode* 55: 1-10.
229. **Korthals G.W., de Boer M., Molendijk L.P.G., van Gastel W., Thoden T. & Visser J.H.M.** 2010. Bodemgezondheid binnen bedrijfssystemen: BODEM! Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen, Nederland. 1 p.
230. **Kramberger B., Gselman A., Janzekovic M., Kaligarić M. & Bracko B.** 2009. Effects of cover crops on soil mineral nitrogen and on the yield and nitrogen content of maize. *European Journal of Agronomy* 31: 103-109.
231. **Kromp B.** 1999. Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74: 187-228.

232. **Kroonen-Backbier B., Molema G.J., Achten V. & Grashoff K.** 2004. Mogelijkheden voor verhoging van de stikstofefficiëntie. Deskstudie in het kader van het project Nutriënten Waterproof LNV-programma's systeeminnovatie open teelten (400-I en 400-III). Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen, Nederland.
233. **Kurle J.E., Grau C.R., Oplinger E.S. & Mengistu A.** 2001. Tillage, crop sequence and cultivar effects on *Sclerotinia* stem rot incidence and yield in soybean. *Agronomy Journal* 93: 973-982.
234. **Labreuche J. & Cohan J.P.** 2009. Enjeux et gestion des couverts intermediaires. Arvalis - Institut du végétal, Boigneville, Frankrijk. 8 p.
235. **Lambrechts J.** 2005. Aardappeldrempels: praktijkervaring. Resultaten 2004. Landbouwcentrum Aardappelen, België. 89 p.
236. **Le Bissonnais Y.** 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility. 1. Theory and methodology. *European Journal of Soil Science* 47: 425-427.
237. **Legrand G. & Vandergeten J.-P.** 2006. Bodembedekkers: de juiste keuze vóór het zaaien van de suikerbiet. *De Bietplanter* 430: 7-8.
238. **Leroy B.** 2008. Soil food web, C and N transformations and soil structure: interactions and feedback mechanisms as a function of the quality of exogenous organic matter. Doctoraatsthesis, Universiteit Gent, België. 246 p.
239. **Leroy B., Bommele L., Reheul D., Moens M. & De Neve S.** 2007. The application of vegetable, fruit and garden waste (VFG) compost in addition to cattle slurry in a silage maize monoculture: effects on soil fauna and yield. *European Journal of Soil Biology* 43: 91-100.
240. **Leroy B., Herath M.S.K., De Neve S., Gabriëls D., Bommele L., Reheul D. & Moens M.** 2008. Effect of vegetable, fruit and garden (VFG) waste compost on soil physical properties. *Compost science and utilization* 16: 43-51.
241. **Leroy B., Van den Bossche A., De Neve S., Reheul D. & Moens M.** 2007. The quality of exogenous organic matter: short-term influence on earthworm abundance. *European Journal of Soil Biology* 43: 196-200.
242. **Lettens S., Van Orshoven J., Van Wesemael B., Muys B. & Perrin D.** 2005. Soil organic carbon changes in landscape units of Belgium between 1960 and 2000 with reference to 1990. *Global Change Biology* 11: 2128-2140.
243. **Leys A., Govers G., Gillijns K. & Poesen J.** 2007. Conservation tillage on loamy soils: explaining the variability in interrill runoff and erosion reduction. *European Journal of Soil Science* 58: 1425-1436.
244. **Lheureux S.** Ontstoppelen, groenbedekkers en onkruidbestrijding. Presentatie praktijkdag Prosensols te Vaulx-Vraucourt (FR). Groenbedekkers: agro-milieumaatregelen, plaats in de teeltrotatie en technische aspecten. www.agrarischlandschap.com/prosensols/nl/agenda/presentations_SLheureux_NL.pdf. Laatst geraadpleegd op 5-2010.
245. **Licht M.A. & Al-Kasi M.** 2005. Strip-tillage effect on seedbed soil temperature and other soil physical properties. *Soil & Tillage Research* 80: 233-249.
246. **Liebig M.A. & Doran J.W.** 1999. Evaluation of farmers' perceptions of soil quality indicators. *American Journal of Alternative Agriculture* 14: 11-21.
247. **Life.** SOWAP - Soil & Water Protection. www.sowap.org. Laatst geraadpleegd op 8-2010.

248. **Lilburne L., Sparling G. & Schipper L.** 2004. Soil quality monitoring in New Zealand: development of an interpretative framework. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 104: 535-544.
249. **Liu X., Herbert S.J., Hashemi A.M., Zhang X. & Ding G.** 2006. Effects of agricultural management on soil organic matter and carbon transformation - a review. *Plant Soil Environment* 52: 531-543.
250. **LNV.** Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. www.hetInvloket.nl. Laatst geraadpleegd op 10-2010.
251. **Louis Bolk Instituut.** NDICEA stikstofplanner. www.ndicea.nl. Laatst geraadpleegd op 8-2010.
252. **Lupwayi N., Rice W.A. & Clayton G.W.** 1998. Soil microbial diversity and community structure under wheat as influenced by tillage and crop rotation. *Soil Biology & Biochemistry* 30: 1733-1741.
253. **Macdonald A.J., Poulton P.R., Howe M.T., Goulding K.W.T. & Powlson D.S.** 2005. The use of cover crops in cereal-based cropping systems to control nitrate leaching in SE England. *Plant and Soil* 273: 355-373.
254. **Mäder P., Fliessbach A., Dubois D., Gunst L., Fried P. & Niggli U.** 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* 296: 1694-1697.
255. **Magdoff F. & van Esbroek M.** 1992. Building soils for better crops - sustainable soil management. Sustainable Agriculture Research and Education (SARE) program, Waldorf, USA. 294 p.
256. **Marschner P., Kandeler E. & Marschner B.** 2003. Structure and function of the soil microbial community in a long-term fertilizer experiment. *Soil Biology & Biochemistry* 35: 453-461.
257. **Masscheleyn P.** 2006. Meerjarige niet-kerende bodembewerking toont positieve effecten. *Landbouw en Techniek* 18: 26-27.
258. **Massenot D.** 2003. Approche de la fertilité: quel diagnostic et avec quelles approches? *Comptes Rendus de l'Academie d'Agriculture de France* 89: 0.
259. **Maugnard A. & Biolders C.** 2009. Réduire le ruissellement et l'érosion en culture de pommes de terre. Résultats des essais réalisés dans le cadre du projet Interreg IV France-Wallonie-Vlaanderen PROSENSOLS. Université Catholique de Louvain, België. 19 p.
260. **McGarry D., Bridge B.J. & Radford B.J.** 2000. Contrasting soil physical properties after zero and traditional tillage of an alluvial soil in the semiarid subtropics. *Soil & Tillage Research* 53: 105-115.
261. **Meek B.D., Rechel E.A., Carter L.M. & DeTar W.R.** 1989. Changes in infiltration under alfalfa as influenced by time and wheel traffic. *Soil Science Society of America Journal* 53: 238-241.
262. **Meersmans J., De Ridder F., Canters F., De Baets S. & Van Molle M.** 2008. A multiple regression approach to assess the spatial distribution of Soil Organic Carbon (SOC) at the regional scale (Flanders, Belgium). *Geoderma* 143: 1-13.
263. **MESAM.** 2007. Groenbedekkers. In: MESAM. *Waar gaat onze bodem heen? Watererosie en bodemconservering in Vlaanderen, Wallonië en Nord - Pas de Calais*. Interreg III France-Wallonie-Vlaanderen. pp. 1-8.

264. **Mestdagh I., Sleutel S., Lootens P., van Cleemput O., Beheydt D., Boeckx P., De Neve S., Hofman G., Van Camp N., Vande Walle I., Samson R., Verheyen K., Lemeur R. & Carlier L.** 2009. Soil organic carbon-stock changes in Flemish grassland soils from 1990 to 2000. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science-Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 172: 24-31.
265. **Meuffels G.** 2010. Rapport BodemBreed Interreg Vlaanderen-Nederland. Velddemonstraties Nederlands Limburg 2009. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, Wageningen, Nederland. 62 p.
266. **Meuffels G., Cauffman D. & Van De Ven G.** 2010. Deskstudie en veldonderzoek groenbemesters. Bodembreed Interreg Vlaanderen-Nederland 2009-2010. 34 p.
267. **Meul M., Nevens F. & Reheul D.** 2004. Genetische diversiteit van landbouwgewassen in Vlaanderen. Stedula publicatie 7. Steunpunt Duurzame Landbouw, Gontrode, België. 58 p.
268. **Meul M., Nevens F., Reheul D., Gulinck H. & Hofman G.** 2004. Gebruik van bioindicatoren voor ecologisch duurzame landbouw: mogelijkheden en beperkingen. Steunpunt Duurzame landbouw, Gontrode, België. 27 p.
269. **MIRA.** 2007. Milieुरapport Vlaanderen, Achtergronddocument Bodem. Bomans K., Dewaelheyns V., Goffings M., Gulinck H., Govers G., Heremans S., Lambie B., Meeus S., Notebaert B., Poesen J., Ruyschaert G., Stalpaert L., Van den Bulck S., Vandendriessche H., Van Rompaey A., Verstraeten G. Vlaamse Milieumaatschappij, www.milieुरapport.be. 165 p.
270. **Moolenaar S.W. & Hanegraaf M.** 2008. Bodembeheer & bodembiodiversiteit. Nutrient Management Instituut, Wageningen, Nederland.
271. **Moore J.M., Klose S. & Tabatabai M.A.** 2000. Soil microbial biomass carbon and nitrogen as affected by cropping systems. *Biology and Fertility of Soils* 31: 200-210.
272. **Mortreux P.** Beheer van stikstof: opname en teruggifte van nitraten. Presentatie praktijkdag Prosensols te Vaulx-Vraucourt (FR). Groenbedekkers: agro-milieumaatregelen, plaats in de teeltrotatie en technische aspecten. www.agrarischlandschap.com/prosensols/nl/agenda/pieger_et_restituer_les_nitrates_NL.pdf. Laatst geraadpleegd op 5-2010.
273. **Muitjens S.** Basis niet-kerende grondbewerking. Presentatie introductie cursus NKG. www.nietkerendegrondbewerking.nl. Laatst geraadpleegd op 5-2010.
274. **Muitjens S.** Trekkraft efficiëntie. Presentatie masterclass NKG. www.nietkerendegrondbewerking.nl. Laatst geraadpleegd op 5-2010.
275. **Mulier A., Nevens F. & Hofman G.** 2006. Daling van de organische stof in Vlaamse landbouwgronden. Analyse van mogelijke oorzaken en aanbevelingen voor de toekomst. Steunpunt Duurzame Landbouw (Stedula), Gontrode, België. 63 p.
276. **Mulier A., Nevens F., Meul M. & Hofman G.** 2005. Indicatoren voor bodemkwaliteit: ontwikkeling van een raamwerk en verkenning van de mogelijkheden voor monitoring op beleids- en bedrijfsniveau. Steunpunt Duurzame Landbouw, Gontrode, België. 32 p.
277. **Müller L., Kay B.D., Huc C., Li Y., Schindler U., Behrendt A., Shepherd T.G. & Ball B.C.** 2009. Visual assessment of soil structure: evaluation of methodologies on sites in Canada, China and Germany. Part I: Comparing visual methods and linking them with soil physical data and grain yield of cereals. *Soil & Tillage Research* 103: 178-187.

278. **Mulvaney R.L., Khan S.A. & Ellsworth T.R.** 2009. Synthetic nitrogen fertilizers deplete soil nitrogen: a global dilemma for sustainable cereal production. *Journal of Environmental Quality* 38: 2295-2314.
279. **Mupangwa W., Twomlow S., Walker S. & Hove L.** 2007. Effect of minimum tillage and mulching on maize (*Zea mays* L.) yield and water content of clayey and sandy soils. *Physics and Chemistry of the Earth* 32: 1127-1134.
280. **NCRS.** Natural Resources Conservation Service. Improving how your soil works. www.soils.usda.gov/sqi/assessment/sq_card.html. Laatst geraadpleegd op 5-2010.
281. **Nevens F.** 2003. Nitrogen use efficiency in grassland, silage maize and ley/arable rotations. Doctoraatsthesis, Universiteit Gent, België. 231 p.
282. **Nevens F. & Reheul D.** 2001. Crop rotation versus monoculture: yield, N yield and ear fraction of silage maize at different levels of mineral N fertilization. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 49: 405-425.
283. **Nevens F. & Reheul D.** 2001. The nitrogen and non-nitrogen contribution effect of ploughed three year old grazed grass leys on the following arable crops: determination and optimum use. *European Journal of Agronomy* 16: 57-74.
284. **Noble R., Pereira N., Coventry E. & Whipps J.** 2006. Scoping study of research conducted on the disease suppression capability of composted materials in horticulture, agriculture and turf grass applications. WRAP, UK. 45 p.
285. **NSW Government - Industry & Investment.** Soil types, structure and condition: cation exchange capacity. www.dpi.nsw.gov.au/agriculture/resources/soils/structure/cec. Laatst geraadpleegd op 8-2010.
286. **Ogle S.M., Breidt F.J. & Paustian K.** 2005. Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions. *Biogeochemistry* 72: 87-121.
287. **Oliveira J.C.M., Timm L.C., Tominaga T.T., Cassaro F.A.M., Reichardt K., Bacchi O.O.S., Dourado-Neto D. & Camara G.M.D.** 2001. Soil temperature in a sugar-cane crop as a function of the management system. *Plant and Soil* 230: 61-66.
288. **Oorts K.** 2006. Effects of tillage systems on soil organic matter stocks and C and N fluxes in cereal cropping systems on a silt loam soil in Northern France. Doctoraatsthesis, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium. 178 p.
289. **Oorts K., Bossuyt H., Labreuche J., Merckx R. & Nicolardot B.** 2007. Carbon and nitrogen stocks in relation to organic matter fractions, aggregation and pore size distribution in no-tillage and conventional tillage in northern France. *European Journal of Soil Science* 58: 248-259.
290. **Paauw J.** 2006. Aan de slag met erosie. Ploegloze grondbewerking in beweging (2004-2006). PPO rapport 5115105. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen, Nederland. 18 p.
291. **Paulitz T.C., Smiley R.W. & Cook R.J.** 2002. Insights into the prevalence and management of soilborne cereal pathogens under direct seeding in the Pacific Northwest, USA. *Canadian Journal of Plant Pathology-Revue Canadienne de Phytopathologie* 24: 416-428.
292. **Paustian K., Andrien O., Janzen H.H., Lal R., Smith P., Tian G., Tiessen H., Van Noordwijk M. & Woomer P.L.** 1997. Agricultural soils as a sink to mitigate CO₂ emissions. *Soil Use and Management* 13: 230-244.

293. **Peacock A.D., Mullen M.D., Ringelberg D.B., Tyler D.D., Hedrick D.B., Gale P.M. & White D.C.** 2001. Soil microbial community responses to dairy manure or ammonium nitrate applications. *Soil Biology & Biochemistry* 33: 1011-1019.
294. **Peters R.D., Sturz A.V., Carter M.R. & Sanderson J.B.** 2003. Developing disease-suppressive soils through crop rotation and tillage management practices. *Soil & Tillage Research* 72: 181-192.
295. **Peters R.D., Sturz A.V., Carter M.R. & Sanderson J.B.** 2004. Influence of crop rotation and conservation tillage practices on the severity of soil-borne potato diseases in temperate humid agriculture. *Canadian Journal of Soil Science* 84: 397-402.
296. **Poesen J., Govers G. & Goossens D.** 1996. Verdichting en erosie van de bodem in Vlaanderen. *Tijdschrift van de Belgische Vereniging voor Aardrijkskundige Studies* 2: 141-181.
297. **Poulet V., Xanthoulis, Fonder N., Lebrun P. & Barthélémy J.P.** 2010. Drempels tussen de aardappelruggen om afspoeling en erosie tegen te gaan. Landbouwcentrum Aardappelen, België. 6 p.
298. **Powlson D.S., Jenkinson D.S., Johnston A.E., Poulton P.R., Glendining M.J. & Goulding K.W.T.** 2010. Comment on 'Synthetic nitrogen fertilizers deplete soil nitrogen: a global dilemma for sustainable cereal production' by R.L. Mulvaney et al. in the Journal of Environmental Quality 2009 38: 2295-2314. Letters to the editor. *Journal of Environmental Quality* 39: 1-4.
299. **Proclam vzw & WPIG vzw.** 2009. Waarom groenbedekkers uitzaaien? Brochure demonstratienamiddag november 2009, Interregproject PROSENSOLS. POVLT, Rumbeke-Beitem, België.
300. **Productschap Akkerbouw.** 2008. Verordening PA erosiebestrijding Zuid-Limburg 2008. Productschap Akkerbouw, Nederland. 12 p.
301. **Productschap Akkerbouw.** Kennisakker.nl - akkerbouwkennis voor iedereen. www.kennisakker.nl. Laatst geraadpleegd op 3-2010.
302. **Provinciaal Onderzoeks- en Voorlichtingscentrum voor Land- en Tuinbouw.** 2008. Bekalking: een noodzaak voor iedere bodem. *Groentemail Beitem (jaargang 5)* 6: 4.
303. **Pulleman M.** Wat is het effect van NKG op het bodemleven? Presentatie masterclass NKG. www.nietkerendegrondbewerking.nl. Laatst geraadpleegd op 5-2010.
304. **Raes D.** 2001. Waterbalance of a cropped soil. Katholieke Universiteit Leuven, België. 79 p.
305. **Rahman L., Chan K.Y. & Heenan D.P.** 2007. Impact of tillage, stubble management and crop rotation on nematode populations in a long-term field experiment. *Soil & Tillage Research* 95: 110-119.
306. **Randall G.W. & Iragavarapu T.K.** 1995. Impact of long-term tillage systems for continuous corn on nitrate leaching to tile drainage. *Journal of Environmental Quality* 24: 360-366.
307. **Rasmussen K.J.** 1999. Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: a Scandinavian review. *Soil & Tillage Research* 53: 3-14.
308. **Rees R.M., Ball B.C., Campbell C.C. & Watson C.A.** 2001. Sustainable management of soil organic matter. CABI publishing, London. 41 p.
309. **Reeves D.W.** 1994. Crop residue management. In: Hatfield J.L. & Steward B.A. *Advances in soil science*. Lewis Publishers, Boca Raton. pp. 125-158.

310. **Reheul D.** 2004. Plantaardige Productiesystemen. Universiteit Gent, Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, Gent, België.
311. **Reid D.K.** 2008. Comment on 'The myth of nitrogen fertilization for soil carbon sequestration' by S.A. Khan et al. in the Journal of Environmental Quality 36: 1821-1832. Letters to the editor. *Journal of Environmental Quality* 37: 739-740.
312. **Reijneveld A., van Wensem J. & Oenema O.** 2009. Soil organic carbon contents of agricultural land in the Netherlands between 1984 and 2004. *Geoderma* 152: 231-238.
313. **Reinhardt G. & Scheurlen K.** 2004. Naturschutzaspekte bei der Nutzung erneuerbarer Energien. Report to the German Federal Agency for Nature Conservation, Leipzig, Germany. 128 p.
314. **Riemens M.M. & van der Weide R.** 2009. Wortelonkruiden: biologie en bestrijding, een literatuuroverzicht van akkerdistel, akkerkers, knolcyperus, veenwortel, akkermunt en moerasandoorn. Plant Research International, Wageningen, Nederland. 54 p.
315. **Rigby D., Woodhouse P., Young T. & Burton M.** 2001. Constructing a farm level indicator of sustainable agricultural practice. *Ecological Economics* 39: 463-478.
316. **Riley H.** 2006. Recent yield results and trends over time with conservation tillage on morainic loam soil in southeast Norway. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science* 56: 117-128.
317. **Rottiers I., Schiettecatte W., Gabriels D. & Verbist K.** 2002. Erosiebeperking in de Vlaamse Ardennen - verslag projectfase 4. Demonstratieveldproeven. Universiteit Gent, Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, Gent, België. 25 p.
318. **Runia W.T., van Beers T., Brommer E., Kok C.J. & Molendijk L.P.G.** 2006. Resultaten van het HPA project Inventarisatie bestrijdingsmethoden. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen, Nederland. 63 p.
319. **Rutgers M., Mulder C. & Schouten A.J.** 2007. Typeringen van bodemecosystemen in Nederland met tien referenties voor biologische bodemkwaliteit. RIVM report, Bilthoven, Nederland. 96 p.
320. **Rutgers M., Mulder C., Schouten A.J., Bogte J.J., Breure A.M., Bloem J., Jagers op Akkerhuis G.A.J.M., Faber J.H., van Eekeren N., Smeding F.W., Keidel H., de Goede R.G.M. & Brussaard L.** 2005. Typeringen van bodemecosystemen. Duurzaam bodemgebruik met referenties voor biologische bodemkwaliteit. RIVM report, Bilthoven, Nederland. 105 p.
321. **Ruysschaert G., Poesen J., Notebaert B., Verstraeten G. & Govers G.** 2008. Spatial and long-term variability of soil loss due to crop harvesting and the importance relative to water erosion: a case study from Belgium. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 126: 217-228.
322. **Ruysschaert G., Willekens K. & Carlier L.** 2008. Module 3 bodem. In: Anonymus. *Kennisbronboek biologische landbouw. Kennisbronplatform over biologische land- en tuinbouw ten behoeve van het hoger onderwijs in Vlaanderen.* pp. 1-23.
323. **Ryszkowski L., Szajdak L. & Karg J.** 1998. Effects of continuous cropping of rye on soil biota and biochemistry. *Critical Reviews in Plant Sciences* 17: 225-244.
324. **Salomez J., Pannier J., Deneve S., Hofman G., Demyttenaere P., Verstegen P., Vanparys L. & Sarrazyn R.** 1995. Het belang van de inbreng van groente-oogstresten. In: Geypens M. & Honnay J.P. *Landbouwkundige en milieugerichte functies van de organische stof in de bodem, I.W.O.N.L.* pp. 105-128.

325. **Sauer R.J., Hatfield J.L. & Prueger J.H.** 1996. Corn residue age and placement effects on evaporation and soil thermal regime. *Soil Science Society of America Journal* 60: 1558-1564.
326. **Scheepens P., Gross C.M. & Riemens M.M.** 2004. Invoer van onkruiden op een bedrijf. Plant Research International, Wageningen, Nederland. 22 p.
327. **Scheepens P., Hoek H., Molema G.J., Bastiaans L., Groeneveld R., Schoenmaker E. & Pikaar P.** 2003. Innovatieve onkruidpreventie in biologische landbouw door groenbemesters in het bouwplan. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen, Nederland. 37 p.
328. **Schel J.** 2007. Groenbemesters niet doodspuiten. *Nieuwe Oogst* 9: 17.
329. **Schoenau J.J. & Campbell C.A.** 1996. Impact of crop residues on nutrient availability in conservation tillage systems. *Canadian Journal of Plant Science* 76: 621-626.
330. **Scholberg J., ter Berg C., Staps S. & van Strien J.** 2010. Minder en anders bemesten. Voordelen van maaimeststoffen voor de teelt van najaarsspinazie. Resultaten veldproef bij Joost van Strien in Ens, 2009. Louis Bolk Instituut, Driebergen, Nederland. 44 p.
331. **Schoumans O.F.** 2007. Trends in de fosfaattoestand van landbouwgronden in Nederland in de periode 1998-2003. Alterra rapport 1537. Alterra, Wageningen. 38 p.
332. **Schoumans O.F., Willems J. & van Duinhoven G.** 2008. 30 vragen en antwoorden over fosfaat in relatie tot landbouw en milieu. Alterra, Wageningen, Nederland. 53 p.
333. **Schouten A.J., Bloem J., Breure A.M., Didden W.A.M., van Esbroek M., de Ruiter P.C., Rutgers M., Siepel H. & Velvis H.** 2000. Pilotproject bodembioologische indicator voor Life Support functies van de bodem. RIVM report, Bilthoven, Nederland. 106 p.
334. **Schouten A.J., Bloem J., Didden W.A.M., Jagers op Akkerhuis G.A.J.M., Keidel H. & Rutgers M.** 2002. Bodembioologische Indicator 1999. Ecologische kwaliteit van graslanden op zandgrond. RIVM report, Bilthoven, Nederland. 107 p.
335. **Sembiring H., Johnson G.V. & Raun W.R.** 1998. Extractable nitrogen using hot potassium chloride as a mineralization potential index. *Journal of Plant Nutrition* 21: 1253-1271.
336. **Shepherd T.G.** 2000. Visual Soil Assessment. Volume 1. Field guide for cropping and pastoral grazing on flat to rolling country. Horizons.mw & Landcare Research, Palmerston North, New Zealand. 84 p.
337. **Shepherd T.G., Stagnari F., Pisante M. & Benites J.** 2008. Visual soil assessment. Field guides. Annual crops. FAO, Rome, Italy. 26 p.
338. **Six J., Elliott E.T. & Paustian K.** 2000. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biology and Biochemistry* 32: 2099-2103.
339. **Sleutel S., De Neve S. & Hofman G.** 2007. Assessing causes of recent organic carbon losses from cropland soils by means of regional-scaled input balances for the case of Flanders (Belgium). *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 78: 265-278.
340. **Sleutel S., De Neve S., Singier B. & Hofman G.** 2007. Quantification of organic carbon in soils: A comparison of methodologies and assessment of the carbon content of organic matter. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 38: 2647-2657.
341. **Sleutel S., Leinweber P., Ara Begum S., Kader M.A., Van Oostveldt P. & De Neve S.** 2008. Composition of organic matter in sandy relict and cultivated heathlands as examined by Pyrolysis-Field Ionization MS. *Biogeochemistry* 89: 253-271.

342. **Smeding F., van Eekeren N. & Schouten A.J.** 2005. Bodemvoedselwebben op melkveebedrijven - methode voor een kwalitatieve analyse van de voedselwebstructuur. BIOVEEM, Intern Rapport 14, Nederland. 36 p.
343. **Smit A. & Kuikman P.** 2005. Organische stof: onbemind of onbekend? Alterra, Wageningen, Nederland. 39 p.
344. **Soil Foodweb Inc.** Soil Foodweb. www.soilfoodweb.com. Laatst geraadpleegd op 5-2010.
345. **Soil Survey Staff.** 1999. Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, USA. 871 p.
346. **Soon Y.K., Arshad M.A., Haq A. & Lupwayi N.** 2007. The influence of 12 years of tillage and crop rotation on total and labile organic carbon in a sandy loam soil. *Soil & Tillage Research* 95: 38-46.
347. **Sparling G.P., Lilburne L. & Vojvodic-Vukovic M.** 2008. Provisional targets for soil quality indicators in New Zealand. Landcare Research, Lincoln, Canterbury, New Zealand. 64 p.
348. **Spedding T.A., Hamel C., Mehuys G.R. & Madramootoo C.A.** 2004. Soil microbial dynamics in maize-growing soil under different tillage and residue management systems. *Soil Biology & Biochemistry* 36: 499-512.
349. **Springer U. & Klee J.** 1954. Prüfung der Leistungsfähigkeit von einigen wichtigen Verfahren zur Bestimmung des Kohlenstoffs mittels Chromschwefelsäure sowie Vorschlag einer neuen Schnellmethode. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science-Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 64: 1-26.
350. **Steel H., de la Peña E., Fonderie P., Willekens K., Borgonie G. & Bert W.** 2010. Nematode succession during composting and the potential of the nematode community as an indicator of compost maturity. *Pedobiologia - International Journal of Soil Biology* 53: 181-190.
351. **Steenwerth K.L., Jackson L.E., Calderón F., Stromberg M.R. & Scow K.M.** 2002. Soil microbial community composition and land use history in cultivated and grassland ecosystems of coastal California. *Soil Biology & Biochemistry* 34: 1559-1611.
352. **Stinner B.R. & House G.J.** 1990. Arthropod and other invertebrates in conservation-tillage agriculture. *Annual Review of Entomology* 35: 299-319.
353. **Stockfisch N., Forstreuter T. & Ehlers W.** 1999. Ploughing effects on soil organic matter after twenty years of conservation tillage in Lower Saxony, Germany. *Soil & Tillage Research* 52: 91-101.
354. **Strauss P. & Murer E.** 2001. Runoff, soil erosion and related physical properties after 7 years of compost application. In: Amlinger F., Dreher P., Nortcliff S. & Weinfurter K. *Applying compost - benefits and needs. Seminar proceedings*. Brussel, België.
355. **Sturz A.V., Carter M.R. & Johnston H.W.** 1997. A review of plant disease, pathogen interactions and microbial antagonism under conservation tillage in temperate humid agriculture. *Soil & Tillage Research* 41: 169-189.
356. **Sullivan P.** 2003. Overview of cover crops and green manures. ATTRA-NCAT, USA. 16 p.
357. **Sullivan P.** 2004. Sustainable management of soil-borne plant diseases. Soil systems guide. ATTRA-NCAT, USA. 16 p.

358. **Taes I., Verlinden G. & Bries J.** 2004. Onderzoek naar bemestings- en bodemverbeterende waarde van GFT-compost via een meerjarige proef op akkerland - Verslag wortelen 2004. Bodemkundige Dienst van België, Heverlee, België. 33 p.
359. **Tebrugge F. & During R.A.** 1999. Reducing tillage intensity - a review of results from a long-term study in Germany. *Soil & Tillage Research* 53: 15-28.
360. **ter Berg C., Bokhorst J., van Eekeren N. & Heeres E.** 2006. Bodem in zicht: beoordelen en verbeteren van de bodemkwaliteit. Louis Bolk Instituut, Driebergen, Nederland.
361. **Termorshuizen A., van Rijn E., van der Gaag D.J., Alabouvette C., Chen Y., Lagerlöf J., Malandrakis A.A., Paplomatas E.J., Rämert B., Ryckeboer J., Steinberg C. & Zmora-Nahoum S.** 2006. Suppressiveness of 18 composts against 7 pathosystems: variability in pathogen response. *Soil Biology & Biochemistry* 38: 2461-2477.
362. **Thomas F.** Techniques culturales simplifiées: principes et intérêts. www.agritarn.com/page_site/Techniques-cultureles-simplifies-principes-et-intrts.php. Laatst geraadpleegd op 8-2010.
363. **Thorup-Kristensen K., Magid J. & Jensen L.S.** 2003. Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones. *Advances in Agronomy* 79: 227-302.
364. **Timmer R.D., Korthals G.W. & Molendijk L.P.G.** Teelthandleiding groenbemesters - algemeen. www.kennisakker.nl. Laatst geraadpleegd op 6-2010.
365. **Tisdall J.M. & Oades J.M.** 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science* 33: 141-163.
366. **Tomasoni C., Borrelli L. & Pecetti L.** 2003. Influence of fodder crop rotations on the potential weed flora in the irrigated lowlands of Lombardy, Italy. *European Journal of Agronomy* 19: 439-451.
367. **Tugel A.J., Seiter S., Friedman D., Davis J., Dick R.P., McGrath D. & Weil R.R.** 2001. Locally led conservation activities: developing a soil quality assessment tool. In: Stott D.E., Mohtar R.H. & Steinhardt G.C. *Sustaining the Global Farm, 10th International Soil Conservation Organisation Meeting* West Lafayette, USA. pp. 529-534.
368. **Tunney H., Breeuwsma A., Withers P.J.A. & Ehlert P.A.I.** 1997. Phosphorus fertilizer strategies: present and future. In: Tunney H. et al. *Phosphorus loss from soil to water*. CAB International, New York, USA. pp. 177-203.
369. **United States Department of Agriculture (USDA).** 1996. Conservation crop rotation effects on soil quality. Natural Resources Conservation Service, Soil Quality Institute, USA. 3 p.
370. **United States Department of Agriculture (USDA).** 2004. Sod-based rotations: a proven old practice to improve soil productivity. Natural Resources Conservation Service, Soil Quality Institute, USA. 7 p.
371. **Valckx J.** 2006. Regenwormen zijn goede bodemingenieurs. *Landbouw en Techniek* 13: 9-11.
372. **Valckx J., Govers G., Hermy M. & Muys B.** 2009. Dieper graven naar het belang van regenwormen in duurzaam akkerbeheer - een toolkit voor ecologische erosiecontrole. Departement Aard- en Omgevingswetenschappen, Katholieke Universiteit Leuven, België. 34 p.

373. **Valckx J., Govers G., Hermy M. & Muys B.** 2009. Ecoworm - Erosiecontrole in akkerland door het beheer van regenwormgemeenschappen. Eindrapport. IWT Landbouwkundig onderzoek 040681, Leuven, België. 34 p.
374. **van Beek C.L. & Smit A.** 2009. De bodem onder ons bestaan. Alterra, Wageningen, Nederland. 44 p.
375. **van Beek M.** 2009. Diepere grondbewerking bij conserverende landbouw. Hogeschool HAS, Den Bosch, Nederland. 16 p.
376. **Van Camp L., Bujarrabal B., Gentil A.R., Jones R.J.A., Montanarella L., Olazabal C. & Selvaradjou S.K.** 2004. Reports of the technical work groups established under the Thematic Strategy for Soil Protection. EUR 21319 EN/3. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg. 872 p.
377. **Van de Vreken P., Van Holm L., Diels J., Van Orshoven J. & Gobin A.** 2009. Verkennende studie betreffende bodemverdichting in Vlaanderen en afbakening van risicogebieden voor bodemverdichting: tussentijds rapport. Spatial Applications Division K.U.Leuven (SADL), België. 115 p.
378. **van den Akker J.J.H.** 2004. SOCOMO: a soil compaction model to calculate soil stresses and the subsoil carrying capacity. *Soil & Tillage Research* 79: 113-127.
379. **van den Akker J.J.H., Arvidsson J. & Horn R.** 2003. Introduction to the special issue on experiences with the impact and prevention of subsoil compaction in the European Union. *Soil & Tillage Research* 73: 1-8.
380. **van den Akker J.J.H. & de Groot W.J.M.** 2008. Een inventariserend onderzoek naar ondergrondverdichting van zandgronden en lichte zavels. Alterra, Wageningen, Nederland. 77 p.
381. **van den Akker J.J.H. & Hoogland T.** 2009. Comparison of risk assessment methods to determine the subsoil compaction risk of agricultural soils in the Netherlands. *In: Anonymus. ISTRO Conference proceedings*. pp. 1-9.
382. **van den Akker J.J.H., Simota C. & Hoogland T.** 2009. Soil Compaction. Presentatie. Alterra, Wageningen, Nederland. 57 p.
383. **van den Akker J.J.H., Vermeulen G.D., Dekker P. & Phillipsen A.P.** 2006. Bodemverdichting. Leidraad Bodembescherming, onderdeel 5720. Sdu, De Haag, Nederland. 51 p.
384. **Van den Bossche A., De Bolle S., De Neve S. & Hofman G.** 2009. Effect of tillage intensity on N mineralization of different crop residues in a temperate climate. *Soil & Tillage Research* 103: 316-324.
385. **Van den Putte A., Demeulemeester K., Vandergeten J.-P., Govers G., Calus A. & Misonne J.F.** 2009. Syntheseverslag voor tussentijdse evaluatie van het project optimalisatie van niet-kerende bodembewerking (IWT 060665). Katholieke Universiteit Leuven, België. 26 p.
386. **Van den Putte A., Govers G., Diels J., Gillijns K. & Demuzere M.** 2010. Assessing the effect of soil tillage on crop growth: a meta-regression analysis on European crop yields under conservation agriculture. *European Journal of Agronomy* In Press.
387. **van der Burgt G., Oomen G. & Rossing W.A.H.** 2005. The NDICEA model as learning tool: field experiences 2005. Louis Bolk Instituut, Driebergen, Nederland. 2 p.

388. **van der Weide R., van Alebeek F. & van den Broek R.** 2008. En de boer, hij ploegde niet meer? Literatuurstudie naar effecten van niet kerende grondbewerking versus ploegen. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen, Nederland. 25 p.
389. **Van der Zee S.E.A.T.M., van Riemsdijk W.H. & De Haan F.A.M.** 1990. Het protocol fosfaatverzadigde gronden. Deel I: Toelichting. Vakgroep Bodemkunde en Plantenvoeding, Landbouwuniversiteit Wageningen, Nederland. 69 p.
390. **Van Dijck L.** 2010. Waarom een groenbedekker zaaien? *Landbouw en Techniek* 7: 30-32.
391. **van Dijk W., Brommer E. & Korthals G.W.** 2006. (On)mogelijkheden van stikstofvanggewassen na maïs op akkerbouwbedrijven. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen, Nederland. 16 p.
392. **van Eekeren N. & Bokhorst J.** 2009. Beoordeling bodemkwaliteit zandgrond: een inventarisatie van bodemindicatoren in de veehouderij. Louis Bolk Instituut, Driebergen, Nederland. 61 p.
393. **van Eekeren N., Bokhorst J., de Boer H. & Hanegraaf M.** 2008. Van schraal naar rijk zand: beoordeling van en maatregelen voor verbetering van zandgrond op melkveebedrijven. Louis Bolk Instituut, Driebergen, Nederland. 40 p.
394. **van Eekeren N., Bommele L., Bloem J., Schouten T., Rutgers M., de Goede R., Reheul D. & Brussaard L.** 2008. Soil biological quality after 36 years of ley-arable cropping, permanent grassland and permanent arable cropping. *Applied Soil Ecology* 40: 432-446.
395. **van Eekeren N. & de Boer H.** 2008. Soil compaction by slurry injection and the effect on soil quality. *Multifunctional grasslands in a changing world* 1: 763.
396. **van Eekeren N., Heeres E. & Smeding F.** 2003. Leven onder de graszode: discussiestuk over het beoordelen en beïnvloeden van bodemleven in de biologische melkveehouderij. Louis Bolk Instituut, Driebergen, Nederland. 149 p.
397. **van Geel W.C.A. & de Haan J.** 2007. Effecten van organische-stofbeheer in Nutriënten Waterproof op het organische-stofgehalte en de koolstofopslag in de bodem. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen, Nederland. 17 p.
398. **van Geel W.C.A., Dekker P., de Groot W.J.M. & van den Akker J.J.H.** 2007. Structuurherstellend vermogen van groenbedekkers. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen, Nederland. 60 p.
399. **van Groenigen K.J., Bloem J., Baath E., Boeckx P., Rousk J., Bode S., Forristal D. & Jones M.B.** 2010. Abundance, production and stabilization of microbial biomass under conventional and reduced tillage. *Soil Biology & Biochemistry* 42: 48-55.
400. **Van Hove J.** 1969. Variation of the organic matter content and of the C/N ratio in the surface horizons of soils in low- and mid-Belgium. Doctoraatsthesis, Universiteit Gent, België.
401. **Van Middelkoop J., van der Salm C. & Ehlert P.A.I.** 2007. Tien jaar fosfaatevenwichtsbemesting op grasland. Bodemvruchtbaarheid daalt langzaam. *V-focus* december 2007: 30-31.
402. **Van Ormelingen A.** 2007. Niet-kerende bodembewerking: vergelijkende studie tussen België en Nederland. Thesis, Katholieke Hogeschool Kempen, Geel, België. 116 p.
403. **van Schooten H.** 2005. Groenbemesters na maïs: verslag van demo's 2005. Animal Sciences Group, Wageningen, Nederland. 11 p.

404. **van Schooten H., van Eekeren N., Hanegraaf M., van der Burgt G. & de Visser M.** 2006. Zorg voor zand. Effect van meerjarige toepassing groenbemester en organische bemesting op bodemkwaliteit bij continueelt snijmaïs. Louis Bolk Instituut, Driebergen, Nederland. 32 p.
405. **Van Swaaij N.** 2001. Groei en ontwikkeling van de suikerbiet. IRS Betatip, Nederland. 10 p.
406. **van Zeeland M., Paauw J. & Timmer R.D.** 2009. Teelt van groenbemers bij niet kerende grondbewerking. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen, Nederland. 38 p.
407. **Vandaele K., Librecht I., Neven H., Swerts M., Vandekerckhove L. & Leyman N.** 2002. Werk maken van erosiebestrijding. AMINAL, afdeling land, België. 33 p.
408. **Vanden Bygaart A.J. & Angers D.A.** 2006. Towards accurate measurements of soil organic carbon stock change in agroecosystems. *Canadian Journal of Soil Science* 86: 465-471.
409. **Vanden Bygaart A.J., Gregorich E.G. & Angers D.A.** 2003. Influence of agricultural management on soil organic carbon: a compendium and assessment of Canadian studies. *Canadian Journal of Soil Science* 83: 363-380.
410. **Vanden Bygaart A.J., Protz R. & Tomlin A.D.** 1999. Changes in pore structure in a no-till chronosequence of silt loam soils, southern Ontario. *Canadian Journal of Soil Science* 79: 149-160.
411. **Vanden Bygaart A.J., Yang X.M., Kay B.D. & Aspinall D.** 2002. Variability in carbon sequestration potential in no-till soil landscapes of southern Ontario. *Soil & Tillage Research* 65: 231-241.
412. **Vanden Nest T.** 2010. Compost in de land- en tuinbouw. Thesis, Universiteit Gent, België. 152 p.
413. **Vandenaauwele W., Boon W., Bries J., Coppens G., Deckers S., Elsen F., Mertens J., Vandendriessche H., Ver Elst P. & Vogels N.** 2004. De chemische bodemvruchtbaarheid van het Belgische akkerbouw- en weilandareaal 2000-2003. BDB-VMM-ALT, België. 138 p.
414. **Vandendriessche H.** 1999. Cursus bemestingsleer. Katholieke Universiteit Leuven, Faculteit Bio-ingenieurswetenschappen, België.
415. **Vandergeten J.-P. & Roisin C.** 2004. Ploegloze teelttechnieken in de suikerbietenteelt. KBIVB, België. 22 p.
416. **Vanmontfort B., De Man J., Van Rompaey A., Langohr R. & Clarys B.** 2006. De evaluatie van bodemerosie op de neolithische site van Ottenburg/Grez-Doiceau. VIOE-Rapporten 02: Centrale Archeologische Inventaris (CAI) II. Thematisch inventarisatie- en evaluatieonderzoek. Vlaams Instituut voor Onroerend Erfgoed (VIOE), België. 28 p.
417. **Vanongeval L., Bries J., Meykens J., Boon W., Vandendriessche H. & Geypens M.** 2000. De chemische bodemvruchtbaarheid van het Belgische akkerbouw- en weilandareaal 1996-1999. BDB-ALT-ABIPA, België. 104 p.
418. **Vanongeval L., Hendrickx G. & Geypens M.** 1995. Modelleren van de evolutie van het organische stofgehalte op lange termijn. In: Geypens M. & Honnay J.P. *Landbouwkundige en milieugerichte functies van de organische stof in de bodem*. I.W.O.N.L., Brussel, België.
419. **Ver Elst P. & Bries J.** 2009. Beheersen van nitraatresidu: wat kan op dit ogenblik nog gebeuren? *Landbouwleven* 17: 11-13.

420. **Verhulst N., Govaerts B., Verachtert E., Castellanos-Navarrete A., Mezzalama M., Wall P.C., Deckers J. & Sayre K.D.** 2010. Conservation agriculture, improving soil quality for sustainable production systems? *In: Lal R. & Steward B.A. Advances in Soil Science: Food Security and Soil Quality.* CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. pp. 137-208.
421. **Verlinden G., Gobin A., Gillijns K., Leys A., Govers G. & Verstraeten G.** 2005. Toetsing van erosiebeperkende teeltsystemen in een löss bouwplan met akkerbouwgewassen. Eindrapport. Katholieke Universiteit Leuven en Bodemkundige Dienst van België, België. 144 p.
422. **Verloo M.** 2006. Cursus plantenvoeding en meststoffen. Universiteit Gent, Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, Gent, België. 154 p.
423. **Vermang J., Demeyer V., Cornelis W.M. & Gabriels D.** 2009. Aggregate stability and erosion response to antecedent water content of a Loess soil. *Soil Science Society of America Journal* 73: 718-726.
424. **Vermang J., Desauw H., Cornelis W.M. & Gabriels D.** 2010. Evaluation of conservation tillage by means of physical soil quality indicators. *In: Anonymus.* Brisbane, Australia.
425. **Vermeulen B.** 2008. Ervaring met een rijpadensysteem voor biologische teelt op grotere schaal. Plant Research International, Wageningen, Nederland. 5 p.
426. **Vierveijzer H.C., Lepelaar A. & Dijkstra J.** 1979. Analysemethoden voor grond, rioolslib, gewas en vloeistof. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren, Nederland. 26 p.
427. **VILT vzw.** 2007. Landbouw moet steeds opnieuw uitgevonden worden. Interview met Luc Vankrunkelsven - Wervel. Vlaams infocentrum land- en tuinbouw, Brussel, België.
428. **VILT vzw.** 2008. Koolstof in de bodem - Gaat de bodem bergaf? Interview met Jan Bries - Bodemkundige Dienst België. Vlaams infocentrum land- en tuinbouw, Brussel, België. 8 p.
429. **VILT vzw.** 2010. Boeren realiseren zich nog veel te weinig het gevaar. Interview met Walter Steurbaut - Vakgroep Gewasbescherming UGent. Vlaams infocentrum land- en tuinbouw, Brussel, België. 4 p.
430. **Visscher J., Dekker P., de Boer H., Brommer E., Clevering O.A., van Dam A.M., van Geel W.C.A., de Haas M.J.G., Hoving I.E., van der Klooster A., van Schooten H.A., Schreuder R. & de Wolf P.** 2008. Perspectieven van bedrijfsmaatregelen voor duurzaam bodemgebruik. Kosten en effectiviteit van vijf maatregelen. Animal Science Group, Wageningen, Nederland.
431. **Vlaamse Milieumaatschappij (VMM).** MIRA - Milieurapport Vlaanderen. www.milieurapport.be. Laatst geraadpleegd op 8-2010.
432. **VLM.** 2010. Evaluatie van de metingen van het nitraatresidu 2009. Vlaamse Landmaatschappij, België. 125 p.
433. **VLM.** Vlaamse Landmaatschappij - Beheerovereenkomsten. www.vlm.be/algemeen/Regelgeving/Beheerovereenkomsten/Pages/default.aspx. Laatst geraadpleegd op 3-2010.
434. **VLM.** Vlaamse Landmaatschappij - Mestbank. www.vlm.be/landtuinbouwers/mestbank/Pages/default.aspx. Laatst geraadpleegd op 3-2010.
435. **VLM.** Vlaamse Landmaatschappij - Regelgeving. <http://www.vlm.be/algemeen/Regelgeving/Mestbank/Besluiten/Pages/Mestdecreet.aspx>. Laatst geraadpleegd op 8-2010.

436. **Voroney R.T., Winter J.P. & Beyaert R.P.** 1993. Soil microbial biomass C and N. *In*: Carter M.R. *Soil sampling and methods of analysis*. Lewis Publishers, Canada. pp. 277-286.
437. **Walkley A. & Black I.A.** 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 34: 29-38.
438. **Wardle D.A.** 1995. Impacts of disturbance on detritus food webs in agro-ecosystems of contrasting tillage and weed management practices. *In*: Begon M. & Fitter A.H. *Advances in Ecological Research*. Academic Press, New York. pp. 105-185.
439. **Weber J., Karczewska A., Drozd J., Licznar M., Jamroz E. & Kocowicz A.** 2007. Agricultural and ecological aspects of a sandy soil as affected by the application of municipal solid waste composts. *Soil Biology & Biochemistry* 39: 1294-1302.
440. **Wervel vzw.** 2009. Eiwitteelten van de toekomst - extra opties om eigen krachtvoeder te winnen. Vzw Wervel, België. 8 p.
441. **Wervel vzw.** Soja, weet wat je eet. www.wervel.be/downloads/soja%20brochure.pdf. Laatst geraadpleegd op 8-2010.
442. **West T.O. & Post W.M.** 2002. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation. *Soil Science Society of America Journal* 66: 1930-1946.
443. **Westerman P.R., Liebman M., Heggenstaller A.H. & Forcella F.** 2006. Integrated measurements of seed availability and removal to estimate weed seed losses due to predation. *Weed Science* 54: 566-574.
444. **Weyckmans S.** Bodembescherming in de diepte door de wortels: interactie tussen groenbedekkers en de bodemstructuur. Presentatie praktijkdag Prosensols te Vaulx-Vraucourt (FR). Groenbedekkers: agro-milieumaatregelen, plaats in de teeltrotatie en technische aspecten. www.agrarischlandschap.com/prosensols/nl/agenda/expose_greenotec_asbl_vaulx_vraucourt_26-11-2009_NL.pdf. Laatst geraadpleegd op 5-2010.
445. **White R.E.** 1997. Principles and practice of soil science. The soil as a natural resource. Blackwell Science, Australia. 348 p.
446. **Wijnands F.G.** 2000. Vruchtwisseling basis voor kwaliteitsproductie in biologisch bedrijf. *PAV-Bulletin Vollegrondsgroententeelt* 4: 28-33.
447. **Willekens K.** 2008. Gewasbescherming door bodembeheer. ILVO nieuwsgolf thema 3 gewasbescherming, Merelbeke, België. 6 p.
448. **Willekens K., De Vliegheer A., Vandecasteele B. & Carlier L.** 2008. Effect of compost versus animal manure fertilization on crop development, yield and nitrogen residue in the organic cultivation of potatoes. *In*: Anonymus. *Proceedings of the Second Scientific Conference of the International Society of Agriculture Research (ISO FAR), Cultivating the Future based on Science, held at the 16th IFOAM Organic World Congress, 18-2008*. pp. 576-579.
449. **Wilting P.** 2007. Het effect van een niet-kerende hoofdgrondbewerking op de opbrengst en interne kwaliteit van suikerbieten. Stichting IRS, Bergen op Zoom, Nederland. 9 p.
450. **Windey S.** 2005. Machinefabrikanten zoeken naar oplossingen. *Boer&Tuinder* 27-28.
451. **Wohlfahrt J., Colin F., Assaghir Z. & Bockstaller C.** 2010. Assessing the impact of the spatial arrangement of agricultural practices on pesticide runoff in small catchments. *Ecological Indicators* 10: 826-839.

-
452. **Yang X.M., Drury C.F., Reynolds W.D. & Tan C.S.** 2008. Impacts of long-term and recently imposed tillage practices on the vertical distribution of soil organic carbon. *Soil & Tillage Research* 100: 120-124.
453. **Yang X.M. & Wander M.M.** 1999. Tillage effects on soil organic carbon distribution and storage in a silt loam soil in Illinois. *Soil & Tillage Research* 52: 1-9.
454. **Yeates G.W.** 1987. How plants affect nematodes. *Advances in Ecological Research* 17: 61-113.
455. **Yeates G.W., Shepherd T.G. & Francis G.S.** 1998. Contrasting response to cropping of populations of earthworms and predacious nematodes in four soils. *Soil & Tillage Research* 48: 255-264.
456. **Yoo G., Nissen T.M. & Wander M.M.** 2006. Use of physical properties to predict the effects of tillage practices on organic matter dynamics in three Illinois soils. *Journal of Environmental Quality* 35: 1576-1583.
457. **Zanen M., Bokhorst J., ter Berg C. & Koopmans C.** 2008. Strategien voor duurzaam bodemmanagement: ervaringen uit de biologische landbouw. Louis Bolk Instituut, Driebergen, Nederland. 15 p.
458. **Zanen M., Bokhorst J., Tscherko D. & Koopmans C.** 2008. Investeren tot in de bodem. Evaluatie van het proefveld Mest Als Kans. Louis Bolk Instituut, Driebergen, Nederland. 39 p.
459. **Zanen M., Bos M., Korthals G.W. & Molendijk L.P.G.** 2009. Weerbare bodem in het kader van functionele agrobiodiversiteit (FAB). Inventarisatie van bestaande methoden en werkplan 2009. Louis Bolk Instituut, Driebergen, Nederland. 62 p.
460. **Zanen M., Koopmans C., Bokhorst J. & ter Berg C.** 2008. Bijzondere bemesting: kansrijke strategieën voor duurzaam bodemmanagement. Louis Bolk Instituut, Driebergen, Nederland. 73 p.
461. **Zwart K.B.** 2001. Experience from short and long term compost experiments. In: Amlinger F., Dreher P., Nortcliff S. & Weinfurter K. *Applying compost - benefits and needs. Seminar proceedings* Brussel, België. pp. 77-86.



In het project BodemBreed Interreg werken de volgende organisaties samen:

Provincie Vlaams Brabant (projectverantwoordelijke), Provincie Belgisch-Limburg, Provincie Nederlands-Limburg, Vlaamse Overheid (Albon), Waterschap Roer en Overmaas, Boerenbond, Iltb, Arvalis, PIBO campus, PPO, Hooibeekhoeve.

