



WINGERDWORTELS

E ARCHER | D SAAYMAN

WINGERDWORTELS

Wingerdwortels

Uitgegee deur African Sun Media onder die SUN MeDIA druknaam

Alle regte voorbehou

Kopiereg © 2018 Instituut vir Wingerd- en Wynwetenskappe, Universiteit Stellenbosch

Die outeurs en die uitgewer het alles moontlik gedoen om kopieregtoestemming te verkry vir die gebruik van derdepartyinhoud en om sodanige gebruik te erken. Rig alle navrae aan die uitgewer.

Geen gedeelte van hierdie boek mag sonder die skriftelike verlof van die uitgewer gereproduseer of in enige vorm deur enige elektroniese, fotografiese of meganiese middel weergegee word nie, hetsy deur fotokopiëring, plaat-, band- of laserskyfopname, mikroverfilming, via die Internet of e-pos of enige ander stelsel van inligtingsbewaring of -ontsluiting.

Menings in hierdie publikasie weerspieël nie noodwendig dié van die uitgewer nie.

Eerste uitgawe 2018

Tweede druk 2020

ISBN 978-1-928314-36-3

ISBN 978-1-928314-37-0 (e-boek)

<https://doi.org/10.18820/9781928314370>

Geset in Futura Bk BT 11/14.5

Bandontwerp, bladuitleg en produksie deur African Sun Media

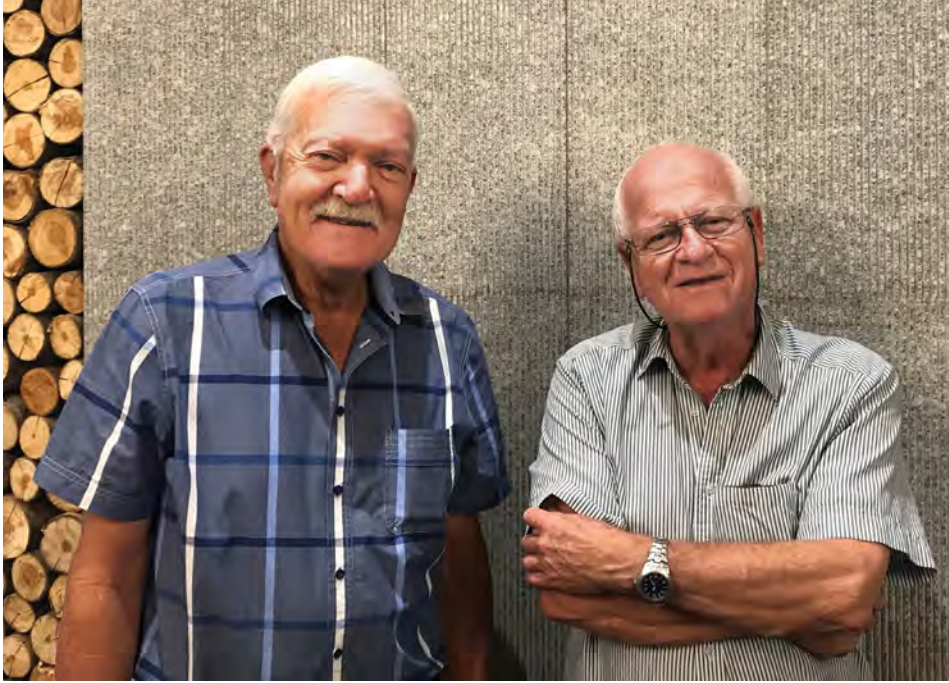
SUN MeDIA is 'n druknaam van African Sun Media. Akademiese en algemene werke word onder hierdie druknaam in druk en elektroniese formaat uitgegee.

Besoek africansunmedia.co.za vir nadere inligting.

E ARCHER & D SAAYMAN

The logo for SUN MeDIA, featuring the word 'SUN' in a vertical orientation to the left of the word 'MeDIA', which has a stylized 'e'.

DIE OUTEURS



Die outeurs Eben Archer - wingerdkundige (links) en Dawid Saayman - grondkundige (regs). Lewenslange kollegas en vriende en beide passievol om optimum bestuur van die wingerdstok en sy omgewing na te vors en te propageer, ten einde uiteindelik 'n unieke produk te verkry. (Foto: Lucinda Heyns)

OPGEDRA AAN OOM TIENIE

Hierdie boek word opgedra aan M.S. le Roux (Oom Tienie)



Intensiewe wortelstudies op wingerd is reeds in 1941 hier in Suid-Afrika deur MS le Roux gedoen, latere adjunkdirekteur van die destydse Departement Landbou se Navorsingsinstituut vir Wingerd- & Wynkunde (NIWW). Sy resultate is as 'n MSc verhandeling aangebied en het nooit in plaaslike- of internasionale vakjoernale verskyn nie en gevolglik bykans onbekend gebly. Die meegaande foto kom uit sy tesis en toon hom besig met ekstensiewe uitgrawings op die Welgevallen proefplaas van die Universiteit van Stellenbosch.





VILLA EDUCATES ON CROP PROTECTION BEST PRACTICES

Crop protection, like any other industry, needs smart people. Companies tuned in to their workforce understand that people want to succeed and be good at what they do. Education is just as valued as practical experience to achieve the professional success and status which individuals strive to achieve.

Villa is committed to provide a new generation of skilled people in agriculture and for our industry to be equipped with the latest knowledge, scientific facts and experience in the field of crop protection.

The company therefore contributed funding for the establishment of a Chair in Crop Health at Stellenbosch University. This venture endeavours to focus on research driven by the needs of the agricultural industry, the education and financial support of students and the provision of further skills training for employees in the agricultural sector.

The Chair in Crop Health is a first for South African agriculture. This is a major collaborative effort, and will see the integration of industry needs, industry partners and industry grower bodies with the work that the University of Stellenbosch researchers and postgraduate students do.

The education leg of this endeavour strives not only to augment formal qualifications, but also to ensure continuous training options for agriculturalists and others already working in the local industry. The envisaged accredited short courses to be presented through the Chair in Crop Health will build on short courses, certificate and diploma courses previously developed by the Villa Academy.

Lecturers from the University of Stellenbosch will be supported by others previously contracted by Villa Academy, as well as international colleagues from leading universities overseas. The curriculum will be characterised by strong emphasis on the problem-based method of learning in which students collaborate in groups to solve real-world examples of problems.

The crop chemicals business is rapidly evolving, and it has become highly technical. Villa is passionate about educating the people we work with in our industry to ensure that we have well equipped, well trained people in the agricultural business. We also actively participate and endorse publications of books such as this one to grow the knowledge of our industry even further. We've been through a decade of experiential and self-training, which just isn't good enough for the environment we operate in. Knowledge is key!

The local crop protection industry is worth around R9 billion rand at wholesale level and Villa is one of the leading suppliers of crop protection solutions to distributors in South Africa. The foundations of Villa were already laid in 1989. It has since grown into a formidable force in crop protection solutions in South Africa. In its first commercial venture in Africa, the Fortune 250 global agribusiness and food company Land O'Lakes in 2015 acquired majority ownership of Villa Crop Protection. Land O' Lakes, with its headquarters in America.



INSTITUUT VIR WINGERD- EN WYNWETENSKAPPE (IWWW)

Die Instituut vir Wingerd- en Wynwetenskappe (IWWW) is 'n inisiatief van die wyn- en tafeldruif bedrywe en Universiteit Stellenbosch (US). Die doelstellings van die IWWW is die vestiging van wêreldklas opleiding in wingerd- en wynkunde, die bevordering van navorsing relevant vir die plaaslike bedryf, asook tegnologie/kennis oordrag aan die wyn- en tafeldruifbedrywe. Die aanvanklike fokus was veral op die verbetering van die infrastruktuur van opleidingskelders en die aankoop van moderne navorsingsapparate. Die vestiging van kritiese menslike hulpbronne in opleiding en navorsing aan die Universiteit, relevant vir die wyn- en tafeldruifbedrywe is ook 'n prioriteit. Sewe platforms is daar gestel en elke platform word bestuur deur 'n koördineerder om uitvoering te gee aan die doelwitte van die IWWW. Hierdie sluit in 'n analitiese, internskappe, sensoriese, wingerdkunde, wynkunde, wingerdkunde tegnologie oordrag asook wynkunde tegnologie oordrag platform.

Een van die IWWW se hoof fokus punte is tegnologie oordrag en om bestaande sowel as nuwe navorsing en inligting aan die bedryf te kommunikeer. Die doel daarvan is om die kennis van mense betrokke in die bedryf uit te brei en te versterk en sodoende die kwaliteit van Suid-Afrikaanse wingerdkunde en wynmaak te verbeter. Dit dra by tot 'n bedryf wat internasionaal meer kompetend is.

Daar is 'n behoeftebepaling gedoen in die wingerdbedryf om prioriteite vir tegnologie oordrag te identifiseer. Een van die groot behoeftes was die verpakking van beskikbare inligting oor wingerdwortels. Vandaar het die IWWW 'n projek inisieer en koördineer wat gelei het tot die daarstelling van hierdie boek. Weens Villa-Monash Academy se betrokkenheid by opleiding, het hulle 'n goedgegunste finansiële bydrae gelewer om die boek die lig te laat sien.

Verder spits die IWWW hom in die toekoms toe om met innovasie projekte en sodanige verdere ontwikkeling van inisiatiewe wat uit navorsing gebore is, die bande tussen akademici en industrie heelwat te vernou. Spesifiek met projekte wat relevansie vir die industrieë kan hê as dit in produkte, dienste of kursusse uitgerol kan word.

Vir meer inligting oor die IWWW besoek die webwerf by www.igws.co.za

Die webtuiste bevat ook artikels, e-boeke, bladskrifte en 'n verskeidenheid inligting en bronne vir wynmakers en wingerdkundiges.



INHOUDSOPGAWE

Voorwoord	iv
-----------------	----

HOOFTUK 1 Groei, Morfologie en Anatomie van Wingerdwortels

1.1 Wortelgroei en uitbreiding	1
1.2 Wortelmorfologie	34
1.3 Wortelanatomie	38

HOOFTUK 2 Fisiologie en Funksies van Wortels

2.1 Opname en vervoer van water	55
2.2 Opname en vervoer van elemente	62
2.3 Stoor van reserve voedingstowwe	66
2.4 Fisiologie van wortels	70
2.5 Die rol van mikorrise	76
2.6 Verwantskap met wynkarakter	81

HOOFTUK 3 Metodes van Wortelondersoek

3.1 Agtergrond	87
3.2 Metodes	88
3.2.1 Uitgraving	88
3.2.2 Monoliet	89
3.2.3 Boks	89
3.2.4 Hok	89
3.2.5 Naaldbord	89
3.2.6 Grondboor	90
3.2.7 Profielwand	90
3.2.8 Glaswand	91
3.2.9 Indirek	91
3.3 Prominente studies	91



SUKSESVOLLE WINGERDVERBOUING BEHEL'S 'N WETENSKAPLIKE BOERDERY MET WORTELS EN SONLIG

- Eben Archer

HOOFSTUK 4 Faktore wat Wortelgroei en -verspreiding Affekteer

4.1 Grondtipe, grondfisiese en -chemiese faktore	111
4.2 Grond- en worteltemperatuur	121
4.3 Genetika	126
4.4 Plantwydte	145
4.5 Prielstelsel	156
4.6 Snoei	160
4.7 Lowerbestuur	160
4.8 Plantgate	164
4.9 Plae en siektes	170

HOOFSTUK 5 Onderhoud van Wortels

5.1 Grondvoorbereiding	181
5.2 Periodieke diepbewerking	184
5.3 Grondoppervlaktebestuur	190
5.4 Besproeiing	200
5.5 Bemesting	204

HOOFSTUK 6 Slotsom 211

Literatuur 217

VOORWOORD - dr. Jakob Deist

Wingerdwortels geniet veel minder navorsingsaandag as bogrondse dele, moontlik weens die swaar werk en lang tyd wat daarvoor benodig word. Tog is kennis van die wortels en hulle reaksie op verskillende verbouingstoestande van ewe groot belang as die bogrondse dele om ekonomiese wingerdbou moontlik te maak.

Gesien die voortslepende droogte en voorspellings van 'n al droër wordende Suid-Afrika en 'n al kleiner persentasie van die beskikbare water wat vir landbou beskikbaar gestel sal word, is 'n kennis van die wingerdwortel al hoe meer noodsaaklik om voldoende goeie kwaliteit wingerdprodukte aan die verbruiker te lewer met minder water.

Vir 'n voortgesette ekonomiese wynbedryf in Suid-Afrika, sal ons wyne al meer eiesoortig moet wees. Hierin speel grond 'n betekenisvolle rol. Die invloed van die grond op wynkwaliteit en eiesoortigheid word deur die wingerdwortels na die duiwe oorgedra. Daarom is 'n deeglike kennis van die wingerdwortel en sy reaksie op sy omgewing onontbeerlik.

Die boek is nie 'n praktiese handleiding vir die bestuur van wingerdwortels nie, maar die outeurs het goed daarin geslaag om die bestaande kennis oor wingerdwortels, hulle bou en fisiologie, hulle reaksie teenoor interne en eksterne faktore en hulle effek op bogrondse groei, drag en druifsamestelling, saam te vat uit meer as 240 publikasies van navorsers van oor die hele wingerdwêreld. Hieruit kan die beste stel praktyke vir effektiewe wortelstelsels vir die wye verskeidenheid toestande waaronder wingerd verbou word, ontwikkel word.

Dit was my voorreg om beide outeurs as kollegas oor baie jare te ken en hulle is beslis aangewese om hierdie oorsig oor die huidige kennis van wingerdwortels te doen, gesien hulle opleiding in wingerd- en grondkunde, hulle eie navorsing oor wingerdwortels oor baie jare en hulle verdere ondervinding as spesialis adviseurs in die wynbedryf oor baie jare.



VOORWOORD - dr. Albert Strever

Wingerdwortels is 'n moeilike onderwerp om studente in op te lei om verskeie redes. Veral vir die student wat nuut is tot wingerdbou, is die wingerdwortelstelsel nie iets waaraan hul so gereeld in praktika blootgestel word nie. Verder is die teorie oor wingerdwortels meesal versprei tussen die teoretiese werk oor spasiëring, onderstokke, prieselstelsels, siektes en plaë ens. Daar is dus in min teoretiese handleidings 'n omvattende oorsig oor wingerdwortels vanuit 'n anatomies/morfologies asook plantfisiologiese en grondkundige oogpunt.



Hierdie boek kan ek dus as opleier in Wingerdkunde, met volle vertroue aanbeveel as 'n basis werk waaraan elke student in die vakgebied behoort blootgestel te wees. Die omvattende aard daarvan, en die aandag aan detail, behoort by elke student, of hul nou in wingerdkunde en of hul in wynmaak spesialiseer of verteenwoordigers van kunsmis/spuitstof maatskappye word, 'n groot respek te laat vir die wingerdstok, maar spesifiek dan die minder sigbare ondergrondse deel van die stok.

In heelwat van my lesings beklemtoon ek graag dat 'n groot persentasie van sukses in wingerdbou bepaal word deur elemente wat ons nie daagliks kan sien nie, i.e. die wingerdwortels, reserwes, oogvrugbaarheid. Dit is dus belangrik dat die student 'n goeie begrip ontwikkel van die koppelings tussen hierdie minder sigbare elemente en die sigbare/maklik meetbare elemente. In my opinie lê hierdie boek 'n uitstekende basis daarvoor.

Ek wil dus die outeurs en span wat betrokke was om hierdie werk die lig te laat sien komplimenteer met 'n ongelooflike relevante bydrae tot die vakgebied, en iets waarop toekomstige uitbreidings en opdaterings ook gebou kan word. Die leser sal beïndruk word deur die vlak van detail en ondervinding wat oorgedra word, nie net 'n blote sintese van die literatuur daarbuite nie – dit is 'n produk van die outeurs se indrukwekkende, lang loopbane in kontak met die wingerdstok, die grond en die wortels.

Hierdie is vir seker 'n voorbeeld ook vir ander onderafdelings van landbou, hoe jarelange opgeboude praktiese en teoretiese kennis oorgedra kan word aan 'n nageslag van jong landboukundiges/wingerdkundiges.



HOOFSTUK 1

GROEI, MORFOLOGIE
EN ANATOMIE VAN
WINGERDWORTELS

HOOFSTUK 1

GROEI, MORFOLOGIE EN ANATOMIE VAN WINGERDWORTELS

1.1 Wortelgroei en uitbreiding

Verskille in gedragspatroon van stokke op verskillende gronde en tussen onderstokke is waarskynlik gesetel in die wortels, maar daar is min inligting hieroor (Branas & Vergnes, 1957). Uit die literatuur is dit duidelik dat wortelstudies op wingerd heelwat skaarser is as navorsing op die bogrondse groei. Dit word toegeskryf aan die moeilikheidsgraad van wortelstudies waar etlike tonne grond met verskillende hulpmiddels (water, lugdruk, skerppuntige implemente) verskuif moet word om die wortels bloot te lê. Reeds in die laat 1800's het talle navorsers besef dat die reaksie van die wortel teenoor sy omgewing 'n baie kragtige faktor is wat die plantprestasië bepaal (Rogers, 1939). Die produktiwiteit en prestasië van alle plante, insluitend wingerd, hang grootliks af van 'n wortelstelsel wat in staat is om hulle gedurende stremming-periodes te ondersteun (Russell, 1977).

Wingerdwortels word volgens hulle oorsprong in primordiale en adventiewe wortels geklassifiseer (Ribereau-Gayon & Peynaud, 1971). Primordiale wortels ontwikkel uit kiemende sade en is dus vir kommersiële wingerdverbouing van minder belang omdat hier van vegetatiewe voortplanting gebruik gemaak word. Dit is wel by taling van belang waar pitontkieming 'n belangrike rol speel. Adventiewe wortels wat vanuit lote vorm, word geklassifiseer in primêre (hoof-), sekondêre (sy-) en bywortels. Die primêre wortels staan ook bekend as tapwortels, penwortels of raamwerkwortels en is normaalweg 6 - 10 mm dik en kom hoofsaaklik voor op 30 - 35 cm gronddiepte. Die aantal bly normaalweg konstant na die derde jaar vanaf plant (Mullins *et al.*, 1992). In Suid-Afrika is dikker tapwortels as hierdie egter in verskeie wortelstudies gevind. Uit hierdie wortels ontwikkel die sekondêre (sy-)wortels wat, volgens Mullins *et al.* (1992), 2 - 6 mm in deursnit is. Hierdie wortels kan af- of

sywaarts groei en verdere vertakkings uit hulle is veselagtig of absorberend, bly normaalweg net vir een seisoen behoue en word gedurig deur nuwe sywortels vervang. Alhoewel afwaartse wortels tot aansienlike dieptes kan indring, word veselagtige sekondêre wortels meestal in die boonste 20 - 50 cm gronddiepte aangetref, afhangende van grond, kultivar en ouderdom van die stok (Champagnol, 1984). Wortels wat uit enige ander orgaan as 'n wortel ontwikkel, word bywortels genoem.

Volgens Comas *et al.* (2010) is die houtagtige gedeelte van die wortelstelsel die strukturele raamwerk en word dit hoofsaaklik vir vervoer gebruik. Dit anker die stok en stoor koolhidrate en voedingstowwe. Hierdie wortels produseer elke jaar nie-houtagtige, fyn laterale wortels wat die primêre setel van water- en voedingstofopname is, die sogenaamde absorberende wortels. Volgens Fitter (1982) is eerste orde wortels die fundamentele fyn wortels sonder vertakkings, tweede orde wortels dié met slegs eerste orde laterale ens. Anatomiese studies het getoon dat die meer permanente houtagtige wortels gewoonlik van derde tot vierde orde is, wat aangetoon word deur sekondêre groei, verlies aan korteks en voorkoms van mikorriza, vergrote vaatbundels en ontwikkeling van 'n kurk periderm. Eerste en tweede orde wortels, wat gewoonlik nog 'n intakte korteks het, maak die meerderheid van die lengte van die wortelstelsel uit en is primêr verantwoordelik vir die opname van water en voedingstowwe. Dit mag wees dat eerste en tweede orde wortels tipies nie meer as 2 - 3 cm lank groei nie (Volder *et al.*, 2005) en dat dit binne slegs 1 - 3 dae geskied.

Die meeste van die wêreld se wingerde word gevind in Mediterreense of semi-ariëde klimaat op gronde met inherente lae vrugbaarheid, wat boonop dikwels baie kalk- of soutryk is. Die wortelsisteem van die wingerdstok moet dus klaarkom met waterstremming, versuiptoestande, ioonwanbalanse en toksiese ione (Mullins *et al.*, 1992). Die gehardheid van die wingerdstok is waarskynlik tot 'n groot mate gesetel in die eienskappe van die wortelstelsel soos verdraagsaamheid teenoor ongunstige aspekte, die vermoë om die grond tot 3 m en dieper te kan deurdring (Champagnol, 1984), die vermoë om nuwe wortels te genereer en organiese voedingstowwe, insluitend aminosure, te stoor (Nassar & Kliewer, 1966) en die assosiasie daarvan met mikorriza (Possingham & Groot-Obbinck, 1971).

Volgens Branas en Vergnes (1957) is die ontwikkeling van die wingerd-wortelstelsel nie afhanklik van die aard van die plantmateriaal nie (steggies, gewortelde stokkies, geënt of ongeënt) en ondergaan dit verskeie fases vir verboude of wilde stokke. Die sone van meeste deurworteling word oorwegend bepaal deur temperatuur en water. Wortels groei na die warmer en vogtiger grondlae (maar steeds goed deurlug) en vind 'n balans in die 25 - 45 cm grondlaag vir grond dieper as 85 cm in Mediterreense klimaat. Die ligging van hierdie sone sal deur klimaat bepaal word, met ander woorde hoe kouer dit is, hoe vlakker is die sone van voorkeurdeurworteling. In grond met 'n vlak watertafel, verskuif hierdie sone ook boontoe deurdat die vlakker lae nou die gunstigste is weens oormaat water in dieper lae.

Branas en Vergnes (1957) herken drie stadia van wortelontwikkeling:

1. **Jeugdige (*juvénile*) of kolonisasieperiode:** Gedurende die aanplantjaar groei nuwe wortels uit die steggie of wortels en verleng en versprei deur die vorming van haarwortels in sones waar seldifferensiasie reeds voltooi is, relatief ver van die wortelpunte. Tydens die tweede blad is wortelverlenging gedeeltelik weens haarwortels uit die periderm wat kan vertak of nie en bly dieselfde vir opvolgende jare. Die aantal wortelgroeiopunte is min gedurende die eerste jaar maar neem vining toe gedurende die tweede jaar. Jaarlikse verlenging verminder deurdat die totale groeikapasiteit versprei word tussen al die wortelpunte. Indien die stok vry groei, kom die horisontale omvang van wortelgroei goed ooreen met dié van die bogrondse lower indien dit nie gesnoei word nie. Beide bogrondse lower en wortelstelsel neem af oor tyd, selfs al is daar nie kompetisie nie, soos in die geval van 'n geïsoleerde stok.
2. **Volwasse stadium:** Dit is die ouderdom waar die gemiddelde jaarlikse wortelverlenging baie min word en is die begin van 'n gestabiliseerde aard van die wortelstelsel. Tydens die jeugdige fase bepaal grondtoestande die aard van die wortelstelsel, maar dit is onwaarskynlik dat dit langer as 7 - 8 jaar duur. Op hierdie ouderdom is kolonisasie prakties voltooi en bereik bogrondse groeikragtigheid (*Ev = expression végétative*) 'n maksimum wat nie weer tydens die leeftyd van die stok oorskry sal word nie. In ander studies word *Ev* ook uitgedruk as Totale Vegetatiewe Reaksie (TVR) en dit behels loot- en blaarmassa, die jaarlikse toename in bogrondse permanente stokgedeeltes asook die toename in wortelgroei. In die praktyk word

dit gemeet as lootmassa. Die veerkragtigheid van die wortelstelsel en die gevoeligheid daarvan vir eksterne toestande, manifesteer dus slegs aan die begin van die stok se leeftyd.

3. **Verouderde stadium:** Veroudering van die wortelstelsel is waarskynlik die resultaat van verskeie oorsake, waarin die verlenging van vaatbundels en 'n toenemende kompleksiteit daarvan waarskynlik 'n rol speel, net soos dit met die veroudering van die bogrondse dele gebeur.

'n Vergelyking tussen die wortelmasa van 12-jaar- en 58-jaar-oud stokke het gemiddeld 'n meer as 6-voudige toename oor 46 jaar getoon (Fig. 1.1.1). Die wortelverspreiding in die grond bly egter dieselfde vir die 25 - 45 cm maksimum wortelsone, maar vlakker en dieper wortels verminder sterk by ou stokke, waarskynlik weens verskeie kere se uitermate uitdroog en te diep bewerking van die boonste horison en periodieke oormatige water in die dieper grondlae.

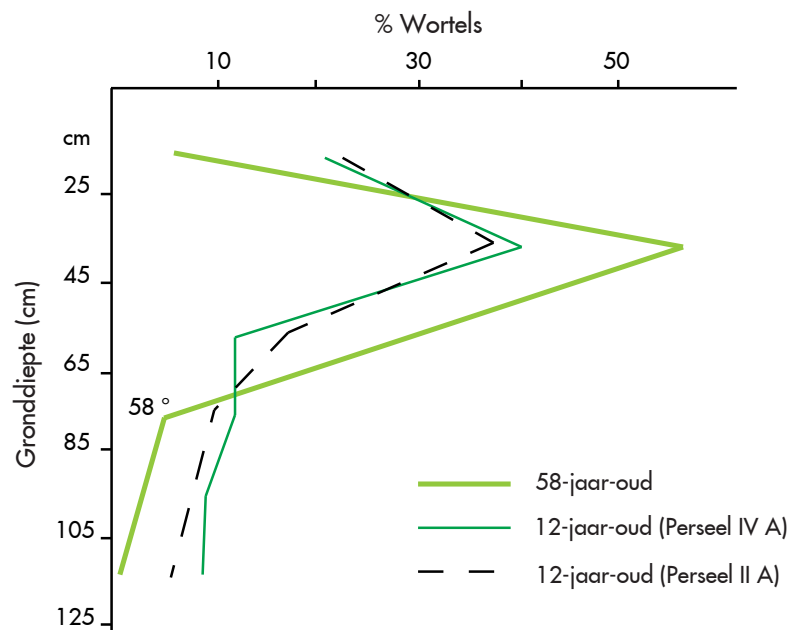


Fig. 1.1.1 Wortelmasa en -verspreiding van 12-jaar- en 58-jaar-oue Riparia stokke. (Oorgeteken uit Branas & Vergnes, 1957)

Branas en Vergnes (1957) vind in die Mediterreense kusgebied-sandgronde van Frankryk met watertafels, dat diep wortels afsterf. Hulle identifiseer 'normale' en 'abnormale' wortels. Die 'abnormale' wortels groei terug na die basis van en binne-in dooie wortels wat gedurende die eerste seisoene gevorm het en weens oormatige water doodgegaan het. McKenry (1984) vind dat die voorkoms van wortelgeraamtes dieselfde patroon het as dié van strukturele wortels, wat daarop dui dat lewende wortels weer die geraamtes binnedring. Geraamtes was van twee tipes, dié wat van binne ontbind en ander wat van buite ontbind. Lang, strukturele wortels en hul jong, groeiende wortels beset hierdie sones van ontbinding, met 'n tweede voorkeurhabitat vir nuwe wortels die natuurlike krake in die grond. Volgens Branas en Vergnes (1957) vertoon wortels wat doodgaan eerstens 'n rooierige gedeelte, soms intens gekleur, gevolg deur gelokaliseerde nekrose aan die begin van die wortel, maar totale nekrose nader aan die wortelpunte, waar dit doodgaan. Die basis van die wortel bly algemeen langer lewendig maar gaan ook dood as toestande ongunstig bly. Hulle vind dat die wortelstelsels van vier, 58-jaar-oue onderstokkultivars op presies dieselfde wyse verspreid is en onder grondtoestande waar vlak en diep wortels vernietig word, nie die verskille toon wat geneties aan hulle toegedig word nie, soos o.a. in Perold (1926) gerapporteer.

Alhoewel algemeen gesê kan word dat wortelmasa toeneem met toename in bogrondse groeikrag, vind Branas en Vergnes (1957) die verwantskap nie baie sterk nie (Fig 1.1.2).

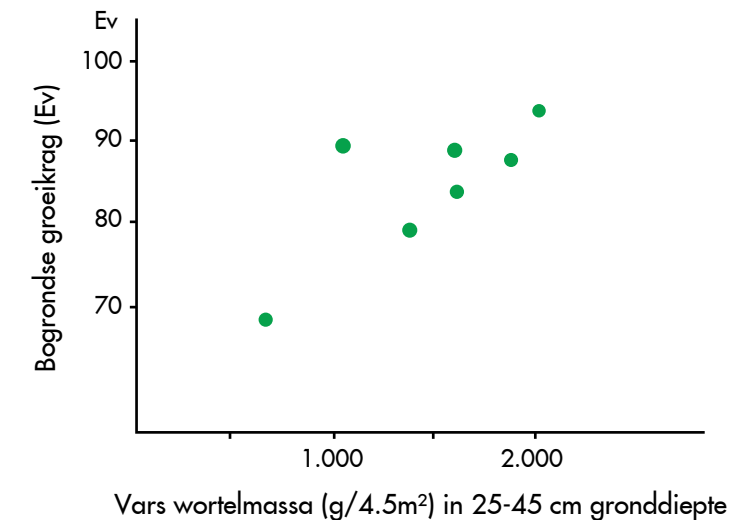


Fig. 1.1.2 Die verwantskap tussen bogrondse groeikrag (Ev = *Expression végétative* ≈ droë lootmasa) en wortel varsmassa van Rupestris du Lot. (Oorgeteken uit Branas & Vergnes, 1957)

Dit is onmoontlik om 'n eenvoudige verwantskap tussen wortelmasse van 'n stok en die ontwikkeling van die bogrondse dele te verkry maar dit neem waarskynlik positief toe wanneer die wortelprofiel konstant is en alle ander faktore soos ouderdom, plantdigtheid, grond, snoeistelsel, snoei- of ander wonde en oeslading dieselfde is.

Met uitsondering van die diepgaande gedetailleerde studie van Branas en Vergnes (1957), maar beperk tot die vlak gronde van die Midi, is daar min inligting oor wortelverspreading van die wingerdstok as gevolg van die inherente groot moeilikheidsgraad van hierdie tipe studies. Volgens Seguin (1972) het J.M. Guillon in 1905 klem geplaas op die verskille in hoeke van geotropisme wat kenmerkend vir verskillende onderstokke is wanneer die steggies daarvan in voedingsoplossing of in baie porieuse grond gekweek word. Vandaar die konsep van horisontale (kruipende) of vertikale (duikende) wortels. Branas en Vergnes (1957) het getoon dat daar nie meer sodanige verskille by ou stokke is nie. Die vele waarnemings wat *in situ* in Bordeaux wingerde gedoen is, het hierdie gevolgtrekkings van Branas en Vergnes (1957) bevestig. Degrully en Ravaz (1905) het vir *Ruprestis du Lot* getoon dat wortels wat uit die onderste punt van die steggie vorm, na die oppervlak ontwikkel en daarna horisontaal uitbrei (Fig. 1.1.3). Hierdie verskynsel is ver van algemeen en is net by uitsondering waargeneem. Dit kan wel gebeur wanneer die gewortelde steggie op die bodem van 'n plantgat vasgedruk word en die aanvanklike groei dan na bo is, waarna dit horisontaal ontwikkel in die meer porieuse grond, na gelang van die aard van die plantgat.

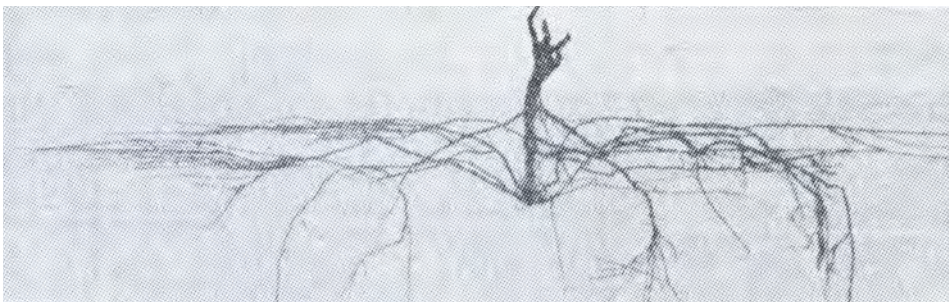


Fig. 1.1.3 Die wortelprofiel word deur 'n vlak watertafel beperk tot 'n oppervlakkige voorkeursone. (Degrully & Ravaz, 1905)

Dit is die chemiese en veral fisiese grondeienskappe wat tot 'n baie groot mate die aard van die stok se wortelsisteem bepaal (Seguin, 1972). Die wortels ontwikkel en vertak in die mees porieuse grondlae. Dit is bekend dat

wortelindringing net kan plaasvind indien die dimensies van die grondporieë of krake voldoende is. Dit is dikwels waargeneem dat die primêre wortels nie volgens 'n 360° hoek ontwikkel nie, wat as normaal voorkom, maar met 'n hoek van 180° of selfs 90°. Die steggie word dikwels geplaas teen die wand van die plantgat en die eerste wortels ontwikkel by voorkeur in die meer deurdringbare grondsonde, na gelang van die aard van die plantgat. Die groot wortels (lewend en gesond) word dikwels opgemerk in die gange en tunnels van ou gedekomposteerde wortels, in erdwurmgame en glyvlakke van glasiasie wat in die Kwartêre terrasse van die Garonne gevind word. Hierteenoor word wortels tydelik geblokkeer deur kompakte horisonte (kleilae met sterk struktuur, massiewe ysterkonkresies) en kan dit slegs deurdring wanneer 'n breekvlak teëgekomp word waardeur dit kan penetreer (Seguin, 1968). Dit kon altyd in hierdie verband bevestig word dat die grondstruktuur baie belangriker is as tekstuur. In verskeie 'grand crus' wingerde van Graves, kon met diepte 'n dik kleilaag waargeneem word, met baie uitgesproke prismatiese struktuur, maar wat steeds diep ontwikkeling van wortels toelaat, waarvan die haarwortels die struktureenhede se oppervlaktes met 'n uiters digte netwerk bedek. Wanneer wortels deur 'n fisies ongunstige horison gestop word, vertak dit op die oppervlak daarvan, maar sonder om dit te penetreer. Dit kan byvoorbeeld waargeneem word op massiewe ysterkonkresies, of by die boonste grens van kapillêre styging van die grondwatertafel.

Wortels ontwikkel nie in vry water nie. In die Medoc as voorbeeld, word die diepte van wortelontwikkeling deur die grondwatertafel beperk (dit is die redes hoekom die 'grand crus' geleë is op onopsigtelike heuweltjies en nooit in lae posisies nie).

Daar is min wortels in die boonste grondlaag omdat dit sterk uitdroog weens verdamping gedurende 'n groot deel van die vegetatiewe siklus en onderworpe is aan seisoenale bewerking wat die oppervlakkige wortelstelsel vernietig.

Deurworteling van die wingerdstok kan uiters diep wees. Dit is waargeneem dat in die alluviale terrasse van die Garonne deurworteling dikwels dieptes van 6 - 7 m bereik, wat bevredigende minerale voeding toelaat in gronde wat volgens analise chemies baie arm is. Wanneer deurworteling diep is, versprei die wortels oor die hele boonste deel van die profiel en is daar relatief min in die suboppervlak lae. Wortels is dikwels onegalig verspreid na gelang van die aard van die grond.

Seguin (1968) kon aantoon dat in die 'grand crus' van Bordeaux, die vertikale 'verdiepings' van wortels verband hou met chemiese en fisiese grondeienskappe (veral permeabiliteit), wat 'n primordiale rol speel in die watervoorsiening van die stok. Dit bepaal ook tot 'n baie groot mate die bars van korrels en massiewe infestering van vaalvrot (Seguin & Compagnon, 1970). Dit het soortgelyk 'n deurslaggewende effek op die chemiese samestelling van die mos, asook op die chemiese en organolepties eienskappe daarvan.

Kennis van die verspreiding van wortels in die grond en die groei daarvan is 'n logiese voorvereiste en onontbeerlik vir die bestudering van waterverbruik, minerale voeding en die agronomiese implikasies daarvan (Champagnol, 1984). Die verspreiding van wingerdwortels is bekend, te danke aan verskeie ondersoeke (Seguin, 1972). Wanneer daar nie beperkings soos nat kleilae, konglomerate en kompakte moedergesteentes is nie, vind wortelverspreiding tot groot dieptes plaas, tot drie meter diep en selfs meer. Hierdie groot dieptes spruit uit die goed bekende vermoë van die stok om weerstand te bied teen versmorende toestande en lei tot weerstand teen droogte, 'n vermoë wat verdwyn as die wortelstelsel vlak is. Dit blyk dus dat, tot 'n groot mate, die stok se weerstand teen droogte 'n uitvloeisel van sy weerstand teen versmoring is. Ten spyte van hierdie diep deurworteling, is die helfte van die wortelmasse en -lengtes te vinde in 'n voorkeurhorison wat nie te oppervlakkig is nie (sodat dit nie deur uitdroging getref word nie) en ook nie te diep nie (sodat dit nie versmoor nie) (Fig. 1.1.4).

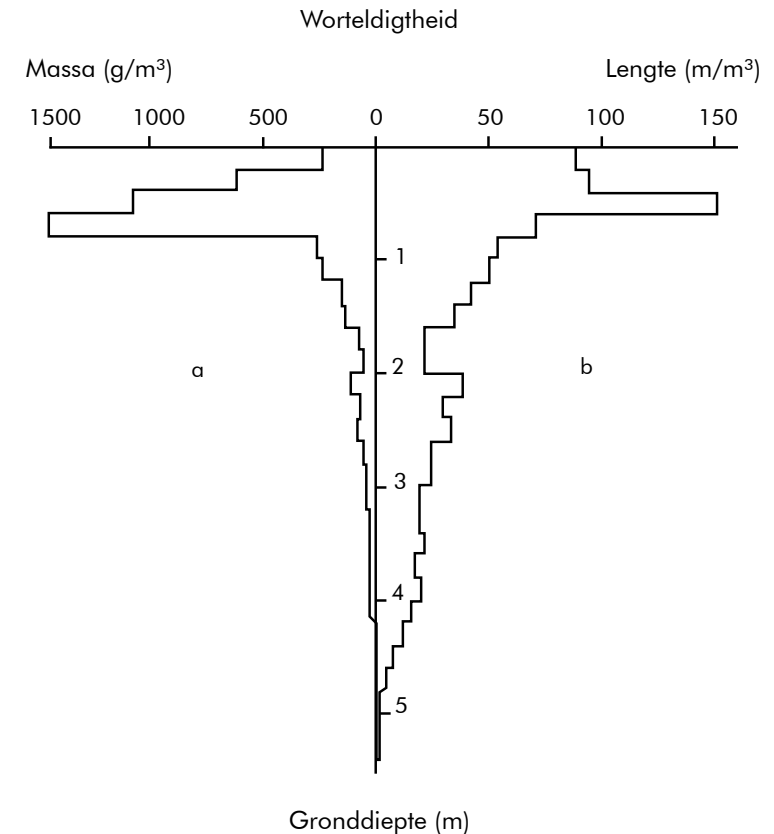


Fig. 1.1.4 Die wortelverspreiding van Palomino/161 - 49 Couderc in Jerez. Worteldigtheid uitgedruk as (a) g wortels per m^3 grond en (b) m wortellengte per m^3 grond. (Champagnol 1984, soos oorgeteken uit Garcia de Lujan Gil de Bernabe & Gil Monreal, 1982)

In grond met heterogene lae, varieer wortelverspreiding na gelang van die gunstigheid van die grondmateriaal (Fig. 1.1.5).

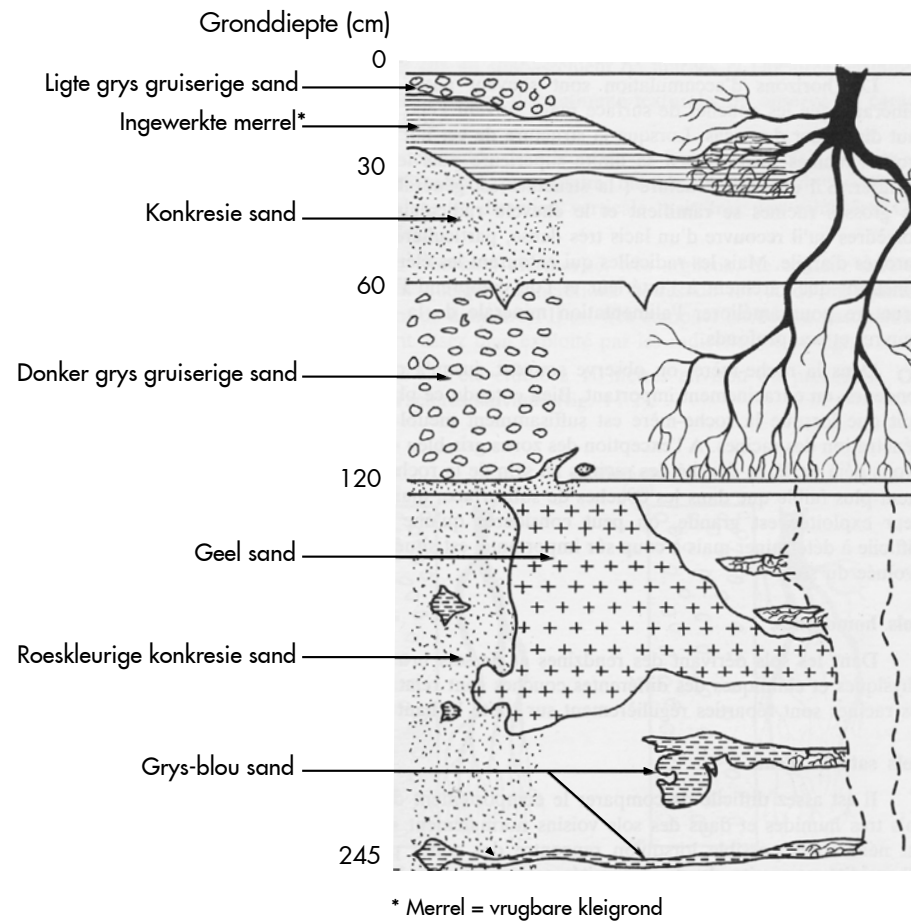


Fig. 1.1.5 Wortelverspreiding in Médoc grond, soos beïnvloed deur eienskappe van grondlae. (Uit Seguin, 1971)

Die sone van wortelverspreiding is onafhanklik van die diepte van plant. Onder versmoorde toestande waar te diep geplant is, groei die wortels boontoe as versuiping aanvanklik daar teenwoordig is, of gaan dood as versuiping teen die einde van die jong stadium plaasvind. In beide gevalle vorm 'n tweede wortelstelsel wat nader aan die grondoppervlak ontwikkel (Fig. 1.1.6).

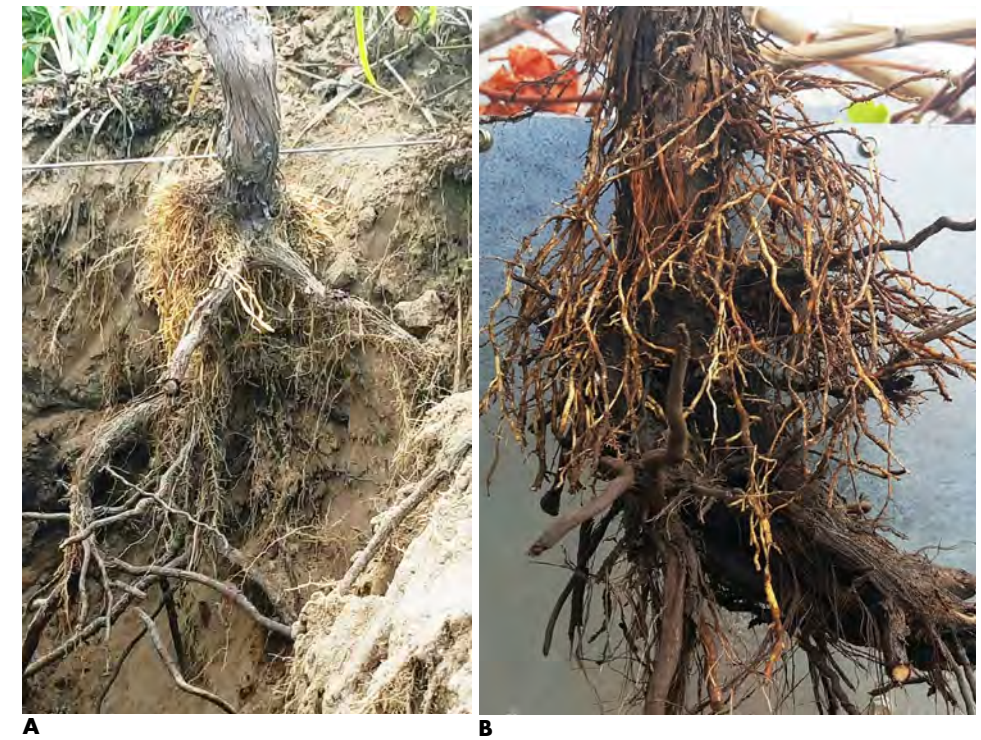


Fig. 1.1.6 A & B Versmoring as gevolg van versuiping aan die einde van die jong stadium. A: Die vroeë vorming van 'n tweede wortelstelsel naby die grondoppervlakte. B: Die latere groei van hierdie tweede wortelstelsel. (Foto's: E. Archer, 2016)

Die hoek van geotropisme is slegs die eerste jaar van vestiging sigbaar in homogene, goed los grond en het geen effek op die uiteindelijke verspreiding nie. Die effek van die onderstokkultivar op wortelverspreiding is ook nietig in vergelyking met die effek van grondeienskappe. Branas en Vergnes (1957) vind dat die vorm van die wortelprofiel dieselfde is vir verskillende onderstokke maar dat die persentasie diep wortels ietwat hoër is vir Riparia Gloire de Montpellier, 3306 Couderc, 1616 Couderc en 44 - 53 Malègue as vir Riparia Berlandieri. Dit is logies om te dink dat, in teenstelling met wat soms aangevoer word, kultivars waarvan wortels dieper vestig, dié is wat beter versmoorde toestande kan verduur as dié wat nader aan die grondoppervlak ontwikkel. Volgens Champagnol (1984) het C. Maertens in 1970 die kwaliteit van grondbenutting deur wortels gedefinieer as die maas van kolonisasie, wat die volume is van grond tussen twee naburige wortels. Hoe groter die worteldigtheid, hoe kleiner die maas van kolonisasie en hoe beter kan water en minerale geabsorbeer word.

In die horison van maksimale kolonisasie kan worteldigtheid 200 m/m³ aanneem, of te wel 1.0 - 1.5 kg wortels per m³ grond. Indien wortels as parallel aan en op eweredige afstand van mekaar beskou word, verteenwoordig hierdie maksimale digtheid 'n verspreiding van wortels met gemiddeld sewe sentimeter afstand tussen elke wortel. Hierdie waarde is 'n swak verteenwoordiging van die realiteit deurdat die absorberende wortelhare die uitruiloppervlak tussen plant en grond aansienlik verhoog. Dit word verder vermeerder deur swamdrade wat in simbiose op of in die wortelstelsel leef. Die uitruiloppervlak van die wortelstelsel is nogtans baie klein in vergelyking met dié van die grondpartikels. Maertens het bereken dat 'n koringplant se worteloppervlak (absorberende wortelhare ingesluit) sowat 6 m² is, terwyl die totale oppervlak van die grond wat daardeur geëksploiteer kan word, ongeveer 10 000 m² is. Vir die wingerdstok is dit nog minder as vir eenjarige plante.

Groei van wortels is 'n funksie van omgewingstoestande, ouderdom van die stokke en die aktiwiteit van die bogrondse dele. Die uitgebreide wortelondersoek van Degruyly en Ravaz (1905) illustreer o.a. die effek van 'n vlak watertafel (< 1 m):

1. Wortels wat na aan die grondoppervlak uitgroeï, vorm 'n skerp hoek met die vertikaal en neig om af te duik.
2. Wortels wat dieper ontstaan, het variërende groeivlakke na gelang van grondbewerking en groei reghoekig met die vertikaal.
3. Wortels wat nog dieper ontstaan, vorm 'n stomp hoek met die vertikaal en neig om boontoe te groei, met 'n teenoorstaande kurwe as dié van wortels wat na aan die grondoppervlak uitgroeï.
4. Al die wortels vestig oor tyd in dieselfde vlak, wat ongetwyfeld varieërend, maar redelik na aan die grondoppervlak is.
5. Vanuit die hoofsaaklik rankende wortels ontstaan nou en dan ander wortels wat na die dieper grondlae afdruk (Fig. 1.1.5).

Behalwe droogte, suurstofgebrek weens versuiping, te sterk of te verdunde grondbewerking, is meganiese weerstand 'n belangrike faktor wat wortelontwikkeling strem. Volgens Champagnol (1984), het E.M. Ionescu in 1978 'n negatiewe paraboliese verband gevind tussen hoeveelheid wortels (y^1 , in meters/m³) of opbrengs (y^2 , in kg) en grondweerstand (x , bar):

$$y^1 = -ax^2 + bx + c \text{ en } y^2 = -a'x^2 + b'x + c'$$

Fig. 1.1.7 illustreer die dramatiese effek van gronddigtheid op wortelontwikkeling.

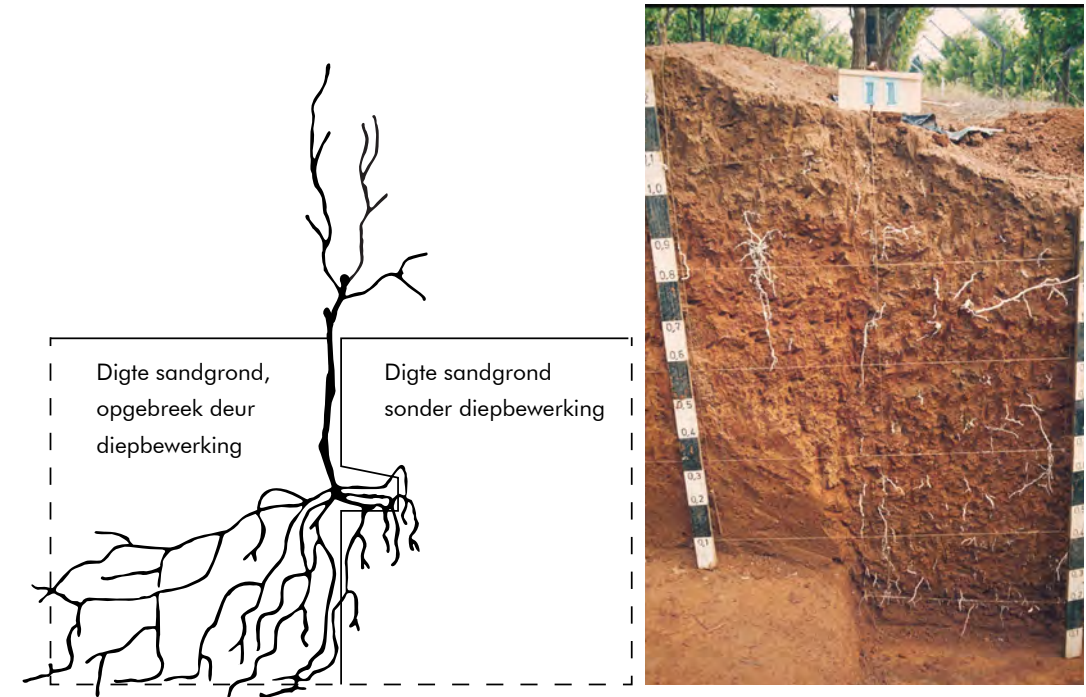


Fig. 1.1.7 Die invloed van grondweerstand, soos deur die aan- of afwesigheid van diep grondbewerking teweeg gebring, op die ontwikkeling van die wortelstelsel. Skets links: Wortels koloniseer diep losgemaakte sandgrond met 10 bar weerstand (links op die skets) baie beter as nie-losgemaakte sandgrond met 28 bar weerstand (regs op die skets). (Champagnol, 1984, soos oorgeteken uit Ionescu, 1978). Foto regs: Wortels koloniseer diep voorbereide grond (regs in die foto) baie beter as nie-voorbereide grond (links in die foto). (Foto: Navorsingsinstituut vir Wingerd- en Wynkunde (NIWW))

Die faktore wat wortelvertakking beïnvloed, is nie goed bekend nie. Daar kan tussen twee tipes vertakking onderskei word, nl. werklik vertakte wortels en wortels wat 'n oorfloed haarwortels het. Dit lyk of wortelvertakking met gunstige kondisies en fisiese skokke (versperrings, water- en osmotiese potensiaal) gepaard gaan, maar dat nuwe wortels min is in ongunstige toestande. Vruggbare toestande bevoordeel groei, vertakking en oorfloed van haarwortels. In 'n vruggbare omgewing is voeding maklik en die groei en vertakking van wortels maksimaal. Laterale uitbreiding is groot en die maas van kolonisasie is klein en bogrondse groei kan groot afmetings aanneem. 'n Ekstreme geval hiervan is in 2017 in die Robertson omgewing by 12-jaar-oue

Chardonnay/Ramsey op vrugbare grond waargeneem (Fig. 1.1.8). In 'n onvrugbare omgewing is wortelgroei stadig en vertakking minder, met beperkte laterale uitbreiding en groot maas van kolonisasie en kan groeikrag nie groot wees nie. Hierdie is die basis van keuse van plantdigtheid.



Fig. 1.1.8 Intense worteluitbreiding en kolonisasie van Chardonnay/Ramsey in vrugbare grond, Robertson. (Foto: Johan de Jager, 2017)

Veroudering van stokke ontstaan veral vanaf die lote weens snoeiwonde en uiteindelik parasiete en tot mindere mate weens vermindering in effektiwiteit van die wortelstelsel. Laasgenoemde is die gevolg van oppervlakkige en in diepte veranderinge en sonder twyfel ook weens 'n vermindering in algehele aktiwiteit weens veroudering van die wortels en uitputting van die grond. Uiteindelik word toestande van die geheel van die risosfeer al verder van die ideaal. Die veroudering van die wortelstelsel lyk meer toe te skryf aan verandering van die omgewing as aan die veroudering van die wortelstelsel op sigself. Gevolglik is stokke wat 50 - 80 jaar oud word te danke aan die sorg wat aan die stokke toegewy is, wat stam en arms teen veroudering beskerm het. Die wortelstelsel van sulke ou stokke is nie verskillend van dié van stokke wat jonger uitgehaal moes word nie (Branas, 1974).

Die groei, uitbreiding en aktiwiteit van wingerdwortels word deur talryke natuurlike en mensgemaakte parameters beïnvloed en sluit in ondeurdringbare grondlae, grondsterkte, grondkompaksie, besproeiings-

patrone en genetiese wortelgroei-eienskappe (McKenry, 1984). Die wortelverspreiding word deur grondtipe gedikteer, maar die digtheid daarvan is 'n funksie van die bo- en onderstokkombinasie, met onderstok die hoof faktor (Mullins *et al.*, 1992). Swanepoel en Southey (1989) vind ook dat wortelverspreiding en -digtheid grootliks deur onderstokkultivar bepaal word en dat bogrondse groei en drag groter is soos worteldigtheid en -verspreiding toeneem. Data van Smart *et al.* (2006) dui daarop dat grondeienskappe, soos ondeurdringbare lae, klipperigheid en teenwoordigheid van gruislense, 'n groter invloed op diepteverspreiding het as genotipe. Genotipe verskille was nie opsigtelik nie en hulle ondersoek dui daarop dat worteleienskappe, anders as horisontale en vertikale verspreiding, oorweeg behoort te word ten einde sommige sleutel worteleienskappe soos bostok groeikrag en droogtebestandheid te verklaar. In ooreenstemming hiermee verklaar Perold (1926) dat geopatrone 'n ondergeskikte invloed op wortelverspreiding het in vergelyking met wateraanlokking.

Die samestelling van grondlug het 'n groot invloed op die groei van tapwortels en Huck (1970) vind dat wortelgroei drasties afneem wanneer suurstof onder 10% daal. By 'n totale suurstofgebrek sterf wortelgroeipunte binne enkele ure af.

Groepe uitbreidingwortels kan as 'n front groei en grond vinnig binnedring. Agter hierdie front ontwikkel laterale wortels en is aanvanklik eweredig gespaseer en min in getalle. Sowat 150 mm vanaf die wortelpunt kan die uitbreidingswortel verdik, terwyl laterale wortels verleng en vertak in hoër orde laterale wortels. Laer orde laterale wortels groei vinniger as hoër orde wortels. Die gevolglike vermeerdering van laterale wortels resulteer in 'n konsentrasie van kort, fyn wortels wat die benutting van water en voedingstowwe verbeter.

In studies op die effek van prieselstelsels op wortelverspreiding, vind Van Zyl en Van Huyssteen (1980) 'n baie uniforme verspreiding, met die volle rywydte wat benut is, maar met die minste wortels in die boonste 10 cm grondlaag. Dit stem ooreen met baie vorige waarnemings, maar is teenstrydig met die klassieke model van wateronttrekking wat volgens Israelsen en Hansen (1967) 'n driehoekige vorm het, met 40% onttrekking in die boonste 25% en 10% in die diepste 25% van die grond. Hierdie veralgemening t.o.v. wateronttrekkingpatroon is dus nie noodwendig geldig vir wingerd nie.

Araujo en Williams (1988) vind dat wortelgroei hoofsaaklik plaasvind wanneer oortollige fotosintetiese produkte vanaf die blare beskikbaar is. Wortelkolonisasie volg altyd die pad van die minste weerstand. Wortelgroei begin stadig in die lente maar neem vinnig toe tot 'n maksimum in mid-somer, voor dit weer afneem tot 'n laer piek in herfs (Freeman & Smart, 1976). Wortelgroei begin tot 10 weke na bot en absorpsie gedurende oorwintering moes dus meer as helfte van die jaarlikse uitbreidingsgroei van lote met water en voedingstowwe voorsien het. In 'n mikrorisotron-studie op Concord het wortelverbruining gewoonlik 3 - 4 weke geduur en vinniger geskied wanneer die wortels na blom vorm, waarskynlik weens hoër grondtemperatuur op daardie stadium (Anderson *et al.*, 2003). Verbruining is gevind geassosieer te wees met afsterf van die korteks en uiteindelijke dood van die wortels (Comas *et al.*, 2000), sodat akkumulasie van fenoliese verbindings direk of indirek verband hou met verlies aan absorberende potensiaal met ouderdom.

By meeste houtagtige plante (ook wingerd) bestaan daar 'n reglynige verhouding tussen wortel- en lootgroei en hierdie verband word grootliks deur die wortels beïnvloed (Russell, 1977; Wang *et al.*, 2001; Archer en Hunter, 2004/5) alhoewel daar ook bevindings is dat die groeikragtigheid van die bostokkultivar die grootte van die wortelstelsel beïnvloed (Harmon & Snyder, 1934). Die verhouding tussen onder- en bogrondse groei wissel baie. In 'n 10-jaar-oue Chenin blanc wingerd vind Saayman en Van Huyssteen (1980) 'n verhouding van 1:2 en in 'n 15-jaar-oue Shiraz wingerd vind Randall en Coombe (1978) 'n verhouding van 1:8, terwyl Hunter (1998a) 'n verhouding van 1:2.5 vir 'n 10-jaar-oue Cabernet Sauvignon wingerd bepaal het. Soortgelyke studies met 3-jaar-oue Thompson Seedless stokke (Araujo, 1988) en met 10-jaar-oue Chenin blanc stokke in die San Joaquin valley (Mullins *et al.*, 1992) het onderskeidelik verhoudings van 1:5.2 en 1:5.3 getoon.

Die normale wortelsisteem van wingerd bestaan uit onderskeppingswortels in die boonste grondlaag, wat ondersteun word deur tapwortels in die dieper grondlae (Fig.1.1.9). Die meeste fynwortels, wat die grootste deel van die absorberende worteloppervlak beslaan, word in die boonste 100 - 600 mm gronddiepte aangetref (Barnard, 1932; Branas & Vergnes, 1957; Randall & Coombe, 1978; Van Huyssteen & Weber, 1980). Die onderskeppingswortels word ook fynwortels en die tapwortels dikwortels genoem. Die massa van 'n wortelsisteem van 'n enkel stok varieer tussen

4.5 en 7 kg, afhange van die stokouderdom en dit neem toe met jare (Pratt, 1974). 'n *Vitis rupestris* wingerd van 12-jaar-oud het 'n totale wortelmasse van 20 t/ha gelewer, terwyl 'n 58-jaar-oud wingerd 31 t/ha geproduseer het (Esau, 1967). Harmon en Snyder (1934) het met stokke van gemiddeld 25-jaar-oud en met verskillende entkombinasies van 5 - 30,8 t/ha wortels gevind, met die langste wortel oor die 6 m.

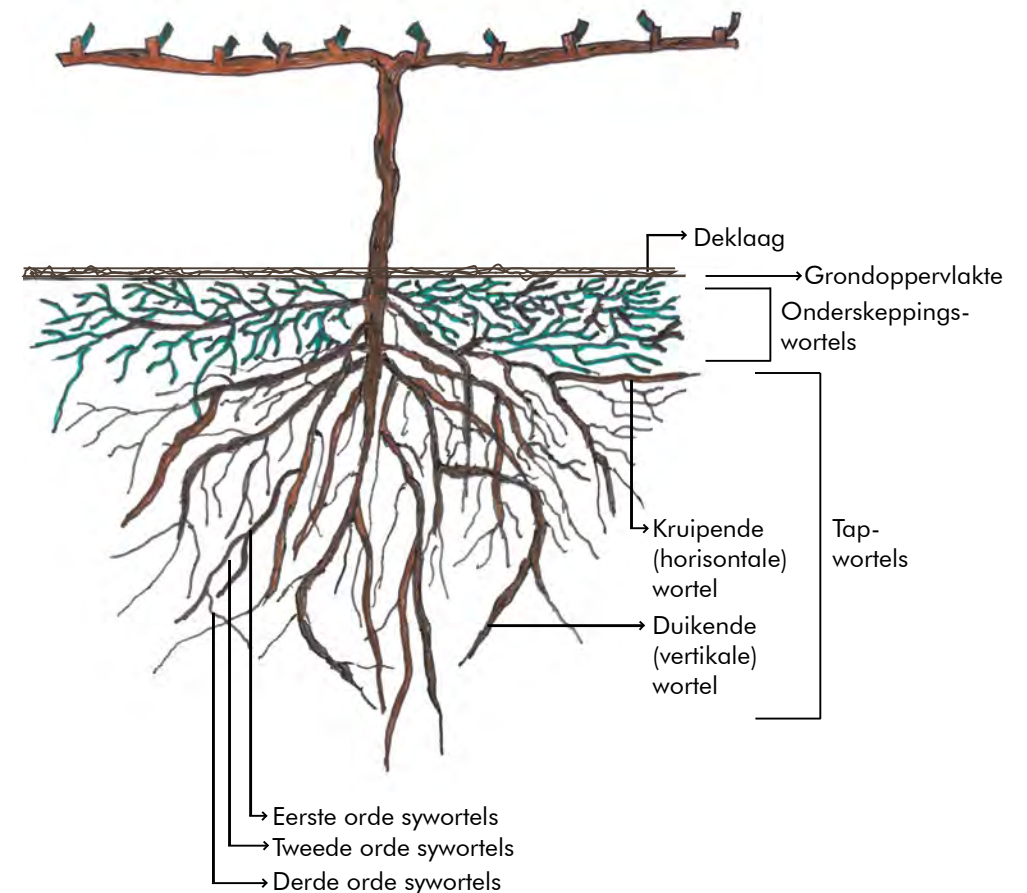


Fig.1.1.9 Die wortelstelsel van die wingerdstok. (Geteken deur E. Archer)

In sy klassieke en oorspronklike studie op wingerdwortels in Suid-Afrika vind Le Roux (1941) soortgelyke resultate. Die wortels van sewe verskillende onderstokke geënt met vier verskillende bostokkultivars op twee verskillende grondtipes is totaal ontbloot en ook met die profielwandmetode bestudeer. Hy vind dat 90% van alle wortels in die boonste 90 cm van die dieper grond voorkom met geen wortels in die 0 - 10 cm grondlaag nie. In die vlakker grond het 100% van die wortels in die boonste 90 cm gronddiepte voorgekom ook met geen wortels in die oppervlaklae nie. Vir Jacques, 333 EM en Rupestris du Lot het die wortels binne 4 - 4.3 m radius om die stamme voorgekom, terwyl meer as drie meter dieptepentrasie algemeen was (Le Roux, 1941). Hy vind dat alle onderskeppingswortels (fynwortels) binne 20 cm gronddiepte voorgekom het. 'n Intensiewe wateraanlokkingsinvloed het op wingerdwortels voorgekom en horisontale wortellengtes van tot 8.4 m tot by 'n nabygeleë grond waterleivoer is gemeet. Le Roux (1941) klassifiseer wingerdwortels in twee klasse, naamlik horisontaal groeiende (kruipende) en vertikaal groeiende (duikende) wortels en verklaar dat laasgenoemde in die minderheid is.

In 'n klassieke studie met verskillende onderstokke en stok-ouderdomme wat gewissel het van 7 - 52 jaar, het Garcia de Lujan Gil de Bernabe en Gil Monreal (1982) gevind dat die dikste wortel (31 mm deursnit) naby die stam voorgekom het en dat die langste wortel 12 m horisontaal op 'n diepte van 60 cm gegroei het. Met 41-B Mgt van verskillende ouderdomme, asook 196 - 17 Castel, 161-49 Couderc en 420-A Mgt, is gevind dat 70 - 90% van alle wortels binne 'n diepte van 1 m in Albariza (witgekleurde kalkgrond) voorkom. Met 161 - 49 Couderc op diep, donker grond is 'n worteldiepte van tot 5.8 m waargeneem. Hulle het met 'n 52-jaar-oud 420-A Mgt wingerd 7 kg wortels per stok geweeg (28 t/ha) en 'n totale wortellengte van meer as 600 m/stok (2.5 km/ha) gemeet. Die diepteverspreiding van 'n stok se eie wortels, sowel as dié van naburige stokke, soos in hierdie studie vir 420-A Mgt gevind, word in Fig. 1.1.10 aangetoon en dit is duidelik dat die meeste wortels binne 60 cm diepte aangetref is. Dit is duidelik dat daar 'n mildelike oorvleueling van naburige stokke se wortels was. In terme van wortellengte, was daar in die plantspasie grondvolume van 'n enkel stok, meer as 80% wortels vanaf naburige stokke aanwesig (Garcia Lujan Gil de Bernabe & Gil Monreal, 1982). Hulle vind dat die meeste wortels (massa en lengte) en meeste dikwortels aangetref word op die oorspronklike plantdiepte, met 50 - 60 cm verspreiding na naburige stokke. Ongeag die onderstokkultivar, plantdigtheid, verbouings-

en ander faktore, wil dit voorkom dat die faktore wat die belangrikste is vir wortelontwikkeling, grondwaterinhoud en terreingeaardheid is. Dit blyk dat die wortelstelsel gedurende die eerste jare vestig en selfs as dit later ontwikkel, dit voortgaan met toename in grootte en digtheid.

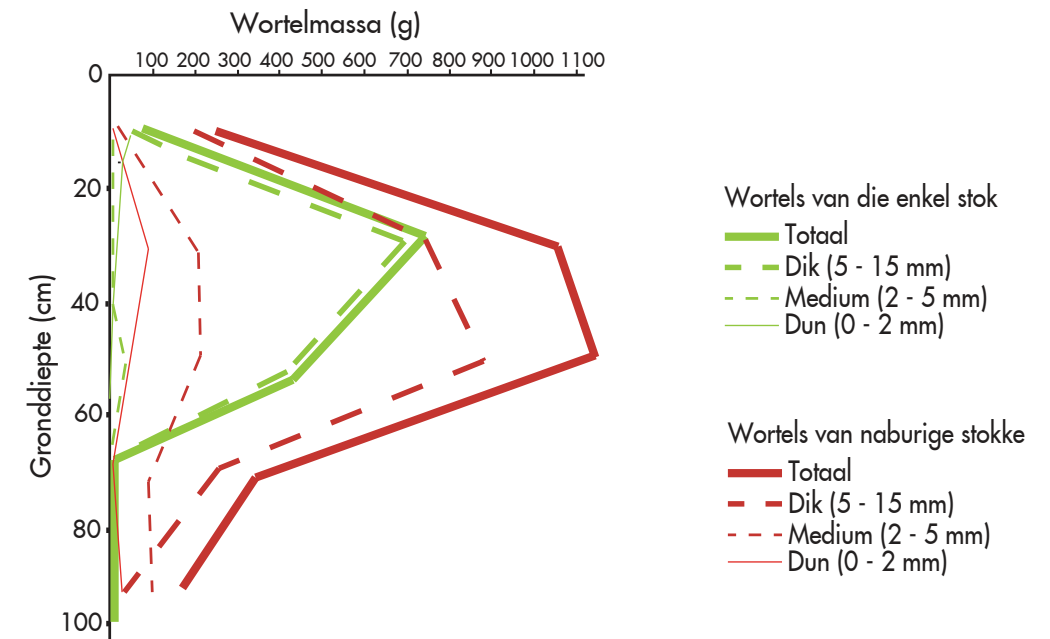


Fig. 1.1.10 Die wortelmasse in verskillende grondieptelae van 'n enkel stok (420-A Mgt) sowel as dié van naburige stokke teenwoordig in die plantspasie volume van een stok. (Aangepas en oorgeteken uit Garcia de Lujan Gil de Bernabe & Gil Monreal, 1982)

Volgens Barnard (1932) kan die struktuur van die wortelstelsel beskou word as analoog aan dié van die bogrondse deel van 'n houtagtige plant, deurdat 'n aantal hoofwortels vrylik vertak en die raamwerk van die wortelsisteem vorm, soortgelyk aan bogrondse vertakkings. Hierdie wortels is meerjarig, maar groei staak in winter en hervat weer in lente, met die ouer dele wat houtagtig word, net soos houtagtige takke. By Sultanina is daar op die jongste dele van die permanente wortels klein absorberende- of voedingswortels, wat tot 'n mate met blare vergelyk kan word. Hulle is selde langer as 6 - 7 cm, word nooit houtagtig nie en funksioneer slegs vir een seisoen. Die hoofwortels ontspring uit die basis van die stam op 30 - 35 cm diepte en versprei vinning en effens afdraand. Die aantal

hoofwortels neem nie toe na die tweede of derde seisoen na planting nie. In die geval van 8 jaar oue stokke, is lengtes van 2.7 - 3.6 m bereik, wat gestrek het tot dieptes van 45 - 50 cm. Kleiner permanente wortels toon opvallende neiging om na die oppervlak te groei, alhoewel enkeles onder die vlak van die hoofwortels (45 - 75 cm) ontwikkel, waarvan duikende wortels soms tot 120 cm diep indring. Voedingswortels op die opwaarts groeiendelaterale wortels vorm 'n sone 12 - 25 cm onder die grondoppervlak, maar kan selfs nader aan die oppervlak groei indien nie deur bewerking versteur nie. Horisontale verspreiding van die wortelraamwerk is in alle rigtings en die hoofwortels is gemiddeld 3 m lank, met sommige wat 4.5 - 4.8 m lank kan wees en selfs 'n lengte van 7.2 m kan bereik. Wortels van naburige stokke oorvleuel dus aansienlik (tot 36.7%) (Fig. 1.1.11) en verminder groei weens kompetisie, soos aangedui deur die groei van kopstokke met die derde stok in die ry te vergelyk. Van 19 stokke elk wat gemeet is, het kopstokke hoogsbetekenisvol gemiddeld 2.4 cm groter stamomtrek en 545 g meer snoeimassa as die derde stok gehad.

Verskillende bevindings ten opsigte van worteloorvleueling tussen naburige stokke word in die literatuur gevind. Barnard (1932), Le Roux (1941), Penkov (1974) en Garcia de Lujan Gil de Bernabe en Gil Monreal (1982) vind merkbare oorvleueling deurdat horisontale wortelgroei van 3 - 8 m gemeet is, terwyl Champagnol (1984), Archer en Strauss (1985) en Archer (1991/2) min oorvleueling gevind het.

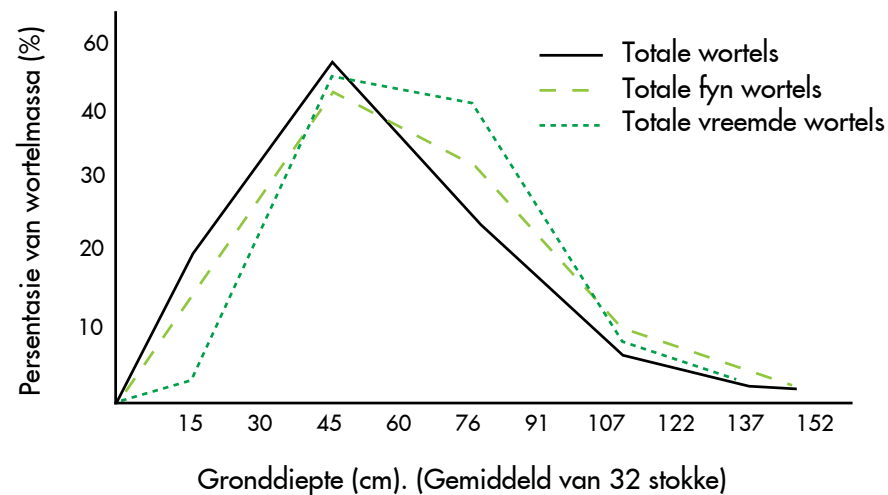


Fig. 1.1.11 Vertikale verspreiding van totale, fyn en vreemde wortels. (Oorgeteken uit Harmon & Snyder, 1934)

In Barnard (1932) se ondersoek het sommige wortels altyd verder as die 2.4 m uitgraving gegroei. 'n Hoofwortel van Solonis x Othello, 1613 is vir 'n afstand van meer as 5.8 m gevolg en was toe nog 6.4 mm in deursnit. Twaalf sywortels van hierdie hoofwortel is gevolg vir 'n gemiddelde afstand van meer as 3.5 m en was steeds 1 - 3 mm in deursnit. Die mate van oorvleueling hou waarskynlik direk verband met die doeltreffendheid van grondvoorbereiding, maar dit is raadsaam om rondom eksperimentele grondbehandelingspersele groot bufferareas toe te laat.

Uitgewaste horisonte, arm aan voedingstowwe, word vertikaal deur dikwortels deurkruis, met min vertakking (Seguin, 1972). Indien 'n grondlaag massief is, oorkruis die dikwortels die boonste limiet van die laag en dring deur sonder vertakking. In die geval van sterk gestruktureerde (blok- of prismastruktuur) lae, vertak die dikwortels en die fynwortels dring tussen die struktuureenhede in en bedek dit met 'n baie dik wortelnetwerk, veral as die struktuureenhede met kleiskille bedek is, sonder om dit binne te dring. In die moedergesteente-materiaal, word dikwels wortels tot baie groot dieptes aangetref indien die materiaal deurlaatbaar is. Die worteldigtheid is hier oor die algemeen minder as in die oppervlaklae, maar deurdat sulke groot dieptes benut word, kan aanvaar word dat 'n belangrike gedeelte van die stok se wortels, moeilik om te kwantifiseer, in die dieperliggende moedermateriaal-gedeelte van die profiel voorkom.

In 'n studie met drie-jaar-oud Pinot noir x 99 Richter stokke by verskillende plantwydtes, waar die wortels net tot 60 cm diepte oopgemaak is, vind Archer (1990) en Archer en Strauss (1985) van 6.63 km/ha wortels by die wydste tot 49.1 km/ha by die nouste spasiëring. Meer as 50% van wingerdwortels kom in die boonste 400 mm gronddiepte voor (Branas, 1974), maar plaaslik en oorsee is wingerdwortels dieper as 5 m al gevind. Seguin (1972) vind dat die meeste wingerdwortels in die boonste 50 - 100 cm grondlae voorkom, maar minder volop in boonste 15 - 20 cm grondlae is, maar dat individuele wortels die grond tot meer as 6 m kan binnedring. Archer *et al.* (1988) het gevind dat, met verskillende preekstelsels, meer as 50% van wingerdwortels in die boonste 60 cm van die grond voorkom (Fig. 1.1.12) en Le Roux (1941) dat vir sewe onderstokke tot 90% van wingerdwortels in die boonste 90 cm van die grond voorkom en 75% van die totale wortels in die boonste 45 cm groei. Champagnol (1984) berig dat die sone van sterk wortelkolonisasie in die Midi en ook in die Madrid area tussen 25 cm en 50 cm geleë is; in

San Joaquin, Kalifornië, is dit ietwat dieper by 30 - 70 cm diepte, terwyl dit 40 - 70 cm diepte in Jerez bereik. Juncu *et al.* (1969) vind die diepste wortels op 2.50 m met Kober 5BB.

Kocsis *et al.* (2016) se profielwand-waarnemings in Hongarye van die wortelverspreiding van verskillende onder- en bostokke, bevestig die bekende lae worteldigtheid van wingerd en 'n grondvolume besetting van selde meer as 0.05%. Diepte van wortelpenetrasie mag varieer, maar is meestal 60 - 80 cm, terwyl fynwortels meestal in die 10 - 60 cm grondlaag aangetref word. In hierdie studie was 55.9% van wortels in die 0 - 30 cm grondlaag en 5.26% in die 90 - 120 cm grondlaag. Oor die algemeen het Teleki 5C en Georgikon 28 die grootste aantal ≤ 2 mm deursnit wortels gehad. Die verhouding van fyn-/dikwortels (< 2 mm/ > 2 mm deursnit) dui op die effektiwiteit van wortels en was laag vir Teleki 8B (0.55) en Ruggeri 140 (0.7) met Vinitor as bostok en die hoogste vir Italiaanse Riesling/Teleki 5C (6.5). Hulle mini-risotron waarnemings het verskille in wortelgroei weerskante van stok getoon, soortgelyk aan die bevindings van Morlat en Venin (1981), wie 'n Assimetriese Indeks (AI) hiervoor ontwikkel het.

Die wortelstelsel brei in die grond uit deur middel van 'n kombinasie van voortgesette groei en vertakking. 'n Groeiende wortelpunt kan 'n druk van 800 - 1 200 kPa uitoefen en hoe minder druk nodig is om die grond te penetreer, hoe vinniger groei die wortel (Freeman, 1983). Hierdie uitbreidingswortels is relatief dik (1 - 2 mm) en kan tot soveel as 1 cm per dag groei (Hilton & Khatamian, 1973). Tapwortels varieer in dikte, maar is gewoonlik 6 - 100 mm in deursnit, met die dikste wortels gewoonlik op 30 - 35 cm gronddiepte en die getal neem nie toe na die derde jaar na aanplanting nie (Barnard, 1932). Kroemer (1909) klassifiseer die laterale wortels in verskillende ordes soos hulle vertak en vind dat 'n 14 maand-oue Riesling stok oor sowat 40 eerste orde, 1 100 tweede orde, 2 800 derde orde en 1 000 vierde orde wortels beskik. In ooreenstemming hiermee vind Randall en Coombe (1978) dat 'n 15 jaar-oue Shiraz stok oor ongeveer 10 000 wortels van < 1 mm deursnit beskik het.

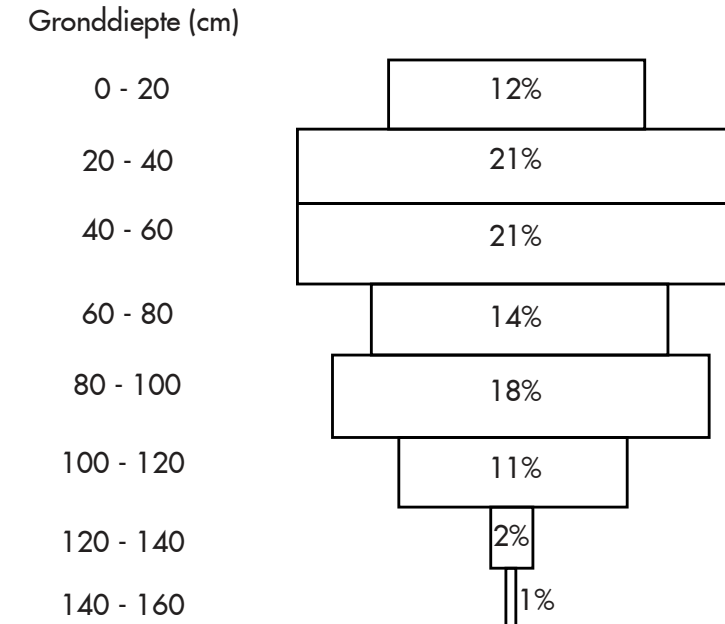


Fig. 1.1.12 Persentasie van die aantal wingerdwortels van Chenin blanc/99 Richter op verskillende dieptes by vier preeelstelsels, naamlik: 2-draad Heining, 3-draad Perold, 4-draad Heining en 1,5 m Skuinskap. (Saamgestel uit Archer *et al.*, 1988)

Die verskille wat in die diepteverspreiding van wingerdwortels in bogenoemde studies verkry is, word aan die doeltreffendheid van fisiese en chemiese grondvoorbereiding sowel as aan die maak van doeltreffende plantgate toegeskryf. Dit is waarskynlik die rede waarom Suid-Afrikaanse navorsing deurgaans dieper en beter verspreide wortelstelsels as wat oorsee gevind word, rapporteer.

In vrugbare loess (windafgesette, fyn grondmateriaal) volg Doll (1954) wortelindringing van 'n ses-jaar-oud Concord stok tot 4.4 m diepte en maksimum horisontale verspreiding van 6.7 m. Die grootste konsentrasie wortels was binne 'n 1.8 m radius van die stam en tot 2.4 m diepte. In minder vrugbare grond was maksimale diepte 2.9 m en maksimale horisontale verspreiding 7.7 m, met klein konsentrasies direk onder die stam en ook aan die eindies van die twee horisontale wortels. Vanaf tekening is dit duidelik dat wortelverspreiding ver buite stokspasie

plaasvind. 'n Planare tekening van 'n stok in vrugbare grond se wortels toon dat daar meer as 50% van omringende stokke se wortels teenwoordig was in die plantafstand spasie van die monsterstok (Fig. 1.1.13).

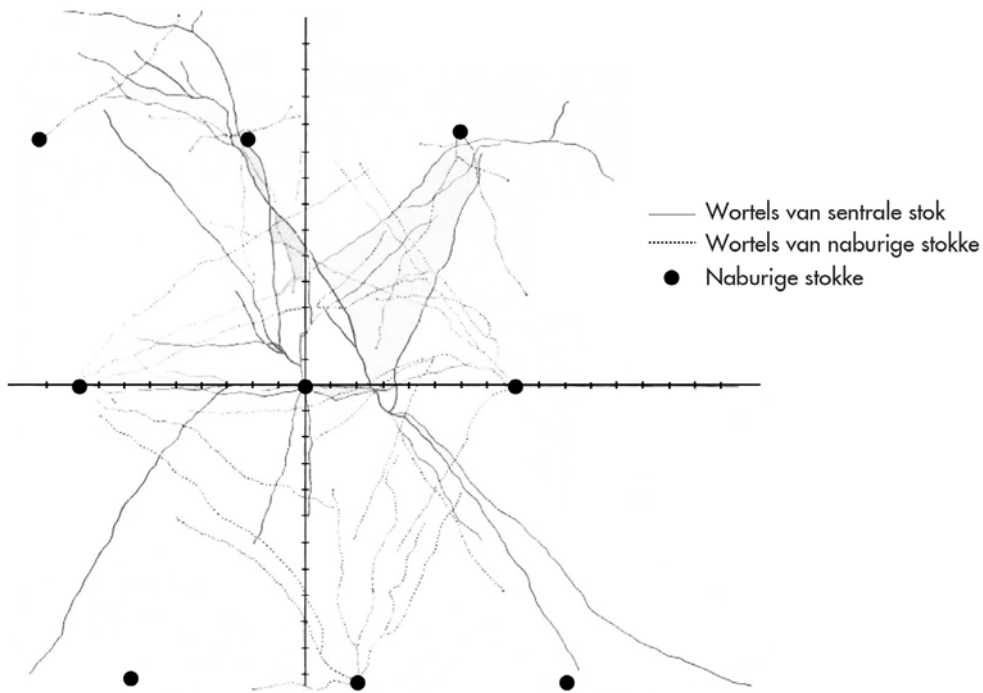


Fig. 1.1.13 Bo-aansig van die belangrikste wortels van een stok sowel as die oorvleuelende wortels van omliggende stokke. (Oorgeteken uit Doll, 1954)

Morlat en Jacquet (1993), vind dat wortels met 'n deursnit < 1 mm, omtrent 80% van totale wortels uitmaak en dat daar bykans geen betekenisvolle effek van grondtipe op wortelverspreiding naby of ver van stokke is nie. Grondtipe se effek op wortelverspreiding was hoogsbetekenisvol en toon die belang van grondtoestand op wortelgroei. Die effek van grondhorison was ook baie duidelik en toon swak homogene vertikale wortelverspreiding. Tweede (20 - 40 cm) en derde (40 - 60 cm) horisonte het gewoonlik die meeste wortels bevat, in ooreenstemming met werk van Branas en Verges (1957), Hidalgo en Candela (1969), Van Zyl en Weber (1981) en Garcia de Lujan Gil de Bernabe en Gil Monreal (1982). Die altyd hoogsbetekenisvolle interaksie tussen grondhorison en grondtipe, dui daarop dat grondlae waarin wortels konsentreer baie tussen gronde kan varieer.

Die afsterf van fynwortels is 'n natuurlike proses en baie van hulle gaan binne enkele weke na hulle ontstaan dood en word gedurig vervang deur nuut ontwikkelde laterale wortels (Reynolds, 1975). Hierdie kortstondige aard van fynwortels en die gedurige afskuur van die korteksweefsel van oorlewende wortels, maak 'n belangrike bydrae tot die organiese materiaalinhoud van die grond en tot 8 t/ha/jr is oor die leeftyd van die wingerd gemeet (Champagnol, 1984). Daarteenoor sterf dikwortels moeilik en is lewendige wortels al tot vyf jaar na die wingerd uitgehaal in die dieper grondlae aangetref. Die houtagtige gedeelte van die wortelstelsel verskaf die strukturele raamwerk en word gebruik vir vervoer, anker en stoor van reserve koolhidrate en voedingstowwe.

Anderson *et al.* (2003) vind dat toenemende gronddiepte en worteldeursnit deurlopend langer wortelleeftyd tot gevolg gehad het, terwyl wortels wat naby blom gevorm het 'n korter leeftyd gehad het as dié wat later in seisoen ontstaan het. Pigmentasie is 'n normale wortelverouderingsproses en in die noord-oostelike dele van die VSA hou dit verband met staking van metaboliese aktiwiteit van Concord.

Sodra die grondtemperatuur na die winter bokant 10°C styg (boonste grondlae eerste en daarna dieper af), begin nuwe wortelgroei (Champagnol, 1984). Daarteenoor vind Woodham *et al.* (1966) dat wortelgroei 'n aanvang neem sodra die grondtemperatuur 6°C oorskry en dat die optimum temperatuur vir wingerdwortelgroei 30°C is. Dit is meestal die dikker wortels wat vir nuwe groei verantwoordelik is, terwyl die meeste wortels dunner as 0.5 mm nie weer hergroei toon nie. McKenry (1984) vind dat minder as 5% nuutgevormde wortels die lente groeipiek oorleef om strukturele wortels te vorm. In die herfs daal die grondtemperatuur onder die groeigrense en hou wortels op met groei, alhoewel hulle lewend bly (Perold, 1926). In areas waar die grond gouer in die lente warm word en wortelaktiwiteite (groei, opname en hormoonproduksie) vroeër begin, bot die wingerde vroeër, is die ogies meer vrugbaar (meer sitokiniene) en is ooste gewoonlik groter as in areas waar die grond later warmer word.

Volgens Rogers (1939) het F. Resa reeds in 1877 gevind dat daar twee belangrike wortelgroeipieke gedurende die jaar is, een rondom blomtyd en een nadat die oes verwyder is. Dit stem ooreen met bevindings van Freeman en Smart (1976) sowel as Conradie (1980) en Van Zyl (1984) (Fig. 1.1.14). Die piek na oes word gereken as baie belangrik en dit is daarom dat na-oes besproeiing en bemesting krities is vir die uitbreiding

en funksionering van die wortelstelsel. Dit is ook in hierdie tyd wanneer die meeste reserwevoedingstowwe in die permanente stokgedeeltes neergelê word.

Mandel *et al.* (2001) is van mening dat die lang vegetatiewe na-oes periode in die warmer wingerdbou-areas van Australië as 'n kompeterende voordeel gesien moet word, wat tot maksimum voordeel benut moet word. Die na-oes periode is belangrik vir wortelgroei, voedingstofopname, produksie van koolhidrate en die stoor daarvan in permanente dele en wortels en 'n goed ontwikkelde wortelstelsel verseker beter water en voedingstofopname tydens hierdie fase. 'n Gebrek aan koolhidrate word geag 'n hooforsaak van 'Restricted Spring Growth' (RSG) te wees en waarskynlik ook betrokke by trosstingel-nekrose (rouband). RSG is oënskynlik dieselfde verskynsel as die Groeistilstandverskynsel wat hoofsaaklik langs die Oranjerivier voorkom en o.a. ook met gebrekkige koolhidraatreserwes in hout en wortels, weens voortydige blaarverlies a.g.v. vroeë ryp, in verband gebring is (Saayman, 1983).

Die na-oes wortelgroei piek is die rede waarom periodieke na-oes diepbewerking tussen rye, om kompaksie op te hef en wortelsnoei toe te pas, dikwels aanbeveel word (indien die grondklimaat reg is) sodat nuwe wortelgroei in los grond kan plaasvind. Volgens Goff (1898), begin wortelgroei by talle gewasse, insluitend wingerd, altyd voordat lootgroei begin en dit is veral in die bogrond, naby die oppervlak, omdat dit daar eerste warm word. Daarteenoor vind ander navorsers dat wortelgroei eers drie weke (Barnard, 1932) tot 10 weke (Freeman & Smart, 1976) na bot begin. Hiervolgens is dit duidelik dat daar wateropname deur verkurkte, volwasse wortels moet wees en daarom is dit belangrik dat hierdie wortels nie deur bewerking of versuiping vernietig word nie.

Comas *et al.* (2010) meen dat gevestigde aannames dat wingerd 'n bimodale wortelproduksie het, nl. in die lente en herfs, en dat hierdie patroon deur koolstofkompetiesie met bogrondse groei sowel as gebrekkige grondwater by baie klimaatsones gedryf word, op beperkte data gebaseer en nie universeel is nie. Dit blyk eerder dat die hoofpiek van fynwortelgroei rondom blom plaasvind en dat die na-oes piek kleiner is (Freeman, 1983). Hierdie is in ooreenstemming met die bevindings van McKenry (1984). In subtropiese gebiede, met 'n kort groeiperiode tussen bot en oes, vind die meeste wortelgroei na-oes plaas (Comas *et al.*, 2010).

In koue wynboulende word dikwels net een wortelgroei piek tussen blom en deurslaan geïdentifiseer, maar soms is daar twee, een by deurslaan en 'n tweede na-oes (Lehnart *et al.*, 2008). Comas *et al.* (2005) vind met Concord in die noord-oostelike VSA net een midseisoen piek van wortelgroei en skryf die gebrek aan 'n na-oes wortelgroei piek toe aan 'n baie kort groeiseisoen. Die wortelgroei siklus moet dus vir elke unieke situasie bepaal word sodat wortelbestuurspraktyke daarby aangepas kan word.

Jooste (1983) vind dat aktiewe wortelgroei eers afneem en selfs tot stilstand kom voordat lootgroei begin. Dit stem ooreen met die bevindings van Freeman en Smart (1976) dat 'n groot wortelgroei piek voorkom wanneer lootgroei afneem, met 'n kleiner piek na-oes. Hulle het vinnige wortelgroei 10 weke na bot verkry, wat heelwat later is as die drie weke wat deur Barnard (1932) waargeneem is.

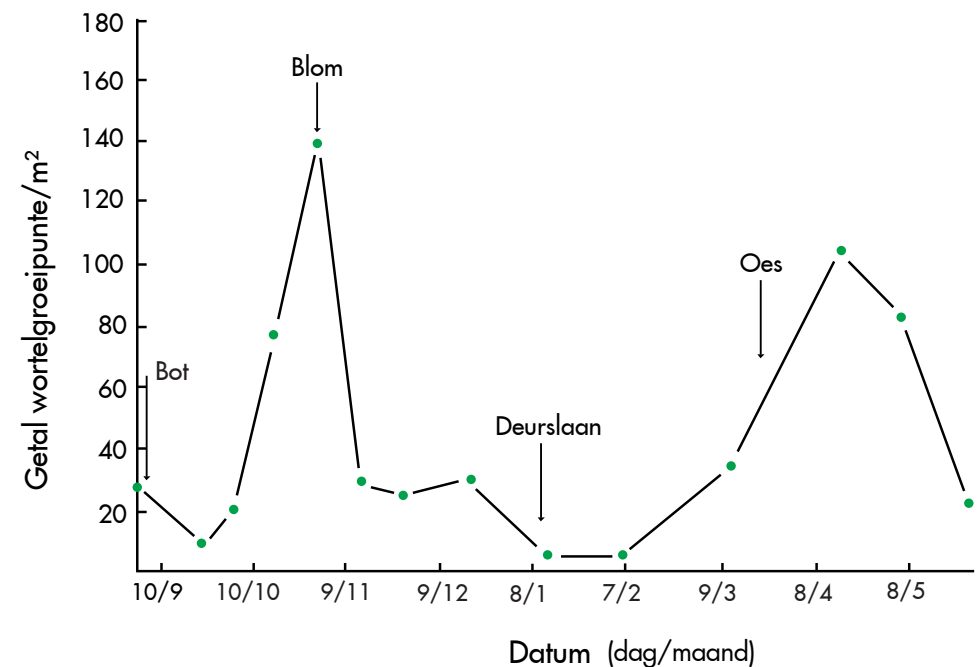


Fig. 1.1.14 Die jaarlikse groeisyklus van wingerdwortels. (Van Zyl, 1984)

Freeman en Smart (1976) vind in risotron studies in Australië met Shiraz twee prominente wortelgroeipieke vanaf Nov.-Jan. en dan weer Feb. - April met 100% ET besproeiing, maar baie min nuwe groei by oorbesproeiing (300% ET).

Volgens Eissenstat *et al.* (2006) het vorige werk in 1992 deur Mullins, Bouquet en Williams met risotrons, twee tipiese pieke van wortelgroei by gematigde klimaat gewasse getoon, nl. rondom blom en weer na oes. Hulle eie ondersoek met minirisotrons vir Concord in New York en Merlot in Oakville, Kalifornië, toon 'n wortelgroeipiek vir Merlot, geënt op beide 101-14 Mgt en 1103 Paulsen, hoofsaaklik tussen blom en deurslaan, met min groei na deurslaan. Soortgelyk aan Merlot, het meeste wortelgroei by Concord tussen blom en deurslaan voorgekom, óf as enkele piek, óf as redelik kontinue groei met geen duidelike piek nie.

Kocsis *et al.* (2016) vind in Hongarye dat wortelgroei later na lootgroei (blomtyd) begin as wat voorheen gerapporteer is. Dit is in kontras met bevindings dat wortelgroei in mid- tot laat-somer 'n piek bereik. Onder hulle klimaattoestande verstadig wortelgroei by deurslaan, maar gaan steeds voort tot begin van blaarval. Hulle resultate ondersteun die algemene reël dat wortelgroei na bot begin en dat vroeë lootgroei deur reserves vanuit die houtagtige dele van die stok onderhou word.

Möhr (1996) vind dat in die Moselle-vallei die digtheid van absorberende wortels 'n piek by oestyd bereik en is geraam op 3 500 km/ha, met algehele worteldigtheid op 12 000 km/ha, indien uitbreidingwortels bygetel word. Intensiewe groei van absorberende wortels in die bogrond het een week na bot by 13 - 17°C in 1995 seisoen plaasgevind, maar gedurende die vorige seisoen by die begin van blom. Volgens hom lyk dit of daar twee tipes wortelpuntgroei in wingerdbou is, naamlik:

1. In warm klimaat, veral die suidelike halfgrond, word twee pieke gevind, met die eerste piek tydens blomtyd wanneer lootgroei begin staak en 'n tweede, kleiner piek na oes. Subtropiese klimaat verhoog groei en verklaar waarom 'n wortelgroeipiek vroeër verkry word, met 'n tweede na-oes tot blaarval stimulus, wat verskeie maande kan duur en dus baie belangrik is vir voedingstofopname.
2. In gematigde klimaatstreke ontwikkel nuwe wortelpunte stadig en neem redelik kontinueerlik toe tot 'n piek in laat somer of by oestyd. Indien blare na oes aktief bly, kan 'n verdere toename in wortelpuntgroei plaasvind, wat verskeie weke kan duur.

Tussen spesies asook tussen onderstokkultivars bestaan daar verskille in die rigting waarin veral die tapwortels groei. Die hoek wat die hoofwortels met die vertikaal vorm staan bekend as die hoek van geotropisme en Perold (1926) beskryf heelwat verskille wat van nature in dieselfde medium voorkom (Tabel 1.1.1).

Tabel 1.1.1 Die hoek van geotropisme van enkele spesies en variëteite van *Vitis*.

Spesie of variëteit	Hoek van geotropisme
<i>V. rupestris</i> var. du Lot	20°
<i>V. Berlandieri</i>	25°-30°
<i>V. riparia</i>	75°-80°
<i>V. rupestris</i> x <i>V. Berlandieri</i>	40°-50°
<i>V. vinifera</i> (Chasselas) x <i>V. Berlandieri</i> : 41 B	45°
<i>V. riparia</i> x <i>V. rupestris</i>	40°-60°
<i>V. riparia</i> x <i>V. Berlandieri</i>	60°-75°
<i>V. riparia</i> x <i>V. cordifolia</i> (106-8)	70°

Aanvanklik is gemeen dat die hoek van geotropisme 'n belangrike rol speel in die keuse van onderstokkultivars. Dié met wye hoeke is vir vlakker gronde aanbeveel en dié met skerper hoeke vir dieper gronde. Verder word die hoek van geotropisme ook deur die entkombinasie beïnvloed (Perold, 1926; Erlenwein, 1965). Perry *et al.* (1983) beveel aan dat wingerde met *V. rotundifolia* onderstokke nie diepbewerking tussen rye moet ondergaan nie weens die vlak (hoek van geotropisme > 80°) wortelstelsel daarvan. Latere bevindings het egter getoon dat die eienskappe van die grond (vrugbaarheid, harde banke, chemiese beperkings, ens.) die invloed van die hoek van geotropisme totaal kan oorheers (Champagnol, 1984).

Soar en Loveys (2007) vind 'n baie sterk verwantskap tussen wortelvolumen en wortel droëmassa ($r^2 = 0.8$). Hunter en Le Roux (1992) vind dat die meeste wortels in 0 - 80 cm diepte sone voorkom vir alle ontblaring behandelings, met volledige verspreiding tussen stokke. Conradie (1980) vind in 'n potproef met twee-jaar-oue stokke, dat wortels voor bot 65% van die droë massa van gesnoeië stokke uitmaak. Die toename in massa weens nuwe groei is gekanselleer deur betekenisvolle afname in droë massa van wortels. Gedurende die na-oes periode was daar weer 'n betekenisvolle toename in droë massa van die stok, hoofsaaklik weens 'n massiewe toename in wortelmassa.

Volgens Huglin (1986) word wortelvorming, waar dit nie normaalweg voorkom nie, 'risogenese' genoem. Hierdie tipe van wortelvorming geskied normaalweg uit gedeeltes van verhoute lote vanuit die kambium en in 'n murgstraal van 'n steggie (Fig.1.1.15). Wortelvorming kan onder spesiale omstandighede ook met groen lote gedoen word. Daar is nie 'n direkte verwantskap tussen die glusiedinhoud van steggies en die vermoë daarvan tot risogenese nie. Daar is 'n polariteit van lote ter sprake. Wortels vorm bykans altyd op die morfologies onderste ekstreem van die steggie. Dit dui op die bestaan van risogeen bestanddele wat deur die oog geproduseer word en wat na die basis van die steggie diffundeer en in die bas migreer en waarskynlik hormonaal is. Die oog speel 'n belangrike rol in wortelontwikkeling van 'n steggie; 70% wortels is gevind onder die oog, met slegs 10% op steggies waarvan die oë verwyder was. Dit is ook bekend dat die entjie wortelontwikkeling beïnvloed. Die natuurlike stimulus van die oog kan met 'n ouksien, naftaleenasynsuur, vervang word, wat aan die apeks van die steggie aangewend word. Ander hormone kan ook op 'n komplekse wyse 'n rol speel, soos gibbereliene, wat veral beworteling kan stimuleer en sitokiniene, wat dit kan inhibeer.



Fig. 1.1.15 Uitgroei van wortel vanuit die kambium in die murgstraal van 'n steggie. (Huglin, 1986)

In Mildura, Australië, toon die styging van sap van Sultanina omtrent middel-Augustus, die aanvang van wortelaktiwiteit, alhoewel nuwe wortelgroei nie voor die derde week van September begin nie (Barnard, 1932). Gedurende hierdie periode is die enigste voedingswortels teenwoordig, dié bietjie wat van die vorige seisoen oorgebly het. Die meerderheid is ontbind en bruin tot swart van kleur en sonder enige wortelhare. Dit is merkwaardig dat sapvloei voor die verskyning van nuwe wortels voldoende is om bot en inisiële lootgroei teweeg te bring. Die meganisme waarvolgens die stok tydens hierdie periode so vinnig water kan absorbeer, word tans nie verstaan nie, maar dit is moontlik dat endofitiese mikorriza, asook worteldruk en massa-invloei van water deur wortelkrake hier 'n belangrike rol speel. Hierdie laat ontwikkeling van nuwe wortels is ook in 1926 deur L. Rives in Frankryk waargeneem en is in teenstelling met die algemene opvatting (Perold, 1926) dat die huil van die stok deur die absorpsie van water deur nuut gevormde wortels veroorsaak word.

Morlat *et al.* (2010) gebruik 'n wortelverdelingsindeks wat gedefinieer word as: $WVI \text{ (wortelverdelingsindeks)} = \frac{\sum[R(1 - 2 \text{ mm}) + R(2 - 5 \text{ mm})]}{\sum[R(5 - 10 \text{ mm}) + R(>10 \text{ mm})]}$, waar R = die aantal wortels in die spesifieke dikteklas. Die benutting van die grondvolume deur wortels kan beskryf word deur kumulatiewe krommes van die massapersentasies van elke klas wortels en deur die WVI (Fig. 1.1.16).

Dun wortels is volop in die kalkryke klei-leem gronde, met hoë WVI's van $2.33 < WVI < 3.48$. Op kalkryke sande val die wortels veral in die groot en medium klasse, met lae WVI van 0.49. Die benutting van grond deur wortels per volume-eenheid is dus hier minder goed as in die kalkryke klei-leem gronde. In die geloogde gronde met tekens van natheid met diepte, is beworteling redelik verdeeld, met $WVI = 1.27$ en goed versprei. Hierteenoor is dit swak ontwikkel en min vertak in die bruin, suur sande op sand-klei afsettings ($WVI = 0.29$). In dupeksgronde benut die wortels die grond swak en is dit min verdeel ($WVI = 0.43$). Wortelontwikkeling varieer dus grootliks na gelang van die aard van die grond en die geologiese materiaal. Dit wil voorkom asof die verskillende beperkende faktore (lae waterhouvermoë, tekstuurverskille, natheid, grondsterkte) dieselfde nadelige effek het op die verspreiding van die wortelstelsel.

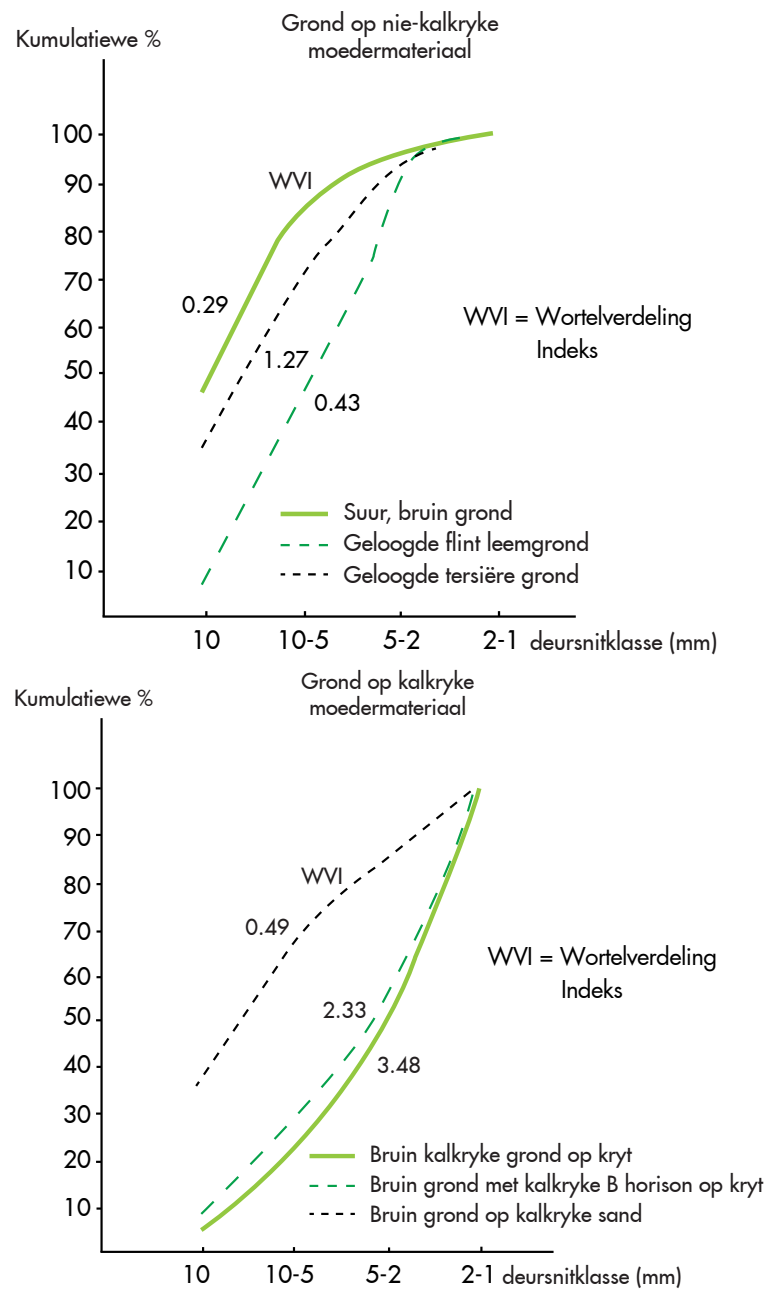


Fig. 1.1.16 Kumulatiewe kurwes van worteldeursnitklasse in verskillende gronde. (Oorgeteken uit Morlat *et al.*, 2010)

Morlat *et al.* (2010) definieer ook sekere morfologiese parameters van wortels > 2 mm deursnit deur die teoretiese lengte (TL) daarvan te meet, wat ooreenstem met 'n reguit lyn parallel aan 'n gedeelte van die wortel, asook die werklike lengte (WL) van die wortelgedeelte wat met 'n kurwimeter

bepaal word. Hiervolgens word 'n verhouding van werklike lengte/teoretiese lengte (WL/TL) bereken. Voorts is die ekwivalente-kurwehoek (EKH) waar 'n wortel afbuig, gemeet waar twee reguit lyne, raaklynig aan die wortel voor en na die kurwe, mekaar kruis. Die verskil tussen die deursnitte van 'n gedeelte wortel se boonste en onderste dele is ook gemeet en as $\Delta\phi$ uitgedruk. Die WL/TL verhouding van wortels toon onder sekere toestande die negatiewe invloed wat deur die grondomgewing uitgeoefen kan word op die diep indringing van die wortel. Hierdie verhouding is altyd kleiner as 1:1.3 in die gunstige bruin klei-leem gronde en varieer min volgens horisonte. Hierdie verhouding neem merkbaar toe in die baie arm sandgronde wat onderlê word deur kalkreet sand, wat wortels blokkeer en bereik waardes van 1:1.5 in duplex- en kleigronde, wat die slegte fisiese aard van hierdie grond perfek reflekteer.

Die ekwivalente-kurwehoek (EKH) toon die negatiewe effek van tekstuurverskille tussen oppervlak- en dieptehorisonte. Dit is baie kleiner in die tweede horisonte van meeste profile, uitgesonderd die kalkryke klei-leem gronde, waar dit met diepte min varieer tussen 130 - 140°. Hulle kry 'n goeie negatiewe kurwiliniêre verwantskap tussen EKH en WL/TL. (Fig. 1.1.17).

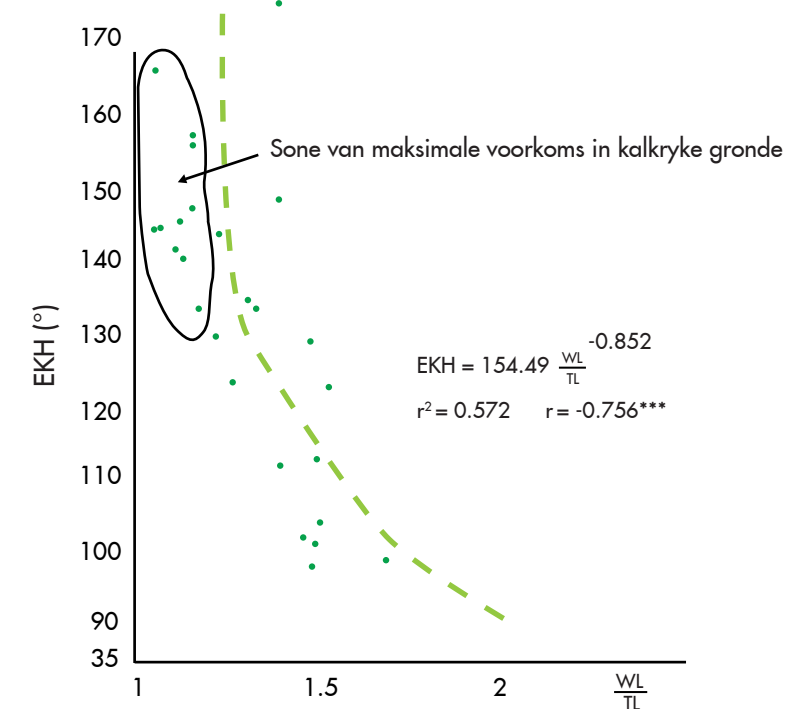


Fig. 1.1.17 Verhoudings tussen werklike/teoretiese lengtes (WL/TL) en ekwivalente-kurwehoek (EKH) vir bestudeerde wortels. (Oorgeteken uit Morlat *et al.*, 2010) ***hoogs betekenisvol

Morlat *et al.* (2010) vind beter korrelasie tussen WL/TL en bulkdigtheid as vir penetrometer weerstand, waarskynlik omdat dit beter die aard van die grondvolume, soos makro- en mikrokrake en klipinhoud integreer. Die EKH is goed gekorrelleer met penetrometer weerstand, maar beter gekorrelleer met bulkdigtheid, terwyl $\Delta\phi$ beter gekorrelleer was met penetrometer weerstand. Die parameter $\Delta\phi$ lyk na 'n belowende indeks om die teenwoordigheid van diepdeurworteling te voorspel.

Die groei en ontwikkeling van wingerdwortels word nie net deur fisiese en chemiese grondeienskappe beïnvloed nie, maar ook deur feitlik alle verbouingspraktyke wat in die blok gebruik word (kyk Hoofstukke 4 & 5).

1.2 Wortelmorfologie

Alle organe en weefsels in die wingerdstok groei elke jaar as 'n eenheid en in verwantskap met mekaar. Al hierdie prosesse, bo- en ondergronds, is afhanklik van die doeltreffendheid waarmee die vaatsisteem van die stok funksioneer. Hierdie sisteem, deur middel van sy struktuur en fisiologie, verbind die grond, met sy water en nutriënte, met alle bopgrondse plantdele deur middel van die opwaartse vervoer van die basiese boustene en ook die afwaartse vervoer van fotosintetiese produkte (Goffinet, 1999). Ook hormone beweeg deur die vaatsisteem om veranderinge in orgaan- en weefselgroei te stimuleer. Hierdie vervoersisteme is grootliks van die morfologie van die wortelstelsel afhanklik. Dit is duidelik dat kennis van wortelmorfologie en -anatomie noodsaaklik is om die groei- en ontwikkelingsprosesse van die wingerdstok te verstaan en sodoende in 'n beter posisie te wees om die gedrag van die wingerdstok te bestuur.

Volgens Perold (1926) en Russell (1977) word elke wortel van die wingerdstok deur die volgende sones gekenmerk: Die wortelgroei-punt is die jongste deel van die wortel; dit bestaan uit meristematiese selle en is slegs 2 - 5 mm lank (Pratt, 1974; Swanepoel & De Villiers, 1988). Hierdie selle bevat stysel tot sowat drie mm vanaf die groeipunt (Pratt, 1974) en is uitsluitlik vir die vorming van nuwe selweefsel en dus vir die lengtegroei van die wortel verantwoordelik. Dit word deur 'n sogenaamde wortelmus (kaliptra) beskerm. Die wortelmus beskerm die sagte groeipuntmeristeem en is 2.25 - 5.85 mm lank (Britz, 1968) en die grootte daarvan bly relatief konstant soos wortelgroei plaasvind deurdat nuwe selle gevorm word soos die oues in die grond afskuur (Russell, 1977). Dit is verder verantwoordelik vir die uitskeiding van 'n slymjel en dit produseer 'n groei-inhibeerder wat die afwaartse draai van die wortelpunt beheer. Hierdie groei-inhibeerder

is volgens Russell (1977) heelwaarskynlik absissiensuur en dit verhoed selverlenging aan die onderkant van die wortel, net agter die seldelingsone, om sodoende die geotropisme van die wortel te beheer.

Volgens Russell (1977) het Schwarz reeds in 1883 gepostuleer dat feitlik alle wortelpunte, insluitend wortelhare, deur 'n viskose materiaal omsluit word. Hierdie materiaal is in 1963 elektronmikroskopies deur H. Jenny en K. Grossenbacher geïdentifiseer en hulle het dit slymjel genoem (Fig. 1.2.1; Fig. 1.3.1). Die slymjel ontstaan nie net as 'n passiewe uitlekking van die inhoud van wortelselle nie, maar ook as uitskeidings van die golgi-apparaat van die buitenste sellag van die wortelmus (Russell, 1977). Dit vergemaklik die penetrasie van die wortelpunt tussen die grondpartikels deur en dien ook as huishouding vir talle simbiotiese mikro-organismes van die risosfeer. Die jel verseker ook intieme kontak met die grondpartikels, wat die opname van voedingstowwe en water vanaf die grond na die wortel vergemaklik (Russell, 1977).

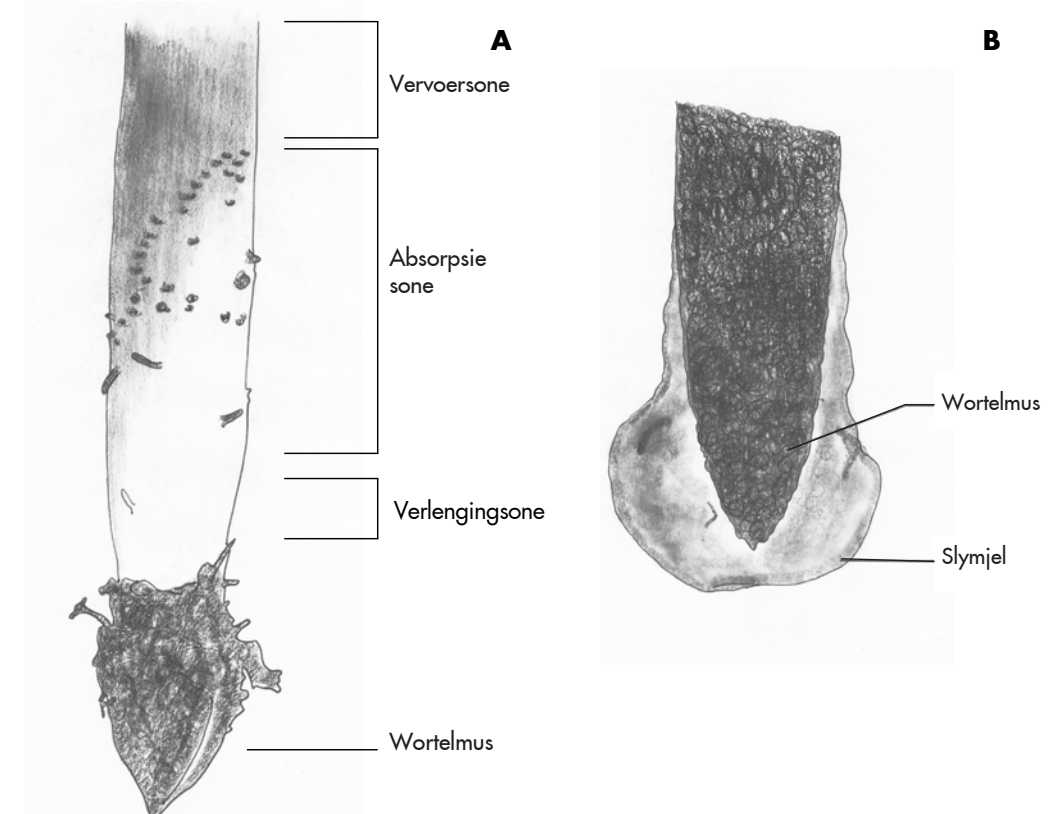


Fig. 1.2.1 Uitwendige bou van wingerdwortels. A: Sonder slymjel. B: Met slymjel. (Geteken uit Russell, 1977)

Die selverlengingsone is onmiddelik bokant die wortelgroeiopunt (agter die wortelmus) geleë en is ook 'n paar mm lank (afhangende van die kultivar). Hier ontwikkel die nuutgevormde selle in verskillende weefselteipes deur hoofsaaklik selverlenging te ondergaan. Die absorpsiesone, ook genoem die seldifferensiëeringsone, volg direk op die selverlengingsone en is ongeveer 100 mm lank (Pratt, 1974). Dit word gekenmerk deur 'n ligte geel kleur, maar veral deur die talle wortelhare wat uit die epidermisselle van hierdie sone groei.

Wortelhare het dun selwande en groot vakuole. Individuele hare het 'n deursnit van 12 - 15 μm en is 140 - 365 μm lank (Mullins *et al.*, 1992). Hulle kan 'n digtheid van 300 tot 400 hare per mm^2 bereik (Pratt, 1974). Winkler *et al.* (1974) rapporteer 'n wortelhaardigtheid van 180 tot 476 per cm wortellengte, afhangende van grond pH. Hulle lewe slegs enkele dae na vorming deurdat hulle gedurig deur nuwe hare vervang word wat naby die wortelpunt uitgroei. Sodoende word 'n sone van wortelhare altyd in die absorpsiesone op 'n konstante afstand vanaf die wortelpunt onderhou. Grond pH beïnvloed die produksie van wortelhare en Winkler (1962) het gevind dat daar 2.5 maal meer wortelhare by $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ 5.7 as by $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ 7.5 gevorm het, maar dit het geen effek op groei of voeding nie. Dit is in ooreenstemming met die bevindings van Cailloux (1972), wat aantoon dat die belang van wortelhare onder veldtoestande dikwels oorbeklemtoon word. Die hoofvoordeel van wortelhare het te make met hul uitskeidings (jel) wat help met mineraalopname en dien as stimulant vir risosfeer-organismes. Hier word die meeste water en voedingstowwe uit die grond opgeneem.

Die res van die wortel is bekend as die vervoersone en strek van net bokant die absorpsiesone tot waar dit uit ander wortels of die stam ontstaan (Perold, 1926; Ribereau-Gayon & Peynaud, 1971). In teenstelling met die absorpsiesone het hierdie gedeelte van die wortel 'n bruin kleur as gevolg van kurkvorming en kan dit maklik van die absorpsiesone onderskei word. Hierdie verkleuring hou verband met 'n toename in pigmentasie wat die gevolg van tannienkondensasie mag wees (Comas *et al.*, 2000). Hierdie verbruining gaan gepaard met die afsterf van mikorriza en korteksselle en is 'n natuurlike proses (Richards & Considine, 1981). Die vervoersone bestaan uit die floeëm aan die buitekant van die kambiumring en xileem aan die binnekant daarvan. Die xileem dien as die kanaal waardeur water en voedingstowwe vanuit die grond opwaarts na die bopuntse stokdele vervoer word. Die floeëm dien as die kanaal waardeur die fotosintetiese produkte vanaf die blare afwaarts na die permanente stokdele vervoer word.

Die ontwikkeling van laterale wortels is deur verskeie navorsers ondersoek (Richards, 1983). Laterale wortelontwikkeling geskied bokant die wortelhaarsone. Wortelprimordia word in die perisikel geïnisieer en dit druk deur die korteks na buite (Fig. 1.2.2 A+B). Hierdie wortelpunte is kleiner as die moederwortel, maar beskik oor vergelykbare struktuur en organisasie (Winkler, 1962). Die krake wat in die epidermis ontstaan waar die sywortel na buite breek is 'n belangrike setel waar water die wortel vryelik kan binnevloei.

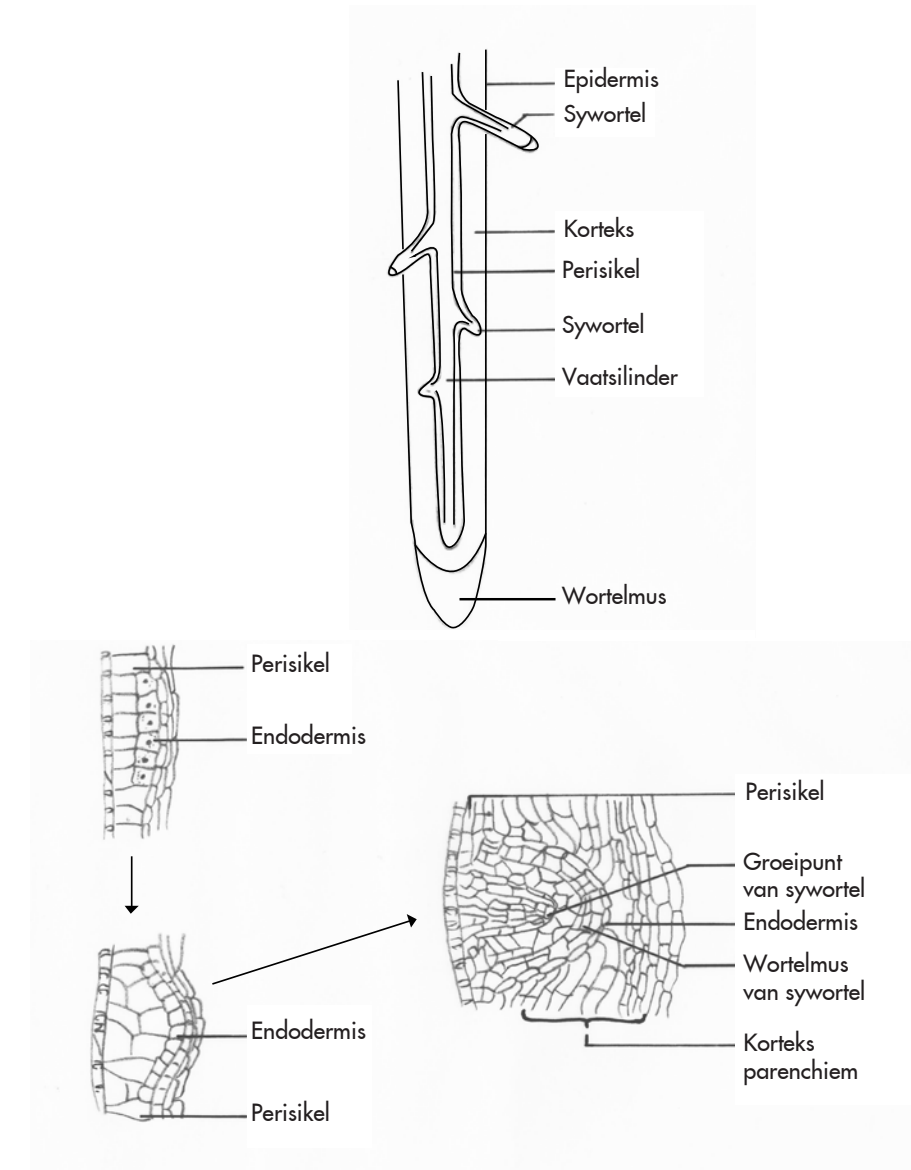


Fig. 1.2.2 A Die ontstaan van sywortels. (Oorgeteken uit Pratt, 1974)

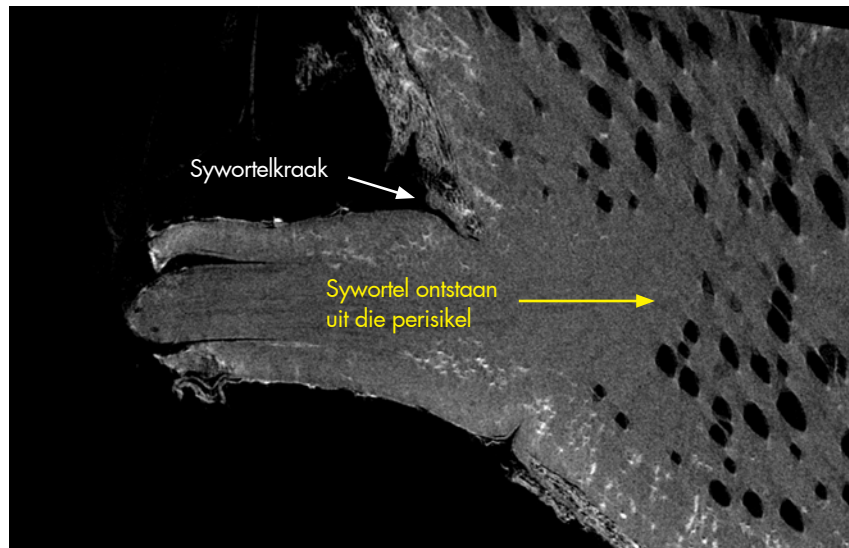


Fig. 1.2.2 B Die ontstaan van sywortels soos geskandeer met 'n Rekenaar Tomografie (RT) skandeerder, Sentrale Analitiese Fasiliteite, Universiteit Stellenbosch. (Foto: A. du Plessis, E Archer & A. Strever, 2017)

1.3 Wortelanatomie

Die struktuur van wingerdwortels is nie oor die hele lengte daarvan uniform nie en daarom moet dit by verskillende posisies bestudeer word (Archer, 1981) (Kyk ook Fig. 1.3.1). Die belangrikste weefsel tipes in die wortel is die xileem en die floeëem. Die xileem (aan die binnekant van die kambiumring) bestaan breedweg uit:

1. Groot, oop porieë wat xileemvate genoem word. Dit is dooie, leë vate wat ent-tot-ent opmekaar gestapel is en doeltreffende sapvloei (water, voedingstowwe, hormone) opwaarts deur die stok toelaat. Hierdie sapvloei is kapillêr van aard (kohesiekragte en transpirasie maak ook 'n bydrae) en word deur worteldruk aan die begin van die seisoen en later, wanneer genoegsame blare aanwesig is, deur die suigkrag van transpirasie onderhou. Aan die einde van die groeiseisoen word hierdie vate normaalweg met tilose verstop ten einde te oorwinter.
2. Xileemvesels met harde selwande wat gelignifiseerd is en ten doel het om die weefsel te versterk.

3. Lewendige xileem selle kom in die xileemstrale voor en stoor koolhidraatresewe, wat later as voeding vir ontwikkeling gebruik word. Dit dien ook as opbergingsplek vir die afvalprodukte van metabolisme (Goffinet, 1999). Die xileem is saamgestel uit verskillende xileemelemente wat saamwerk om opwaartse vervoer van water en voedingstowwe te vergemaklik en hulle is: nou en wye veselselle, trageïede, veseltrageïede, ware vesels, aksiale parenchium en straalparenchium (Fig.1.3.2 A + B). Die wortels van groeikragtige onderstokke beskik oor heelwat meer xileemvate as swakker groeiende onderstokke (Beakbane & Thompson, 1939).

Die xileem funksioneer ook as die vervoerkanaal vir verskillende seine in die wingerdstok. Hierdie seine kan fisies (drukgradiënte) of chemies (hormone) wees wat vinnige boodskappe van een plantdeel na die ander oordra en sodoende weefselgroei en -ontwikkeling reguleer in reaksie op veranderende omgewingstoestande (Rogiers, 2007).

Die floeëem is net buite die kambiumring geleë en dit gebruik metaboliese energie vir die oorwegend afwaartse vervoer van koolhidrate en ander organiese verbindings (Champagnol, 1984; Goffinet, 1999). Dit is hoofsaaklik suikrose wat vanaf die blare afwaarts vervoer word (Rogiers, 2007). Die beweging vind deur lewendige sifbuiselle plaas wat bo-op mekaar gepak is om lang sifbuis te vorm. Die vervoer vind plaas volgens die bron:vraagpunt verhouding. Die bron kan blare of gestoorde koolhidrate in die permanente stokgedeeltes wees, terwyl die vraagpunte onvolwasse blare, groeiende lote en wortelpunte of ontwikkelende korrels is. Die sifbuis bestaan uit hooggespesialiseerde selle waarsonder geen vervoer van komplekse organiese verbindings in die stok moontlik is nie. Vir assimilate om vervoer te word, is op- en aflaai van molekules met behulp van gespesialiseerde proteïene nodig en hiervoor word metaboliese energie benodig (Rogiers, 2007). Soos die xileem, bestaan die floeëem ook uit 'n hele paar verskillende elemente (Fig. 1.3.2 A+B). Soos die wortel verdik, vorm daar vaatkambium, 'n dun silinder van weefsel, tussen die xileem aan die binnekant en floeëem aan die buitekant. Seldeling van die kambium veroorsaak nuwe floeëem na buite en nuwe xileem na binne reg deur die groeiseisoen (Goffinet, 1999).

Die floeëem funksioneer ook as die vervoerkanaal vir verskillende seine in die wingerdstok wat die plant laat reageer teenoor verskillende stremmingsfaktore vanuit die omgewing waarbinne dit groei. Dit is veral die

floeëmgedraagde seine wat meebring dat die stok fenoliese komponente produseer wat insekte en blaareter diere afskrik om aan te hou met vreet (Rogiers, 2007). Ongunstige toestande soos uitermate hitte kan meebring dat die sifplate van die floeëem tydelik met kallose verstopt raak, maar dit verdwyn nadat toestande weer normaal raak (McNairn & Currier, 1967). Beide die xileem en floeëem kan dus as belangrike kommunikasiekanale in die wingerdstok beskou word.

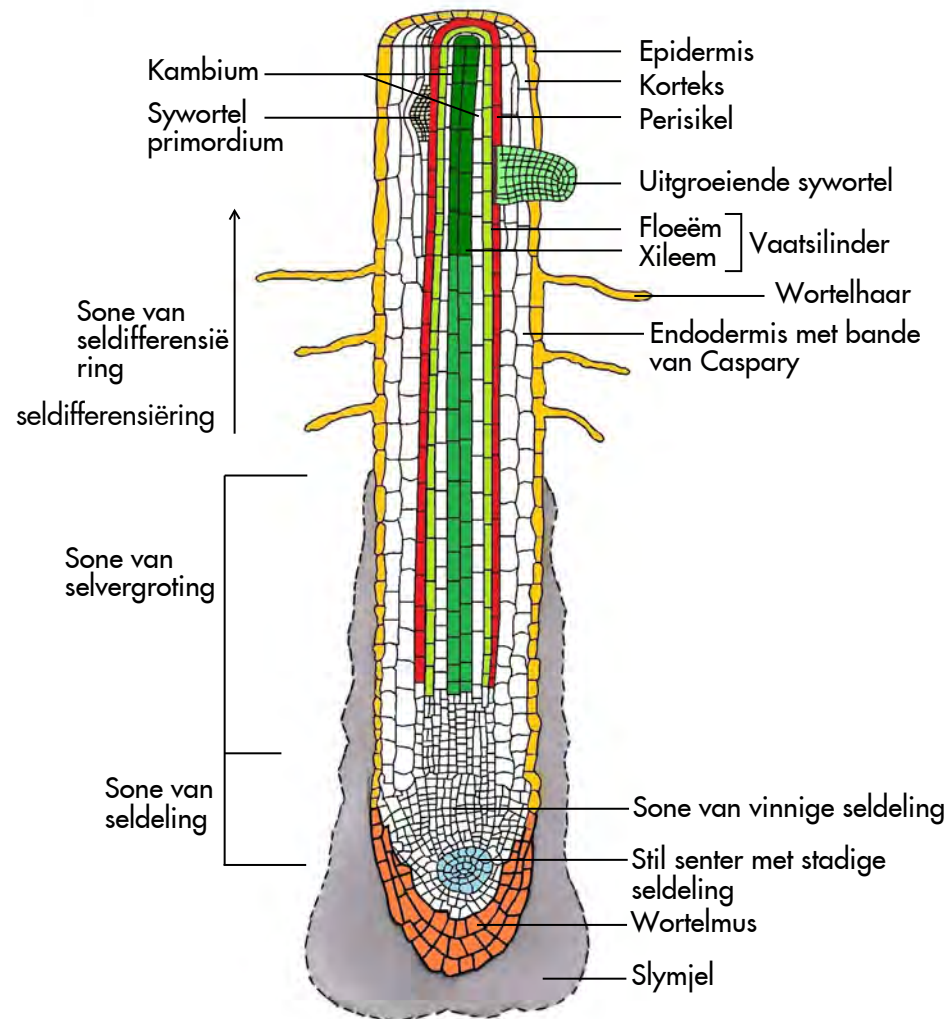


Fig. 1.3.1 Diagrammatiese inwendige bou van die wortelpunt. (Saamgestel en oorgeteken uit Russell, 1977, Grobbelaar, *et al.*, 1979 en Taiz & Zeiger, 1998)

A

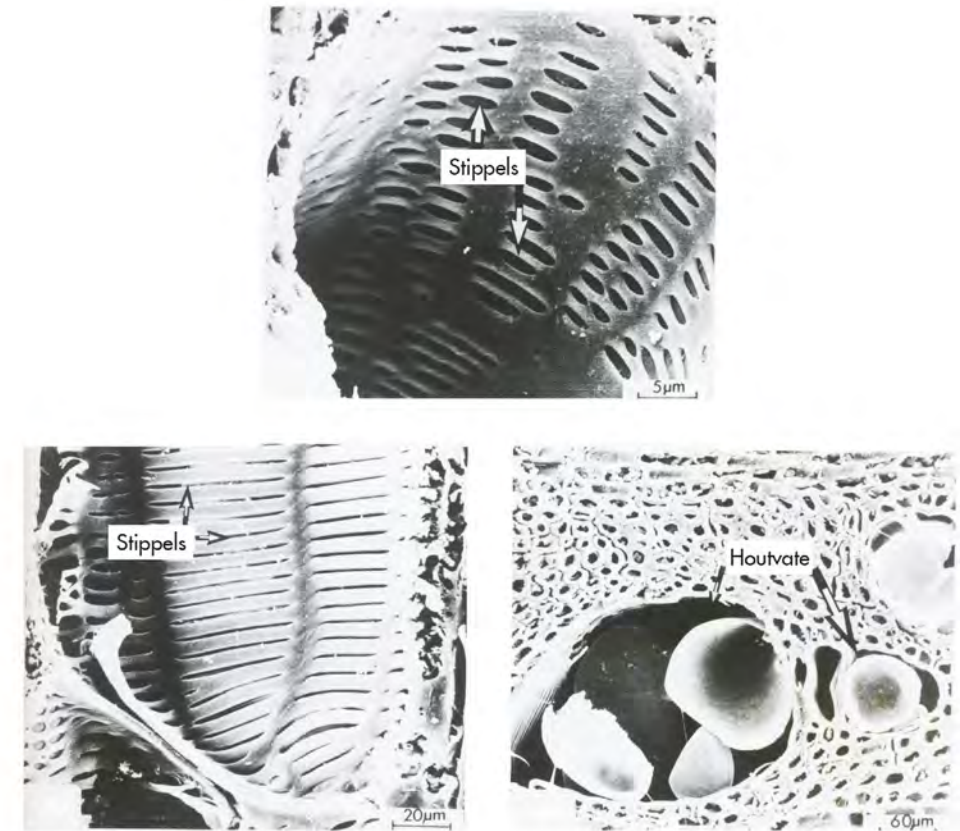
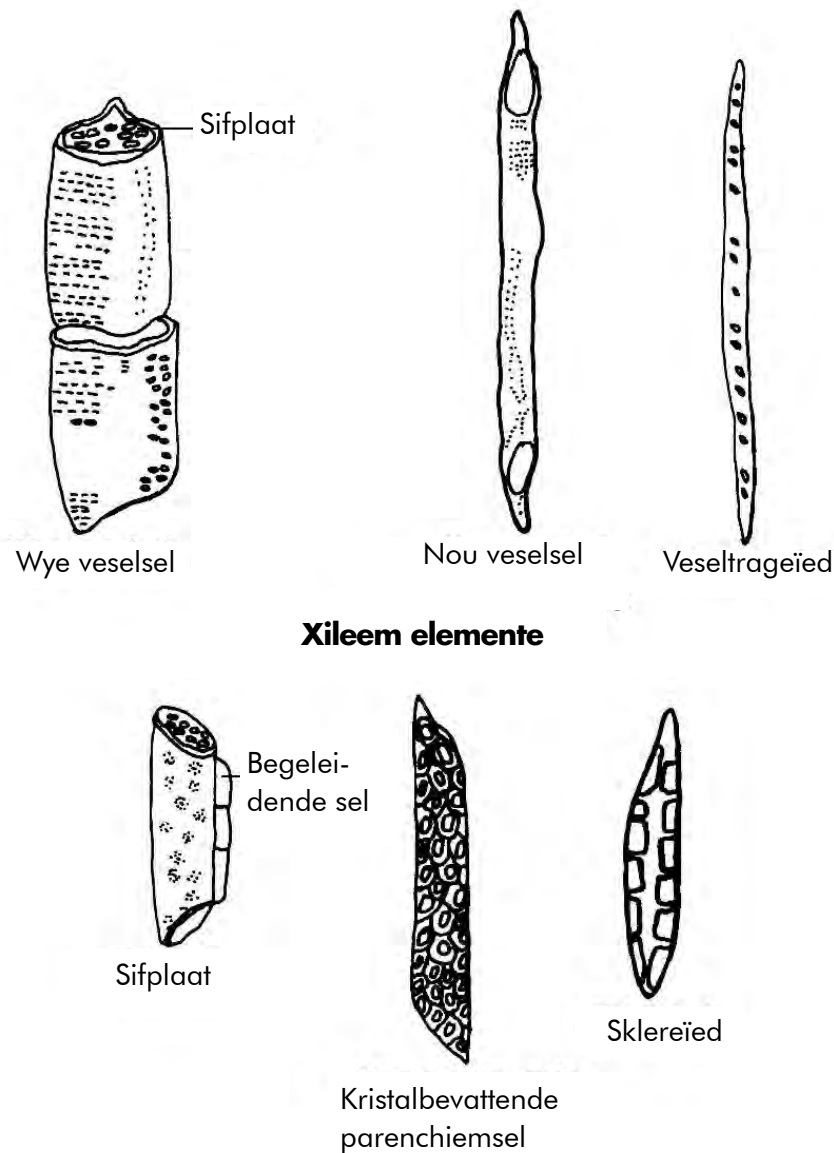


Fig. 1.3.2 A Enkele elemente van xileem en floeëem in 'n sekondêre wingerdwortel. (Uit Swanepoel, 1983)

B



Xileem elemente

Floeëm elemente

Fig. 1.3.2 B Enkele elemente van xileem en floeëm in 'n sekondêre wingerdwortel. (Saamgestel uit Archer, 1981)

Binne 10 mm van die jong groeiende wortelpunt is daar reeds duidelike ontwikkeling van geleidingsweefsel waarneembaar (Fig. 1.3.3). Die weefsel binne die ring van kambium-inisiale in die middel van Fig. 1.3.3 bestaan uit xileem en die xileemvesels asook -vate is duidelik sigbaar (Goffinet,

1999). Die xileem word omsluit deur kambiuminisiale en net aan die buitekant daarvan kan groepe van primêre floeëm gesien word. Alhoewel in ouer worteldele die floeëm hoofsaaklik vir die afwaartse vervoer verantwoordelik is, vind opwaartse vervoer van organiese verbindings ook op hierdie vroeë stadium daarin plaas. Die oorspronklike epidermis, sowel as die korteks onmiddellik aan die binnekant, is reeds deur kurk en periderm vervang, wat dien om die jong wortelpunt teen die grond te beskerm.

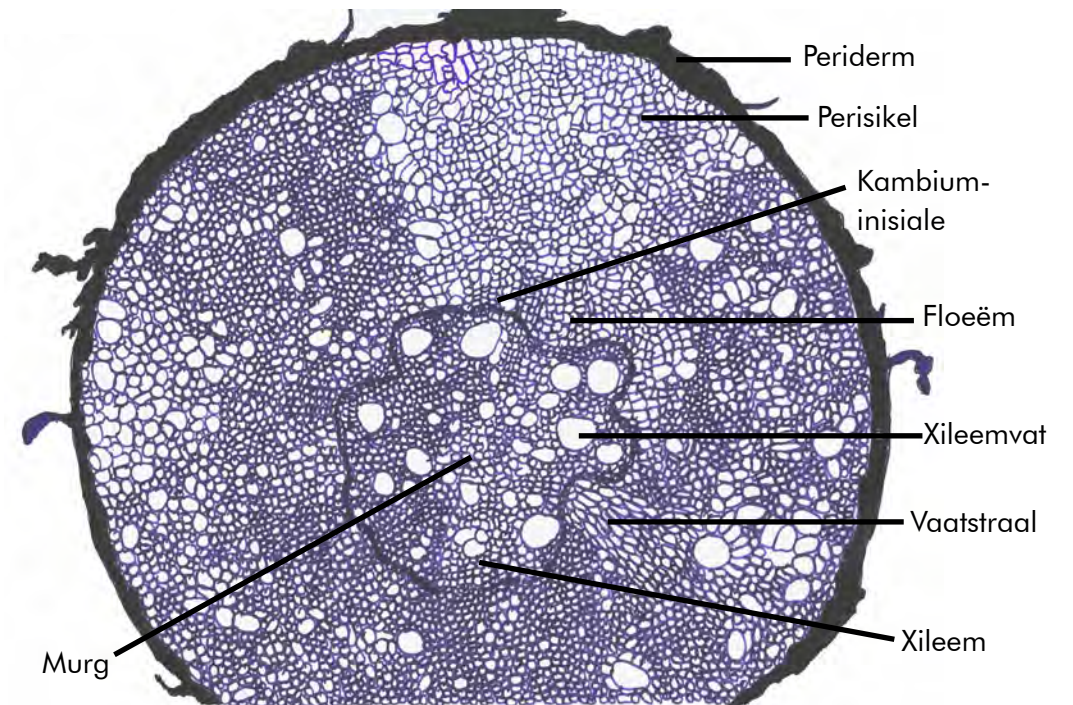


Fig. 1.3.3 Dwarssnit, 1 cm vanaf die punt van 'n jong primêre wortel van 110 Richter. (Geteken uit Goffinet, 1999)

'n Paar cm verder weg van die jong wortelpunt word die primêre organisasie van die weefsel vervang deur die ontwikkeling van sekondêre vaatweefsel (Fig. 1.3.4). Hierdie weefsel ontwikkel as gevolg van die verdikking van die wortel wat deur die aktiwiteit van die kambium meegebring word. Deur middel van aktiewe seldeling veroorsaak die kambium nuwe xileemelemente na binne en nuwe floeëmelemente na buite (kyk Fig. 1.3.3). Die nuwe dogterselle aan die xileemkant van die kambium het gegroei tot houtvate en -vesels, terwyl vergrote xileemstrale ook gevorm het (Fig. 1.3.4). Dogterselle aan die floeëmkant van die kambium het ontwikkel in sifbuis

en ander floeëmelemente asook floeëmsrale. Oorblyfsels van die perisikel kan steeds tussen die floeëem en die periderm waargeneem word. Sommige vaatstrale is baie breed en loop tot in die middel van die wortel. Hulle word primêre vaatstrale, of vaatstrale van die eerste orde genoem omdat hulle getal en plasing reeds in die primêre wortelorganisasie (Fig.1.3.3) vasgelê is. Vaatstrale is die plek waar die meeste van die translokasie wisseling tussen die xileem en floeëem plaasvind (Goffinet, 1999).

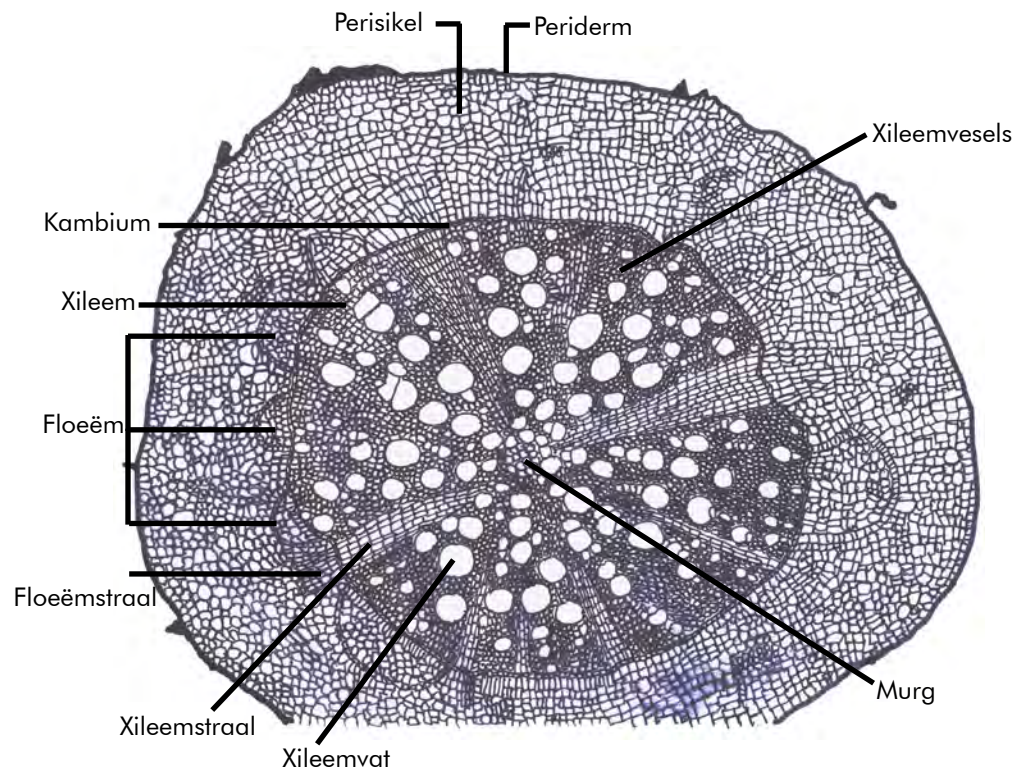


Fig. 1.3.4 Dwarssnit deur 'n jong sekondêre wortelpunt van Freedom. (Geteken uit Goffinet, 1999)

'n Dwarssnit deur 'n eenjarige wortel van 99 Richter (Fig. 1.3.5) toon dat die xileem heelwat meer as die floeëem ontwikkel het deurdat talryke, relatief klein xileemvate en -vesels gevorm het (Pongrácz, 1969). Floeëmkoepele met sterk gedefinieerde sekondêre floeëmvesselbande is duidelik sigbaar in

vergelyking met die jonger wortelpunt in Fig.1.3.3. Vaatstrale van die eerste, tweede en derde orde is reeds gevorm. Die wortel is nou duidelik 'n gespesialiseerde water-, voedingstof- en koolhidraatvervoer-organ.

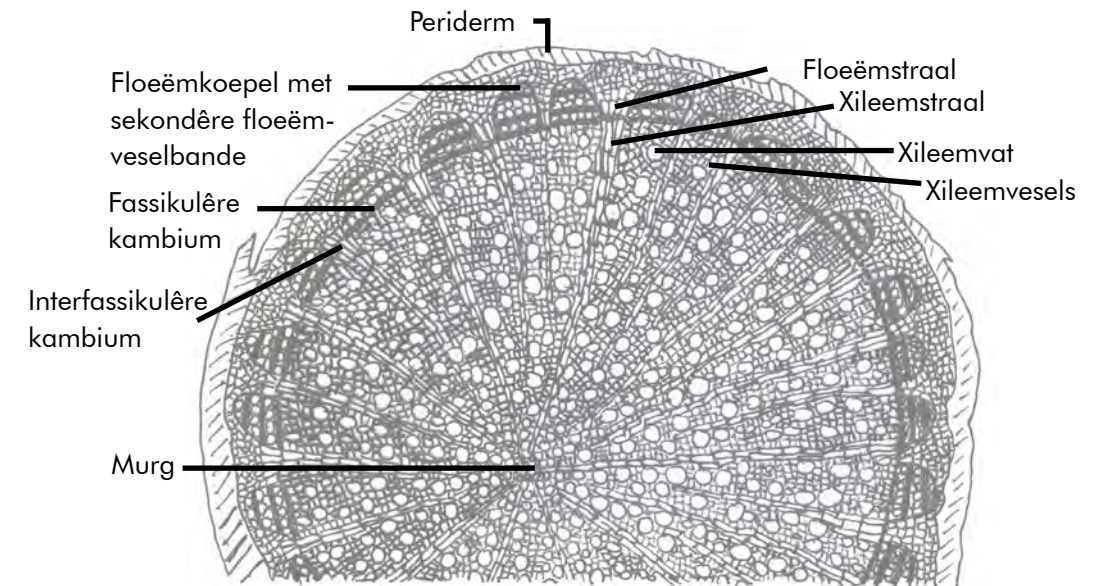


Fig. 1.3.5 Dwarssnit deur 'n eenjarige wortel van 99 Richter. (Geteken uit Pongrácz, 1969)

'n Dwarssnit deur 'n eenjarige wortel van *Vitis vinifera* cv. Palomino (Fig. 1.3.6) toon duidelike verskille teenoor die tradisionele onderstokke. Die xileem is in verhouding tot die floeëem heelwat kleiner met minder en groter xileemvate en -vesels. Dit maak *Vitis vinifera* heelwat meer vatbaar vir embolisme (vorming van lugborrels) en dus minder droogte weerstandbiedend as ander *Vitis* spesies. Freeman (1983) berig dat onderstokke met meer en kleiner xileemvate beter by droër toestande as dié met minder en groter vate aangepas is. Die vaatstrale is minder, maar heelwat breër, wat meebring dat die translokasie-kommunikasie tussen xileem en floeëem beter is as by ander *Vitis* spesies. Die floeëmkoepele is meer spits en die sekondêre floeëmvesselbande is swakker ontwikkel. Pongrácz (1969) het genoegsame wortelanatomiese bewyse gevind wat, tesame met lootmorfologiese eienskappe (Pongrácz, 1968), gebruik kan word om onderstokkultivars in die winter te identifiseer.

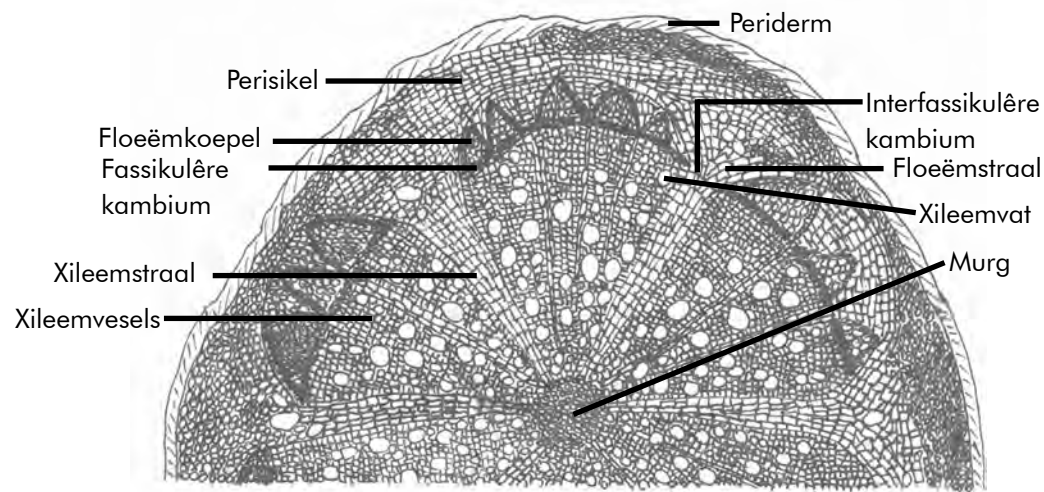


Fig. 1.3.6 Dwarssnit deur 'n eenjarige wortel van *V. vinifera* (Palomino). (Geteken uit Pongrácz, 1969)

Fig. 1.3.7A toon die onderskeie hoofweefselstipes van 'n 110 Richter wortel. Hiervolgens is dit duidelik dat die interne xileem weefsel in die omliggende floeë ingebed is, wat op sy beurt deur die buitenste periderm, epidermis en korteks omsluit word (Fig. 1.3.7B).

Alhoewel alle weefsels in die wortels belangrik is, is dit veral die xileemvate wat 'n kardinale rol in die vervoer van water, voedingstowwe en hormone speel. Die xileem is hol buise wat aaneengekoppel is en direkte verbinding tussen wortels en bogrondse stokdele bewerkstellig (Fig. 1.3.8).

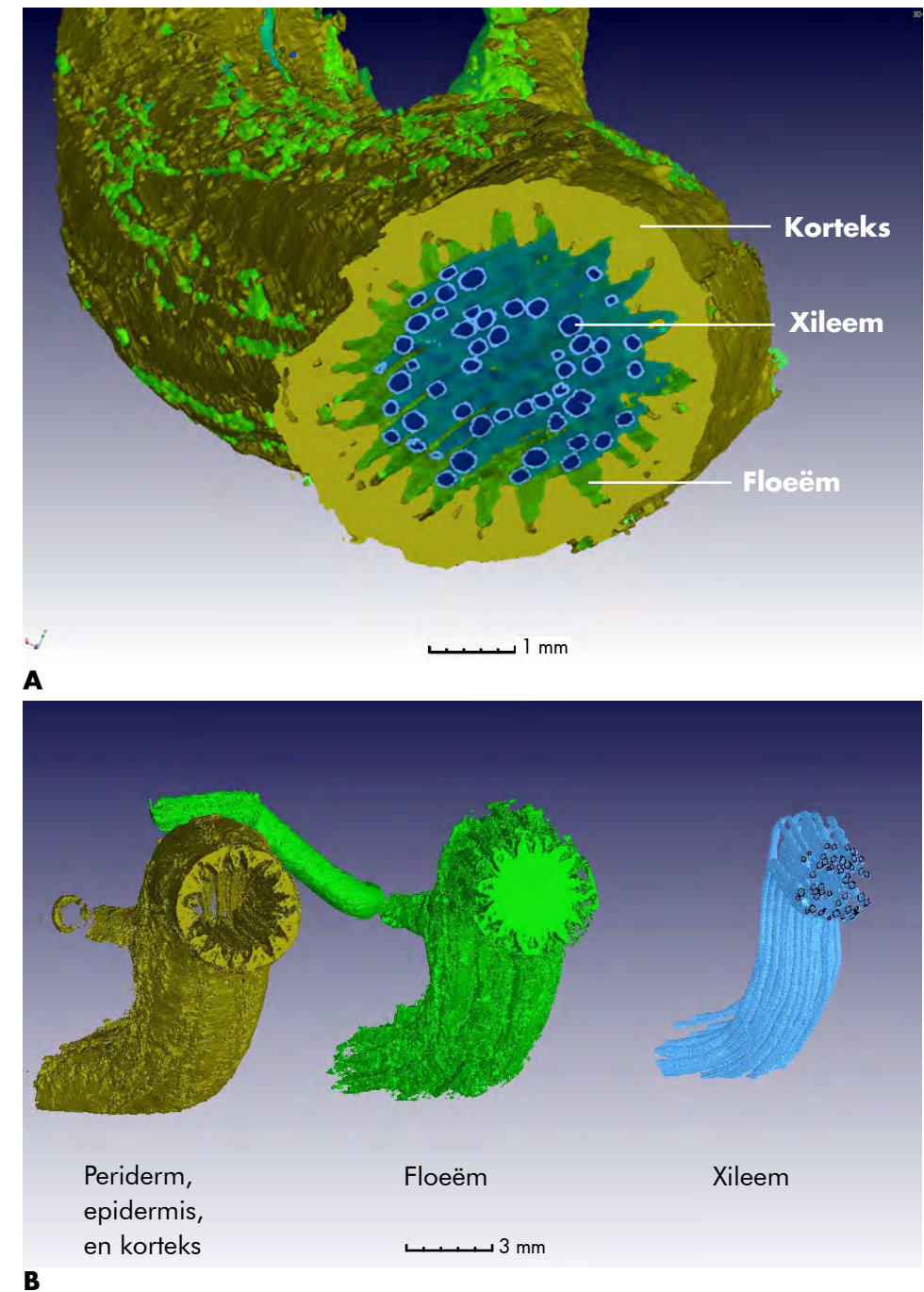


Fig. 1.3.7 Die drie hoofweefselstipes van 'n meerjarige 110 Richter wortel soos geskandeer met 'n RT skandeerder.
A: Dwarssnit deur intakte wortel.
B: Dwarssneë deur die afsonderlike weefselstipes.
(Foto's: A. du Plessis, E. Archer & A. Strever, 2016)

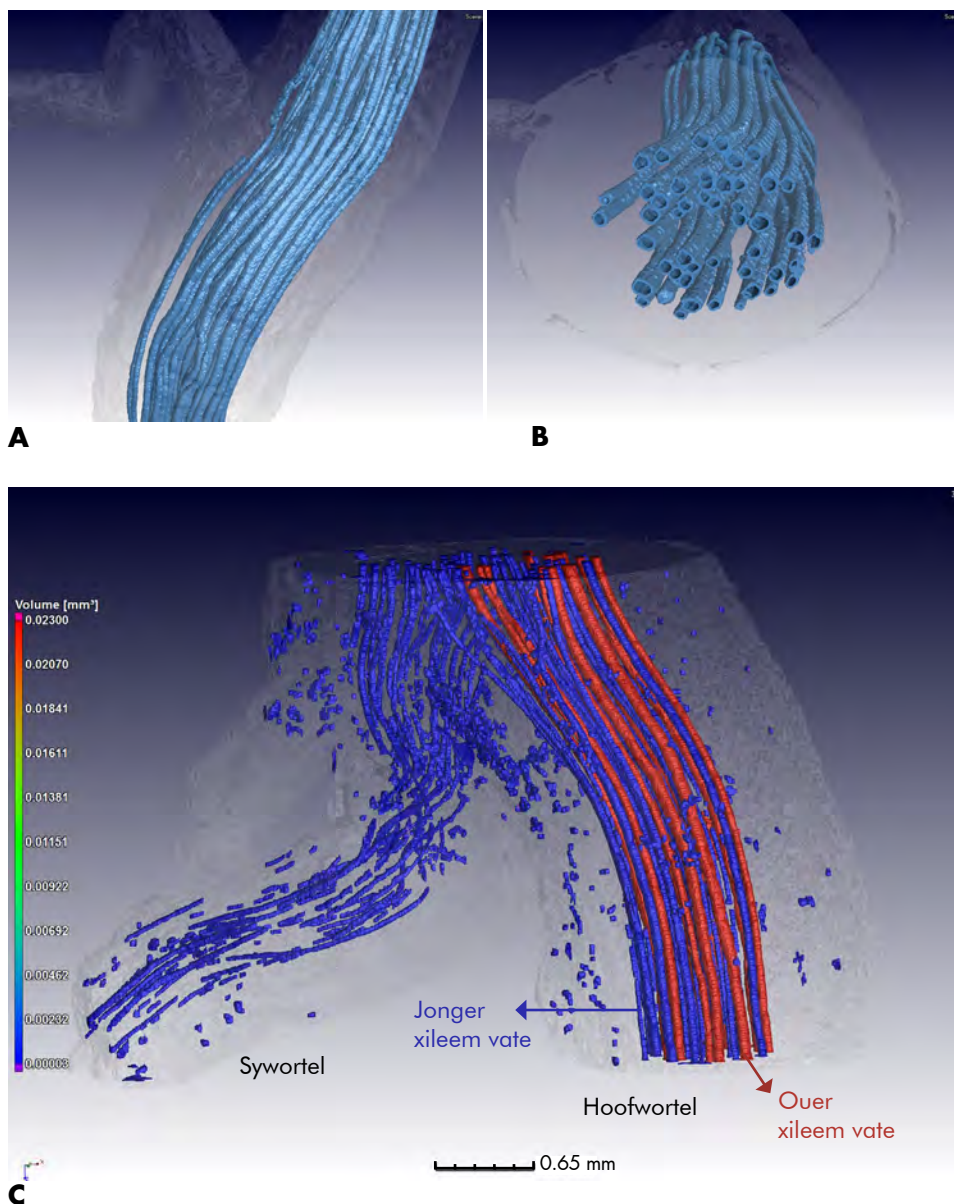


Fig. 1.3.8 RT geskandeerde beelde van (A) sy-aansig en (B) kop-aansig van xileemvate en (C) die verbinding van sywortelxileemvate met die hoofwortel in 110 Richter wortels.
(Foto's: A. du Plessis, E. Archer & A. Strever, 2017)

OPSOMMING

Die reaksie van die wingerdstok teenoor sy omgewing is 'n kragtige faktor wat sy prestasie (opbrengs en druifsamestelling) bepaal. Daarom is kennis van die wortelstelsel en sy funksies noodsaaklik. Wingerdwortelgroei en -uitbreiding word deur die geaardheid van die grond bepaal en dit is veral fisiese en chemiese beperkings wat hier 'n groot rol speel. Binne die eerste paar jaar na planting koloniseer die wortels die grond vinnig en dit is veral in hierdie stadium waar enige beperking in die grond 'n groot negatiewe invloed op die uiteindelijke grootte en gebufferdheid van die wortelstelsel uitoefen.

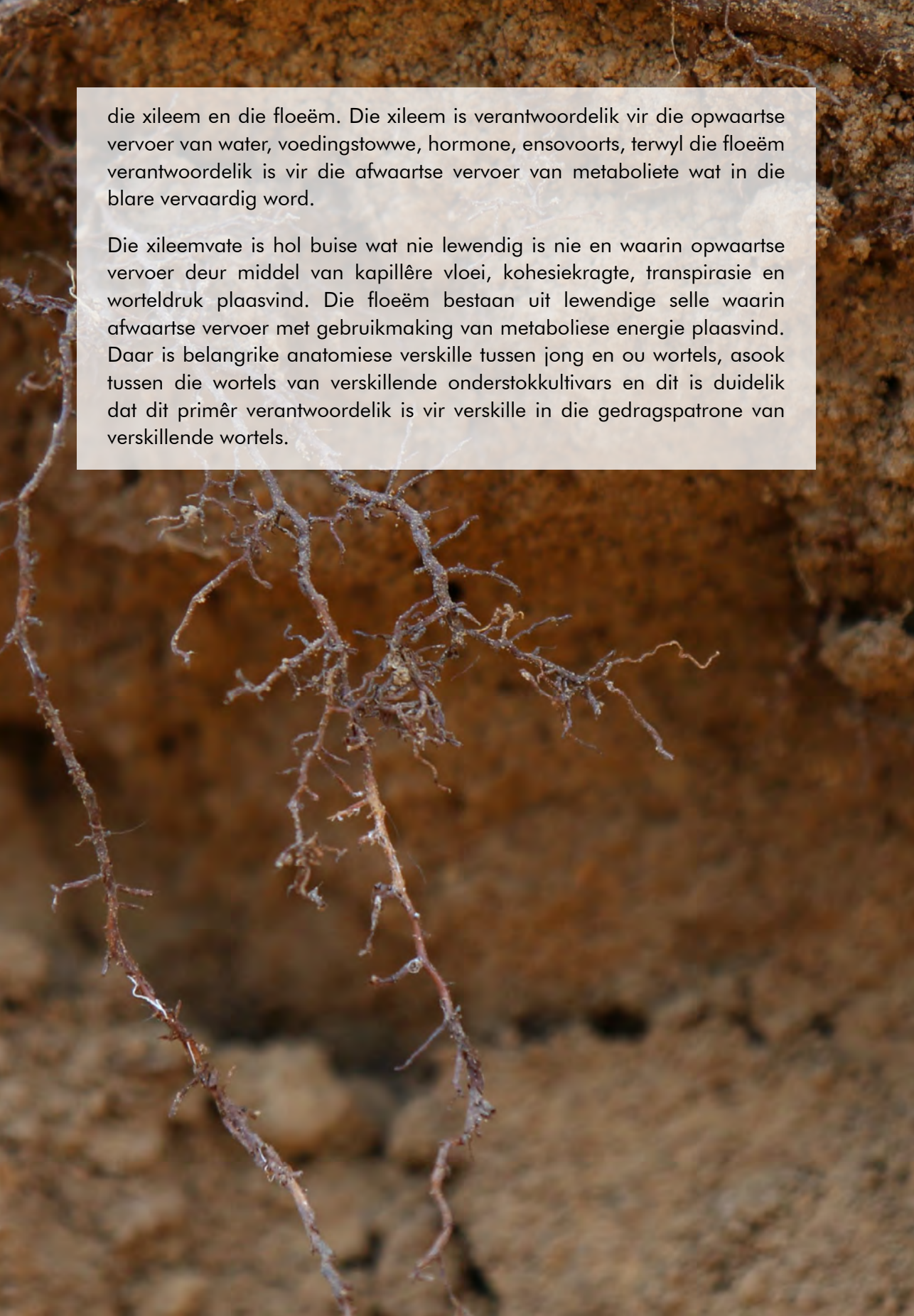
Die voorkeursone van wortelkolonisasie verskil in diepte na gelang die grondgeaardheid en -klimaat verander, maar dit is wêreldwyd in die boonste 70 cm van die grond geleë – in koue wynboulende vlakke en in warm lande dieper. Hierdie voorkeursone is nie té vlak nie (uitdroging) en nie té diep nie (versuiping/deurlugting).

Wingerdwortelstelsels word gekenmerk deur vlakke onderskeppingswortels wat hoofsaaklik uit fynwortels (< 2 mm deursnit) bestaan en dieper tapwortels wat hoofsaaklik dikwortels (> 2 mm deursnit) behels. Eersgenoemde onderskep die meeste voeding en water wat op die grondoppervlakte toegedien word, terwyl laasgenoemde verantwoordelik is om die dieper, waterryke grondlae te benut en sodoende gebufferdheid teen ongunstige klimaatstoestande verbeter.

Wortels groei altyd volgens die pad van die minste weerstand en word onderhou deur oortollige fotosintetiese produkte vanaf die blaredak. In warmer, Mediterreense lande is daar duidelik twee pieke van wortelgroei, een by volblom en een net na oes. In subtropiese en ook koue lande, is daar net een piek, respektiewelik net na oes en tussen blom en deurslaan.

'n Wingerdwortel word gekenmerk deur 'n wortelmus, omsluit deur slymijel, 'n seldeling en -verlengingsone wat oorgaan in 'n seldifferensiëringone en 'n vervoersone. Die slymijel huisves simbiotiese mikrobe, terwyl dit die opname van water en voedingstowwe vergemaklik.

Sywortels ontstaan uit die perisikel van die moederwortel en dit vorm krake in die epidermis soos dit uitgroeit. Hierdie krake is belangrike invloeiëre vir water en voedingstowwe. Die belangrikste weefselstipes in die wortel is

A photograph of a plant root system in soil. The roots are brown and fibrous, extending from the top left towards the bottom right. The soil is a reddish-brown color with a crumbly texture. A semi-transparent white text box is positioned in the upper left quadrant of the image.

die xileem en die floeëm. Die xileem is verantwoordelik vir die opwaartse vervoer van water, voedingstowwe, hormone, ensovoorts, terwyl die floeëm verantwoordelik is vir die afwaartse vervoer van metaboliete wat in die blare vervaardig word.

Die xileemvate is hol buise wat nie lewendig is nie en waarin opwaartse vervoer deur middel van kapillêre vloei, kohesiekragte, transpirasie en worteldruk plaasvind. Die floeëm bestaan uit lewendige selle waarin afwaartse vervoer met gebruikmaking van metaboliese energie plaasvind. Daar is belangrike anatomiese verskille tussen jong en ou wortels, asook tussen die wortels van verskillende onderstokkultivars en dit is duidelik dat dit primêr verantwoordelik is vir verskille in die gedragsspatrone van verskillende wortels.





HOOFSTUK 2

FISIOLOGIE EN FUNKSIES VAN WORTELS

HOOFSTUK 2

FISIOLOGIE EN FUNKSIES VAN WORTELS

2.1 Opname en vervoer van water

Plantwortels het oorspronklik ontwikkel om water en voedingstowwe aan die bogrondse plantdele te verskaf (Freeman, 1983). Waterhuishouding in die wingerdstok is intiem verbind met grondwater sowel as die bogrondse mikroklimaat (Rogiers, 2007). Waterverlies deur die lower deur middel van transpirasie is die dryfkrag agter wateropname uit die grond gedurende die groeiseisoen. 'n Afname in die waterpotensiaal in die blare veroorsaak 'n gradiënt tussen blare en wortels sodat water die wortels binnevloei (Mullins *et al.*, 1992). Die wortel moet in kontak wees met die grondpartikels om doeltreffend water op te neem, tensy die lugleegtes tussen die partikels met water versadig is. Wortels wat nog 'n intakte korteks het, maak die meerderheid van die totale lengte van die wortelstelsel uit en is primêr vir die opname van water en voedingstowwe verantwoordelik (Volder *et al.*, 2005). Die kontakoppervlakte van die wortels met grond word heelwat vergroot deur die netwerk van fyn wortels in die boonste grondlae (ook genoem onderskeppingswortels) asook wortelhare en mikorrise (Taiz & Zeiger, 1998). Wortelhare is mikroskopiese uitgroeisels van epidermisselle en kom normaalweg naby die wortelpunte voor, terwyl mikorrise swamme is wat die wortels koloniseer en in simbiose met die wingerdstok saamleef. Wortelhare vergroot die absorpsie oppervlakarea en dus die effektiewe worteldeursnit, maar dit lyk of die belang hiervan onder veldtoestande oorbeklemtoon is en dat die hoofvoordeel van wortelhare verwant mag wees aan uitskeidings wat dit produseer, wat mag bydra tot opname van voedingstowwe deur, of mobilisering van voedingstowwe rondom die wortel of deur stimulerings van risosfeer-organismes (Cailloux, 1972).

Die wingerdwortel is sterk weerstandbiedend teen wortelkrimp en dit is die groot rede hoekom wingerd meer as meeste ander gewasse droogte weerstandbiedend is (Freeman, 1983). Van Rooyen (1980) verklaar dat die wingerdstok se vermoë om in droë toestande steeds te kan funksioneer, toegeskryf kan word aan die kapasiteit daarvan om diep wortels te vorm, meer as aan 'n inherente onsensitiwiteit teenoor droë toestande.

Water beweeg in die grond deur middel van bulkvloei tussen die grondpartikels deur na die wortels en vanaf die epidermis na die endodermis via drie meganismes (Fig. 2.1.1) (Taiz & Zeiger, 1998):

1. Die apoplastiese padweg (apoplast = watergevulde ruimte buite die selmembrane), is waar water eksklusief in die selwande tot in die xileem beweeg sonder om enige selmembrane te oorkruis. Hierdie padweg word deur die bande van Caspary in die endodermis geblokkeer en die water word geforseer om deur die protoplasma van die endodermis selle te beweeg, waarna dit weer apoplasties in die vaatsilinder beweeg totdat dit die tracheïdeselle en vate van die xileem bereik. Hierdie weerstand wat die bande van Caspary teen waterbinnedringing bied, verhoog die weerstand van die wingerdwortel teen inkrimping (Freeman, 1983).
2. Die transmembraan padweg, is waar water die sel vanaf eenkant deur die selwand binnedring en die sel aan die anderkant verlaat deur weer eens deur die selwand te gaan. Dit dring dan die volgende sel binne en verlaat dit aan die anderkant. Hierdie proses word herhaal in opeenvolgende selle en sodoende word minstens twee membrane in elke sel deurkruis via die plasmodesmata (ultramikrosopiese klein verbindingskanale).
3. Die simplastiese padweg (simplast = protoplasma binne die selmembrane), is waar water in die netwerk van protoplasma binne die selmembrane beweeg wat met mekaar deur middel van plasmodesmata verbind is (Mullins *et al.*, 1992). Water kan die wortel ook fisies binnedring in die kurkagtige dele (verder weg van die wortelpunt) deur krake wat deur die uitgroeiende sywortels in die moederwortel veroorsaak word (Queen, 1967; Fig. 2.1.2 en 2.1.3).

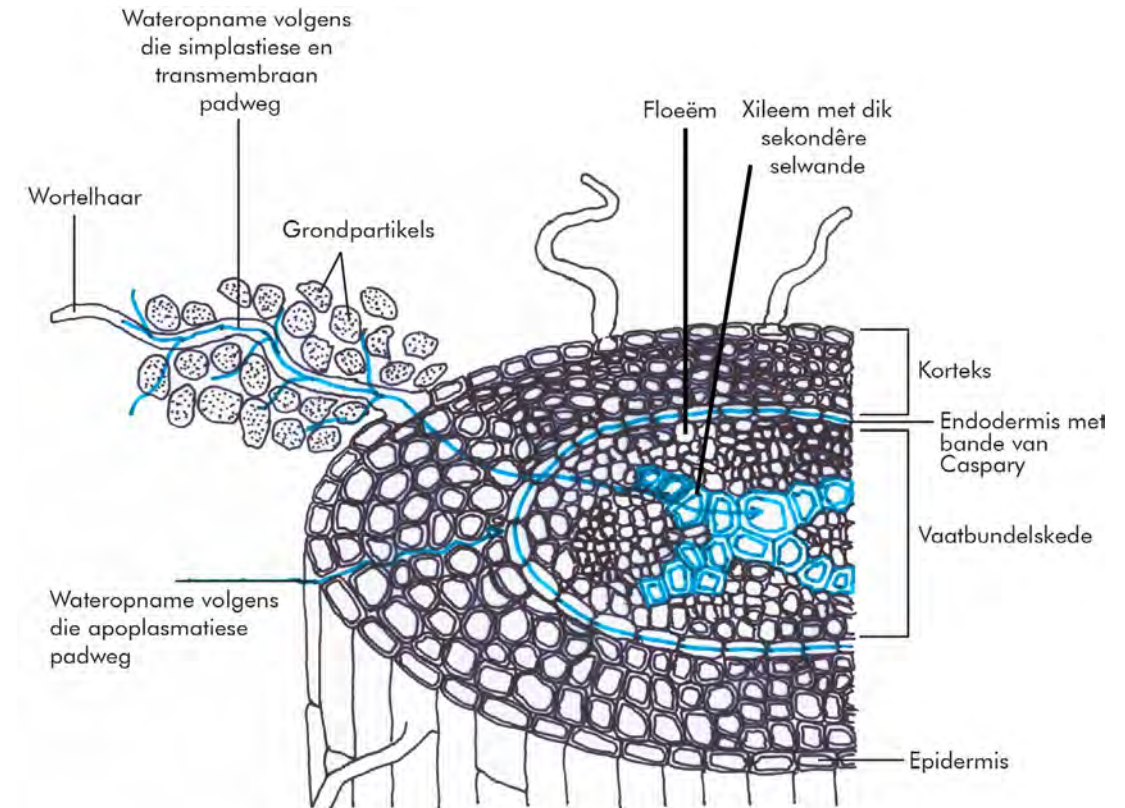


Fig. 2.1.1 Die opname van water. (Geteken en aangepas uit Taiz & Zeiger, 1998)

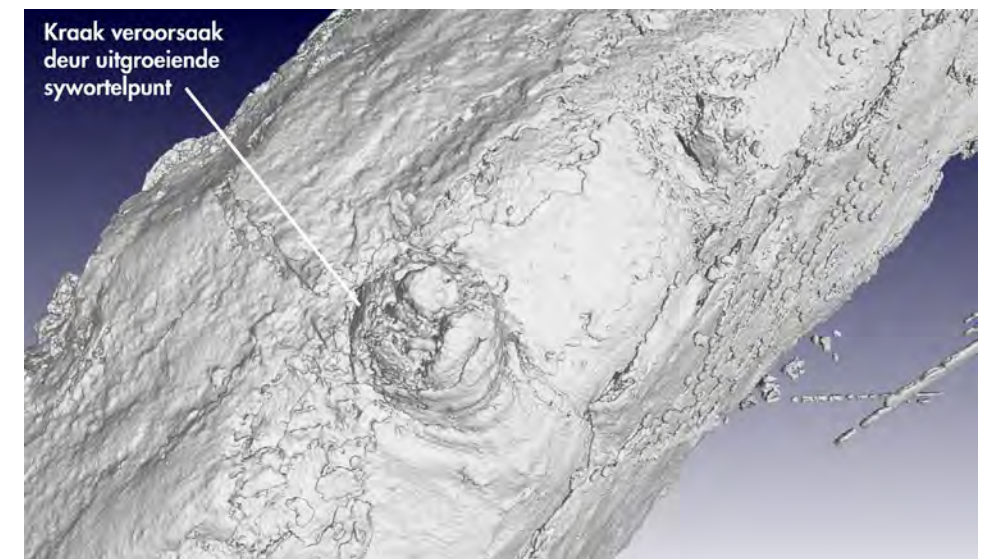


Fig. 2.1.2 Kraak in die moederwortel veroorsaak deur die uitgroeiende sywortelpunt soos geskandeer met 'n RT skandeerder. (Foto: A. du Plessis, E. Archer & A. Strever, 2017)

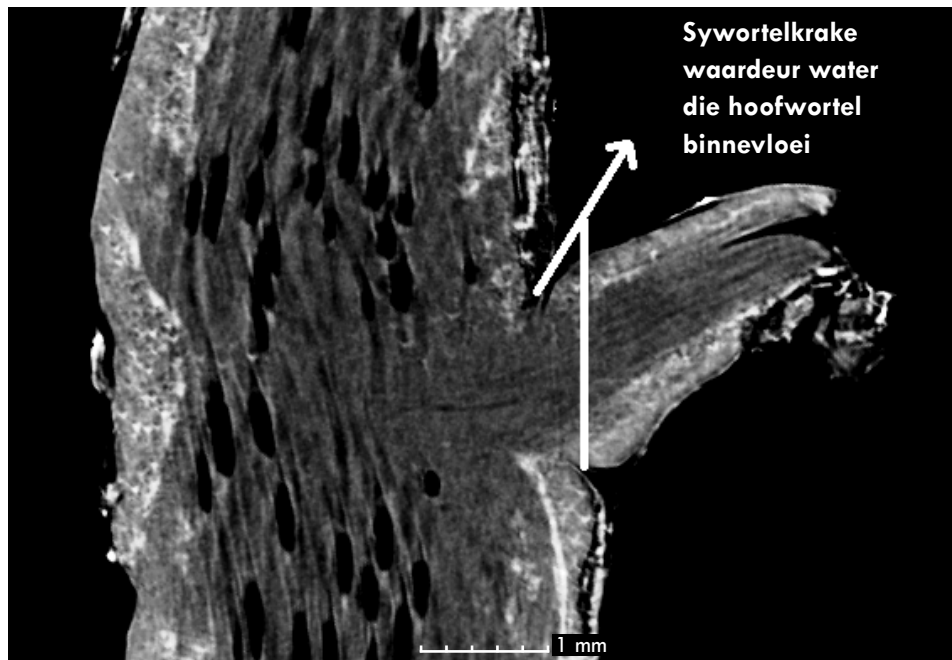


Fig. 2.1.3 Sywortelkrake waardeur water die wortel binnevloei soos geskandeer met 'n RT skandeerder. (Foto: A. du Plessis, E. Archer & A. Strever, 2017)

Die vloei van water deur die vaatbundels word bewerkstellig deur sterk kohesiekragte tussen watermolekules en deur kapillêre styging. Die vloeiensnelheid van water in die xileem van houtagtige plante is vanaf 1.0 tot 12 mm/s (Jones, 1983). Dit is lank aanvaar dat verkurkte wortels ondeurdringbaar vir water is, maar dit is tans bekend dat sodanige wortels van houtagtige spesies in water 'n hidrouliese geleiding het van 40 - 70% van dié van onverkurkte wortels (Bowen 1985). Dit word ondersteun deur die waarneming dat verkurkte wortels van wingerd water vroegseisoen voor blom opneem voordat daar aanmerklike nuwe wortelgroei is.

Alhoewel dit bekend is dat wingerdwortels kan oorleef in sones met ernstige waterbeperkings, is min aandag gegee aan die onderliggende meganismes (Bauerle *et al.*, 2008). Die wingerdstok het relatief groot xileemvate in vergelyking met ander plante, wat lae hidrouliese weerstand impliseer en relatief vinnige herverspreiding van water toelaat na wortels wat die grootste waterstremming ondervind (Smart *et al.*, 2005).

Hierdie hele proses word die wortel hidrouliese konduktiwiteit genoem en dit word ernstig deur 'n gebrek aan suurstof (nat gronde) en lae grondtemperatuur belemmer. Dit is die rede waarom verwelking dikwels in nat gronde voorkom en die simptome daarvan dieselfde is as dié van verdroging.

Die trageïede en vate in die xileem is dood wanneer hulle funksioneer, want dit het nie membrane of organelle nie (Taiz & Zeiger, 1998). Hulle is soos hol buise wat met gelignifiseerde selwande versterk is. Die selwande tussen die opeengestapelde selle bevat waterdeurlaatbare stippels waardeur water vryelik tussen die buise in een rigting kan beweeg (Rogiers, 2007). Die xileem kan dus beskou word as kapillêre buise waardeur water opwaarts vloei deur middel van drukgradiëntverskille. Aan die begin van die seisoen, wanneer die grond warmer word ($>6^{\circ}\text{C}$), ontwikkel die wortels 'n osmotiese potensiaal weens hulle metaboliese aktiwiteit wat reeds voor groei ontstaan en wat meebring dat water die wortels binnevloei. Voordat daar transpirerende blare is, word hierdie water deur worteldruk in die xileem opgestoot en verskyn dit as huilsap by afgeknippte lote (Fig. 2.1.4).



Fig. 2.1.4 Worteldruk veroorsaak huilsap by afgeknippte lote einde Julie/ begin Augustus. (Foto: G. Liebenberg, Felco)

By wingerd kan die wortels opgeneemde water tot 35 m ver vervoer, ongeag of die stok regop groei of plat lê (Champagnol, 1984). Sodra daar genoegsaam blare is wat transpireer, word water deur transpirasie in die xileem opgetrek en hierdie trekkrag bly funksioneer solank die watergradiënt tussen die lug en die grond nie buitengewoon is nie (Rogiers, 2007). As die waterspanning in die xileemkolom toeneem, is daar 'n groter tendens vir die vorming van lugborrels; 'n verskynsel wat embolisme genoem word. Hierdie lugborrels onderbreek die kapillêre stroom water in die xileemvate en belemmer sodoende wateropname. Weens die wingerdstok se genetiese weerstand teen wortelkrimp (Champagnol, 1984), word dit as droogteweerstandbiedend beskou, maar embolisme kan gedurende warm en droë weerstoestande voorkom, veral in kombinasie met lae vlakke van beskikbare grondwater (Rogiers, 2007).

Alhoewel vroeër gemeen is dat die verkurking van die endodermis die indringing van water en voedingstowwe na die xileem verhoed, toon Kramer *et al.* (1966) en Wilson en Atkinson (1979) dat houtagtige wortels by tye grotendeels water- en voedingstofbinnedringing deur wonde en krake (veroorsoak deur uitgroeiende laterale wortels) toelaat. Hierdie bevindinge word deur die waarnemings van Freeman en Smart (1976) ondersteun. Die struktuur van die periderm sluit nie uit dat verhoude wortels water en voedingstowwe kan absorbeer nie (Atkinson, 1980). Selle in die buitenste lae van die periderm ontwikkel kurkstof slegs aan die buitekant van hulle selwande en sodoende word die apoplastiese padweg na die xileem nie geblokkeer nie.

OPSOMMING

Doeltreffende wateropname en -vervoer word bepaal deur die grootte van die kontakoppervlakte tussen wortels en grond. Hierdie oppervlakte word grootliks bepaal deur die netwerk van fyn onderskeppingswortels wat in die bogrond voorkom, asook wortelhare en mikorriza, terwyl die grootte van die voorkeursone van wortelkolonisasie ook 'n rol speel. Die wingerdstok se beter droogtebestandheid as ander vrugtegewasse is gebaseer op sy wortels se weerstandbiedendheid teen wortelkrimp (wat kontak met die grond verbreek), asook sy vermoë om dieptewortels te vorm om die waterryke ondergrond te benut.

Daar is drie maniere waarvolgens water opgeneem word. Al drie is ewe belangrik in die voorsiening van water waar dit vir groei in die stok verantwoordelik is. Al drie bring meeste van die opgeneemde water tot in die xileem sodat dit opwaarts vervoer kan word. Die vloeisnelheid van water in die xileem is 1.0 tot 12.0 mm/s. Die opname van water word ernstig deur suurstofgebrek en lae grondtemperatuur belemmer en dit is waarom droogte- en versuipingsimptome grootliks ooreenstem.

Die xileem, waarin water opwaarts vervoer word, is hol buise waarin water deur middel van drukgradiëntverskille beweeg. Sodra die grond warmer word as 6 °C, ontwikkel die wortels 'n osmotiese potensiaal weens metaboliese aktiwiteit voordat bogrondse groei begin, wat meebring dat water die wortels binnevloei. Hierdie water word deur worteldruk in die xileem opgestoot en is sigbaar as huilsap by snoeiwonde. Sodra genoegsaam blare ontwikkel het, word die water deur middel van transpirasie in die xileem opgetrek. As hierdie trekking té sterk word, kan die watervervoer in die xileem weens die ontstaan van lugborrels (embolisme) onderbreek word.

2.2 Opname en vervoer van elemente

Onderstokke verskil in hul vermoë om voedingselemente op te neem (Kidman *et al.*, 2014). Shiraz makwortels neem betekenisvol meer kalsium (Ca) op as die ander ondersoekte onderstokke en dit gee aanleiding tot meer pitbevattende korrels, hoër korrelgetal per tros en hoër korrelmassa. 1103 Paulsen neem meer boor (B) op en dit gee aanleiding tot minder pitlose korrels en 'n kleiner millerandage-indeks as die ander onderstokke. Gevoeligheid teenoor sink (Zn)-tekorte is vir 110 Richter en 140 Ruggeri waargeneem en gevolglik het meer afloop by hulle voorgekom. 99 Richter en Schwarzmann het die hoogste en 140 Ruggeri die laagste getal stuifmeelkorrels op die stempels gehad en die getal korrels geset het direk hiermee verband gehou.

Sommige elemente soos B, fosfor (P) en Ca moet voldoende in die onmiddellike omgewing van die wortels teenwoordig wees om effektief opgeneem te word. Champagnol (1984) berig dat fosfaat binne millimeters vanaf die wortel moet wees, terwyl kalium (K) oor sentimeters en nitraat oor 10 cm kan migreer. Wingerdwortelgroei en -vertakking blyk hoogsafhanklik van P- en stikstof (N)-voeding te wees en voorsiening hiervan aan slegs 'n gedeelte van die wortelstelsel blyk genoeg te wees om die beperkte voorsiening aan ander wortels te oorkom. Nitraatopname is hoog wanneer die wortel pas uitgekome het, maar neem na slegs 'n paar dae merkbaar af (Volder *et al.*, 2005). Wingerdwortels het ook die vermoë om die vervoer van soute soos dié van Na te voorkom deur dit te stoor (Jacoby, 1964). Aluminium (Al) en koper (Cu) word ook in wortels gestoor, sodat toksisiteite daarvan nie geredelik deur blaaranalises geïdentifiseer kan word nie (Delas, 1984).

Die opname van voedingselemente geskied passief en/of aktief (Russell, 1977). Met passiewe opname (ook genoem massavloei of diffusie) vloei water met opgeloste katione en anione die wortel binne vanuit die grondoplossing en word die intersellulêre ruimtes daarmee gevul. 'n Belangrike hoeveelheid van hierdie binnevloei vind ook in die reeds verkurkte worteldele plaas deur krake wat deur die uitgroeiende sywortels in die moederwortel veroorsaak word (Queen, 1967) (Kyk ook Fig. 2.1.3). Omdat die selwande van die wortelweefsel hoofsaaklik negatief gelaai is, word katione vinniger as anione geabsorbeer. Hierdie vinnige opname van elemente duur sowat 30 minute (bv. na bemesting) waarna dit merkbaar

stadiger plaasvind soos die katione en anione oor die endodermis met sy bande van Caspary na die xileem migreer om opwaarts na die bogrondse stokdele vervoer te word (Russell, 1977). Hierdie opwaartse vervoer deur die xileem is hoofsaaklik passief en vind deur middel van die transpirasiestroom plaas (Bollard, 1960). Die verplasing van die ione oor die endodermis na die xileemparenchium word hoofsaaklik deur die opheffing van ladingsverskille beheer, maar dit word ook deur metaboliese energie aangedryf, wat beteken dat passiewe opname van voedingstowwe ook gedeeltelik aktief aangehelp word. Freeman (1983) rapporteer groot onderstokverskille ten opsigte van die hoeveelheid van verskillende ione wat uit die grondoplossing opgeneem word. 1103 Paulsen, byvoorbeeld, neem betekenisvol meer yster (Fe) vanuit dieselfde oplossing op as 420-A Mgt.

Aktiewe opname van ione vind teen die konsentrasiegradiënt tussen die grondwater en die plantsap plaas (asook gradiëntverskille tussen selle) en dit word deur metaboliese energie, afkomstig van respirasie, aangedryf. In hierdie proses word ione deur sogenaamde draermolekules oor en deur die selmembrane gedra tot in die transpirasiestroom in die xileem (Bollard, 1960; Russell, 1977; Taiz & Zeiger, 1998).

Van Zyl (1984) stel voor dat 'n wortelindeks (WI) gebruik word om die funksionele doeltreffendheid van 'n wortelstelsel te beoordeel. Hiervolgens is die $WI = \text{getal wortels} < 2 \text{ mm deursnit} \div \text{getal wortels} \geq 2 \text{ mm deursnit}$. Normaalweg reflekteer 'n hoë WI gunstige grondtoestande wat 'n beter kolonisasie van die beskikbare grondvolume meebring. As die grond homogeen is en wortelpenetrasie bevoordeel, kan die WI gebruik word om verskille in worteldoeltreffendheid tussen onderstokke te beoordeel (Swanepoel & Southey, 1989). Morlat (2010) gebruik ook 'n sogenaamde wortelverspreidingindeks (WVI, kyk Fig. 1.1.16) om die grondbenutting deur wortelstels te tipeer en vind dat die teenwoordigheid van fynwortels grootliks deur grondeienskappe bepaal word.

Conradie (1980) vind geen betekenisvolle N-opname voor bot nie, maar dat die N in die wingerdstok tot by blom die N is wat deur nuwe groei geakkumuleer is, grootliks voorsien deur die permanente dele van die stok en hoofsaaklik deur die wortels. Die wortels het ook gedurende die periode vanaf blom tot end van vinnige lootgroei 'n belangrike bydrae tot die N-behoefte van die nuwe groei gemaak, wat meegebring het dat daar tot dan 'n gereelde afname in N in wortels was. Vanaf hierdie stadium

tot deurslaan het wortels vir die eerste keer 'n toename in N-inhoud getoon. Vanaf deurslaan tot oes het N-opname gestaak, maar het trosse steeds N geakkumuleer, wat gelyk het asof dit hoofsaaklik vanaf wortels en blare gekom het. Na oes is N aktief geabsorbeer, waarvan meeste na permanente dele gegaan het en die wortels hulle N-inhoud verdubbel het. Wortels het voortgegaan met N-akkumulasie tot blaarval, selfs al het aktiewe wortelgroei, soos aangedui deur wortelmassa, sowat vyf weke na oes gestaak.

Die relatiewe belang van absorberende en uitbreidingwortels is nog nie duidelik nie (Möhr, 1996). Water word blykbaar deur beide verkurkte en onverkurkte wortels geabsorbeer weens die afwesigheid van nuwe wortels tydens aansienlike lootgroei. Conradie (1980) se werk in Suid-Afrika toon dat die wingerdstok tot blom afhanklik is van N-voeding gedurende die na-oes periode wat as reserwes gestoor is, terwyl na-oes N-opname minder belangrik is in gematigde klimaatsones. Volgens Möhr (1996) vind P. Weissenbach, W.E. Heller en P. Perret in 1993 'n sterk korrelasie tussen nitrate in die huilsap en in die grondoplossing, wat aandui dat nitrate reeds voor lootgroei uit die grond opgeneem word, terwyl Löhnertz (1988, 1989) vind dat nitrate nie aansienlik uit die grond opgeneem word voor die 5-6 blaar stadium nie, met 'n sterk toename van N in lote twee weke voor blom.

Volgens Möhr (1996) is Fe-geïnduseerde chlorose voor blom algemeen in koue streke by stokke op nat, kompakte, kalkryke grond en waarskynlik toe te skryf aan vinnige verandering van koud-reënerige tot warm-droë klimaat, wat vinnige lootgroei meebring. Fe word deur wortelpunte opgeneem, wat min is tydens hierdie periode. Möhr verwys hier na P. Perret en W. Koblet (1988) wat gevind het dat onder hierdie omstandighede wortelpunte boonop geïnaktiveer kan word deur bikarbonate en ander nadelige bestanddele. Na blom versnel die groei van wortelpunte en dit verklaar moontlik hoekom blare dikwels dan weer groen word.

OPSOMMING

Opname van voedingselemente geskied passief en/of aktief. Met passiewe opname vloei opgeloste ione vanuit die grondoplossing die wortel deur middel van konsentrasiegradiëntverskille binne. 'n Groot hoeveelheid van hierdie binnevloei vind plaas in die reeds verkurkte worteldele, asook deur krake in die epidermis van die moederwortel wat deur uitgroeiende sywortels veroorsaak is. Katione word vinniger as anione opgeneem aangesien wortelselle hoofsaaklik negatief gelaai is.

Aktiewe opname vind teen die konsentrasiegradiënt plaas en word deur metaboliese energie aangedryf. Draermolekules word gebruik om die ione deur die selmembrane tot in die xileem te dra.

Daar is groot onderstokverskille in die opname van verskillende ione en dit word aangehelp deur die verskille wat in die verhouding van fyn: dikwortels tussen verskillende kultivars bestaan. Daar is ook verskille in die hoeveelhede voedingselemente wat deur die groeiseisoen opgeneem word en dit word onder andere deur verskillende fenologiese stadia aangedryf.

2.3 Stoor van reserwe voedingstowwe

Die stoor van koolhidraatreserwes (hoofvorm is stysel) in ouer wortels is minder as in die stam (Winkler & Williams, 1945). Hierdie opberging is hoofsaaklik in die wortelbas en dit word, met die hulp van ensiemaktiwiteit, veral vir nuwe wortelgroei gebruik, wanneer die blare in die voorseisoen nog afwesig is. Die hoofvoordeel van hoër wortelreserwes is 'n groter kapasiteit om trosrypwording die volgende seisoen te bewerkstellig en in hierdie verband het warmer klimaatstoestande met besproeiing 'n merkbare voordeel bo koeler klimaatsareas (Holzapfel, 2004). 'n Gedeelte van fotosintetiese produkte wat deur die blare gemaak word, word bogronds vir verskeie groeiprosesse gebruik, maar in gebalanseerde wingerdstokke word 'n groter gedeelte afwaarts in die floeëem vervoer waar dit óf gebruik word óf in die vorm van stysel gestoor word (Bouard & Pouget, 1971). Die vorm waarin die koolhidrate vervoer word, is suiker, en die belangrikste vorm hiervan is sukrose (glukose en fruktose word ook vervoer). Die spoed van afwaartse vervoer is 30 - 40 cm per uur (Bouard & Pouget, 1971). In teenstelling met Winkler en Williams (1945), vind Loescher *et al.* (1990) dat alhoewel al die organe en ander dele van die wingerdstok as stoorplekke kan dien, word die hoogste konsentrasie van koolhidraatreserwes in die wortels gevind (Loescher *et al.*, 1990). Die verdeling van koolhidraatreserwes na wingerdwortels hang af van die relatiewe sterkte van die vraag in vergelyking met ander organe van die stok (Tromp, 1983). Aan die begin van die groeiseisoen word >80% van alle stysel en $\pm$ 75% van alle N in die stok in die wortels aangetref (Bates *et al.*, 2002). Hierdie stoor van stysel, aminosure (veral arginien) en sitroensuur, vind veral in die laat somer en herfs plaas (Winkler *et al.*, 1974) maar dit kan deur die winter voortduur tot kort voor bot (Nassar & Kliewer, 1966). Conradie (1992) vind dat 60% van die totale stikstofreserwes in die wingerdstok aan die begin van die nuwe groeiseisoen afkomstig is van N wat gedurende die na-oes periode opgeneem is. Die hoeveelheid K in wortels is minder as N, maar is gewoonlik meer in die stam en kordonne. Slegs 'n klein gedeelte K word uit die wortels gemobiliseer (Araujo & Williams, 1988).

Die houtagtige wortelstelsel van wingerd het 'n groot kapasiteit om koolhidrate te stoor, wat dan gedurende die groeiseisoen vir verskillende organe benut word (Bennett *et al.*, 2002). Hunter *et al.* (1995) vind dat stysel die hoofvorm is waarin koolhidrate gestoor word, onafhanklik van worteldeursnit. Hulle vind ook dat die sintese van stysel onafhanklik van

wortelouderdom is. Aan die begin van die volgende groeiseisoen word die gestoorde stysel gemobiliseer en vanaf die wortels deur die xileem na die bogrondse stokdele vervoer teen 'n spoed van 15 - 20 cm/uur (Bouard & Pouget, 1971). Hierdie wortelreserwes verander dramaties gedurende die jaar, neem vinnig af tydens bot en vroeë loot- en trosgroei en neem toe laat in die groeiseisoen, gewoonlik nadat vegetatiewe groei en trosrypwording tot 'n einde gekom het (Loescher *et al.*, 1990).

Die reserwepoel in die permanente dele van die wingerdstok speel 'n belangrike rol in alle groei- en rypwordingsprosesse van die plant, terwyl dit kardinaal belangrik vir die beskerming teen koueskade is (Bouard & Pouget, 1971; Araujo & Williams, 1988; Loescher *et al.*, 1990; Bates *et al.*, 2002). Die botproses, sowel as loot- en wortelgroei, tap 'n belangrike hoeveelheid gemobiliseerde stysel, waarna inisiële lootgroei tot kort voor blom die reserwevoedingstowwe verder uitput. Volgens Bates *et al.* (2002) word tot 78% van gestoorde wortelstysel vir hierdie doel gebruik. Alhoewel vroeg-seisoen se fynwortelgroei 'n groot vraagpunt vir gestoorde N is (Bates *et al.*, 2002), word hulle na-blom gou 'n bron van opgeneemde N (Conradie, 1992) en verskaf hulle tot 84% van die behoeftes vir groei in die lente, waarna hulle grootliks bydra tot die neerlegging van die nuwe reserwepoel. In ooreenstemming hiermee vind Araujo en Williams (1988) dat wortelgestoorde N hoofsaaklik vir wortelgroei gebruik word en dat dit nie die hoofbron vir ander bogrondse groeiprosesse in die wingerdstok is nie. Die hoeveelheid N wat in wingerdwortels gestoor word, word direk deur die hoeveelheid en tyd van N-bemesting bepaal en dit is veral herfsbemesting wat hier 'n deurslaggewende rol speel (Tromp, 1983).

Die reserwes bereik 'n laagtepunt laat in die somer. Wingerdstokke met relatief min koolhidraatreserwes aan die begin van die nuwe groeiseisoen, word gekenmerk deur swak uitbot en/of swak lootgroei (Branas, 1974). Voldoende reserwes is nodig vir vroeë groei in die volgende seisoen totdat genoegsame blare aanwesig is om selfvoorsienend te wees (Mandel *et al.*, 2001). Die aansameling van reserwes laat in die groeiseisoen is baie gevoelig vir stremmingsfaktore soos droogte, versuiping, te hoë oeslading, swak verbouingspraktyke, ensovoorts. Periodieke waterstremming veroorsaak dat tot 17% minder reserwes vanuit die wortels van ahornbome (*Maple*) gedurende die totale groeiseisoen deur respirasie vrygestel word (Burton *et al.*, 1988). Hierdie respirasie was eksponensieel positief met grondtemperatuur verbind en positief reglynig met grondwatertekort en wortelstikstofkonsentrasie. Sulke omstandighede

en gepaardgaande uitputting van reserwes kan die prestasie van die wingerdstok erg gedurende die volgende groeiseisoen benadeel (Loescher *et al.*, 1990). Ter ondersteuning hiervan verklaar Mandel *et al.* (2001) dat die lengte en gehalte van die groeiperiode na-oes tot blaarval uiters belangrik is vir wortelgroei en voedingstofopname. Warmer areas het normaalweg 'n beter na-oes groeiperiode as kouer areas en daarom is die styselreserwes in eersgenoemde areas hoër. Die produksie van koolhidrate in hierdie periode is noodsaaklik om die stok se reserwepoel in die lote, kordonarms, stamme en wortels aan te vul. Gebufferde wortelstelsels wat onnodige blaarval verhoed, is dus noodsaaklik vir 'n goeie reserwebalans. Daarom moet praktyke soos meganiese oes reg bestuur word om onnodige blaarverlies na-oes te verhoed.

Wingerdwortels stoor nie net N-verbindings in die winter nie, maar sintetiseer ook verskeie aminosure en amiede gedurende die groeiseisoen (Nassar & Kliwer, 1966). Dit is dus duidelik dat 'n goed verpreide en groot genoeg wortelstelsel kardinaal belangrik is vir die jaarlikse groeiprosesse van die wingerdstok. Die fyn:dikwortel verhouding speel 'n belangrike rol in wingerdprestasie. Archer en Hunter (2005/6) vind dat beter gebufferde wingerde deur 'n fyn:dik wortel verhouding van >5 gekenmerk word, terwyl swakker gebufferde wingerde 'n verhouding van ongeveer 2 handhaaf. Genoegsame fynwortels is dus van groot belang.

Volgens Champagnol (1984) kan wortelgroei gedurende die eerste jare na plant vertraag word indien voorsiening van suiker onvoldoende is weens te hoë oeslading of blaarverlies. Swartblaar ('brunissure') of te hoë oeslading verminder die deponering van stysel en beperk worteluitbreiding sterk en benadeel die toekomstige vermoë van die wortels om minerale voeding en wateropname te verseker en weerstandbiedend teen droogte te wees. In ooreenstemming hiermee vind Comas *et al.* (2005) vir Concord stokke dat té hoë produksie vir lae styselinhoude in verhoutte wortels (2 - 7 mm deursnit) verantwoordelik is. Oorproduksie van jong stokke benadeel die toekoms van die stokke ernstig, veral op droë heuwels. Tydens die lente is dit gewens dat faktore wat wortelfisiologie beïnvloed, optimaal is vir vegetatiewe groei.

Araujo en Williams (1988) se resultate ondersteun nie die rol van wortels as hoof stoororgaan vir N-voorsiening aan die res van die stok in die geval van jong stokke nie. Volgens hulle het N vanaf ander permanente dele van die stok 14 - 26% van lootgroei se behoeftes kort na bot verskaf. Die res van die behoefte is waarskynlik grotendeels deur opgeneemde N vanuit die grond voorsien.

OPSOMMING

Die wingerdwortel is 'n belangrike stoororgaan vir reserwevoedingstowwe en dit is veral in die bas waar die storing plaasvind. Ensiemaktiwiteit is nodig om hierdie gestoorde reserwes (hoofsaaklik stysel) te mobiliseer en te vervoer na die lokaliteite waar dit benodig word. Fotosintetiese produkte wat deur die blare vervaardig word, word bogronds vir verskillende groeiprosesse gebruik, maar 'n belangrike gedeelte daarvan word as sukrose na die wortels vervoer waar dit as stysel, aminosure en sitroensuur geberg word. Aan die begin van die groeiseisoen word >80 % van alle stysel en 75% van alle N in die stok in die wortels aangetref. Die hoeveelheid reserwes wat in die wortels gestoor word, word grootliks deur na-oes bemesting bepaal. Wingerdstokke met min gestoorde koolhidraatreserwes word gekenmerk deur swak uitbot en/of swak lootgroei omdat hierdie reserwes verantwoordelik is vir groei voordat genoeg blare aanwesig is om die voeding te voorsien. Blaaraktiwiteit na-oes is kardinaal belangrik vir neerlegging van reserwes en dus die doeltreffendheid van nuwe groei aan die begin van die volgende groeiseisoen.

2.4 Fisiologie van wortels

Wingerdwortels het, bo en behalwe water- en voedingstofopname, ook die belangrike funksie van die produksie van hormone wat na die bognondse stokdele getranslokeer word, waar dit die aard en tempo van lowergroei beïnvloed (Torrey, 1976). Hierdie hormone is chemiese boodskappers wat die plant se reaksie teenoor die omgewing bestuur. By wingerd is daar vyf groepe hormone: ouksiene, gibbereliene, sitokiniene, absissiensuur en etileen (Torrey, 1967; Taiz & Zeiger 1998).

Hormone in die wingerdstok funksioneer nooit alleen nie, maar altyd in verhouding tot ander hormone. Daar is drie groeihormone (ouksien, gibberelien en sitokiniën) en twee verouderings (rypword) hormone (absissiensuur en etileen). Alle groei-, ontwikkelings- en rypwordprosesse in die stok is die resultaat van variërende verhoudings waarin hierdie hormone tot mekaar voorkom. Hierdie verhoudings word tot 'n groot mate bepaal deur die natuurlike of mensgemaakte variasie in bo- en ondergrondse omgewingsfaktore. Dit is veral die variërende negatiewe ondergrondse toestande (versuiping, uitdroging, brak, voedingstoftekorte, wortelskade soos aluminiumtoksisiteit, aalwurms, filloksera, wortelsnoei op ongeleë tye, ens.) wat hierdie hormoonverhoudings verander en gevolglik die reaksie van die bognondse dele van die wingerdstok bepaal. Dit is veral omdat die wortels en wortelstelsels 'n deurslaggewende rol in die hormoonfisiologie van die wingerdstok speel.

Alhoewel wortelgroeiopunte van *Vitis* nie dien as sentra van ouksienproduksie nie, speel die volwasse weefsel van wortels 'n rol as produksiesentrum. Volgens Bouard en Pouget (1971) word slegs spore van ouksiene in die groeiopunte, asook in kambiummeristeme van wingerdwortels geproduseer. Ouksiene word egter meer bo- as ondergronds geproduseer en ook na die wortels getranslokeer om daar belangrike funksies te vervul. By lae konsentrasies bevorder ouksiene sel-, loot- en wortelverlenging, maar by hoë konsentrasies induseer dit die vorming van etileen, wat wortelgroei onderdruk. Ouksiene bevorder die sintese van nuwe selwandmateriaal deur sekere ensieme te aktiveer (Taiz & Zeiger, 1998) en sodoende beheer dit foto-, gravi- en tigmotropisme.

Ouksiene reguleer apikale oorheersing deurdat dit die lootgroeiopunt 'n groter vraagpunt vir sitokiniene (groeistimulant) maak, terwyl dit die opbou van die groeionderdrukkende absissiensuur (ABS) in die laterale oë op die loot stimuleer. Ouksiene bevorder die vorming van adventiewe en sywortels deurdat dit aktiewe seldeling op verskillende plekke in die perisikel net bokant die haarwortelsone stimuleer, om mettertyd wortelprimordia te vorm. Hierdie funksie word kommersieel by enting gebruik om die entlote te help met beworteling. Ongeveer 15 dae voor bot is daar 'n merkbare toename van ouksiene in die wingerdoë, meer so by kultivars wat maklik bot en minder by kultivars wat moeilik bot (Bouard & Pouget, 1971). Ouksiene vertraag die begin van blaar- en vrugafsnoring deur die werking van etileen te onderdruk en dit induseer die differensiasie van vaatweefsel by jong organe, in kallusweefsel en onderkant die lootgroeiopunt (Devlin, 1966; Torrey, 1967; Bidwell, 1974; Taiz & Zeiger, 1998).

Gibbereliene word ook gibbereliensuur (GS) genoem en meer as 110 is reeds in plante ontdek. Die meeste van hulle is egter onaktiewe voorlopers of oorgangsvorme van slegs vier tot vyf aktiewe gibbereliene. Die wortels is 'n belangrike orgaan waar die biosintese van GS plaasvind (Skene, 1967; Russell, 1977; Freeman, 1983). Hulle word in die onaktiewe vorms gesintetiseer en so vervoer na die plekke in die plant waar hulle dan na die aktiewe vorm omgeskakel word om spesifieke funksies te vervul. GS12 (onaktief) word in klein hoeveelhede in wingerdwortels gesintetiseer en in hierdie voorlopervorm getranslokeer na die plekke van werking waar dit na GS3 (aktief) omgeskakel word. Gibbereliene stimuleer internodiumverlenging, veral in skaduryke lowers. Dit promoveer korrelset, asook trosstingelgroei van pitlose druiwe, wat aanleiding tot groter korrels gee omdat daar meer plek is vir korrelgroei deur middel van seldeling en -vergroting (Taiz & Zeiger, 1998).

Torrey (1967) en Skene (1967) het gibberelienaktiwiteit in die xileemsap van *Vitis* gevind en verklaar dat dit 'n belangrike rol in die verlenging van wortelselle speel. Hierdie gibbereliene word binne die eerste vier mm sone van wortelgroeiopunte geproduseer, terwyl baie min of niks in die onmiddellike proksimale weefsel voorkom. Van hierdie gibbereliene word feitlik onmiddellik in die xileemsap na die bognondse stokdele vervoer, waar dit na die aktiewe vorm daarvan omgeskakel word en seldeling en -verlenging beïnvloed (Torrey, 1967). Die biosintese van gibbereliene word deur versuiping onderdruk (Russell, 1977).

Die wortel is 'n belangrike sentrum vir die biosintese van sitokiniene (Bouard & Pouget, 1971; Russell, 1977; Jooste, 1983; Taiz & Zeiger, 1998; Hackett, 1999). Field *et al.* (2009) vind dat die xileemsap by bottyd vier hoofklasse van sitokiniene bevat en dat dié wat vanaf die wortels afkomstig is vanuit gemobiliseerde reservewes verkry word. Zeatien is die belangrikste sitokiniene wat by wingerd voorkom en daar is hoofsaaklik twee vorme: Zeatienglikosied en zeatienribosied. In die glikosied-vorm word zeatien as deel van reservewes gestoor en in die ribosied-vorm word dit vanaf die wortel na die res van die plant vervoer (Torrey, 1967). Die vorm waarin sitokiniene gesintetiseer word, is van worteltemperatuur afhanklik (Skeene & Kerridge, 1967). Water-, sout-, hittestremming en versuiping is faktore wat die biosintese van sitokiniene in die wortelpunt onderdruk. Sitokinienvlakke is die hoogste in die lente en dit daal na nul in die laat herfs en winter. Hierdie is in ooreenstemming met die bevindings van Jooste (1983) dat wingerdwortels by 'n grondtemperatuur van 10 °C reeds begin om sitokiniene te produseer, maar dat die vervoer daarvan in die xileemsap beperk is. Hy toon ook aan dat groot verskille tussen kultivars voorkom betreffende die wortels se vermoë om sitokiniene te produseer. *Rupestis* du Lot produseer betekenisvol meer sitokiniene as 420-A Mgt, terwyl ongeënte *Chenin blanc* betekenisvol meer as ongeënte *Sultanina* produseer. Jooste (1983) bring dit direk in verband met die voorkoms van die groeistandverskynsel by stokke met min sitokiniene.

Sitokiniene stimuleer seldeling en dit is primêr verantwoordelik vir die groei van die wingerdstok. Dit blyk dat dit 'n belangrike rol speel in die reaksie van die plant op NO_3^- -voeding, veral met betrekking tot blaargroei (Rahayu *et al.*, 2005). Dit is uiters belangrik vir die seldeling wat plaasvind tydens die induksie van blomtrosprimordia in die groen wingerdogie. Dit is verantwoordelik vir die ontwikkeling van manlike en vroulike blomdele. Dit is ook verantwoordelik vir chloroplasdifferensiasie, wat uiters belangrik vir suksesvolle fotosintese is. Dit speel 'n rol by blaarveroudering en -afsnoring deurdat dit etileen teenwerk en die proses vertraag. Dit speel 'n rol by rusbreking, asook by apikale oorheersing saam met oksiene en is verantwoordelik vir die vorming en uitbot van laterale oë sowel as die groei van laterale lote. Dit het 'n groot invloed op proteïensintese asook op die tipe proteïene wat gevorm word (Devlin, 1966; Torrey, 1967; Bidwell, 1974; Taiz & Zeiger, 1998). Enige stremmingsfaktor op wortels (lae pH, brak, droogte, versuiping, hoë temperatuur) onderdruk die biosintese van sitokiniene. Tekorte aan veral N en K veroorsaak 'n opmerklike tekort in sitokiniënproduksie.

Absissiensuur (ABS) is 'n 15-C terpenoïedverbinding en die biosintese daarvan vind plaas in alle selle wat chloroplaste en/of amiloplaste bevat. Dit word in die wortelmus gesintetiseer (Russell, 1977) maar die chloroplaste in blare is ook belangrike produksiepunte (Taiz & Zeiger, 1998). Dit word in die xileem sowel as floeëem vervoer. ABS reguleer huidmondjiesluiting in reaksie tot waterstremming en daar is twee bronne daarvan:

1. Vroeë waarskuwing vanaf wortel ABS wat vinnig via alkaliese (kalsium-ryk) xileemsap getranslokeer word en die sitosol van die sluitselle alkaliseer. Dit depolariseer die plasmamembraan van die sluitselle, wat verslemping van die selle meebring en die sluitselle laat sluit.
2. ABS word vanaf die chloroplaste in mesofil-selle in die blaar na die sluitselle van die huidmondjies getranslokeer en dan het dit dieselfde werking soos in 1.

1 + 2 is 'n hidroaktiewe sluiting (genoeg water in die plant).

In 'n spesifieke verhouding met gibbereliene en sitokiniene is ABS verantwoordelik vir oogdormansie. Verder bevorder dit wortelgroei en beperk dit lootgroei onder droogtetoestande deurdat dit 'n meganisme vir wingerd verskaf om waterstremming die hoof te bied. ABS inisieer blaar- en vrugafsnoring en help etileen om finale afsnoring te bewerkstellig. Dit stimuleer die vorming van selwandproteïene onder stremmingstoestande, wat die selwandmembrane teen uitdrogingskade beskerm en sodoende die weerstandbiedendheid teen droogte bevorder (Devlin, 1966; Torrey, 1967; Bidwell, 1974; Taiz & Zeiger, 1998). Die biosintese van ABS word deur droogte, versuiping, voedingstekorte en brak gepromoveer (Russell, 1977).

Etileen is 'n gas en word in alle plantdele, insluitend wingerdwortels, gesintetiseer as nuwe produk van plantmetaboliese prosesse. Dit inhibeer wortelverlenging, maar promoveer die ontwikkeling van sywortels en is, saam met ABS, verantwoordelik vir druifrypwording - dit stimuleer die ensiem wat selwande afbreek en sodoende die sagword van vrugte vlees bewerkstellig. Etileen speel 'n belangrike rol by alle afsnoerings- en verouderingsprosesse en dit bevorder die vorming van wortelhare. Enige vorm van verwonding (snoei, wortelsnoei, siekte-, pes- en vreetkade) promoveer die biosintese van etileen. So ook fisiologiese stremmingsfaktore soos versuiping, ryp, hitte en droogte (Devlin, 1966; Torrey, 1967; Bidwell, 1974; Taiz & Zeiger, 1998).

Wingerdwortels is die hoofproduksiepunt van sitroensuur, vanwaar dit na die bogrondse stokdele vervoer en na appelsuur via die Krebs siklus geoksideer word (Ribéreau-Gayon & Ribéreau-Gayon, 1971). Hunter *et al.*, (1995) vind ook dat sitroensuur verreweg die belangrikste organiese suur is wat in wortels voorkom, onafhanklik van worteldikteklasse.

OPSOMMING

Wortelgroeipunte en ander dele van wortels produseer hormone wat optree as chemiese boodskappers wat die stok se reaksie teenoor die omgewing bestuur. Daar is vyf groepe hormone in die wingerdstok en hulle funksioneer altyd in verhouding tot mekaar. Van hulle is daar drie groeihormone (ouksiene, gibbereliene en sitokiniene) en twee verouderingshormone (absissiensuur en etileen). Ouksiene word in die volwasse worteldele geproduseer en dit bevorder sel-, loot- en wortelverlenging, terwyl dit die vorming van sywortels reguleer. Gibbereliene word in die wortelpunte gesintetiseer en dit stimuleer internodiumverlenging en trosstingelgroei, terwyl dit korrelset promoveer. Sitokiniene word hoofsaaklik in wortelpunte gesintetiseer en dit stimuleer seldeling, wat beteken dat dit primêr vir die groei van die wingerdstok verantwoordelik is. Sonder sitokiniene kan die induksie van blomtrosprimordia nie plaasvind nie en dus is dit bepalend vir die grootte van die oes. Absissiensuur word hoofsaaklik in die wortelmus geproduseer en dit reguleer huidmondjieweging. Dit bevorder die droogte weerstandbiedendheid van die stok en inisieer orgaanafsnoering. Etileen is 'n gas en word onder andere ook in die wortels gesintetiseer. Dit bevorder sywortelontwikkeling, maar is primêr, saam met absissiensuur, verantwoordelik vir vrugrypwording.

Enige negatiewe grondtoestand, fisies en/of chemies, wat wortelgroei en -funksies belemmer, onderdruk die sintese van die groeihormone wat, op sy beurt, die totale prestasie van die stok benadeel.

2.5 Die rol van mikorrisa

Worteluitskeidings in die slymjel, asook in die omliggende grond, verskaf voeding aan 'n hele reeks organismes wat in die onmiddellike omgewing van die wortels lewe. Worteluitskeidings bevat koolhidrate, aminosure, organiese sure, ensieme en 'n hele reeks ander verbindings soos biotien, tiamien, niasien, inositol, ens. (Russell, 1977). Dit bevat ook ander ongeïdentifiseerde verbindings wat swamme, bakterië en nematodes kan stimuleer of onderdruk (Hooker *et al.*, 1994). Die organiese materiaal wat jaarliks van dooie wortelmateriaal afkomstig is, is 'n ideale teelaarde vir verskeie risosfeer-organismes.

Van hierdie risosfeer-organismes vorm mikorrisa 'n belangrike deel en daar kom twee tipes voor, nl. ekto- en endomikorrisa (eksterne en interne mikorrisa). Mikorrisa beteken letterlik wortelfungi (wortelswamme) en volgens Schreiner (2005) kom daar minstens 37 verskillende spesies voor wat 'n wye reeks affiniteite vir verskillende gasheerplante het. Barnard het in 1932 reeds berig dat endomikorrisa deurgaans met volwasse Sultanina wortels geassosieer is en dat dit moontlik betrokke is by die voorkoms van huilsap.

Hierdie swamme lewe in simbiose met die wingerdwortel (Schubert, 1985; Trouvelot *et al.*, 2015) waar hulle, in ruil vir koolhidrate, water en voedingstowwe uit die grond opneem en aan die wingerdstok beskikbaar stel (Schreiner, 2005). Ektomikorrisa verhoog die doeltreffendheid waarmee die wingerdwortel voedingstowwe uit die grond opneem en die endomikorrisa speel 'n deurslaggewende rol in die uitruiling van hierdie voedingstowwe in die korteksselle van die wortel (Possingham & Groot-Obbink, 1971; Schreiner, 2005; Trouvelot *et al.*, 2015). In die wortel se korteksselle word beide blaas- en struikvormige strukture gevorm en daarom word na hulle as blaas- en struikvormige mikorrisa (BSM) verwys (Fig. 2.5.1).

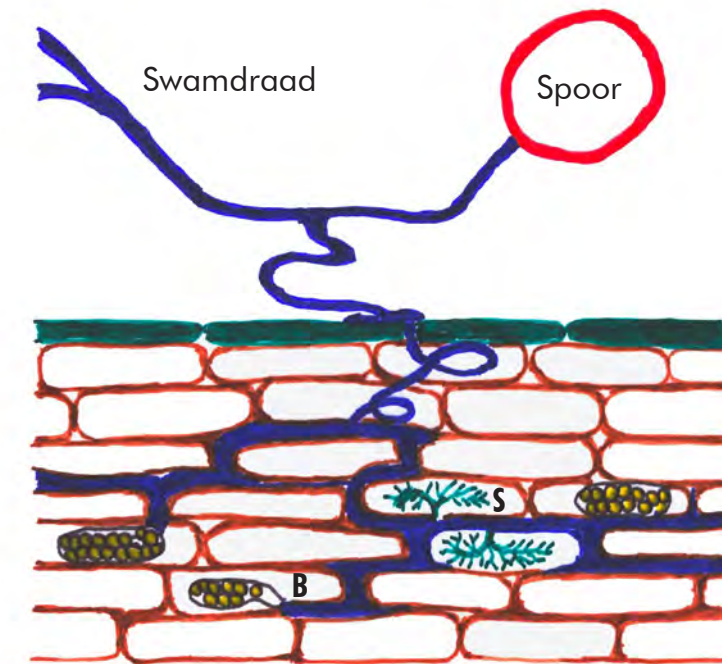


Fig. 2.5.1 Skematiese voorstelling van blaas- en struikvormige mikorrisa in die korteksselle van wingerdwortels. B: blaasvormige strukture; S: struikvormige strukture. (Oorgeteken uit Schubert, 1985)

Alhoewel BSM help met die opname van verskeie makro- en mikro-elemente, is dit veral met die opname van fosfaat waar hulle die wingerdstok tot voordeel strek (Bartschi & Garrec, 1981). Fosfate diffundeer baie stadig in die grond en raak dikwels buite bereik van die wortels omdat dit nie vinnig genoeg in die grondoplossing aangevul word nie. Die relatief lang hifes (swamdrade) van BSM (dikwels 20 mm lank) kan klein porieë tussen die grondpartikels penetreer waar wortelhare nie kan bykom nie en gemaklik die fosfaatione opneem en dit binne die wortel vrystel (Russell, 1977; Trouvelot *et al.*, 2015). Die fynste wingerdwortel het 'n 500 tot 1000 maal groter deursnit as 'n mikorrisa swamdraad (Schreiner, 2005).

By die wingerdstok verminder hoë vlakke van grondvrugbaarheid, veral P en N, of P- en N-bemesting, kolonisasie deur struikvormige mikorrisa (SM). Ureum onderdruk ook SM wortelkolonisasie en -spoorvorming. SM kolonisasie en dus P-opname kan verminder in grond met $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ waardes van 5.0 - 5.5 (Schreiner, 2005). Die fisiese, chemiese en biologiese samestelling van die grond waarin aangeplant word, kan krities wees ten

opsigte van die effektiwiteit van mikorriza-inokulasie. Vir hulle C-vereistes kan BSM 4 - 20% van die plant se fotosintetiese gebinde C ontvang, sodat aanvanklik 'n negatiewe reaksie op BSM inokulasie kan plaasvind, totdat 'n plato van mikorriza-ontwikkeling bereik word, waarna toename in groei kan plaasvind. Plante kan optimale groei bereik na kolonisasie deur inheemse swam-populasies en dan nie baat vind by kunsmatige inokulasie nie. 'n Voorafgaande studie van hierdie inheemse innokulum is dus essensieel voor die paslikheid van BSM inokulasie oorweeg kan word. Daar is getuigenis dat BSM wateropname deur wortels verbeter, asook Fe-opname in kalkryke gronde in die geval van kalk-gevoelige onderstokke. Dit verhoog die weerstand teen brak en swaar metale soos Cu, asook teen peste en siektes. Grondberokking dood BSM en in sulke gevalle mag inokulasie met BSM grootliks plantvestiging en -groei bevoordeel. Daar is nog nie 'n vinnige en betroubare metode om BSM in ekosisteme te identifiseer en te monitor nie. Die betrokkenheid van BSM in hormoonregulering in die wingerdstok moet nog ondersoek word.

Min is bekend oor die tempo van mikorriza-kolonisering gedurende die eerste dae en weke van die wortel se leeftyd, maar tipies gaan 'n gedeelte van so 'n simbiose redelik vinnig dood, dikwels binne drie tot vier weke (Anderson *et al.*, 2003). Dit word vermoed dat die gedeelte van die fynwortelstelsel wat vinnig doodgaan, meestal wortels insluit wat minder groeikragtig is, in vergelyking met meer groeikragtige wortels wat vinnig deur mikorriza gekoloniseer word. Dikwels gaan die interne strukture van mikorriza-swamme en korteksselle dood soos verbruining toeneem (Richards & Considine, 1981; Comas *et al.*, 2000).

Die worteloppervlak kan bedek word met mikorriza-swamdrade wat tot 20 mm in omringende grond kan uitsprei en veral P-opname verbeter (Gebbing *et al.*, 1977; Bonfante-Fasolo, 1978; Trouvelot *et al.*, 2015). Volgens hierdie navorsers kom mikorriza natuurlikerwys wydverspreid in gronde voor en is die kunsmatige inokulasie daarvan in wingerdgronde dikwels onnodig. Opnames wat deur Meyer en Wooldridge (2008 a & b) in kwekerye en deur Meyer en Wooldridge (2009 a & b) in kommersiële wingerde gedoen is, toon dat natuurlike inheemse mikorriza-swamme wyd verspreid in die wynlande van Suid-Afrika voorkom. Meyer *et al.* (2004) vind dat die inokulasie met kommersiële BSM baie min invloed op die getal spore in die grond het omdat die natuurlike mikorriza baie sterk met die geïnokuleerde mikorriza kompeteer. Dit is in ooreenstemming met die resultate van

Schubert en Cravero (1985). Hulle het geen noemenswaardige verbetering in groei van jong wingerdstokke met inokulering gevind nie en skryf dit o.a. daaraan toe dat die grond reeds voor vestiging 'n hoë konsentrasie P bevat het. Endomikorriza het die opname van P deur wingerdwortels drasties verhoog, terwyl dit nie 'n noemenswaardige invloed op die opname van Ca, Mg, K en Na uitgeoefen het nie (Bartschi & Garrec, 1980).

Sapvloei in die lente begin voor die vorming van nuwe wortels (Barnard, 1932), maar die meganisme waarvolgens die stok tydens hierdie periode so vinnig water kan absorbeer, is op daardie stadium nie verklaar nie. Dit is moontlik dat endomikorriza hier 'n belangrike rol speel.

Met 1-jaar-oue Sauvignon blanc/99 Richter in sandkultuur, kry Van Rooyen, Valentine en Archer (2004) geen effek van struikvormige mikorriza (SM) op groei of N- en P-voeding nie, maar wel betekenisvolle verhoging van netto fotosintetiese gaswisseling, huidmondjiegeleiding, blaarwaterpotensiaal en transpirasietempo, wat dui op verbeterde plantwaterstatus, met potensiele vermindering van oorplant skok. Hierdie effek moet onder veldtoestande bestudeer word.

Ambrosini *et al.*, (2015) vind dat twee struikvormige mikorriza-spesies uit ses wat geïnokuleer is, wortelmasse van mikro-vermeerderde 1103 Paulsen plantjies in 300 ml plastiekbuis met Cu-gekontamineerde grond (46.2 dpm, HCl ekstraksie) verhoog het, maar geen effek op planthoogte, chlorofilinhoud of lootmasse gehad het nie. Cu-inhoude in wortels is verhoog maar nie in bogrondse dele nie en P-inhoude van wortels was positief gekorreleer met wortelmasse. Die persentasie mikorriza-kolonisasie was spesie-gebonde en sukses van kolonisasie bepaal klaarblyklik die effek daarvan op droëmassavermeerdering van lote, wat in hierdie en ander soortgelyke studies negatief was.

Linderman en Davis (2001) vind in poteksperimente met vyf onderstokke en twee bostokke en drie blaasvormige-struikvormige mikorriza (BSM) kulture, in 'n P-arm medium, dramatiese verbetering in lootgroei. Asook in wortelgroei, behalwe in die geval van SO₄. Hulle meen dat verwag kan word dat stokke wat in grond geplant word wat gebrekkig is aan BSM weens berokking of terrassering, wat swak grond ontbloom, hoogs reaktief op BSM inokulasie sal wees.

OPSOMMING

Mikorriza is swamme met lang swamdrade wat in simbiose met die wingerdwortel lewe en in ruil vir koolhidrate, help met die opname van water en voedingstowwe. Alhoewel daar 37 verskillende spesies voorkom, is daar basies twee tipes mikorriza, naamlik ektomikorriza (ekstern) en endomikorriza (intern). Ektomikorriza verhoog die doeltreffendheid van opname, terwyl endomikorriza die uitruiling van voedingstowwe en water in die korteksselle van die wortel bevorder. Dit is veral met die opname van P waar mikorriza belangrik is. Stokke kan optimale groei bereik na kolonisasie deur inheemse mikorrisapopulasies en dan nie baat vind by kunsmatige inokulasie nie. 'n Vooraf ontleding van die voorkoms van natuurlike mikorriza in die grond is dus belangrik.

2.6 Verwantskap met wynkarakter

Die verspreiding van wingerdwortels speel 'n noodsaaklike rol in die karakter van die druiwe en wyn wat daaruit kom. Waarnemings oor 'n periode van 10 jaar in Bordeaux wingerde wys dat wingerd se wortelsisteem hoofsaaklik deur chemiese en veral fisiese grondeienskappe bepaal word (Seguin, 1972). Seguin (1970) kon aantoon dat in die 'grand crus' van Bordeaux, die vertikale 'verdiepings' van wortels verband hou met chemiese en fisiese grondeienskappe (veral permeabiliteit), wat 'n primêre rol speel in die watervoorsiening van die stok. Dit bepaal tot 'n baie groot mate die bars van korrels en infestering deur vaalvrot. Dit het soortgelyk 'n deurslaggewende effek op die chemiese samestelling van die mos, asook op die chemiese en organoleptiese eienskappe daarvan. In die Loire vallei verkry Morlat en Jacquet (1993) oor die algemeen goeie korrelasie tussen aantal wortels en groeikrag. Opbrengs en algehele kwaliteit is afhanklik van 'n gesonde wortelstelsel en dit noop die produsent om die mees toepaslike agnomiese en wingerdboukundige praktyke te gebruik ten einde die beste ontwikkelde wortelstelsel te verkry.

Wortels pas aan by spesifieke grondeienskappe ten einde 'n wingerdstok/ grond ewewig te verkry, wat op sy beurt druif- en wynkwaliteit affekteer (Tomasi *et al.*, 2015). So ook vind Pellegrino *et al.* (2004) en Van Leeuwen *et al.* (2009) dat meeste variasie tussen grondeenhede verwant was aan verskille in waterregime en kon dit deur faktore soos gronddiepte, tekstuur en watervoorsiening verklaar word, asook deur die kapasiteit van die stok om grondwater te ekstraheer, wat 'n funksie is van worteldigtheid en -verspreiding. Dit is in ooreenstemming met die bevindinge van Archer en Hunter (2005/6) onder Suid-Afrikaanse toestande. Goeie, konsekwente wynkwaliteit is waargeneem slegs vir gronde met voldoende waterinhoud deur die groeiseisoen, of waar gebrekkige reënval deur goed ontwikkelde wortelstelsels, wat alle beskikbare grondwater kon benut, gekompenseer word. Gronde met beperkte worteldigtheid en -verspreiding veroorsaak 'n wanbalans tussen vegetatiewe en reprodutiewe groei, wat lei tot swak druif- en wynkwaliteit in droë jare. Die kwaliteit van die wortelstelsel is uitgedruk as die verhouding van aantal wortels < 0.5 mm deursnit/m² tot die aantal dikker wortels/m². Gemiddelde verhoudings van 5.25:1 is vir hoë kwaliteit wingerde en 2.0:1 vir lae kwaliteit wingerde gevind. Wingerde met goed verspreide wortelstelsels met volop < 0.5 mm dikte wortels, het

goed gereageer op beperkte reën en kon druifkwaliteit handhaaf. Die verspreiding en kwaliteit van die wortelstelsel was positief gekorreleer met die teenwoordigheid van laterale lote en gepaardgaande aktiewe blare (Archer & Hunter, 2005/6).

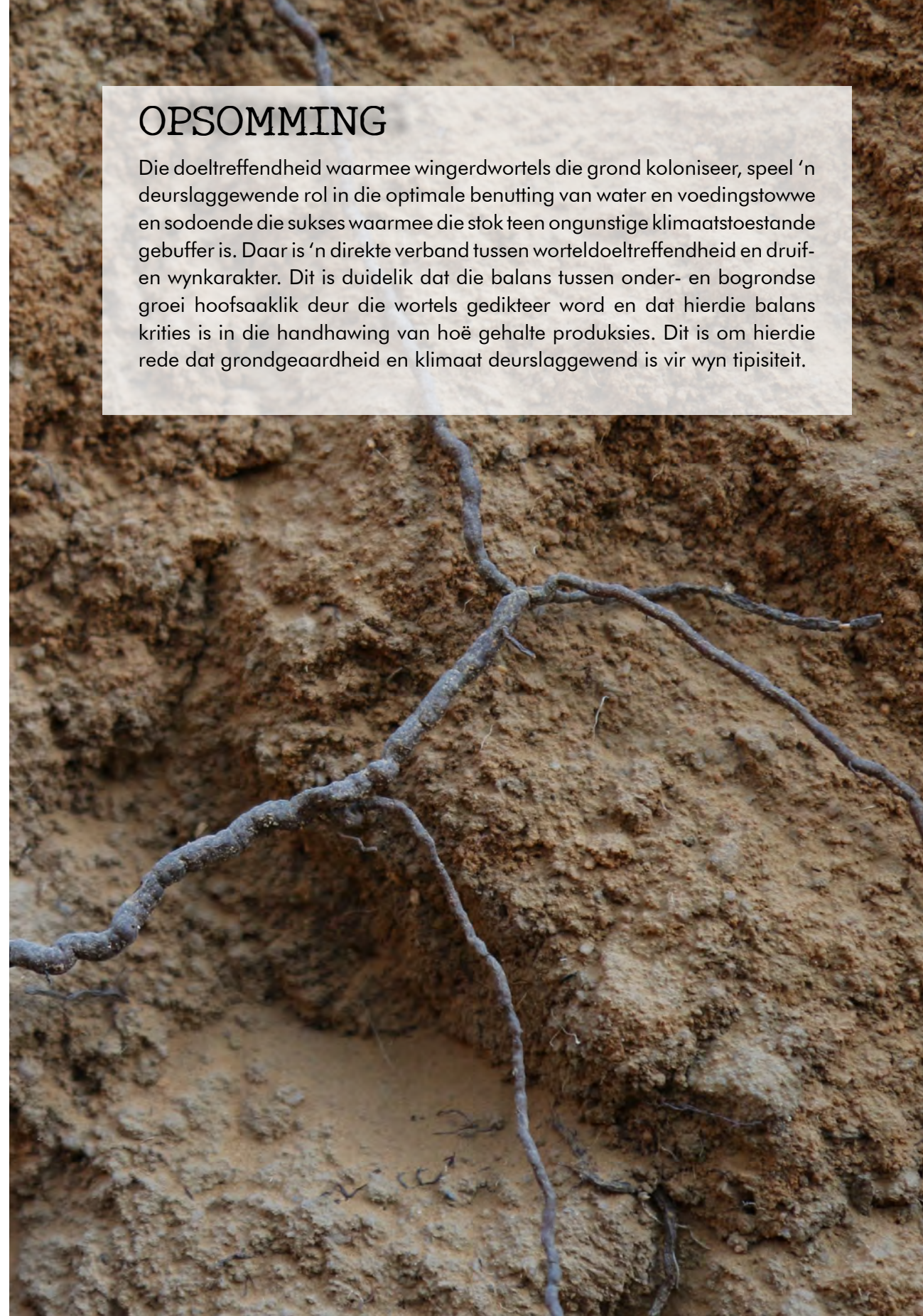
Hierdie resultate bevestig dat modelle wat gebruik word om druif- en wynreaksies op klimaat en grond te evalueer, ook 'n analise van die wortelstelsel behoort in te sluit. Volgens Hunter (1998a) is dit nog onduidelik hoe verskille in grootte van die wortelstelsel druifsamestelling en wynkwaliteit sal beïnvloed.

Volgens Champagnol (1984) kan 'n groot oes slegs verkry word indien groei voldoende lower voorsien het. Hierteenoor, tydens rypwording, vir 'n kwaliteit oes, is die vereiste 'n gestremde wortelfisiologie wat nie groei toelaat nie maar wel verminderde maar gereelde watervoorsiening. Dit kan slegs bereik word in nie-vrugbare grond met diep wortelstelsels. Morlat (1989) vind dat grondeienskappe 'n aansienlike effek op die wingerd se wortelstelsel het en dat laasgenoemde bevoordeel word deur gunstige kombinasie van fisies/chemiese eienskappe met min beperkings. Groeikrag van die stok hou verband met die grootte van die wortelstelsel, soos ook bevind deur Hidalgo en Candela (1969), maar het op sy eie nie 'n direkte verband met tipisiteit van die wyn nie. Ander faktore, in verwantskap met die wortelstelsel en die grond, speel ook 'n rol (Morlat, 1989).

Morlat *et al.* (2010) vind dat die kalkryke klei-leem gronde van die Loire-vallei min beperking het op wortelontwikkeling en die benutting van grondvolume, teenoor die klipperige sandgrond op sandsteen, waar wortels vlak en swak verspreid is. Hierdie verskille reflekteer in bogrondse dele en tydens droë periodes lei dit tot versteurde fisiologie in die geval van die sandgrond en toon die wyn vanaf die klei-leem grond superieure kwaliteit ten spyte van groter groeikrag en produksie en minder sonlig in die trossone.

OPSOMMING

Die doeltreffendheid waarmee wingerdwortels die grond koloniseer, speel 'n deurslaggewende rol in die optimale benutting van water en voedingstowwe en sodoende die sukses waarmee die stok teen ongunstige klimaatstoestande gebuffer is. Daar is 'n direkte verband tussen worteldoeltreffendheid en druif- en wynkarakter. Dit is duidelik dat die balans tussen onder- en bogrondse groei hoofsaaklik deur die wortels gedikteer word en dat hierdie balans krities is in die handhawing van hoë gehalte produksies. Dit is om hierdie rede dat grondgeaardheid en klimaat deurslaggewend is vir wyn tipisiteit.



HOOFSTUK 3

METODES VAN WORTELONDERSOEKE



HOOFSTUK 3

METODES VAN WORTELONDERSOEKE

3.1 Agtergrond

Wortelstudies onder veldtoestande is steeds die stiefkind van die wetenskap (Böhm, 1979). Bekende metodes is langdradig en vermoeiend en akkuraatheid van resultate nie altyd goed nie, wat baie navorsers ontmoedig om sulke wortelstudies te doen. Die doel van wortelekologie is ondersoek na die effek van omgewingsfaktore op wortelontwikkeling en kan beskryf word as wortelgeografie of risografie. Die belangrikste ekologiese faktore is bulkdigtheid, grondsterkte, waterregime, grondlug en voedingstowwe. Die ander aspek van wortelnavorsing is wortelfisiologie, waar byvoorbeeld probleme met seldeling in wortelpunte of die vervoermeganismes van ione in jong wortels ondersoek word.

Sistematiese wortelstudies is in die 18de eeu begin, waarna vir meer as 100 jaar geen belangrike navorsing gedokumenteer is nie (Böhm, 1979). Weens toename in gebruik van minerale misstowwe in die tweede gedeelte van die 19de eeu, het toenemend meer akkerbouwetenskaplikes in wortelstudies begin belangstel deur van uitgrawings en uitwas van wortels in profielwande gebruik te maak. Dit was die Amerikaanse plantekoloog, J.E. Weaver, wat aan die begin van die 20ste eeu die eenvoudige uitgrawingstegniek met tuingereedskap tot erkende wetenskaplike tegniek ontwikkel het, wat die oorwegende metode van wortelstudies oor die hele wêreld geword het tot die middel van die 20ste eeu. Terselfdertyd is begin met die gebruik van houters vir wortelstudies en die waarneming van wortels agter glaspanele, met twee klein wortellaboratoriums wat aan die begin van die 20ste eeu in Duitsland gebou is. Ook aan die einde van die 19de eeu is in Amerika verdere vordering gemaak deur groot monoliete met 'n metaalraam toe te maak, draadstawe daardeur te druk en dan die grond uit te was sodat die wortels in bykans natuurlike posisie waargeneem

kan word. Hierdie metode is verbeter met die klassieke naaldbord-metode, wat ook in Rusland op groot skaal deur die leidende wortelnavorsers aldaar gebruik is (Böhm, 1979).

Le Roux (1941) verwys ook na die baanbrekerswerk van Weaver, wie van mening was dat die funksionering van bogrondse plantdele grootliks deur die verspreiding en aktiwiteit van die wortelstelsel bepaal word en dat kennis hiervan dus van uiterste belang is. Le Roux verwys ook na 'n ander prominente navorser van East Malling, W.S. Rogers, wat ook die belang beklemtoon het van volle begrip van plantwortel-geaardheid en die effek van eksterne faktore daarop, maar dat kennis daarvan nog onvolledig is weens die moeilikheidsgraad van ondersoeke op groot wortelstelsels. In teenstelling hiermee beweer J.O. Veach en N.L. Partridge in 1932 dat, vanuit 'n boomgroei- en produksie-oogpunt, die laterale- en diepteverspreiding van wortels relatief onbelangrik is, op voorwaarde dat daar voldoende water en minerale voorraad is (Le Roux, 1941).

Wortelstudies is moeilik omdat wortels nie geredelik in grond gesien kan word nie, dit maklik beskadig word en moeilik is om te meet weens die groot aantal en variasie daarvan (Richards, 1983). Nogtans is wortelstudies essensieel omdat wortels in die bogrondse water- en voedingbehoefte van die plant voorsien en hormone sintetiseer wat benodig word vir die ontwikkeling van die lootstelsel.

3.2 Metodes

Böhm (1979) klassifiseer die verskillende benaderings tot wortelondersoeke as volg:

3.2.1 Uitgraving (ook bekend as 'geraamte' metode): Dit is die oudste metode en behels die graaf van 'n sloot aan die buiteomvang van die wortelstelsel en dieper as die wortelstelsel, gevolg deur versigtige verwydering van grond om die hele wortelstelsel bloot te lê (droë uitgraving), gepaard met die teken of fotografering van wortelposisies. Dit vereis groot hoeveelheid fisiese werk en is baie tydrowend en meer geskik vir houtagtige wortels van bome en struik as vir gras of eenjarige plante. 'n Modifikasie is die uitwas van grond met water (nat uitgraving) of verwydering van grond met lugdruk (Van Breda, 1937) of vakuum. Met die sektor metode modifikasie word net 'n gedeelte van die wortelstelsel

nagegraaf. Gewoonlik word 'n 1 - 3 m sloot ongeveer 50 cm vanaf die stam gegrav, so diep as wat die wortelstelsel dikteer en grond uitgegraaf tot teen die stam om sodoende die hart van die wortelstelsel te ontbloot. Horisontale uitgrawings word meestal vir boomwortelstudies gebruik. Grond word vanaf die stam uitgegraaf en uitgesuig of -geblaas, tot hoofwortels blootgelê is en 'n tou- of draadnetwerk oorgespan vir beter teken van die wortels.

3.2.2 Monoliet: Blokke grond word met 'n graaf of meganiese gereedskap uitgehaal en grond met behulp van uitwas verwyder. Die vierkant monoliet-metode behels die graaf van 'n ongeveer 1 m sloot tot maksimum worteldiepte en die verwydering van monoliete (gewoonlik 1 000 cm³) laag vir laag vanuit die profielwand. Die metode bepaal nie wortels wat buite die uitgraving-volume groei nie en sluit ook in die wortels vanaf naburige plante.

3.2.3 Boks: 'n Vierkant monoliet word rondom die plant met houtwande geïsoleer, omgekeel en na 'n wasplek geneem waar een sy verwyder, die monoliet in water geweek, dan 10° gekantel en grond versigtig uitgewas word. Hierdie metode is meer arbeid- en tydintensief as die droë uitgraaf metode en dus nie baie gebruik nie. Geen ander metode behou egter so goed die fynwortels en selfs wortelhare nie.

3.2.4 Hok: Vir driedimensionele beelde word 'n monoliet met die plant in die middel geskep deur slote rondom dit te graaf tot maksimum worteldiepte. 'n Ogiesdraad-net word daarom gepas en skerp drade in parallel rye deur die ogiesdraad en monoliet gestee. Die boonste grondlaag word verwyder en met gips vervang om die plant regop te hou. Die grond word dan van bo met water *in situ* uitgewas. Die dwars drade hou die wortels in plek, wat dan gefotografeer kan word. Hierdie metode is baie tyd- en arbeidsintensief, 'n volledige wortelstelsel word selde verkry, fynwortels bly nie in posisie nie en klou saam wanneer dit nat is.

3.2.5 Naaldbord: Dit is waarskynlik die mees algemene wortel-studiemethode wat beeldvoorstelling en kwantitatiewe metings kombineer. 'n Grondmonoliet met verteenwoordigende monster van die wortelstelsel word geneem met behulp van 'n spesiale houtbord waarin naalde is (gewoonlik 5 cm vierkantpatroon, 5 - 20 cm lank) wat wortels in hul natuurlike posisie hou. Die naaldkant van die bord kan swart gevef word vir beter kontras vir

foto's of 'n swart plastiekvel kan vooraf oor die naalde gedruk word, wat nuttig is om uiteindelik die wortelstelsel in sy oorspronklike posisie uit te lig. Die naaldbord word in die profielwand ingedruk of naalde deur voorafgemaakte gate ingeslaan, die grond langs die sye en boom van die bord uitgegraaf, die sye en onderkant dan met planke toegemaak, die monoliet verwyder, in 'n waterbad geplaas en die grond uitgewas. Die metode is arbeidsintensief en werk nie in klip- of sandgrond nie. Verskeie variasies van hierdie metode is deur verskillende navorsers en vir verskillende plante gebruik, maar blykbaar nie vir wingerd nie.

3.2.6 Grondboor: Dit is die meeste geskik vir die neem van volumetriese grondwortel-monsters. Dit kan met handbore gedoen word, gewoonlik 7 mm binnedeursnit, in 10 cm inkremente tot 1 m diepte, met ten minste vyf monsterposisies per plant of behandeling. Die wortels word uitgewas. Vir dieper monsters kan meganiese kernbore gebruik word, waar die kern in seksies gesny word en die wortels uitgewas word. Die uitwas van wortels neem lank en kan uitgeskakel word deur die grondkern in ongeveer 10 cm segmente te breek en die wortels op beide blootgestelde kante te tel. Hierdie kan gesien word as 'n gemodifiseerde profielwand-metode, maar dit lyk die beste te wees vir veselagtige wortels soos dié van grasspesies.

3.2.7 Profielwand: Dit is waarskynlik van die beste ekologiese wortel-studiemetodes. Le Roux het dit reeds in 1941 in Suid-Afrika vir wingerd gebruik en gerapporteer. Dit is die eerste deur J.E. Weaver in die VSA (1919 - 1926) gedoen, wat sowat 10 cm grond van 'n gladde profielwand met skrapper verwyder het en tekeninge van die blootgestelde wortels gemaak het. Die grond kan ook met druklug of watersproei verwyder word. Die inligting verkry is primêr kwalitatief. Kwantitatiewe data kan verkry word deur slegs sowat 1 cm grond te verwyder en dan die wortels te tel. Werklike aanvaarding van hierdie sg. loopgraafprofiel-metode het gekom na aanleiding van intensiewe wortelstudies wat in 1932 deur Oskamp en Batjer (Böhm, 1979) in boorde in die VSA gedoen is, waartydens die posisies van die wortels met behulp van 'n draad roosterpatroon op die profielwand gekarteer en deursnit-groottes met ooreenstemmend variërende kolletjies of sirkels aangedui is. Hiervoor word gewoonlik grafiekpapier en geskikte skaal gebruik. 'n Modifikasie hierop is die foeliemetode, waarvolgens 'n deursigtige plastiek-plaat met 'n gemerkte roosterpatroon op

die profielwand geposisioneer word, met 'n deursigtige plastiekvel/foelie daarop en die posisie en grootte van die wortels dan direk op die foelie geteken word.

3.2.8 Glaswand: Volgens Böhm (1979), is wortelstudies met hierdie tegniek die eerste keer in onversteurde grond deur McDougall in 1916 gerapporteer. 'n Moderne ontwikkeling is die konstruksie van ondergrondse glasmuur wortellaboratoriums of risotrons. In die geval van onversteurde grond, word kontak tussen die glaswande en grond bewerkstellig deur gedroogde en gesifte grond, afkomstig van en in dieselfde volgorde as die grondhorisonte, in 'n ongeveer 2 cm spasie tussen die glasmuur en grondwand in te vul. Wortels kan karteer word, maar 'n vinniger metode is natrek van wortels op deursigtige plastiekfoelie. Die vinnigste metode om wortelgroei te meet is om interseksies met die roostersisteem (mees algemeen 5 x 5 cm vierkant) op/in die glaspaneel te tel. Wortellengte per cm² observasie-oppervlak, word wortelintensiteit genoem. In gevalle van goeie kontras tussen wit wortels en donker grond, kan foto's geneem word en 'n beeldanalise-rekenaarprogram gebruik word. Inligting oor wortelgroei en -doodgaan kan met tydverloop kinematografies verkry word. As goedkoper alternatief is 'n ander tegniek ontwikkel van deursigtige plastiekbuis met 'n roosterstelsel teen die wand wat in grondboorgate ingesit word. Aanvanklik is interseksies getel m.b.v. 'n spieëltjie en ligbron wat aan 'n staalstaaf in die buis op en af beweeg is, maar tans word digitale kameras gebruik. Hierdie buismetode (minirisotrons) veroorsaak min grondskade en voldoende aantal buise veroorloof statistiese analise.

3.2.9 Indirek: Hierdie is waarnemings van veranderinge in grondwater of nutriënte in verskillende grondlae tussen opeenvolgende waarnemings as aanduiding van wortelverspreiding of -aktiwiteit in die grondprofiel. 'n Ander benadering om wortelaktiwiteit te meet, is die gebruik van kleurstowwe en nie-radioaktiewe en radioaktiewe merkers, waarvan die ³²P isotoop die meeste gebruik word.

3.3 Prominente studies

Belangstelling in die bestudering van die interaksies tussen wortel- en lootstelsels as deel van 'n 'geheel plant-fisiologiese' benadering, het stelselmatig toegeneem. Daar is min kwantitatiewe studies van wortelgroei van wingerdstokke onder veldkondisies deurdat dit baie arbeid vereis

en metings dikwels onakkuraat is weens verliese aan fyn wortels (Mullins *et al.*, 1992). Branas en Vergnes (1957) verdeel metodes wat op daardie stadium gebruik is om wingerdwortels te bestudeer, in twee. Die metode van 'koördinate' (coordonnées) of Böhm (1979) se uitgravingmetode, behels die vasstel van die trajekte van al die wortels in ruimte in drie dimensies. Dit vereis dat die volume deur die wortels benut, progressief van alle grond losgemaak word. Reeds in die begin van die twintigste eeu doen Degrully en Ravaz (1905) hulle klassieke studie op wingerdwortels en graaf wortels na en noteer teenwoordigheid met diepte elke 10 cm vanaf die stok. Dit is baie tydrowend en verhoed dat groot hoeveelhede voorbeelde gedoen kan word. Voorts kan die resultate slegs deur horisontale of vertikale projeksies uitgebeeld word en is daar nie numeriese data nie, wat vergelykings moeilik maak. Nogtans is dit die enigste metode wat 'n benaderde idee gee van die toestande waaronder die wortels versprei. In die vroeë veertigs gebruik Le Roux (1941) in Suid-Afrika ook die metode van nougesette nagraaf van wingerdwortels en die maak van grafiese beelde daarvan. Hy maak ook gebruik van die profielwandmetode. Branas en Vergnes (1957) se 'monsterring' (sondages) metode en Böhm (1979), se 'monolietmetode', behels die herwinning en weeg van wortels wat teëgekomp word tydens die uitgraaf van opeenvolgende lae van gegewe dikte. Die resultate is syfers wat vergelykings moontlik maak. Hierdie tegniek veroorsaak egter die vernietiging van die stok. Branas en Vergnes (1957) gebruik 'n dikte van 25 cm vir die eerste grondlaag omdat daar geen wortels in die eerste 0 - 5 cm gevind is nie en die grondoppervlak-reliëf 'n te dun boonste horison onprakties maak nie. Daarna word 20 cm dik lae gemonster, tot 'n diepte van 125 cm omdat daar dieper baie min wortels voorkom. Wortels is in die herfs met die hand verwyder en van grond skoongemaak en die varsmassa daarvan bepaal. Baie wortelpunte en haarwortels is verloor en daar kon nie 'n metode gevind word om dit te voorkom nie.

In Doll (1954) se wortelondersoek word begin met 'n sloot 3 m lank, 60 cm wyd en 1.5 m diep, vanaf 'n naburige stokry tot teenaan die betrokke stok. Wortels is progressief met pikkies ontbloot, gemeet en deur kunstenaars nageteken (Fig. 3.3.1).

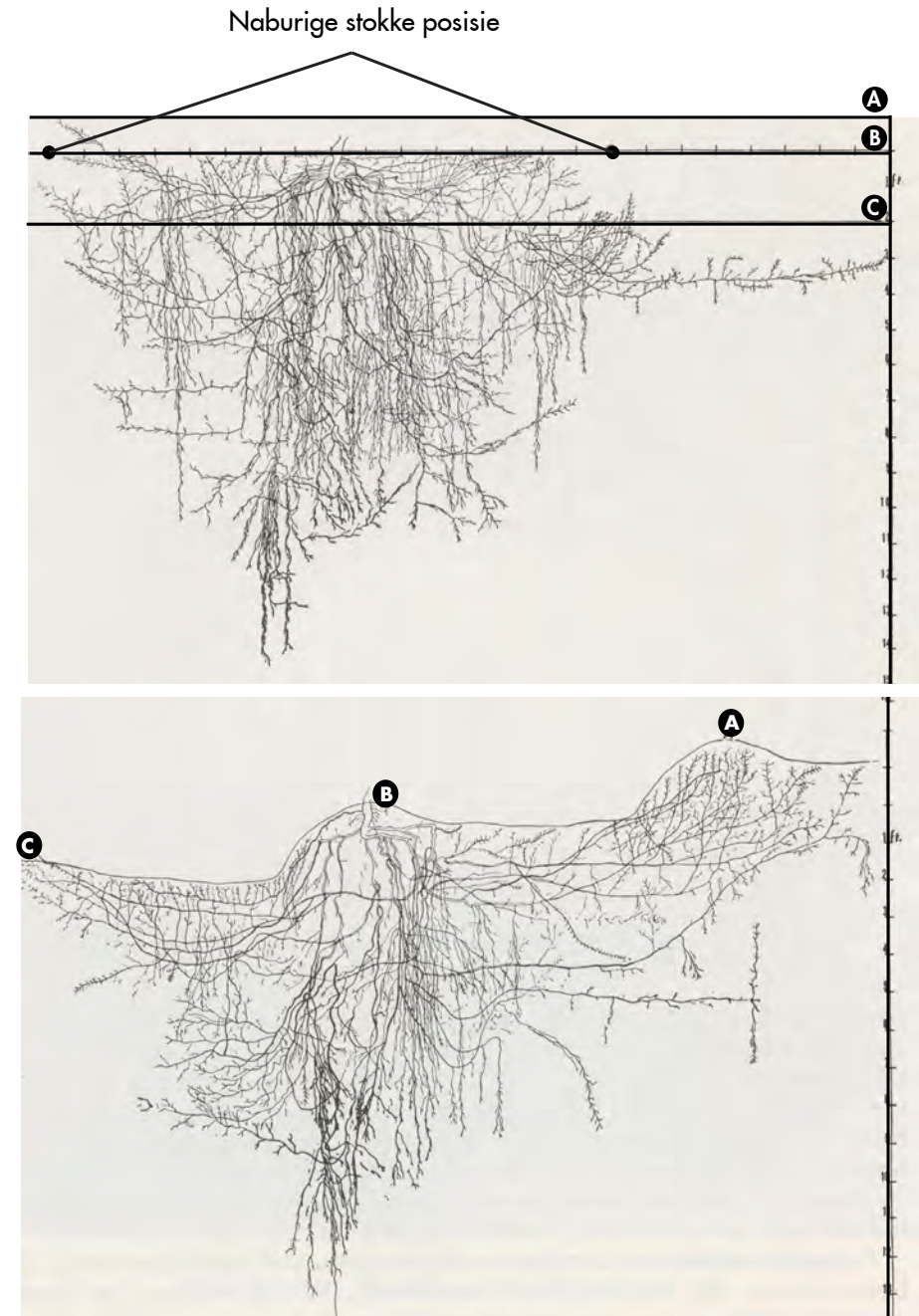


Fig. 3.3.1 Bo: Vooraansig van die meeste van die ontblote wortels.
Onder: Sy-aansig van die wortelstelsel.
A: Die terras aan die bokant.
B: Die terras waarop die ondersoekte stok geplant is.
C: Die terras aan die onderkant van die ondersoekte stok.
(Oorgeteken uit Doll, 1954)

Schuurman en Goedewagen (1955) verwyder 'n monoliet van grond met wortels met behulp van 'n naaldbord met plastiese doek en maak dan eerstens 'n grondfilm met behulp van 'n sellulose-oplossing van onbekende samestelling op die blootgestelde wand van die monoliet. Die grondfilm word verwyder, omgekeer en op 'n bord geplak, waarna die oorblywende grond op die naaldbord uitgewas word, die wortels met die plastiekdoek uitgelig en gedroog word en langsaan die grondfilm op die bord geplak word, wat dan 'n goeie illustrasie is van die grondeienskappe se effek op wortelverspreiding.

In Spanje, graaf Hidalgo (1968) wortels versigtig per stok tot die ekstreem daarvan uit, wat dieptes van 3.25 tot 4.5 m bereik het, alhoewel daar natuurlikerwys min sulke gevalle sal wees. Nog 'n voorbeeld van hierdie tegniek is die klassieke werk op wingerdwortels deur Garcia de Lujan Gil de Bernabe en Gil Monreal (1982) in Jerez, Spanje.

In Ivoorkus gebruik Bonzon en Picard (1969) drie metodes van wortel-ondersoeke van pynappels:

1. Kulturele profiel, waar die effek van verbouingsmetode waargeneem kan word deur wortels wat 'n grondvolume benut, nagegraaf word en onder andere interseksies met behulp van horisontale segmente genoteer kan word. Nie veel herhalings is moontlik nie: dit is destruktief en slegs kwalitatief.
2. Wortelprofiel, waar 'n verteenwoordigende segment van grond met wortels uitgehaal word met 'n naaldbord met 'n plastiekdoek, die grond met of sonder droging en chemiese dispersie met 5% Na-chloried of Na-heksametafosfaat (Calgon), afhangende van die klei-inhoud, uitgewas word en na uitdroging met die plastiekdoek uitgelig en op 'n vel wit papier oorgeplaas en vasgeplak word, waarop dan waarnemings en metings gedoen kan word.
3. Boormonsters, wat met spesiale silindriese bore geneem word en die wortels in die kerne deur 'n stel van 16 en 14 maas-siwwe uitgewas word. Die droë massa hiervan kan bepaal word, maar is onvoldoende vir karakterisering van totale lengte, gemiddelde deursnit en gemiddelde spesifieke massa. 'n Tweede parameter, wat net as funksie van lengte en deursnit varieer, is die diametriese oppervlakte. Die deurlating van lig deur 'n glasplaat waarop die gedroogde wortels in 'n lagie water versprei is, word met 'n foto-elektriese planimeter gemeet en hivolgens die diametriese oppervlak van die wortels met 'n formule bereken.

In Roemenië bestudeer Kubeča (1968) die wortelstelsels van 10-jaar-oue Italiaanse Riesling in sanderige grond met 'n watertafel op 250 cm diepte, vir drie verskillende tussenry-plantwydtes en drie opleistelsels. Wortels van vier stokke is uitgesif vir al drie plantwydtes, vir dieptes 20 - 40 cm, 40 - 60 cm en 60 - 80 cm en geweeg en lengtes gemeet. Wortels is geklassifiseer as < 0.4 mm (net geweeg), 0.4 - 1.0 mm, 1.0 - 2.0 mm, 2.0 - 3.0 mm en > 3 mm.

Vir studies op die periodositeit van wortelgroei en die omvang daarvan, is aanvanklik meestal gebruik gemaak van ondergrondse waarnemingskamers soos dié van Freeman en Smart (1976), McKenry (1984) en Van Zyl (1984). Freeman en Smart (1976) gebruik 'n ondergrondse wortelstudiekamer, 3.6 m vierkant en 2.0 m diep, met vyf waterdigte 0.8 x 0.6 x 1.2 m kompartemente aan twee teenoorstaande wande, met glaswande en draadroosters aan die binnekant vir die waarneming van wortelgroei. Volwasse Shiraz stokke is in die kompartemente in sandleem grond (85% sand) geplant en die patroon van wortelgroei en -reaksie op besproeiing oor twee seisoene bestudeer.

Van Zyl (1984b) doen wortelstudies in 'n Colombar wingerd by vier grondwateronttrekking-regimes met behulp van wortelkamers, gemaak van staalrame (2.5 x 1.5 m reghoek en 1 m diep), bedek met houtpaneel en valdeur vir toegang, met 30 x 30 cm rooster glaspaneels parallel aan die wingerdry, waarin dun draadroosters van 1.2 x 1.2 cm ingeset was (Fig. 3.3.2).

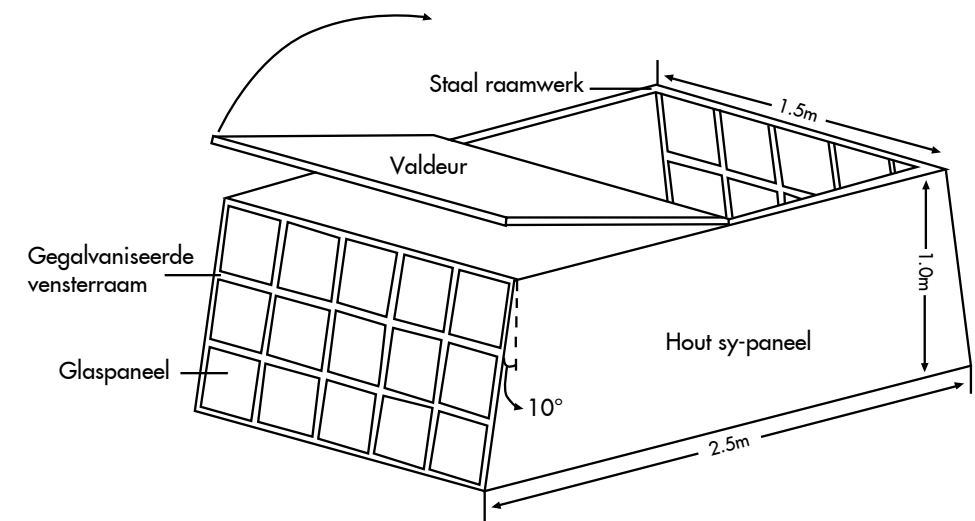


Fig. 3.3.2 Wortelwaarnemingskamer met glaspaneel vir *in situ* wortelstudies. (Uit Van Zyl, 1984b)

Kamers is ingesit tussen en 50 cm vanaf twee stokrye in effens groter gate en gesifte grond rondom ingevul volgens oorspronklike horisonopeenvolging en vir een jaar toegelaat om te stabiliseer voor die aanvang van wortelstudies. Swart plastiek gordyne is voor die glaspaneel gehang om lig uit te sluit en die valdeur slegs oopgemaak tydens weeklikse wortelstudies, wat oor twee seisoene gestrek het. Die aantal aktief groeiende wortelpunte teen die glaspaneel is getel, sowel as interseksies van wit wortels met die draadrooster en wortellengtes bereken met die formule van Böhm (1979): Wortellengte (cm) = $0.786 \times \text{aantal interseksies} \times \text{roostereenheid (cm)}$.

Van der Westhuizen (1980), in sy studies op die effek van plastiekdeklae op wortelverspreiding, haal verteenwoordigende stokke volledig uit tot 0 - 40 cm en 40 - 80 cm dieptes, sif die wortels uit en bepaal die massa daarvan. Van Zyl en Van Huyssteen (1980) bestudeer wortelverspreiding onder verskillende preeelstelsels met behulp van profielgate waarvan die wande dwars oor en in die wingerdry was en waarin die wortels gekarteer is. Worteldikteklasse was < 0.5, 0.5 - 1.0; 1.0 - 5.0; 5.0 - 10.0 en > 10.0 mm deursnit. Saayman en Van Huyssteen (1980) bestudeer die verspreiding van wingerdwortels deur 20 cm dik segmente van 37.5 x 50 cm, in 'n roosterpatroon rondom individuele stokke uit te graaf tot 'n diepte van 120 cm, dit te verkrummel en deur 'n 6.5 mm sif die wortels uit te haal. Wortels is in drie klasse verdeel naamlik, < 2 mm, 2 - 7 mm en > 7 mm deursnit, gedroog en geweeg. Die verspreiding van wortels onder die stok is met 'n rekenaarprogram driedimensioneel op 'n massa/segment-basis geteken. Wortelstudies is ook gedoen in wande van profielgate wat reghoekig oor die wingerdry tot 'n afstand van 150 cm vanaf weerskante van die stok gegrab is, deur die wortels oor 'n afstand van sowat vyf cm versigtig te ontbloot, dit wit te verf en dan op grafiekpapier in die drie dikteklasse te skets. Van Huyssteen en Weber (1980) doen wortelstudies om effekte van bewerkingsmetodes te bestudeer met behulp van profielgate, waarvan die wande wat bestudeer is, 0.4 m vanaf stokke was. Die posisies en groottes van wortels is op grafiekpapier gestip, met grootteklasse van < 0.5 mm, 0.5 - 1.0 mm, 1.0 - 5.0 mm, 5.0 - 10.0 mm en > 10 mm deursnit. Van Zyl en Weber (1981) gebruik profielwande, 50 cm vanaf stokrye, om wortels grafies te skets.

Morlat en Venin (1981) maak gebruik van 1.5 x 0.7 m profielgate, 0.9 m diep, 40 cm vanaf stokrye en doen tellings van wingerdwortels in die profielwand. Vir die swenkgras-dekgewas is wortels met silinders van bekende volume volgens horisonte in die profielwand gemonster. Die swenkgras-wortels is met opeenvolgende uitwas geëkstraheer en gesorteer. Resultate is uitgedruk as aantal wortels/m²/horison vir die stokke of in g wortels/m³ in die geval van die swenkgras. Diep duikende wortels is getel vir 'n bepaalde oppervlak van die profielgat-bodem op 85 cm diepte. Wingerdwortels is in vyf klasse verdeel:

1. Wortels < 1 mm deursnit, min verkurk, met vinnige vervanging en baie doeltreffend vir absorpsie van water en minerale;
2. Wortels 1 - 2 mm deursnit, meer verkurk, afkomstig van permanente wortelstelsel;
3. Wortels 2 - 5 mm deursnit, reeds baie verkurk en permanent;
4. Wortels 5 - 10 mm deursnit, met veral anker- en vervoerfunksie;
5. Wortels > 10 mm deursnit.

'n Assimetrie Indeks (AI) is vir die wingerdwortelstelsel ontwikkel vanaf die profielgate wat aan opponerende kante van die wingerdrye gemaak is (oos en wes). Die AI is klein vir chemiese beheer, maar neem toe met dekgewas, wat dui op minder goeie wortelverspreiding in laasgenoemde geval. In die oppervlak horison is die AI groot onder swenkgras, maar minder vir chemiese beheer. Dit geld ook vir 10 - 25 cm en 25 - 50 cm diepte horisonte, maar tussen 50 - 85 cm diepte is groter heterogeniteit by chemiese beheer waargeneem. 'n Negatiewe korrelasie tussen AI en aantal wortels is waargeneem.

Conradie (1983) groei geënte Chenin blanc stokke in 45 l erdepotte met grond by verskillende pH's. Na vier jaar is stokke uitgehaal en die grond om die wortels uitgewas en die wortels geskei in medium- (>2 mm deursnit) en fynwortels (< 2 mm deursnit) en die droë massa daarvan bepaal. Vir studies op seisoenale voedingstofopname deur Chenin blanc gebruik hy sandkultuur in soortgelyke potte en destruktiewe monstering tydens 14 periodes (Conradie, 1980; Conradie, 1981).

Data verkry van glashuise en potstudies vereis die gebruik van jong stokke (McKenry, 1984). Ongelukkig kan verwag word dat die fenologie van wingerdwortels gedurende die eerste drie jare na vestiging, verskil van dié van gevestigde stokke. McKenzie (1984) gebruik 'n ou onderstokproef met

Thompson Seedless en graaf 'n sloot vanaf die stokry tot in die middel van die tussenryspasie. Grondsegmente van 30 x 30 x 30 cm is vanaf die profielwand uitgehaal, in 'n boksvorm 0.5 cm maas sif geplaas, wat op sy beurt weer in 'n groter emmer geplaas is en die grond met 2.8 - 4.2 kg/cm² waterstraal uitgespoel is. So 'n stel monsters is elke 90 dae geneem. Groot, dooie wortels is gekategoriseer as 'wortelgeraamtes', lewendige wortels as 'strukturele wortels', wat verder verdeel is in > 2 mm deursnit 'groter strukturele wortels' en < 2 mm ook as 'strukturele wortels' maar wat 'n groter aantal vertakkings bevat. Die kategorie 'nuwe wortels' verteenwoordig die aantal nuwe wortelpunte, wat geredelik herkenbaar is op sterkte van kleur, periodisiteit en afwesigheid van 'n kambium of verkurking. Hierdie klassifikasie was voldoende tot mid-somer, wanneer die nuwe 'groeïende wortels' begin nekrotiseer het. Om as wortelpunt getel te word, moes dit 2 mm lengte oorskry, maar hoef nie noodwendig lewendig by die punt te wees nie. Die basis van 'n wortelpunt wat na afbreek oorbly, is nie maklik onderskeidbaar van 'n setel van wortelinisiasie nie, dus is die 2 mm lengte arbitrêr ingebring. Slegs wortelpunte in die 'groeïende wortel' kategorie het die klassieke kleur en vorm gehad wat met voedingstofopname of nematode-aanval geassosieer word. Wortels is geweeg na droging op kladpapier en die volume bepaal deur waterverplasing in 'n maatsilinder. Wortels is gekleur, ontkleur en graad van ontkleuring kolorimetries gemeet, met die aanname dat hoe groter die kleurintensiteit van die ontkleurde wortels, hoe groter is die absorpsievermoë daarvan.

In die Bordeaux area gebruik Soyer (1984) Morlat (1981) se profielwandmetode om effekte van deklae te bestudeer, met 'n profielwand 0.4 m vanaf die stokry en 0.9 m diep, met nege lae van 10 cm dikte en drie wortelklasse, naamlik < 1 mm deursnit, 1 - 2 mm deursnit en ankerwortels > 2 mm deursnit.

Wortelstudies op meerjarige plante is onderworpe aan verskeie beperkinge, naamlik sterk heterogeniteit van wortelverspreiding, groot grondvolumes betrokke, volop assimetrie weerskante van die stokry en groot variasie in worteldeursnit (Morlat, 1989). Hy ontwikkel in die Loire vallei 'n nie-destruktiwe profielwand-metode, met vlakke van worteltellings parallel aan die stokry. Ses meetstokke is uitgesoek volgens die gemiddelde omtrek van 100 bo- en onderstokke, waarvan die helfte van die wortelstelsel van 'n stok bestudeer is met behulp van twee slote wat 20 cm daarvan en in die middel van die tussenryspasie gegrAAF is. Die aantal lewende wortels is

volgens grondhorisonte getel, tot dieptes wat gewissel het tussen 95 cm en 125 cm na gelang van die grondtipe. Aanvullend is diepduikende wortels getel op gemiddeld 1 m diepte op 'n horisontale vlak van 15 cm breed op die bodem van die profielsloot, 20 cm van die stokke en in die middel van die tussenry. Drie klasse wortels is gebruik: < 1 mm deursnit (wortels met absorberende wortelhare, min verkurk, met vinnige vervangingsiklus, met belangrike funksies betreffend voeding en sintese van bestanddele); 1 - 2 mm deursnit (meer verkurkte wortels en deel van permanente stelsel); > 2 mm deursnit (sterk verkurkte raam- en permanente wortels, met anker- en vervoer funksies). Wortelondersoek is gedoen voor die begin van die vegetatiewe fase en resultate uitgedruk as aantal wortels/m² en volgens horisonte. Dieselfde metode word later ook gebruik deur Morlat en Jacquet (1993) met Cabernet franc/SO4 in die Loire-vallei.

In twee ondersoek na die wortelstelsels van Pinot noir x 99 Richter in diep voorbereide Glenrosa grond by verskillende plantwydtes, gebruik Archer en Strauss (1985) met drie-jaar-oue stokke 'n wortelontblotingstegniek waar elke wortel deur middel van fyn garingtoue aan die prieldrade gekoppel is of met dun houtpenne in plek gestut is sodat elke wortel in sy oorspronklike posisie gehou is. Hierdie ontbloting is tot op 60 cm gronddiepte gedoen en elke plantwydtebehandeling se wortels is van bo en van die kant teen 'n agtergrond van 20 x 20 cm ruitsisteme gefotografeer. Die hoeke van penetrasie van elke wortel op 60 cm diepte is met behulp van dun draad en 'n gradeboog gemeet. Daarna is hulle lewensgetrou vanaf projeksiebeelde oorgeteken. Met die tweede studie, nege jaar na planting, het Archer (1992) die profielwandmetode van Le Roux (1941), 1.2 m diep en 50 cm vanaf die stokry, gebruik om die volwasse wortelstelsels van elke plantwydtebehandeling aan die hand van verskillende dikteklasse te karakteriseer. Worteldikteklasse was: 0 - 0.5 mm; 0.51 - 2.0 mm; 2.1 - 5.0 mm; 5.1-10.0 mm en > 10 mm deursnit.

Hunter (1998a) gebruik die profielwand-metode en Richards (1983) se worteldeursnit-klassifikasie in dieselfde proef. Voorts is slote op die grense van die stok se plantoppervlak tot 1.2 m diep gegrAAF, die grond om die wortels uitgewas en die wortels in hulle oorspronklike posisie met penne ondersteun, waarvan dan foto's geneem is. Die hele stok is vervolgens uitgehaal en die oorspronklike wortelverspreiding herskep en weer op vaste afstand gefotografeer om beelde van beide horisontale en vertikale wortelverspreiding te verkry.

Swanepoel en Southey (1989) gebruik die profielwand-metode soos beskryf deur Böhm (1979) en 'n 20 x 20 cm rooster, 1.2 m wyd (tussenstokspasie) en tot 1.2 m diepte. Hulle gebruik ook Van Zyl (1984) se voorgestelde wortelindeks (aantal wortels < 2 mm/aantal wortels > 2 mm).

McLean *et al.* (1992) is van die eerste gebruikers van minirisotron-buise in wingerd. Die buise was van deursigtige polibuteraat, 5 cm binnedeursnit en 1.82 m lank, met 3 mm wanddikte, wat in hidrouliese grondboorgate, 45° tot die vertikaal geïnstalleer is (Fig. 3.3.3). Uitstekende risotron-grondkontak is hiermee verkry en beelde van 2.16 cm² is met 'n mikro-videokleurkamera verkry wat van onder af elke 1.2 cm geneem is. Die aantal wortels is met 'n monitor getel en met 'n rekenaarprogram opgeneem.

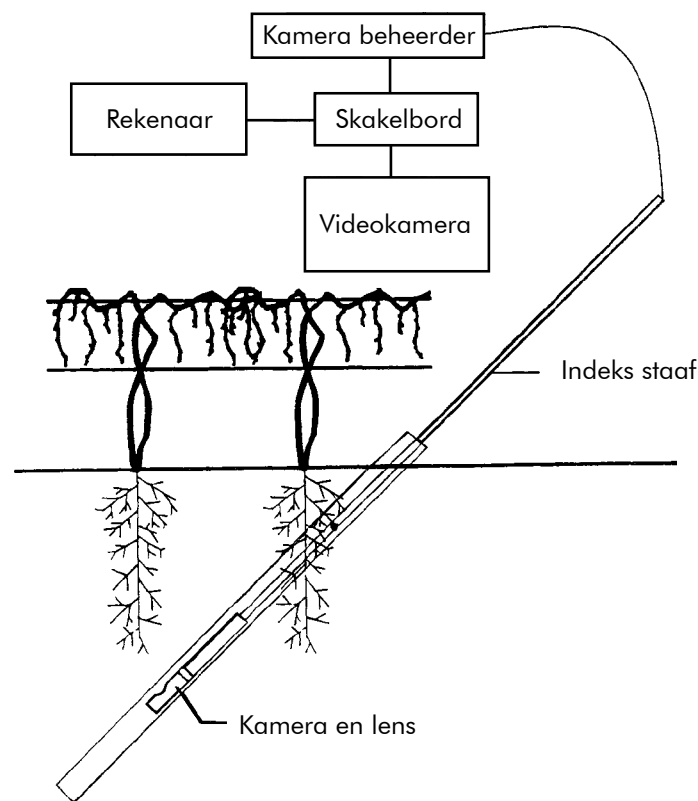


Fig. 3.3.3 Diagrammatiese voorstelling van minirisotron met mikro videokleurkamera opset, insluitende die kontrolestelsel, indekseringshandvatsel en mikro-risotronbuis teen 45° onder die stokke. (Uit McLean *et al.*, 1992)

Buckland *et al.* (1993) stel 'n metode voor vir die berekening van wortellengtedigtheid, waar wortel kontakpunte in bepaalde roosteroppervlakke in minirisotronbuise getel word en met 'n spesiaal ontwikkelde formule na wortellengtedigtheid omgewerk word. Goeie ooreenoms is hiermee met boorkern-monsters vir wilde kersieboomwortels verkry, beter as met interseksie-tellings. Dit suggereer dat kontakpunttellings verkieslik is bo interseksie-tellings vir yl verspreide wortelstelsels soos dié van bome.

Möhr (1996) se ondersoeke in die Mosell-vallei is 'n bydrae tot die kennis van wortelgroei in onversteurde wingerdgrond in 'n gematigde klimaatstreek. Wortelmonsters is geneem tydens 5 - 6 blaar-stadium, begin van blom, voor trossluiting en oes. Grondmonoliete (segmente) van 10 x 20 cm en 20 cm diep is vir vier lae tot 100 cm diep uitgehaal en die wortels daarin met behulp van 'n 1 mm sif uitgewas en geklassifiseer as A: Nuwe wortels met korteks; B: Lewende, bruinkleurige wortels met korteks, ouderdom onduidelik; C: Lewende wortels met periderm, < 2 mm deursnit (fynwortels); D: Lewende wortels met periderm, 2 - 5 mm deursnit (medium wortels) en E: Lewende wortels met periderm, > 5 mm deursnit (dik wortels). Klas A wortels het 'n wasagtige, roomwit-keurige voorkoms gehad en is saam met Klas B wortels as 'absorberende wortels' beskryf. Ten einde lewende wortels in Klas B te identifiseer, is die vars wortels geplasmoliseer en gekleur volgens Krauss en Deacon (1994) se metode. Wortelpunte is getel en in 'n mengsel van 60% etanol en 10% asynsuur gestoor vir verdere ondersoek. Lewende wortels in Klas C is geïdentifiseer deur die korteks daarvan op 'n sif met 'n waterstraal weg te was totdat die periderm sigbaar word. Wortels met 'n ligbruin periderm is geoordeel om lewend te wees. Die lengtes van Klas C-E wortels is outomaties met 'n Comair wortellengte skandeerder gemeet.

Comas, Eissenstat en Lakso (2000) gebruik reduksie van trifenieltetrazolium chloried (kleurreaksie) deur dehidrogenase ensieme, waarvan die meeste met mitokondria-funksionering geassosieer en 'n gevestigde toets van vitaliteit is. Hulle vind 'n goeie verwantskap hiermee met wortelrespirasie en dat met verbruining daar 77% vermindering in metaboliese aktiwiteit van wortels is.

Hunter en Volschenk (2001) gebruik die profielwandtegniek soos deur Böhm (1979) beskryf en soos deur Hunter en Le Roux (1992) gemodifiseer, vir wortelstudies op Chenin blanc/99 Richter stokke te Robertson. 'n Sloot, ongeveer 1.4 m diep, is parallel met die wingerdry en 30 cm daarvanaf

gegraaf. Wortels is grafies geskets tot 1.2 m diepte en tot halfpad tussen stokke in vyf dikteklasse nl. < 0.5 mm, 0.5 - 2 mm, 2 - 5 mm, 5 - 10 mm en > 10 mm deursnit tot 1.2 m diep en volgens Richards (1983) gekategoriseer as fyn-, uitbreiding-, permanente- en raamwerk-(>5 mm deursnit) wortels.

Anderson *et al.* (2003) gebruik helder butiraat-buise, 7.7 cm buitedeursnit en 183 cm lank, wat teen 30° met die vertikaal met behulp van verharde staalbuis, 'n hoekgids en voorhamer geïnstalleer is, ongeveer 50 cm vanaf die stam van Concord stokke. Drooggesifte grond is vir goeie kontak langs die buiswande ingegooi. Buis was geëts met 127 genommerde 1.0 x 1.5 cm vensters op die boonste wand van die buis en beelde is met 'n miniatuur videokamera verkry en geprosesseer soos beskryf deur Comas *et al.* (2000). Datums waarop wortels gevorm is, gepigmenteer raak, swart word en verdwyn, is genoteer. Comas *et al.* (2005) doen ook oor vier seisoene metings van wortelreproduksie van Concord stokke met behulp van soortgelyk geïnstalleerde 5.7 cm buitedeursnit minirisotron-buise. Beelde is elke tweede week met 'n mini-videokamerasisteam verkry. Styselinhoud van verhoude wortels is bepaal deur wortels te monster van stokke by die minirisotrons, waarvan die periderm na droging, en voor fynmaal daarvan, verwyder is.

Smart *et al.* (2006) bestudeer die wortelverspreidingdata vanaf profielwandstudies ten einde worteldiepte, soos bepaal deur genotipe, grondgeaardheid en omgewing, te tipeer. Hulle gebruik 'n teoretiese model wat deur Gale en Grigal (1987) vir bome voorgestel is, naamlik $Y = (1 - \beta^d)$, waar Y = die fraksie wortels vanaf die grondoppervlak tot diepte d (cm) is. Die mediaan waarde vir β was 0.9826 ($n = 240$) en die meeste profile het waardes >0.975 gehad. Hierdie waardes plaas die verspreiding van wingerdwortels as van die diepste wat vir plante wêreldwyd waargeneem is.

Soar en Loveys (2007) gebruik 41 mm deursnit en 1 m lang grondkerne wat vanaf die stok op vier plekke, 30 cm uitmekaar, op 20 cm, 85 cm en 150 cm afstande vanaf die stokry meganies uitgeboor is (Fig. 3.3.4).

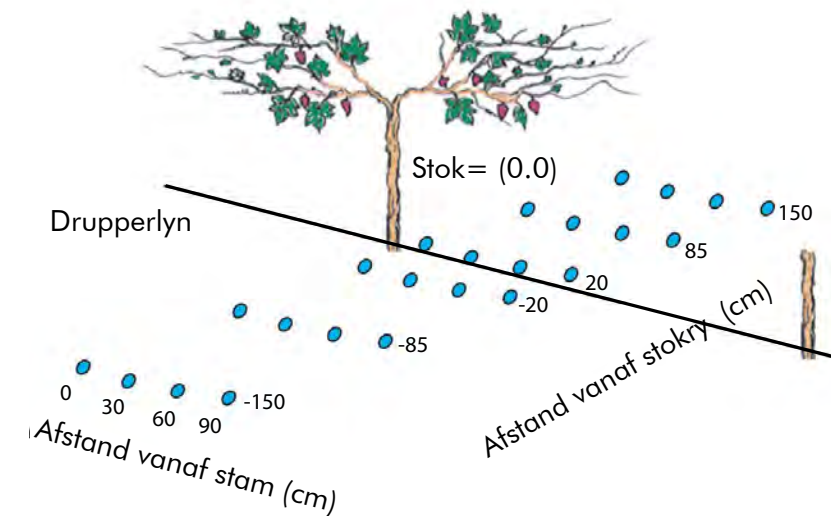


Fig. 3.3.4 Grond-/wortel-monsterpatroon van Soar & Loveys, 2007.

Dit het dus 50% van die stok se grondvolume tot 1 m diepte verteenwoordig. Grondkerne is in 4 x 25 cm segmente verdeel en deur vier siwwe van 6.4, 3.2, 1.6 en 1 mm maasgrootte gewas. Wortels op die twee growwe siwwe is met haartangetjies versamel en wortels op die fyn siwwe is in 'n 2 l tregter, met 5 cm deursnit 0.5 μ m sif in die uitlaat daarvan, oorgewas en dan op 'n 200 μ m filter, waarvandaan dit met haartangetjies versamel is. Gewaste wortels is oorgeplaas in 30% alkoholoplossing en gestoor. Die wortels-alkoholmengsel is op helder Perspex skinkborde uitgegooi en geskandeer. Die wortelbeelde is met 'n Kanadese sagteware-program (WinRhizo) vir lengte en volume geanaliseer. Die mees tydrawende aspek van hierdie tipe wortelondersoek is die sorteer, tel en meet van wortels oor 'n reeks deursnitklasse. Die WinRhizo-program maak hierdie proses vinnig en betroubaar en sluit in die kapasiteit om vals waardes te elimineer.

Bauerle *et al.* (2008) werk met deursigtige plastiek mini-risotronbuise wat teen 30° met vertikaal, 50 cm vanaf stam en weerskante van hoë groeikrag 1103 Paulsen en lae groeikrag 101-14 Mgt stokke, geïnstalleer is. Deurlopende wortelbeelde is geneem oor die lengte van die buise elke twee weke gedurende die groeiseisoen en maandeliks gedurende die rusperiode. Beelde van ongeveer 14 x 18 mm is geanaliseer met WinRhizo Tron MF sagteware vir populasietellings, oorlewing en produksie van wortels. Lehnart *et al.* (2008) gebruik drie 6 cm deursnit, 130 cm lange buise per stok wat teen 90°, 60° en 45° tot die grondoppervlak en respektiewelik 10 cm,

50 cm en 56 cm vanaf die stok geïnstalleer is. Wortels is met 'n kamera op 'n gly-stutraam elke 1.35 cm in die buis af, frontaal en 90° tot die stok waargeneem, in totaal 2 x 76 waarnemings per buis, elke twee weke vir vier jaar. Sigbare vensters was 1.8 x 1.4 cm. Hulle gebruik die formule van Buckland *et al.* (1993) vir die berekening van wortellengte-digtheid.

Morlat (2008) gebruik profielgate van tussenstok lengte, 0.9 m diep en vertikale wande 0.15 cm en 1 m (helfte van tussenry-afstand) vanaf die stokry, met drie gate aan die regterkant en drie gate aan linkerkant van die stokry om voorsiening te maak vir wortelsisteem-assimetrie (Morlat & Jacquet, 2003). Hy tel lewendige wortels op vertikale wande asook diepduikende wortels op die bodem van die gat op 'n horisontale vlak van 0.15 m wyd. Morlat *et al.* (2010) gebruik twee metodes van wortelondersoek in die middel-Loire-vallei, naamlik nie-destruktiwe kwantitatiewe metode deur waarneming van wortels in vertikale wande van gate, waartydens die wortels so akkuraat as moontlik oorgeteken is, en kwalitatiewe weegmetode waar wortels volgens horisonte uit grond gehaal is, in deursnitklasse verdeel en na droging geweeg is. Elke gat is gemaak by 'n stok met stamomtrek (onder- en bostok) na aan die gemiddelde van 'n populasie van 100 stokke.

Tomasi *et al.* (2015) bestudeer die wortelverspreiding van 15-20-jaar-oue stokke in vier verskillende, medium tot swaar tekstuur gronde met behulp van Böhm (1979) se profielwandmetode. Die tussenryspasie was permanente dekgewasse en die bankies is met onkruidodder behandeling. Die profielwande was in die werksry, 60 cm vanaf die stokke gegrav en wortelverspreiding is tot 100 cm diepte en oor 'n lengte van 1.2 m (die tussenstok-afstand), gedoen. Worteltellings is gedoen met behulp van 'n 20 x 20 cm rooster teen die profielwand geplaas, met die stok in die middel. Wortels is verdeel in < 1 mm (dun), 1 - 2 mm (medium) en > 2 mm deursnit (verhout) klasse en resultate as aantal wortels/m² uitgedruk.

Kocsis *et al.* (2016) ondersoek in Hongarye wortelverspreiding met die profielwandmetode (1 x 1.2 m) en bestudeer die wortelgroeipatroon met twee-weeklikse waarnemings met 'n mikrorisotron-kamerasisteem (twee waarnemingbuisse per stok). Totale wortellengte en -massa is bepaal met Root Snap-sagteware.

Edwards (2016) meen dat die beraming van ondergrondse biomassa, soos met grondkerne verkry, die totale ondergrondse koolstof-allokasie onderbemaal deurdat dit nie koolstof wat deur wortelrespirasie, worteluitskeidings of wortelomset (wortels wat tussen metings groei en doodgaan) verbruik word, in berekening bring nie. Minirisontrons is waarskynlik die mees algemeen gebruikte metode om wortelomset te bepaal en is geskik vir navorsing in kommersiële volwasse wingerde. Edwards (2016) gebruik helder, 3 mm dik akriliese minirisontron-buisse (34 mm buitedeursnit) waarop 55 genummerde opeenvolgende vensters van 22 mm wyd en 16.5 mm hoog op een kant gegraveer is. Buisse is 70° met horisontaal geïnstalleer, ongeveer 15 cm vanaf die basis van gekose wingerdstok, met dieselfde afstand vanaf die drupperlyn en vanaf die stam. Die beeldverkrygingsisteem was 'n videoskoop met 'n 80° sysig en geïntegreerde LED ligbron. Beelde is met Root Fly-sagteware geanaliseer, wat wortels genommer en vir lengte en maksimum deursnit gemeet het, sodat elke wortel vir die duur van die projek gevolg kon word. Metings is 12 maande na installasie begin. Grondkerne (50 mm deursnit) is ook tydens bot en na deurslaan vir drie diepteklasse tot 0,75 m diepte geneem om wortelbiomassa te bepaal. Wortels is met was en sif geëkstraheer en lengte en deursnit daarvan voor droging met WinRhizo (Regent Instruments, Canada) gemeet.

Gaiotti *et al.* (2016) gebruik ook die profielwandmetode met slote tot 1 m diep en 45 cm en 90 cm vanaf stokry en klassifiseer wortels as fyn (< 1 mm), medium (1 - 2 mm) en dik (> 2 mm). Giese *et al.* (2016) gebruik profielwande parallel en reghoekig aan die stokry vir wortelinterseksie-tellings en monster grondmonoliete (20 x 20 x 20 cm) met 'n vyfkantige staal kassie, waaruit die wortels gewas en gedroog is vir bepaling van wortelmasse. Hulle neem ook meganiese boorkerne (51 cm deursnit, 1.2 m lank), wat in 'n PVC trog uitgelê en in 20 cm seksies verdeel is, waaruit die wortel gewas en op 'n wit blad gerangskik en geskandeer is. Hierdie beelde is geanaliseer vir wortellengte-digtheid en wortels is vervolgens gedroog en geweeg. Die kumulatiewe fraksie van wortels met gronddiepte is bereken met die model $Y = (1 - \beta^d)$, waar Y = kumulatiewe fraksie met diepte en d = die gronddiepte in cm (Gale & Grigal, 1987). Die geraamde koëffisiënt β , kan gebruik word as 'n numeriese kwantiteit wat diepteverspreiding opsom, met groter waardes van β wat ooreenstem met groter proporsie wortels met diepte.

OPSOMMING

Die klassieke tegniek van wortelstelsels deur versigtige uitgraving te ontbloot, is uiters arbeidintensief en tydrowend en in moderne tye kwalik 'n proposisie. Dit is destruktief, voldoende herhalings is nie haalbaar nie en slegs kwalitatiewe beelde kan verkry word. Hierdie metode is grootliks vervang deur alomgebruikte profielwandmetodes, wat nie-destruktief is, voldoende herhalings moontlik maak en beide kwalitatiewe en kwantitatiewe data kan genereer. Vir die bestudering van die periodisiteit van wortelgroei, is ondergrondse glas-risotrons of wortellaboratoriums aanvanklik gebruik, wat grootliks vervang is deur die gebruik van deursigtige minirisotronbuise, voorsien met elektroniese waarnemingapparaat en gepaardgaande programmatuur vir die verwerking van data.





HOOFSTUK 4

FAKTORE WAT WORTELGROEI
EN -VERSPREIDING AFFEKTEER

HOOFSTUK 4

FAKTORE WAT WORTELGROEI EN -VERSPREIDING AFFEKTEER

4.1 Grondtipe, grondfisiese en -chemiese faktore

Wortelgroei in gronde word deur geo-, chemo- en hidrotropisme beïnvloed (Seguin, 1971). Gronde wat diep wortelontwikkeling bevoordeel, gee aanleiding tot meer groeikragtige bogrondse groei as gronde wat vlakker wortelpenetrasie toelaat. Die verkleining van die wortelsone deur grondkompaksie het die grootte van die wortelstelsels van *Ruprestis* du Lot sowel as *Berlandieri* 41B verklein (Magriso, 1979). Dit het 'n vermindering in die bogrondse groei meegebring met 'n gepaardgaande daling in opbrengs. Wortelgroei was positief gekorreleer met totale porositeit en volume van lugporieë in die grond en negatief met gronddigtheid. Seguin (1971) vind dat worteldieptes van 40 cm tot 5 - 6 m wissel na gelang die aard van die grond ten opsigte van waar kompakte horisonte of harde konkresies voorkom. Wortels word dikwels slegs tydelik deur kompakte horisonte geblokkeer deurdat hulle die oppervlakte van die beperking oorkruis totdat hulle 'n deurgang vind (sagte sone, ou verrotte wortels, wurmgange of natuurlike krake) waardeur hulle kan dring.

Davidson en Hammond (1977) vind dat wortelverlenging van katoen beperk word by grondsterktes bokant 2 bar en dat H.M. Taylor en H.R. Gardner in 1963 gerapporteer het dat geen deurdringing bokant 26 bar plaasvind nie. Laasgenoemde kom tot die gevolgtrekking dat grondsterkte en nie bulkdigtheid nie, die kritiese faktor is wat wortelverlenging in sanderige grond beheer. Bulkdigtheid hou direk verband met grondsterkte maar 'n unieke verwantskap bestaan nie vir alle gronde nie omdat wingerdwortels self verskillende drukke uitoefen om deur die grond te dring

(Fig. 4.1.1). Die effek van meganiese weerstand (grondsterkte) en verminderde deurlugting (poriegrootte) is moeilik om te skei, maar eksperimente van Gill en Miller (1956) toon dat die twee faktore gekombineerd meer effektief wortelgroei verminder as enigeen van die twee alleen.

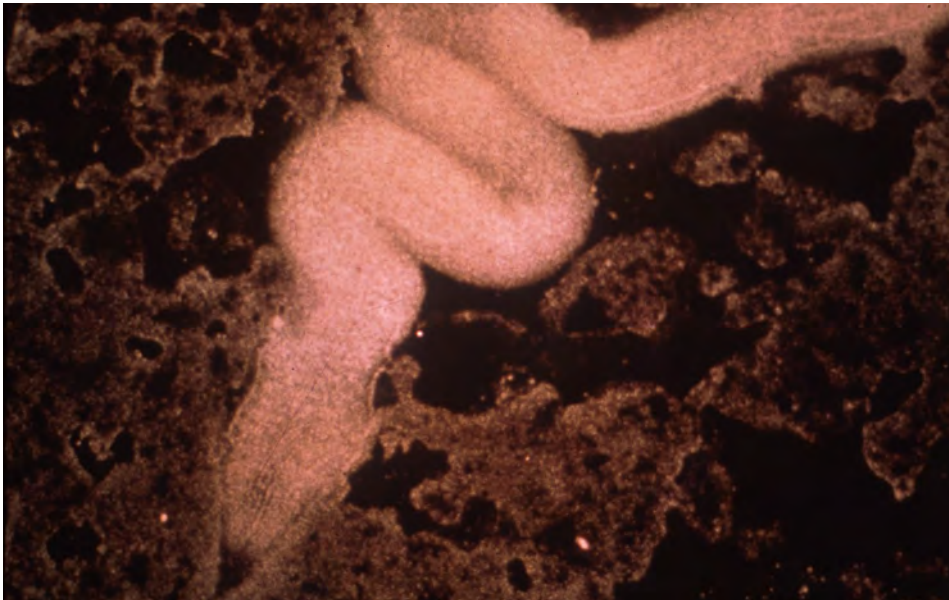


Fig. 4.1.1 Voorbeeld van beperkte grootte grondporieë wat wortelpenetrasie verhinder. (Foto: NIWW)

Van Huyssteen (1988a) vind dat toenemende grondkompaksie wingerd wortelgroei belemmer, maar vind geen kritiese bulkdigtheid- of penetrometer-waardes waarby wortelgroei ten volle verhoed word nie. In grondvoorbereidingsproewe, vind Saayman en Van Huyssteen (1980) vir Chenin blanc/99 Richter in die Stellenbosch omgewing 'n hoogs betekenisvolle direkte korrelasie tussen effektiewe gronddiepte, soos met 'n kontinueerlik registrerende penetrometer bepaal, en beide loot- en oesmassa.

Die wingerdstok het die reputasie dat dit 'n arm-grond plant is en net in sulke gronde kan oorleef weens die vermoë daarvan om die geringste mate van organiese of minerale aansameling te benut. Hierdie chemotropisme word goed geïllustreer wanneer 'n voedingsbron soos organiese materiaal of klei in 'n sone voorkom waar wortels skaars is en die wortels dan op die oppervlak daarvan ontwikkel en dit omhul met 'n digte fynwortel-vertakking (Champagnol, 1984).

Branas en Vergnes (1957) vind dat beperkte gronddiepte nie die sone van meeste wortels verander nie, maar wel die totale massa wortels drasties in alle grondlae verminder, veral in die mees deurwortelde 25 - 45 cm laag (Fig. 4.1.2).

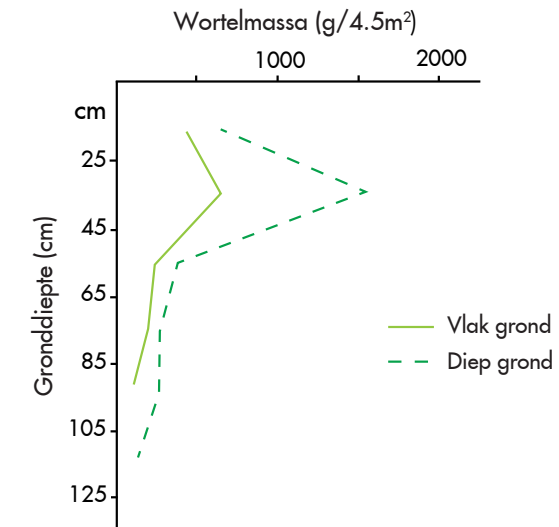


Fig. 4.1.2 Varsmassa van *Rupestris du Lot* wortels in 4.5 m² plantspasie dieptelae van 'n vlak en diep grond. (Oorgeteken uit Branas & Vergnes, 1957)

Die vertikale verspreiding vir die vlak grond is egter meer eenvormig en sal totaal homogeen wees in beperkte spasie soos in 'n houer of pot. Dit dui op regverdiging vir die empiriese praktyk om oppervlakkige wortels na vestiging, verkieslik in die lente of weer tydens die tweede en derde blad, met bewerking te verwyder, met die doel om daarmee dieper wortelontwikkeling aan te moedig.

Grondtekstuur beïnvloed beide die dieptepenerasie en worteldigtheid (Nagarajah, 1987). Hy vind dat growwe tekstuur 220 cm dieptepenerasie en 0.4 mm wortels/cm³ worteldigtheid meebring, terwyl dit 100 - 120 cm en 0.8 - 1 mm/cm³ vir medium tekstuur en 60 - 120 cm en 0.7 - 1.7 mm/cm³ vir fyn tekstuur was. Champagnol (1984) berig dat die voorkeursone waarin die meeste wingerdwortels voorkom deur grondwater en -deurlugting beïnvloed word en dat dit van plek tot plek verskil (Tabel 4.1). Dit is dus foutief om 'n universele wortelverspreidingspatroon vir wingerd voor te hou omdat die betrokke grondeienskappe 'n deurslaggewende invloed daarop

uitoefen. Hierdie is in ooreenstemming met die resultate van Smart *et al.* (2006), wat vind dat wingerdwortels wêreldwyd grond dieper penetreer as die meeste ander plante. Hulle studie dui daarop dat grondeienskappe soos ondeurdringbare lae, klipperigheid en teenwoordigheid van gruislense, 'n groter invloed op diepteverspreiding as genotipe het. Net so vind Morlat en Jacquet (1993) dat die kenmerke van die wingerdwortelstelsel betekenisvol deur die eienskappe van die grond beïnvloed word. Dit was veral die waterhou- en -verskaffingsvermoë van die grond, saam met grondsterkte, bulkdigtheid, tekstuurverskille en kleipersentasie, wat deurslaggewend was op wortelgroei, -verspreiding en -digtheid. Gepaardgaande hiermee vind Williams en Smith (1991) dat wortelverspreiding in die beskikbare grondvolume deur die geaardheid van die grond bepaal word, terwyl worteldigtheid 'n funksie van die onderstokkultivar is.

Tabel 4.1 Die voorkeursoes vir wingerdwortelontwikkeling by verskillende toestande. (Champagnol, 1984)

Omgewing	Grond	Klimaat en Reënval	Deurlugte gronddiepte	Voorkeur-diepte (cm)
Montevideo	Erg kompakte klei	Warm gematig (1100 mm)	Baie vlak	8-20
Montpellier	Sanderig, met 'n bank op 1 m diepte	Mediterreens (750 mm)		20-40
Montpellier	Kompakte klei-leem	Mediterreens (750 mm)		25-50
Madrid	Sanderig Lemerig	Mediterreens (500 mm)		25-50
San Joaquin Kalifornië	Sandleem	Mediterreens		30-70
Jerez	Erg kompakte klei-leem op gebreekte rots	Mediterreens (500 mm)		40-70
Iowa	Deurdringbare slik	Kontinentaal	Baie diep	10-200

Die gronde wat Seguin (1971) in die Margaux (Medoc) gebied bestudeer, het gevorm in kwartêre gruiserige sand, wat op tersiêre vrugbare kleigrond en kalk afgeset is. Die 'swak' grond was dupleks gruiserige sand (1 - 4.5% klei) op klei (35%), met 'n 60 cm diep A- en E- horison (ooreenstemmend met die Suid-Afrikaanse Grondklassifikasie-sisteem se Kroonstad, Estcourt gronde), terwyl die 'normale' grond 90 cm diep, relatief homogene okerkleurige, gruiserige leemsand (9 - 14.5% klei) was (ooreenstemmend met Avalon, Pinedene, Tukulu gronde). Wortelverspreiding in die A- en E- horison van

die 'swak' gronde was yl en vertikaal weens die hangende watertafel op die kleilaag. Die kleilaag is gemarmeriseer met oker- en grys-blou kleure, met enkele swart Fe- en Mn-konkresies. Ten spyte van die kompakte aard van hierdie grondlaag, was wortelverspreiding hierin goed, met goeie koloniserings deur fynwortels. In die 'normale' gronde was wortelverspreiding homogeen oor die volle diepte, met fynwortels meer volop vanaf 60 cm diepte. Hierdie verskille in wortelverspreiding en waterregime reflekteer duidelik in wynkarakter, met laer suiker, hoër pH en appelsuur in die geval van die vlak, dupleks grond.

In die Medoc kom meer fynwortels voor in grondlae waar die Fe in gereduseerde vorm is (grys-blou kleure) as waar die Fe geoksiede en as konkresies voorkom (Seguin, 1971). In sekere gevalle kan die hardheid van die konkresielae oorsaaklik wees, maar hy vind dat, selfs in gevalle waar die ysterryke grondlaag baie bros en goed deurlug is, daar steeds 'n afwesigheid van lewende fynwortels is. Volgens Seguin (1971) verdien hierdie verskynsel verdere diepgaande ondersoek. Dit is ook teenstrydig met wat onder Suid-Afrikaanse toestande waargeneem word. Die teenwoordigheid van 'alios' of eerder die meer realistiese term, ysterkonkresies (aansameling van yster in grond), is altyd as 'n kwaliteitsfaktor beskou, maar Seguin (1971) vind dit nie bevordelik vir wortelvertakking en vorming van fynwortels nie. Dit is dus onwaarskynlik dat Fe-konkresies op sigself 'n voordelige faktor ten opsigte van wynkwaliteit kan wees. Dit lyk egter eerder of dit toestande in die Medoc is wat die vorming van Fe-konkresies bepaal, naamlik die daling van die grondwatervlak in die somer, wat voordelig is ten opsigte van goeie rypword van druiwe.

In die Loire-vallei vind Morlat en Jacquet (1993) dat ses grondfaktore, 71% van totale variasie in wortelverspreiding verklaar. Beskikbare waterkapasiteit en klei-inhoud was positief met worteldigtheid gekorreleer, terwyl penetrometer-weerstand, bulkdigtheid en hidromorfisme negatief was. Wortelverspreidingspatrone was nou verwant aan grondkondisies eerder as aan genetiese aspekte. 'n Goeie verwantskap tussen aantal wortels en bogrondse groei is ook verkry. Opbrengs en druifkwaliteit is gevind om afhanklik te wees van 'n lewensvatbare en gesonde wortelstelsel.

Reeds in 1941 vind Le Roux in die Wes-Kaap dat bulkdigtheid en grondsuurheid met diepte toeneem en dat die P-inhoud afneem. Dit het 'n belemmerende invloed op wingerdwortelgroei en -kolonisasie. Die aantal wortels korreleer positief met grondvrugbaarheid en in sommige gevalle kom tot 91% meer wortels in vrugbare as in arm gronde voor.

Grond pH affekteer ook wortelhaarproduksie: In suurgronde vorm daar minder wortelhare as in alkaliese grond. Volgens Boubals (1977) vertoon wingerdwortels wat erg deur grondsuurheid verswak is, rooi wanneer dit deurgesny word. Dit herinner aan wat in versuipde gronde waargeneem word. Die wortels word benadeel deur vry metaalkatione soos Al, wat wortels in suurgrond nekrotiseer.

Dit word algemeen aanvaar dat uitruilbare Al in suur grond meestal verantwoordelik is vir swak wortelgroei en dat dit < 0.2 (cmol/kg) behoort te wees (Kotze, 1973; Reeve & Sumner, 1970). In Frankryk vind Marcelin (1974) dat stokke swak presteer in grond met $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})} < 5.0$ en dat swak wortelgroei een van die simptome is. Conradie (1983) vind dat die wortelmassas van 140 Ruggeri, 110 Richter en 99 Richter min op bekalking reageer maar lootmassa wel, terwyl die wortelmasa van veral 101-14 Mgt beduidend toegeneem het (Fig. 4.1.3).

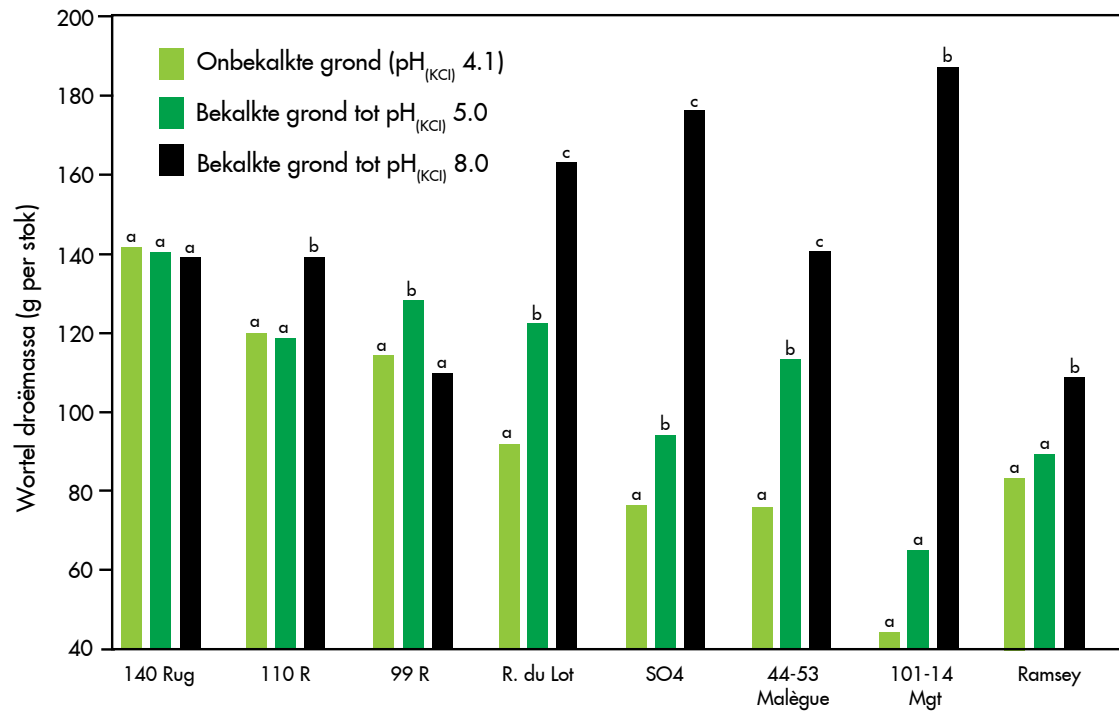


Fig. 4.1.3 Effek van grondsuurheid op die wortelgroei van agt onderstokkultivars. Kolomme met dieselfde letters per onderstok verskil nie betekenisvol van mekaar nie. (Oorgeteken uit Conradie, 1988)

Bekalking tot $\text{pH}_{(\text{KCl})} 6.0$ het betekenisvolle toename in totale wortelmasa oor alle onderstokke tot gevolg gehad (Fig. 4.1.4).

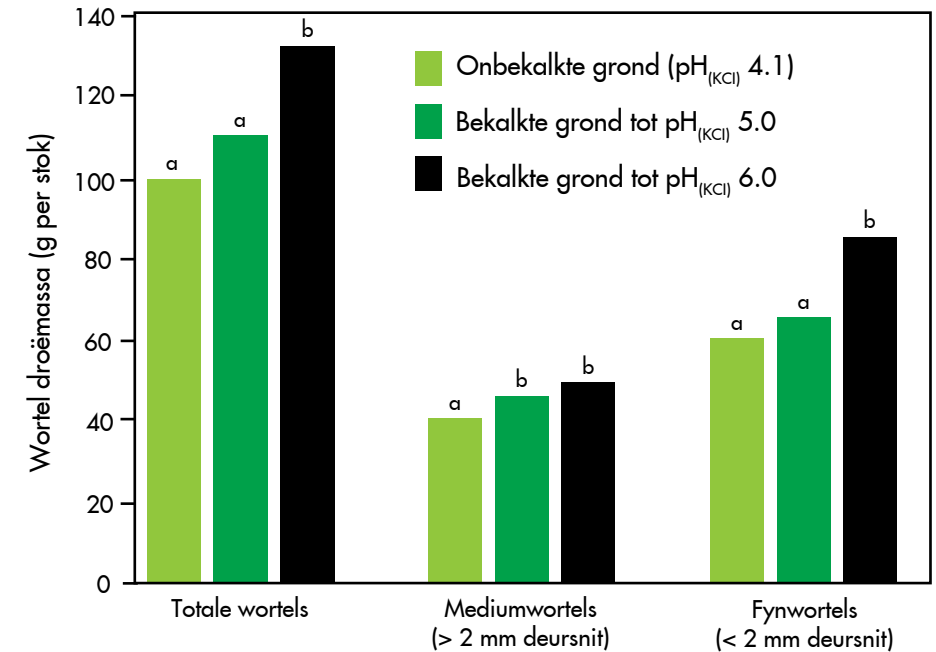


Fig. 4.1.4 Die effek van grondsuurheid op die droëmasa van totale, medium- en fynwortels. Gemiddeld van 15 onderstokkultivars. Kolomme met dieselfde letters per wortelklas verskil nie betekenisvol van mekaar nie. (Oorgeteken uit Conradie, 1988)

Uit bogenoemde is dit duidelik dat grond se fisiese en chemiese kenmerke 'n betekenisvolle invloed op wingerdwortelgroei en -funksies uitoefen. Baie min navorsing bring dit egter in verband met die implikasies wat dit vir stokprestasie en wyneienskappe inhou. Gevolglik is die wortelverspreiding van 15 - 20 jaar-oue-stokke in vier verskillende medium tot swaar tekstuurgronde met behulp van Böhm (1979) se profielwandmetode deur Tomasi *et al.* (2015) ondersoek. In die werksrye was 'n permanente dekgras, terwyl die bankies met onkruidkodering behandel was. Grond en gepaardgaande wortelverspreiding het nie 'n betekenisvolle invloed op totale oplosbare stowwe gehad nie, maar wel op totale titreerbare suur, tyd van rypwording, trosmasa en oes:loutmassaverhouding. Die grondeenheid het 'n hoogsbetekenisvolle invloed op totale aantal en verspreiding van wortels in alle deursnitklasse gehad (< 1 mm (dun), 1 - 2 mm (medium) en > 2 mm (verhout)). Fynwortels was 73% van die totaal en meestal in die

boonste 40 cm van die grond gesetel. Mediumwortels was 20% van die totaal en in die boonste 60 cm grond diepte gelokaliseer, terwyl verhoude wortels hoofsaaklik tussen 20 cm en 40 cm voorgekom het, maar meestal dieper as die fynwortels. Hulle bevinding dat wingerdwortels by spesifieke grondeienskappe, soos waterhouvermoë, aanpas om 'n wingerd:grond ewewig te verkry wat druif- en wyngehalte affekteer, word deur die bevindinge van Van Leeuwen *et al.* (2009) en Pellegrino *et al.* (2004) ondersteun.

Tomasi *et al.* (2015) vind dat die meeste variasie tussen grondeenhede verwant was aan verskille in die waterregime en kon dit verklaar aan die hand van faktore soos grond diepte, tekstuur, watervoorsiening en die stok se vermoë om water te onttrek. Goeie, konsekwente wyngehalte is waargeneem slegs vir gronde met voldoende waterinhoud deur die groeiseisoen, of waar vir gebrekkige reënval deur 'n goed ontwikkelde wortelstelsel, wat alle beskikbare grondwater kon benut, gekompenseer word. Gronde met beperkte worteldigtheid en -verspreiding veroorsaak 'n wanbalans tussen vegetatiewe en reprodutiewe groei, wat lei tot swak druif- en wyngehalte in droë jare. Hierdie belangrike beginsel van balans tussen alle wingerdstok-groeipatrone en -organe word ook deur Archer en Hunter (2004/5) onderskryf. Voorts vind Archer en Hunter (2005/6) 'n duidelike positiewe verband tussen wortelstelselsamestelling en wynkwaliteit en dat dit veral die fynwortels is wat gedurende warm, droë somers, wynkwaliteit bepaal. Hulle lê klem op die doeltreffendheid van fisiese en chemiese grondvoorbereiding voor plant en ook op die maak van goeie plantgate tydens plant (Archer & Hunter, 2010). Bogenoemde resultate bevestig dat modelle wat gebruik word om druif- en wynreaksies op klimaat en grond te evalueer, ook 'n ontleding van die wingerdwortelstelsel behoort in te sluit.

Seguin en Compagnon (1970) vind dat die diepte van deurworteling van deurslaggewende belang is by die voorkoms van vaalvrot by Merlot op gruiserige sandgrond van die Bordeaux area. Deurworteling is diep in goed gedreineerde grond, met minder wortels in die oppervlaklae. Reën tydens rypword het dus 'n groter effek op wateropname by vlak gewortelde stokke omdat die hele wortelvolumen eensklaps waterversadig word en luukse wateropname veroorsaak dan dat korrels bars en Botrytis infeksie intree.

Die verskille in die prestasie van Chenin blanc, soos deur verskillende onderstokke geïnduseer (kyk ook Tabela 4.3.2, 4.3.3 en 4.3.4), is in drie verskillende lokaliteite in Suid-Afrika ondersoek (Southey & Archer, 1988).

In Vredendal (Olifantsrivier) is die wortels van ses onderstokke ondersoek in 'n sanderige slikgrond wat as 'n Dundee grondvorm geklassifiseer is (MacVicar *et al.* 1977). Die genetiese wortelgroei-eienskappe van die onderstokke is totaal deur die grondfisiese eienskappe oorheers. Die alluviale grond het, weens historiese oorstromings, 'n sliklaag op verskillende dieptes gehad en by alle onderstokke was die meeste wortels in hierdie laag gekonsentreer. Die dieptes van die sliklae het tussen onderstokke gewissel en meegebring dat 101-14 Mgt (met 'n reputasie van vlak wortels) 'n heelwat dieper wortelindringing as 3306 Couderc (met 'n reputasie van dieper wortels) gehad het (Fig. 4.1.5). Ongeveer 70% van die 3306 Couderc wortels en 80% van die 101-14 Mgt wortels was in hierdie sliklae gekonsentreer. Die wortelmassa per eenheid grondvolume het drasties tussen onderstokke gewissel, met 1.512 kg/m³ vir 101-14 Mgt en slegs 0.391 kg/m³ vir 333 EM.

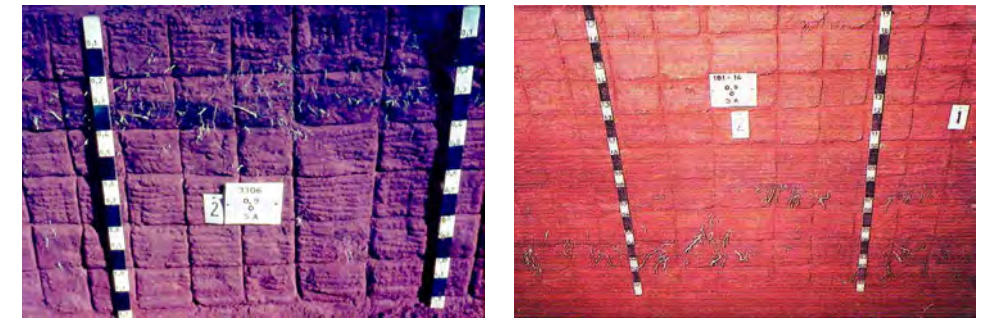


Fig. 4.1.5 Wortelverspreiding word sterk deur die grondfisiese geaardheid gedikteer. Links: Wortels van 3306 Couderc meestal in die sliklaag op 200 - 400 mm gekonsentreer. Regs: Wortels van 101-14 Mgt meestal in die sliklae op 800 - 1000 mm en 1400 - 1600 mm gekonsentreer. Ruitgrootte: 200 x 200 mm. (Southey & Archer, 1988)

OPSOMMING

Wingerdwortels het 'n voorkeur om in grondsones te groei waar die minste weerstand ondervind word. Hierdie weerstand is normaalweg fisies van aard, maar chemiese beperkings (oormate en/of tekorte) speel ook 'n groot rol. Wêreldwyd penetreer wingerdwortels gronde dieper as meeste ander boomgewasse. Vir elke situasie het wingerdwortels 'n voorkeur grondsones waar die meeste wortels voorkom en hierdie voorkeursone wissel in diepte na gelang die grondeienskappe verander. In hierdie verband is dit veral die waterhou- en -voorsieningsvermoë, grondsterkte, bulkdigtheid, tekstuurverskille en kleipersentasie wat 'n groot rol speel, terwyl grond pH en P-inhoud ook dikwels deurslaggewend is.

Daar is 'n balans tussen bogrondse- en ondergrondse groei en dit word hoofsaaklik deur wortelgroei bepaal. Hoe groter (meer intensief) die wortelgroei is, hoe groter is die bogrondse groei en *vice versa*. 'n Goed gebufferde wortelstelsel met 'n balans tussen fyn-:dikwortels is verantwoordelik vir gebalanseerde bogrondse groei wat direk op druif- en wynkwaliteit impakteer.

4.2 Grond- en worteltemperatuur

Oor die algemeen is die temperatuurgrense vir wortelgroei van houtagtige plante 5 - 35 °C, met optimum temperatuur vir wingerdwortels na aan 30 °C (Woodham & Alexander, 1966). Sultanina wortels begin aktief groei by 10 °C, en hou aan groei tot by 30 °C. Vanaf 11 °C tot 30 °C het wortel droëmassa feitlik drievoudig toegeneem en dit het met sterker lootgroei en beter vrugset gepaard gegaan. Dit is in ooreenstemming met die bevindinge van Jooste (1983) met ongeënte stokke in potte dat, oor die algemeen, die hoogste tempo van wortelmasse toename by 20 °C plaasvind, maar dat kultivarverskille wel voorkom (Fig. 4.2.1 & 4.2.2). Anders as die ander kultivars, toon *Rupestris* du Lot steeds 'n sterk toename in wortelgroei tempo by grondtemperatuur van 20 °C tot 30 °C. Graham *et al.* (2002) vind dat lae grondtemperatuur in die lente die bottyd vertraag en die botpersentasie sowel as wortelmasse verlaag.

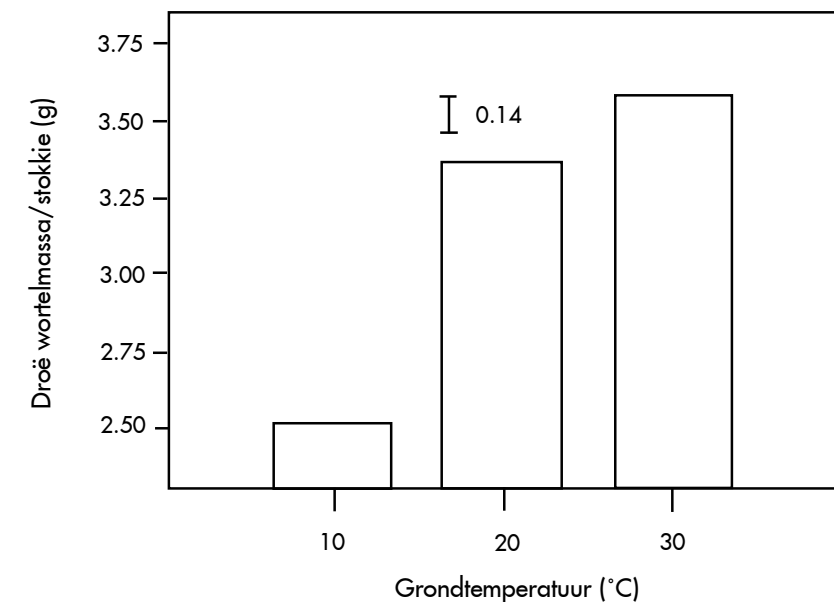


Fig. 4.2.1 Die effek van grondtemperatuur op die wortelmasse van *Vitis*. Vertikale balkie = KBV ($P \leq 0,05$). (Oorgeteken uit Jooste, 1983)

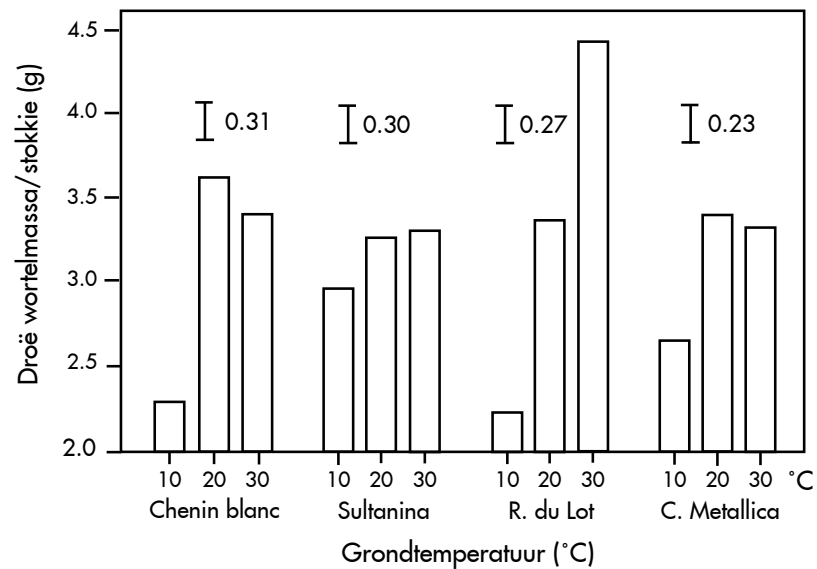


Fig. 4.2.2 Die effek van grondtemperatuur en kultivar op die wortelmasse van wingerdstokke. Vertikale balkies = KBV ($P \leq 0,05$). (Oorgeteken uit Jooste, 1983)

Volgens Rogers (1939) het W.A. Cannon reeds in die middel 1920's bepaal dat die optimum grondtemperatuur vir ideale wortelgroei 20 °C tot 31 °C is. Vascenko (1966) vind dat die meeste wortels voorkom in die grondlaag met optimum temperatuur en dat die wye temperatuurskommeling in die bogrond die normale ontwikkeling van veral fynwortels strem. In hierdie opsig speel grondkleur, grondbedekking en afskerming deur die lower 'n groot rol. Donkerkleurige en rooi gronde (ysteroksied) word gouer warm en behou hul temperatuur langer as ligterkleurige gronde (Seguin, 1971).

Grondtemperatuur is direk gekorreleerd met fynwortellengte en -vertakking, maar omgekeerd eweredig met styselinhoud (Clarke *et al.*, 2015). Wortelvertakking was ook omgekeerd eweredig met styselinhoud, wat daarop dui dat hoë grondtemperatuur vinniger mobilisering van reserwevoedingstowwe in die lente tot gevolg het. Dit het ook die stikstofherverdeling na die bogrondse groei versnel, asook hoër elementinhoud van bladstele tydens korrelset en oestyd tot gevolg gehad, behalwe vir Mg, Na en B. Warmer grond en gepaardgaande beter wortelgroei is gereflekteer in verhoogde lootgroei en blaaroppervlak, maar laer styselinhoude. Grond graaddae is dus 'n goeie voorspeller van die omvang van wortelgroei en styseldegradering tussen bot en vrugset.

Lente grondverwarming inisieer stysel- en N-mobilisasie, wat voordelig is vir beide nuwe wortel- en lootgroei (Clarke *et al.*, 2015). Hoër grondtemperatuur na bot het meer fynwortelontwikkeling en -vertakking tot gevolg, wat voordelig is vir water- en voedingstofopname. Inisiële lowerontwikkeling word dus oorwegend ondersteun deur N afkomstig vanaf reserves, met N-opname uit die grond 'n addisionele bron by warm wortelsone toestande. Warm grond bring verhoogde huidmondjiegeleiding en dus hoër fotosintese tempo mee, wat veroorsaak dat lote positiewe uitvoerders word, wat koolhidraatreserwes hervul en wortelgroei bevorder.

Warmer grond- en dus worteltemperatuur veroorsaak 'n vinniger mobilisering van wortelstysel in die lente, wat nie net die fenologiese stadia vervroeg nie, maar ook groter vegetatiewe biomassa (langer lote, groter blare) meebring (Rogiers & Clarke, 2014). Hoër worteltemperatuur beïnvloed wortelgroei en voedingstofopname positief deurdat fynwortelgroei en wortelvertakking bevorder word. Daarom is 'n hoër konsentrasie van makro-elemente (N, P, K) in bladstele gevind. Worteltemperatuur van 30 °C het betekenisvol meer en dieper wortels sowel as sterker lootgroei as veroorsaak by 20 °C (Skeene & Kerridge, 1967). Dit het praktiese implikasies deurdat grondtemperatuurwisseling in 'n wingerd groter variasies in bogrondse groei meebring, met 'n negatiewe effek op lootgroei homogeniteit en dus gelykvormige druifsaamstelling. Die kleur van die materiaal wat as deklaag op die bankies gebruik word, het ook belangrike implikasies deurdat donker kleure 'n positiewe impak het op die temperatuur in die bogrond, wat fynwortelaktiwiteit vroegseisoen kan bevorder.

Kliwer (1975) werk met worteltemperatuur van 11, 15, 20, 25, 30 en 35 °C en vind dat bot en blom drie tot agt dae vroeër was by 25 - 30 °C as by 11 °C. Die bopersentasie was twee tot drie keer hoër by 30 - 35 °C as by 11 - 15 °C. Die totale lootgroei was maksimaal by 30 °C en so ook die totale blaargetal en -oppervlakte per stok. Die gemiddelde lootlengte, droëmasse per eenheidstamlengte, blaaroppervlakte en blaar- en trosdroëmasse was betekenisvol minder by 35 °C as by die laer worteltemperatuur. Die getal korrels wat per stok set, het nie verskil nie, maar per tros was dit betekenisvol hoër by 11 °C as by temperatuur bokant 30 °C. Hy skryf die verskille toe aan vervroegde wortelaktiwiteit by die medium hoë temperatuur, wat nie net water- en voedingstofopname verbeter nie, maar ook vir hormoonproduksie voordelig is.

Field *et al.* (2009) vind ook dat grondtemperatuur 'n belangrike rol speel in die mobilisering en gebruik van wortelkoolhidraatreserwes vanaf bot tot blom. Gedurende hierdie tyd word beide xileemsapvloeï en die sitokiniensamestelling van die sap deur grondtemperatuur gedikteer. In teenstelling met die resultate van ander navorsers, vind Field *et al.* (2009) geen verskille tydens bottyd tussen grondtemperatuur van 13 °C en 23 °C nie en verklaar dat die tyd van bot eerder deur apikale oorheersing en die getal oë per loot beïnvloed word.

Pituc (1966) vind dat die wortels van wingerdstokke wat op terraswalle geplant is, weg van die wal af groei en skryf dit toe aan te hoë grondtemperatuur op die walle. Plaaslike waarnemings dui daarop dat gronde wat gouer temperature van 10 - 12 °C bereik, vroeër bot, vinniger groei en groter drag tot gevolg het weens vervroegde wortelaktiwiteit, as in die geval van koeler grond. Zelleke en Kliewer (1980) vind dat hoër grondtemperatuur (25 °C vs. 12 °C) die botdatum met 17 dae vervroeg. Die botpersentasie en lootgroei was ook betekenisvol beter by die hoër grondtemperatuur.

OPSOMMING

Grond- en worteltemperatuur het 'n direkte invloed op die aanvang van wortelgroei en die verdere groei en funksionering daarvan. Metaboliese aktiwiteit van wortels begin reeds by 6 °C, terwyl aktiewe groei by 10 °C begin. Optimale groei van wingerdwortels vind rondom 30 °C grondtemperatuur plaas. Gronde wat in die lente vroeër warmer word, het 'n groot positiewe uitwerking op die aanvang van wortelmetabolisme (insluitend die sintese van hormone) met gevolglike groot voordele vir wingerdprestasie. Die groei en funksies van fynwortels (< 2 mm deursnit) word ernstig deur fluktuering in grondtemperatuur benadeel, daarom dat deklaagbewerking voordele vir wingerdprestasie inhou.

4.3 Genetika

Branas en Vergnes (1957) vind dat 110 Richter vlak grond (85 cm) beter benut as *Rupestris du Lot*, met 3 230 g/4,5 m² varsmassa wortels teenoor slegs 1 600 g/4,5 m² vir *Rupestris du Lot*, maar dat 110 Richter meer vlak wortels in nat grond het, wat daarop dui dat dit meer sensitief is vir natheid.

In 'n studie met een-jaar-oud ongeënte onderstokke vind Pongrácz (1968) dat die groeiwyse van die wortelsisteme van 23 kultivars grootliks deur die geaardheid van die grond beïnvloed word. Tog het *Vitis riparia* en sy riparia-verwante nakomelinge vlakker maar digter wortelstelsels gelever. Hierdie wortels was dun, gelerig en met 'n gladde oppervlakte. *Vitis rupestris* en sy rupestris-verwante nakomelinge het dieper wortelstelsels gelever, wat rooi-bruin van kleur is. Hierdie wortelstelsels was ook dig en die wortels van medium dikte. *Vitis Berlandieri* en sy *Berlandieri*-verwante nakomelinge het baie diep, minder digte, dik, vaal-bruin en swak vertakte wortelstelsels gelever. Hierdie wortels is gekenmerk deur 'n growwe oppervlakte. Branas en Vergnes (1957) vind groot verskille tussen die wortelmassas van onderstokke oor 0 - 125 cm gronddiepte en klassifiseer onderstokke hiervolgens, met *Rupestris du Lot* as verwysingsonderstok: Wortelmassas kleiner as *Rupestris du Lot*: *Riparia Gloire de Montpellier*, 3309 Couderc, Kober 5 BB, 161 - 49 Couderc, 216-3 Castel, 1616 Couderc, 106 - 8 M.G., 44 - 53 Malègue, 196 - 17 Castel, 3306 Couderc; Wortelmassa vergelykbaar met *Rupestris du Lot*: 99 Richter, Seleksie Oppenheim no.4 (SO4); Wortelmassas groter as *Rupestris du Lot*: 110 Richter, 41 B Mgt, 333 Ecole de Montpellier, 420-A Mgt, Grezot 1. *Riparia Gloire de Montpellier* se wortelmassa was 0.56 van dié van *Rupestris du Lot*, maar meer eweredig versprei met diepte. Branas en Vergnes (1957) definieer eweredigheid van wortelverspreiding as: Wortelmassa in die 25 - 45 cm maksimum worteldigtheid grondlaag ÷ Totale wortelmassa tot op 125 cm gronddiepte. Hierdie verhouding was 0.51 vir *Riparia Gloire de Montpellier*, teenoor 0.37 vir *Rupestris du Lot*. Met laasgenoemde as verwysing, word onderstokke as volg geklassifiseer: Eweredige verspreiding: *Riparia Gloire de Montpellier*, 99 Richter, 106 - 8 M.G., 41 B Mgt, 333 Ecole de Montpellier, 44 - 53 Malègue, 110 Richter, 196 - 17 Castel, 161 - 49 Couderc. Matige verspreiding: *Rupestris du Lot*, Seleksie Oppenheim 4 (SO4), *Riparia Gloire de Montpellier*, Grezot 1, 161 - 49 Couderc, 3306 Couderc. Oneweredige verspreiding: 216 - 3 Castel, 3309 Couderc, Kober 5 BB, 99 Richter,

110 Richter, 420-A Mgt, 44 - 53 Malègue. (Onderstokke wat in meer as een klas voorkom, is weens grondverskille wat wortelgroei in die boonste of diep grondlae affekteer).

Die gedeelte wortels in die oppervlaklae word deur Branas en Vergnes (1957) uitgedruk as: Wortelmassa in die 0 - 25 cm grondlaag ÷ Totale wortelmassa in 0 - 125 cm gronddiepte, en met *Rupestris du Lot* as verwysing, word onderstokke as volg geklassifiseer: Hoog: SO4, 106 - 8 M.G., 41 B Mgt, 333 Ecole de Montpellier, 110 Richter, 420-A Mgt. Medium: *Rupestris du Lot*, *Riparia Gloire de Montpellier*, Grezot 1, Kober 5 BB, 44 - 53 Malègue, 196 - 17 Castel. Laag: 99 Richter, 216 - 3 Castel, 3306 Couderc, 1616 Couderc, 44 - 53 Malègue, 161 - 49 Couderc. Voorts word die gedeelte wortels in die ondergrond uitgedruk as: Wortelmassa in 45 - 125 cm grondlaag ÷ Totale wortelmassa in 0-125 cm gronddiepte. Hiervolgens is die klassifikasie: Hoog: *Riparia Gloire de Montpellier*, 44 - 53 Malègue, 1616 Couderc, 3306 Couderc. Medium: *Rupestris du Lot*, 99 Richter, 3309 Couderc, 41 B Mgt, 333 Ecole de Montpellier, 196 - 17 Castel. Laag: SO4, 216 - 3 Castel, 106 - 8 M.G., Kober 5 BB, 99 Richter, 110 Richter, 420-A Mgt, 161 - 49 Couderc.

Branas en Vergnes (1957) vind dat wortelmassa nie altyd verband gehou het met bogrondse groei nie, deurdat onderstokke met klein wortelmassas (onder andere *Riparia Gloire de Montpellier*, 3309 Couderc) 'n groot groeikragtigheid kan toon, selfs groter as dié van kultivars met groot wortelmassas (onder andere 420-A Mgt, 333 Ecole de Montpellier). Wanneer wortels dun is, bevat dit meer funksionele wortelpunte as in geval van dik wortels en dit kan dus verwag word dat hulle meer doeltreffend sal wees. Onderstokke met dieselfde wortelmassa kommunikeer nie noodwendig hul kapasiteit aan die bostok nie weens verskillende funksionaliteite en entkombinasie-interaksies.

Oslobeanu (1968) vind dat die totale aantal sywortels per stok deur die onderstokkultivar bepaal word. Stoev en Rangelov (1969) kon aantoon dat die totale massa wortels sowel as die diepte- en horisontale verspreiding van Muscat rouge/*Rupestris du Lot*, minder was as op 41 B Mgt of op eie wortel. Die diepte- en horisontale verspreiding van wortels in dieselfde grond en met dieselfde plantwydte word deur die kultivar beïnvloed (Daulta & Chauhan, 1979). Tussen vyf kultivars was die wydste horisontale verspreiding 1.92 m (by Anab-e-Shahi) en die kleinste 0.93 m (by Gold).

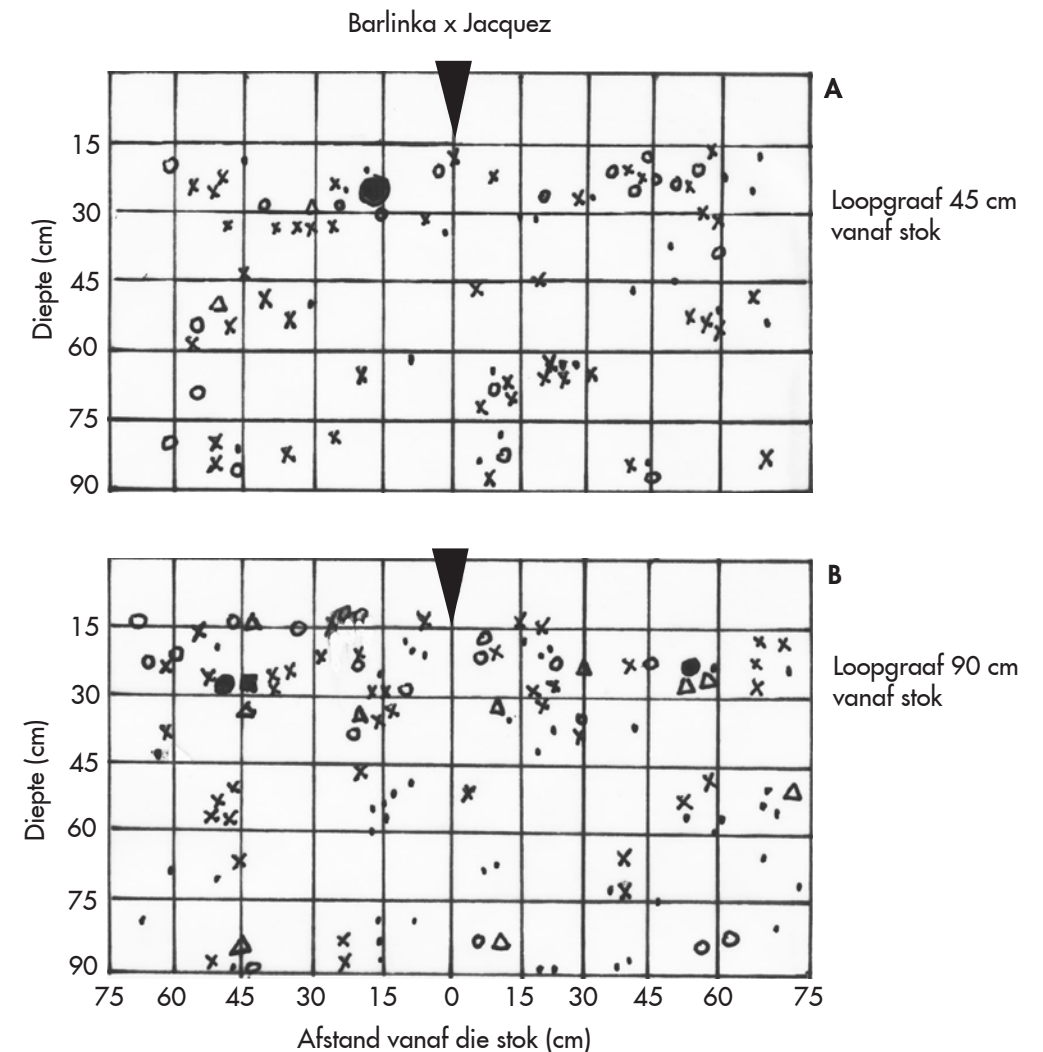
Die grootste aantal wortels op 30 cm afstand van die stam was 26 (by Thompson Seedless) en die kleinste 5 (by Cardinal). Dit toon dat genetica wortelverspreiding dikteer slegs indien grondeienskappe dieselfde is.

Tardáguila *et al.* (1995) vind dat die verskille in wortelgroei en -verspreidingspatrone tussen onderstokke die hooforsaak is vir die verskille in droëmassaverdeling tussen die organe van die wingerdstok. Daar was ook verskille in die konsentrasies van minerale voedingstowwe, met 101-14 Mgt wat die laagste en 41 B Mgt, saam met 420-A Mgt, die hoogste N-konsentrasies in die wortels gehad het.

Volgens Erlenwein (1965) beïnvloed die affiniteit tussen bo- en onderstok wortelgroei en die verspreiding daarvan. Kombinasies met swakker affiniteit toon dunner onderstokstamme met swakker wortelstelsels as dié met beter affiniteit. Dit is veral die wortelgroei in die herfs wat deur swak affiniteit benadeel word (Semina, 1965).

Le Roux (1941) ondersoek wingerdwortels van sewe onderstokkultivars waarop drie bostokkultivars geënt is met onder andere die profielwandmetode wat eers jare later deur Böhm (1979) beskryf word. Voorbeelde van Le Roux se werk word in Fig. 4.3.1, 4.3.2 en 4.3.3 aangetoon. Dit is duidelik dat die afstand vanaf die stok waarop die wortelstudie gedoen word, 'n groot invloed uitoefen op die wortelverspreidingsprentjie wat verkry word. Letwat verder vanaf die stok toon 'n meer intensiewe verspreiding as wat nader aan die stok verkry word. Hierdie bevinding dra grootliks by tot die standardisering van die afstand van die stok vir sodanige wortelstudies op 40 - 50 cm.

Jacquez toon 'n goedverspreide wortelstelsel wat relatief diep in die onbesproeide wingerdgrond penetreer. In die proef klassifiseer Le Roux (1941) egter hierdie perseel as in vrugbare grond geleë. Geen wortels kom egter in die boonste 15 cm grond diepte van hierdie skoonbewerkte wingerd voor nie (Fig. 4.3.1).



Worteldikteklasse:

x = 0.05 - 0.1 cm

o = 0.1 - 0.3 cm

Δ = 0.3 - 0.5 cm

□ = 0.5 - 1.0 cm

● = ≥ 1.0 cm

Fig. 4.3.1 Die wortelverspreiding van Barlinka/Jacquez op Welgevallen Proefplaas, Stellenbosch. (Oorgeteken uit Le Roux, 1941)
Let op die beter verspreiding verder weg van die stok (B).

Le Roux (1941) vind ook dat die fisiese geaardheid van die grond 'n oorheersende rol teenoor genetica speel ten opsigte van die wortelverspreidingspatroon van onderstokke. Fig. 4.3.2 toon duidelik hoe 'n harde, moeilik deurdringbare grondlaag die wortels hoofsaaklik tot die sagter bogrond beperk.

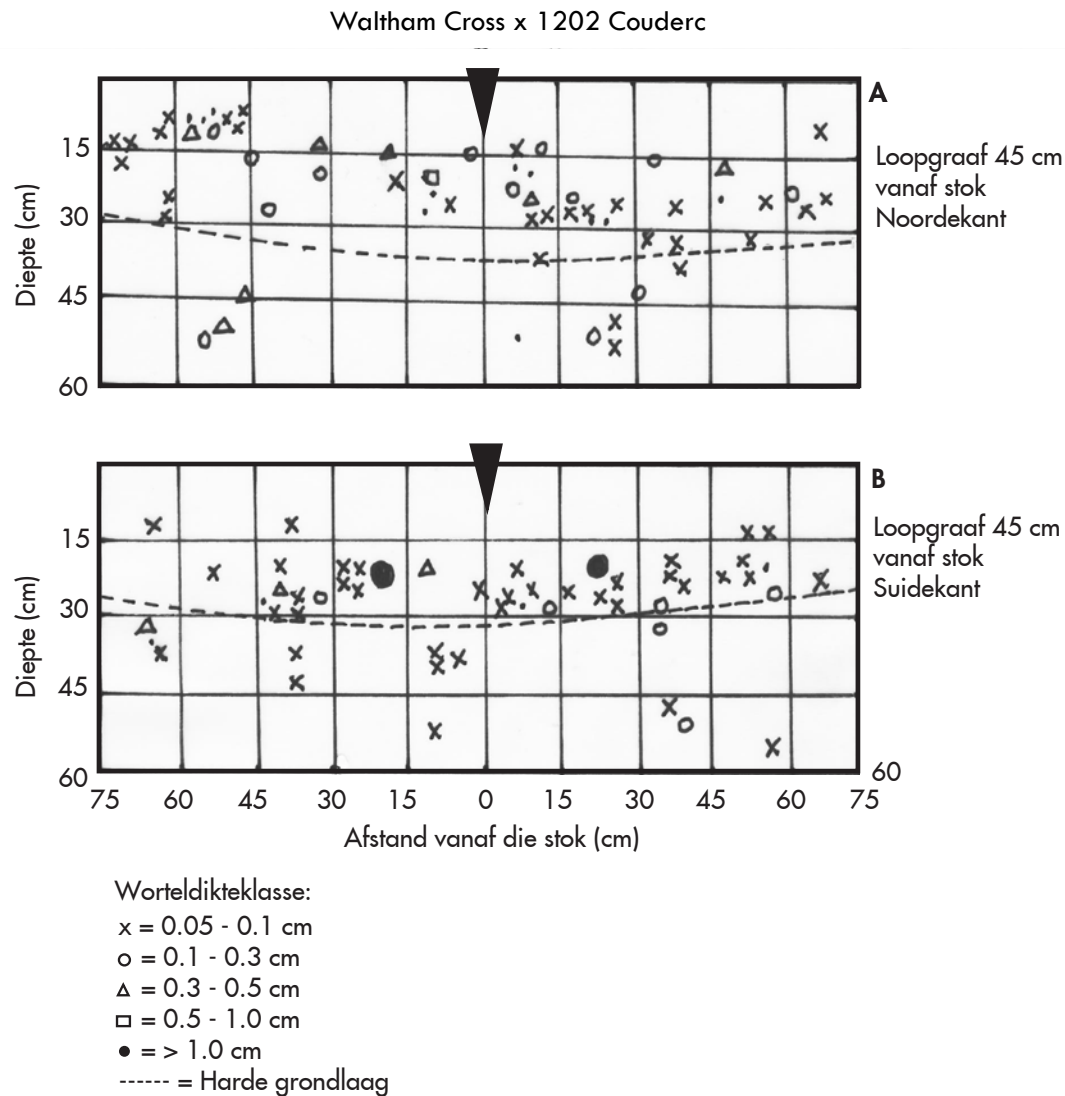


Fig. 4.3.2 Die wortelverspreiding van Waltham Cross/1202 Couderc op Welgevallen Proefplaas, Stellenbosch. (Oorgeteken uit Le Roux, 1941). Let op die impak van die harde grondlaag op die diepteverspreiding van die wortels.

333 Ecole de Montpellier toon duidelik 'n heelwat dieper tapwortelpenetrasie as die ander onderstokke (Fig. 4.3.3) en Le Roux (1941) beskryf dit as deel van die onderstok se geaardheid. Die onderstok toon ook meer wortels in die boonste 15 cm gronddiepte as die van die ander onderstokke wat dieselfde grondvolume tot hulle beskikking het.

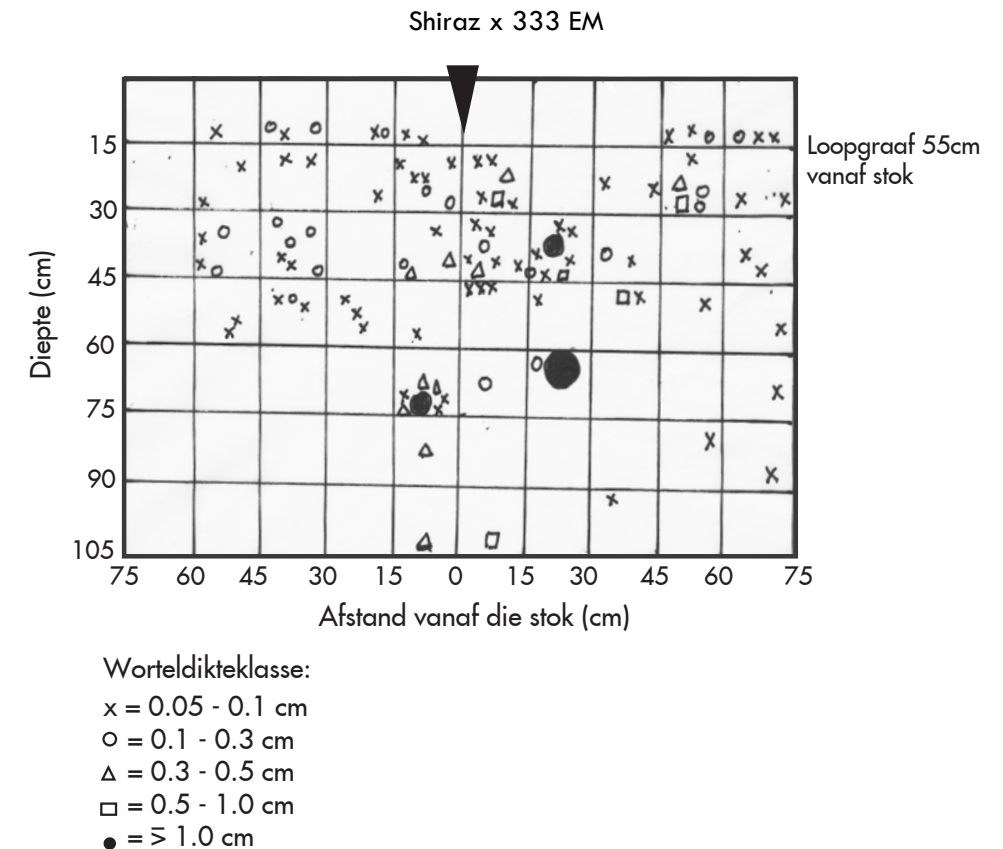


Fig. 4.3.3 Die wortelverspreiding van Shiraz/333 EM op Welgevallen Proefplaas, Stellenbosch. (Oorgeteken uit Le Roux, 1941)

Die raamwerkwortels van Jacquez kom hoofsaaklik in die bogrondse lae voor en daarmee saam word tot 70% fynwortels in die boonste 45 cm van die grond gevind, met bykans geen wortels in die boonste 15 cm nie (kyk Fig. 4.3.1). Die onderstokke 333 EM en 1202 Couderc toon 'n dieper tapwortelstelsel as Jacquez. Alhoewel laasgenoemde minder wortelvertakking toon, kom sy fynwortels veel vlakker voor as in geval van ander onderstokke. Riparia Gloire de Montpellier toon 'n baie tingerige wortelstelsel – die tapwortels is dunner en minder vlesig as in

die geval van die ander onderstokke. Hierdie onderstok laat heelwat meer naburige wortels in sy kolonisasiesone toe, wat 'n teken van swak groeikrag is. Behalwe vir Riparia Gloire de Montpellier, is die raamwerkwortels van 101-14 Mgt swakker ontwikkel as in geval van die ander onderstokke en verder sukkel dit in kompakte grondlae. 'n Baie swak fynwortelstelsel word by 420-A Mgt aangetref. Rupestris du Lot toon swak dieptepentrasie en tot 6 m lange raamwerkwortels is in die boonste 45 cm gronddiepte aangetref, sonder dat enige dieptepentrasie plaasgevind het (Le Roux, 1941).

In 'n studie met Chenin blanc op agt verskillende onderstokke op 'n rooi, sanderige Hutton grondvorm (MacVicar *et al.* 1977) in Lutzville (Olifantsriviervallei), is die proefstokke aan die hand van stamomtrek en lootmassa uitgesoek om verteenwoordigend van elke entkombinasie te wees (Southey & Archer, 1988). Die wortels is met behulp van die profielwandmetode (Böhm, 1979) ondersoek. Die wortels van alle onderstokke wat ondersoek is, het die grond tot op 'n diepte van 1.5 m geopenetreer, behalwe dié van 3306 Couderc, waar geen wortels dieper as 1.25 m gevind is nie as gevolg van 'n kompakte, harde grondlaag. Behalwe vir Ramsey, het die meeste wortels, veral die fynwortels, in die dieper grondlae (>750 mm) voorgekom (Fig. 4.3.4) en dit word aan die meer sanderige geaardheid (vinnige uitdroging na besproeiing) en hoër grondtemperatuur in die bogrond toegeskryf. Die dieper grondlae beskik dus oor 'n meer voordelige omgewing vir wortelgroei. Soortgelyke bevindings is ook deur Van Zyl en Weber (1981) gemaak.

Worteldigtheid het egter grootliks tussen onderstokke verskil, met Ramsey die hoogste en Teleki 5BB die laagste (Fig. 4.3.4). In ooreenstemming hiermee vind McKenry (1984), Ngarajah (1987) en Southey en Archer (1988) dat Ramsey heelwat groter en dieper wortelstelsels met dikker wortels gee as Thompson Seedless. Die voorbeelde in Fig. 4.3.4 is volgens worteldigthede gerangskik, met Teleki 5 BB die laagste en Ramsey die hoogste. Hierdie wortelverspreidingspatrone het verband gehou met die groei- en dragprestasie van Chenin blanc op die verskillende onderstokke (kyk Tabel 4.3.2). Daarmee saam word die doeltreffendheid van wortels betekenisvol deur 'n besmetting met nematodes benadeel (Southey & Archer, 1988).

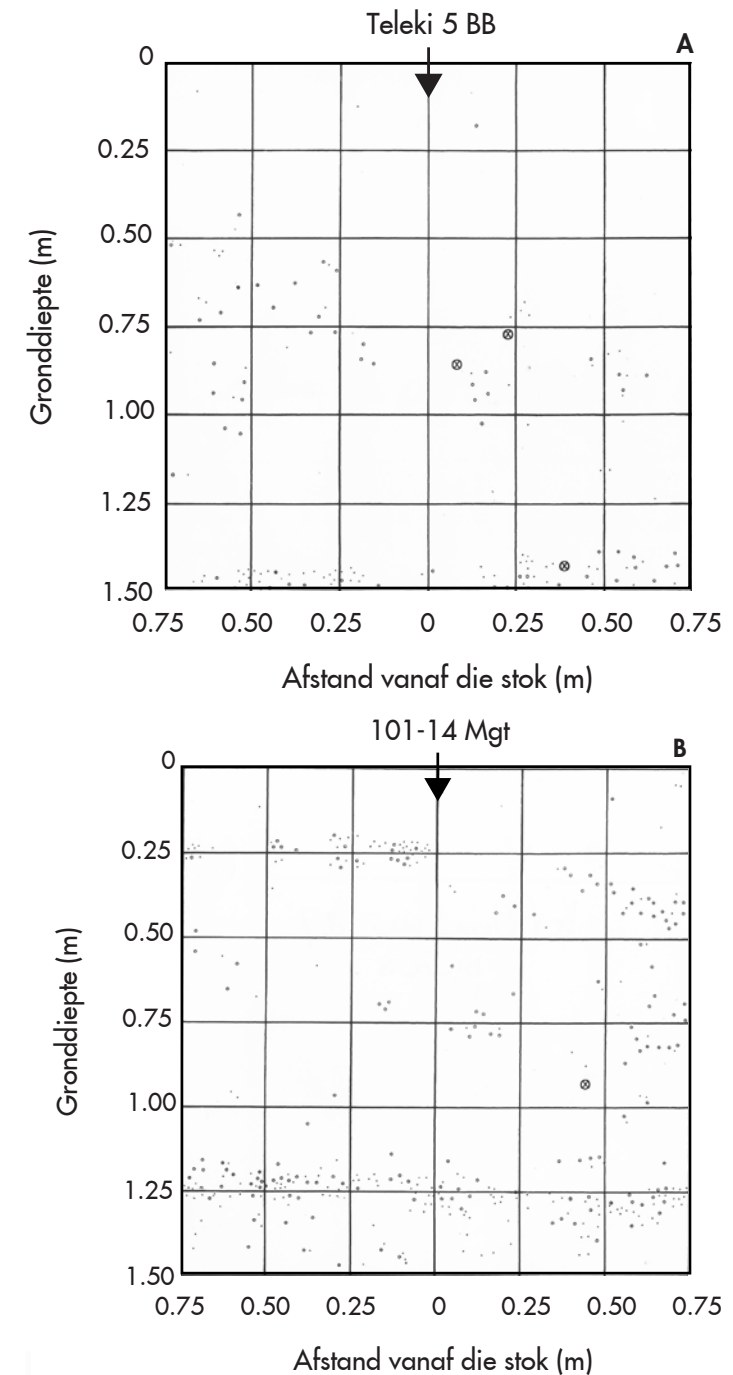


Fig. 4.3.4 A+B Wortelverspreiding van Chenin blanc geënt op Teleki 5 BB (A), 101-14 Mgt (B) in sanderige Hutton grondvorm, Lutzville.
 • = < 1.0 mm, ○ = 1.0 – 5.0 mm, ⊗ = > 5.0 mm.
 (Southey & Archer, 1988)

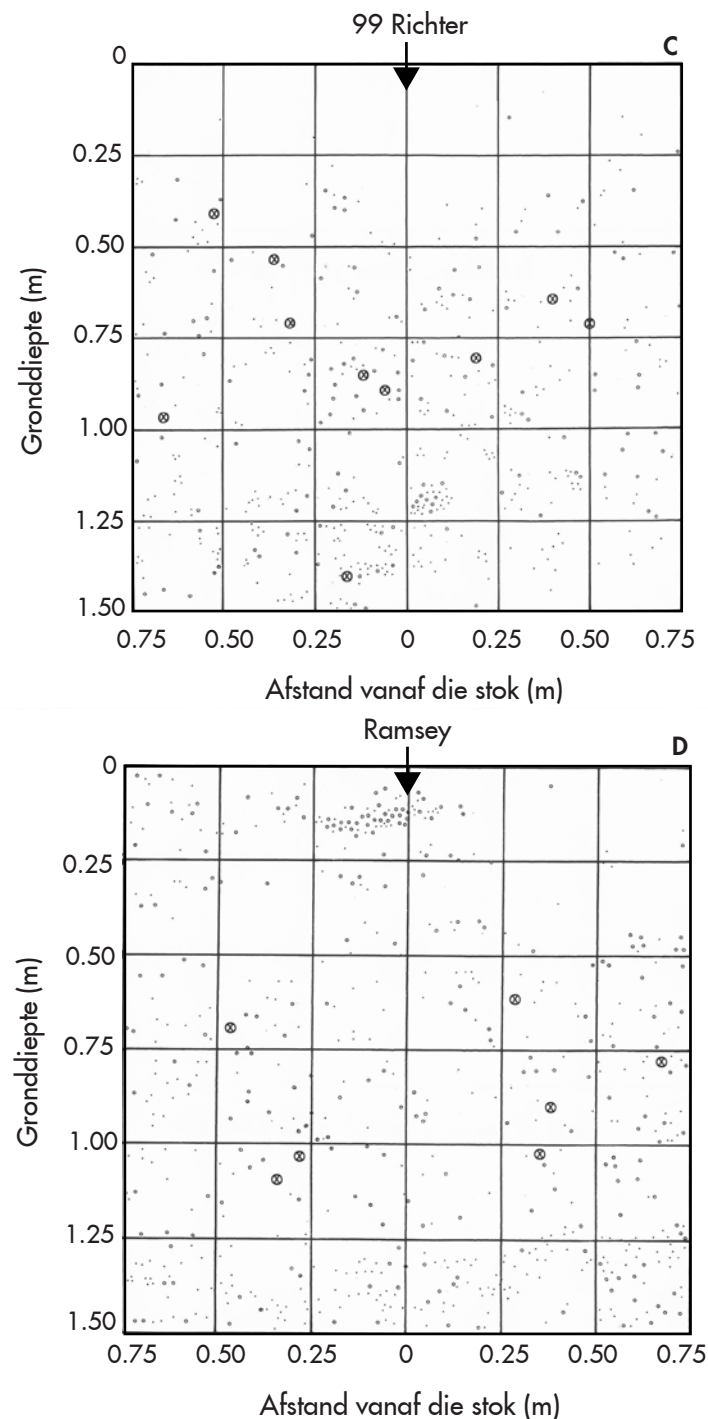


Fig. 4.3.4 C+D Wortelverspreiding van Chenin blanc geënt op 99 Richter (C) en Ramsey (D), in sanderige Hutton grondvorm, Lutzville.
 • = < 1.0 mm, ○ = 1.0 – 5.0 mm, ⊗ = > 5 mm.
 (Southey & Archer, 1988)

In 'n studie met Chenin blanc geënt op ses verskillende onderstokke op 'n Clovelly grondvorm (MacVicar *et al.*, 1977) in die Stellenbosch omgewing onder droëlandtoestande vind Southey en Archer (1988) ook groot verskille in wortelverspreiding en -digtheid (Fig. 4.3.5). Die grond is gekenmerk deur 'n massiewe (struktuurlose) ondergrond op ongeveer 1 m diepte, wat die diepteverspreiding van die wortels van alle onderstokke beïnvloed het. Nogtans het die wortels van 140 Ruggeri, 110 Richter en 1103 Paulsen daarin geslaag om hierdie grondlaag deur krake te penetreer (Fig. 4.3.5), terwyl die wortels van 101-14 Mgt en US 16-13-23 dit nie kon doen nie. Hierdie waarnemings is in ooreenstemming met dié van Saayman en Van Huyssteen (1981), wat vind dat die ondergrondlae van hierdie grondtipe weens digtheid en suurheid nie bevorderlik vir die dieptepenetrasie van wingerdwortels is nie. Die hoë worteldigtheid en diepteverspreiding van 140 Ruggeri en tot 'n mindere mate dié van 110 Richter en 1103 Paulsen, verklaar waarom hierdie onderstokke allerweë as meer droogtebestand beskou word.

Onder intensiewe besproeiing vind Swanepoel en Southey (1989) dat die wortels van 13/5 Berlandieri, 101-14 Mgt, en 1103 Paulsen die donker, humiede slikgronde heelwat beter koloniseer as dié van 140 Ruggeri en US 12-6-8 en hulle skryf dit toe aan die swakker natverdraagsaamheid van laasgenoemde twee onderstokke. Hierdie navorsers vind dat worteldigtheid, wortelindeks (Van Zyl, 1984) en getal fynwortels (≤ 2 mm deursnit) betekenisvol tot opbrengs bydra ($p \leq 0,05$; $r^2 = 0,91$). Die groter getal fynwortels (< 2 mm deursnit) per m^2 profielwand wat deur 13/5 Berlandieri, 101-14 Mgt en 1103 Paulsen in hierdie grond verkry is, het 'n beter lootgroeï en groter drag meegebring (Tabel 4.3.1).

Tabel 4.3.1 Wortelverspreiding en wingerdprestasie vir verskillende onderstokke op 'n donker, slikryke grond.
(Aangepas uit Swanepoel & Southey, 1989)

Onderstok	Getal wortels/m ²	*Wortelindeks	Getal fynwortels (< 2 mm)	Wingerdprestasie (kg/stok)	
				Loot-massa	Opbrengs
13/5 Berlandieri	2069	39.6	1792	3.6	18.2
101-14 Mgt	1604	27.1	1210	2.6	13.8
775 Paulsen	1006	44.7	839	2.3	17.0
1103 Paulsen	2660	41.9	2199	2.1	21.1
99 Richter	1138	28.9	833	1.6	13.1
110 Richter	1468	29.9	1103	2.7	14.9
140 Ruggeri	635	20.2	483	0.7	10.0
US 12-6-8	813	38.7	695	0.4	4.4
US 16 -13-26	1062	18.3	760	1.4	14.4

* Getal wortels < 2 mm ÷ Getal wortels ≥ 2 mm

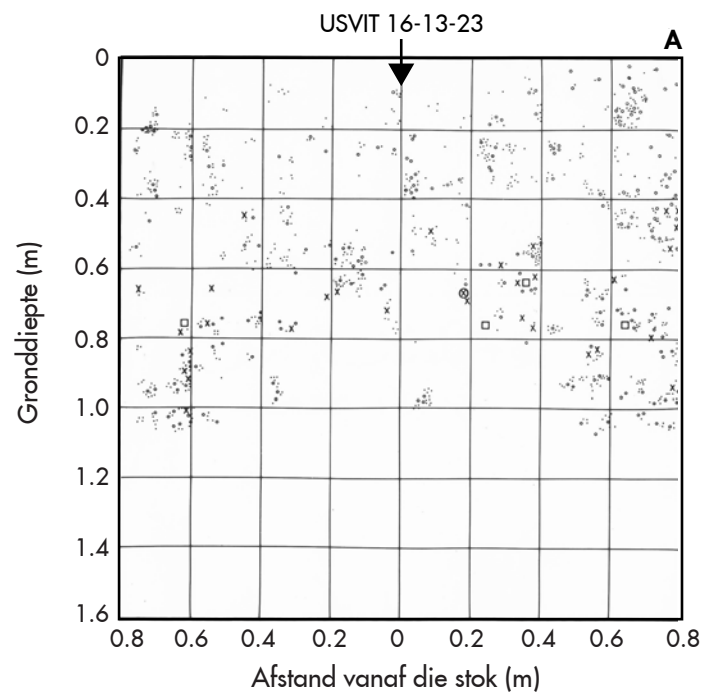


Fig. 4.3.5 A Wortelverspreiding van USVIT 16-13-23, geënt op Chenin blanc in 'n Clovelly grond, Stellenbosch. Worteldikteklasse:
• = < 0.5 mm, ○ = 0.5 – 2.0 mm, x = 2.0 – 5 mm,
□ = 5.0 – 10.0 mm, ⊗ = > 10 mm.

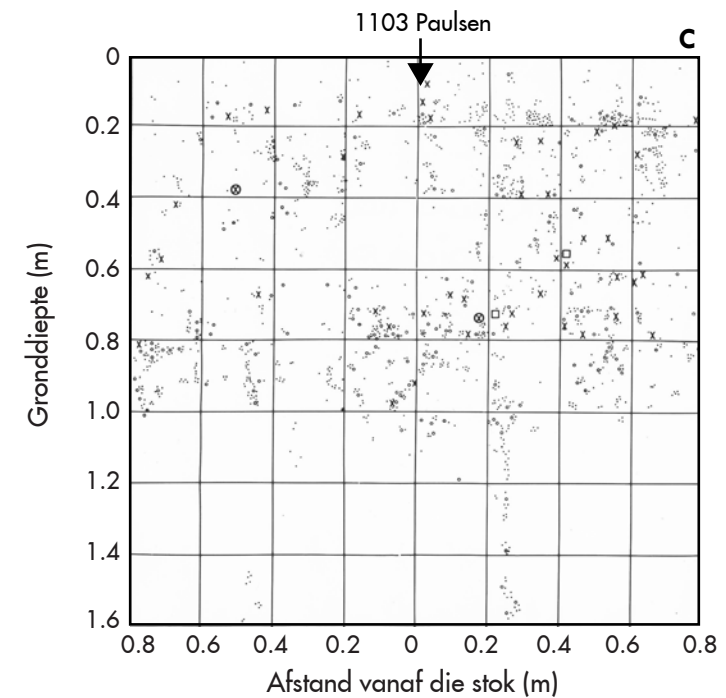
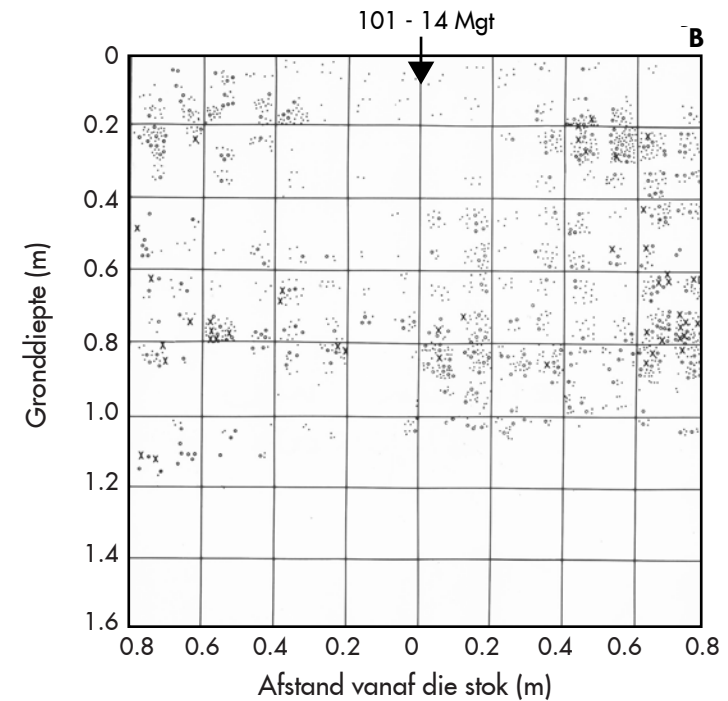


Fig. 4.3.5 B+C Wortelverspreiding van 101-14 Mgt (B), 1103 Paulsen (C), geënt op Chenin blanc in 'n Clovelly grond, Stellenbosch. Worteldikteklasse: • = < 0.5 mm, ○ = 0.5 – 2.0 mm, x = 2.0 – 5 mm, □ = 5.0 – 10.0 mm, ⊗ = > 10 mm.

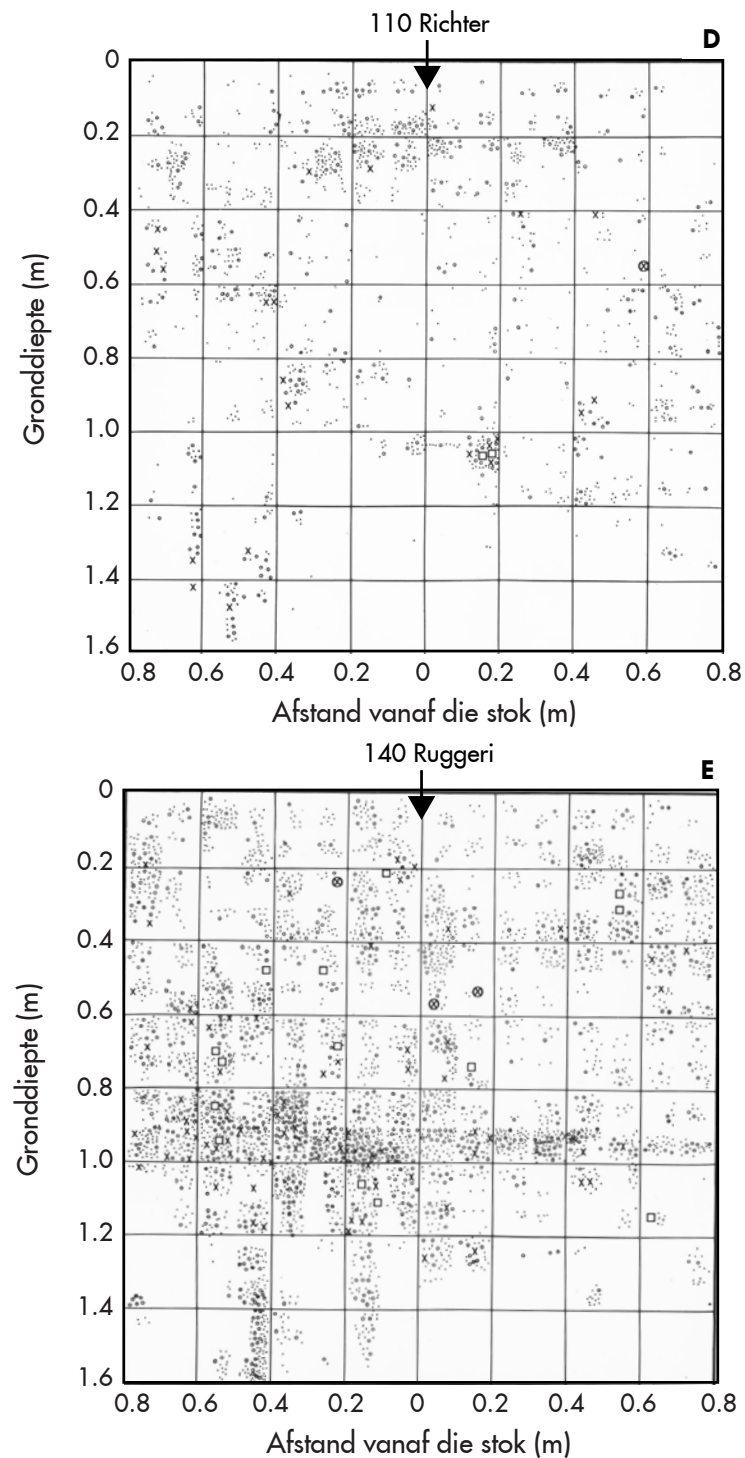


Fig. 4.3.5 D+E Wortelverspreiding van 110 Richter (D) en 140 Ruggeri, (E), geënt op Chenin blanc in 'n Clovelly grond, Stellenbosch. Worteldikteklasse:
 • = < 0.5 mm, ○ = 0.5 – 2.0 mm, x = 2.0 – 5 mm, □ = 5.0 – 10.0 mm,
 ⊗ = > 10 mm.

In teenstelling met bogenoemde vind Penkov en Spirov (1964) met vier onderstokke en 10 entkombinasies, dat die genetiese geaardheid van die onderstok totaal deur die grondeienskappe oorskadu word betreffende dieptepenetrasie. Ongelukkig word verskille in worteldigtheid nie gerapporteer nie. Southey (1992) vind ook dat die grootte en ligging van die sone van maksimum worteldigtheid meer afhanklik is van grondeienskappe, in hierdie geval brak in die ondergrond, as van onderstokkultivar. Vlakker wortelontwikkeling word bevorder wanneer vertikale groei fisies of chemies beperk word. Worteldigtheid het grootliks verskil tussen onderstokke, met 216/3 Castel, 1103 Paulsen en 99 Richter wat die digste wortelstelsels gehad het. 'n Goeie korrelasie is tussen worteldigtheid en bogrondse groei gevind.

Onderstokkultivars met hulle verskillende wortelgroei-eienskappe het 'n groot invloed op wingerdprestasie, afhangend van die grondtipe waarop dit geplant is. Die aangepastheid van Ramsey op besproeiende sandgrond word duidelik in Tabel 4.3.2 geïllustreer, terwyl ander onderstokke soos De Waal, Rupestris du Lot, 3306 Couderc, 143-B Mgt en Jacquez nie so goed presteer het nie. Op vrugbaarder slikggrond het al die onderstokke hoër oeste van Chenin blanc as Jacquez gelever (Tabel 4.3.3). Betekenisvolle verskille kom tussen verskillende klone van 99 Richter voor wat beide groei en drag betref (Tabel 4.3.4). Hierdie gegewens illustreer dat die onderstokkultivar, sowel as kloon, deur middel van wortelgroei-eienskappe, 'n betekenisvolle invloed op die prestasie van die bostok uitoefen. Dit word heel waarskynlik deur verskille in die wortelverspreidingspatrone gedryf.

Tabel 4.3.2 Die groei- en dragprestasie van Chenin blanc op nege onderstokkultivars oor 'n 10 jaar periode op 'n rooi sandgrond te Lutzville. (Zeeman, 1985, Finale verslag, ongepubliseerd)

Onderstok	Lootmassa (t/ha)	Oesmassa (t/ha)
Ramsey	4.22	27.21
99 Richter	3.11	25.93
10 Richter	2.72	25.77
101-14 Mgt	2.61	24.51
De Waal	3.03	23.71
Rupestris du Lot	3.22	21.84
3306 Couderc	1.83	18.29
143-B Mgt	2.30	17.53
Jacquez	1.92	16.44
KBV ($p \leq 0.05$)	0.97	3.71

Tabel 4.3.3 Die groei- en dragprestasie van Chenin blanc op tien onderstokkultivars oor 'n 10 jaar periode op 'n slikgrond te Vredendal. (Zeeman, 1985, Finale verslag, ongepubliseerd)

Onderstok	Lootmassa (t/ha)	Oesmassa (t/ha)
99 Richter	3.87	42.36
Ramsey	3.46	40.81
Metallica	3.21	40.77
143-B Mgt	4.02	40.38
101-14 Mgt	3.16	39.26
110 Richter	2.80	36.50
Rupestris du Lot	3.39	36.49
3306 Couderc	3.01	34.47
333 E.M.	2.82	34.21
Jacquez	1.48	17.39
KBV ($p \leq 0.05$)	1.19	4.12

Tabel 4.3.4 Die groei- en dragprestasie van Chenin blanc op tien onderstokkultivars oor 'n 10 jaar periode op 'n Dundegrond te Montagu. (Zeeman, 1985, Finale verslag, ongepubliseerd)

Onderstok	Lootmassa (t/ha)	Oesmassa (t/ha)
9 Richter (RY 13)	2.50	28.41
Metallica	2.68	27.71
Dog Ridge	2.72	26.28
Ramsey	2.66	25.21
101-14 Mgt (NIWW)	1.93	25.10
110 Richter	2.26	23.62
143-B Mgt	3.22	23.29
101-14 Mgt (KWV)	2.38	22.68
3306 Couderc	2.00	22.41
Rupestris du Lot	2.47	21.08
99 Richter (NIWW)	1.66	20.21
Jacquez	2.04	20.18
99 Richter (2/2/10)	1.49	17.99
99 Richter (RY30)	1.55	17.20
De Waal	1.84	16.54
KBV ($p \leq 0.05$)	0.44	3.36

Harmon en Snyder (1934) werk met 25 bo-/onderstok kombinasies (ongeveer 25 jaar oud) in San Joaquin sandleem grond en vind duidelike verskille in wortelverspreiding tussen onderstokkultivars. Ongeag die bostok, was Australis, Ramsey en Riparia Grand Glabre onderstokke se wortels relatief vlak, met meeste wortels in die eerste 60 cm gronddiepte. Die onderstokke 420-A Mgt, Constantia, 3309 Couderc en Rupestris St. George was algemeen diepgewortel deur die eerste 90 cm gronddiepte, met sommige wortels wat tot in die 1.2 m grondlaag ingedring het. In geheel het dit voorgekom dat Dog Ridge die diepste beworteling het. Wortelmassas het varieer vir beide die onderstok en die groeikrag van die bostok, terwyl tendense ten opsigte van diepte van beworteling blykbaar grootliks deur die onderstokkultivar bepaal word. Vir dieselfde onderstok, was die wortelmassa oor die algemeen die hoogste vir die meer groeikragtige bostokke, terwyl vir dieselfde bostok, wortelpopulasie baie tussen onderstokke gewissel het, beide wat betref diepte van verspreiding en totale massa. In 'n 20-jaar-oue-wingerd met drie onderstokke vind Morano en Kliewer (1994) dat die wortels van Rupestris St. George die gruisgrond dieper en digter koloniseer as wat die geval was met 110 Richter en Aramon Rupestris Ganzin 1. Hierdie verskille het ook in die bogrondse prestasie gereflekteer.

Droogtebestandheid is gekoppel aan sekere worteleienskappe (Branas & Vergnes, 1957). Onderstokke wat min oppervlakkige wortels en/of meer diepwortels vorm, het 'n beter kans om droogte te weerstaan, maar dié met meer klein en dun wortels is meer blootgestel aan droogte. Dit moet aanvaar word dat daar ook verskille tussen onderstokke is wat betref die vermoë van wortels om water by hoë spanning op te neem. Betreffende natbestandheid kan dit wees dat vlakwortelende onderstokke meer bestand sal wees, maar diep wortels is waarskynlik beter aangepas by nat toestande in die ondergrond, vandaar die moontlikheid dat dit diepwortelende onderstokke is wat beter aangepas is en dat die wortels van minder natbestande onderstokke vlak is om van nat toestande te ontsnap. Die meer natbestande 3306 Couderc en 1616 Couderc onderstokke het byvoorbeeld 'n groter gedeelte diep wortels as die natgevoelige, 110 Richter en Rupestris du Lot.

Die wortelstelsels van verskillende onderstokke verskil in hul vermoë om voedingselemente op te neem (Branas & Vergnes, 1957; Kidman *et al.*, 2014) wat in ag geneem moet word indien gepoog word om 'n direkte verwantskap tussen wortelstelsel en bogrondse groei vas te stel. Branas en Vergnes (1957) se klassifikasie van onderstokke volgens die aard van hulle wortelstelsels, word in Tabel 4.3.5 aangetoon.

Tabel 4.3.5 Klassifikasie van onderstokke volgens totale, vlak- en diep-wortelmassas, met Rupestris du Lot as verwysingskultivar (++), terwyl + dui op minder en +++ op meer wortels in die geval van die ander kultivars. (Branas & Vergnes, 1957)

ONDERSTOK	WORTELMASSA KATEGORIE		
	Totale wortels (0 - 125 cm)	Oppervlak wortels (0 - 25 cm)	Diep wortels (45 - 125 cm)
Riparia Gloire de Montpellier	+	++	+++
Rupestris du Lot	++	++	++
3309 C	+	+	++
3306 C	+	+	+++
Riparia Rup. Massannes	+	+++	+
161-49 C	+	+	+
420 A	+++	+++	+
5 BB	+	++	+
SO 4	++	+++	+
99 R	+++	+	++
110 R	+++	+++	+
41 B	+++	+++	++
333 EM	+++	+++	++
1616 C	+	+	+++
216-3 C	+	+	+
G 1	+++	++	++
106-8 MG	+	+++	+
44-53 M	+	++	+++
196-17 C	+	++	++

Bauerle *et al.* (2008) vind dat die wortels van hoë groeikrag stokke meer veerkragtig is in die benutting van water gedurende die somer, met dunner wortels in die oppervlak 0 - 20 cm laag by geen besproeiing, maar dikker wortels in dieper grondlae (>60 cm), terwyl worteldiktes van lae groeikrag stokke nie tussen grondlae verskil het nie. Lae groeikrag stokke het 'n groter gedeelte wortels gedurende die wintermaande geproduseer, met toenemende worteldigtheid oor die 3-jaar studieperiode, terwyl hoë groeikrag stokke hoofsaaklik in die somer wortels geproduseer het. Hoë groeikrag stokke het groter veerkragtigheid ten opsigte van laterale grondwaterinhoud verskille maar het dieselfde droogtebestandheid as lae groeikrag stokke, soos deur worteloorlewing aangedui.

OPSOMMING

In dieselfde groeimedium is die genetiese eienskappe van die onderstok (hoek van geotropisme) deurslaggewend op die groei en verspreiding van wortels. Die verskille in grondeienskappe soos wat dit in die praktyk voorkom, oorheers egter die genetica betreffende die groei en verspreiding van wortels. Onderstokkultivars verskil in hul vermoë om 'n sekere worteldigtheid in dieselfde grond te induseer en sodoende 'n mindere of meerdere mate van droogtebestandheid te toon. Dit is hoofsaaklik die kultivar se vermoë om dieptewortels te vorm wat droogtebestandheid verhoog.

4.4 Plantwydte

Plantdigtheid beïnvloed die grootte, digtheid en verspreiding van wortels deur die grondprofiel (Hidalgo, 1968; Kubečka, 1968; Archer & Strauss, 1985; Archer, 1991, 1991/2; Archer & Hunter, 1998a, 1998b; Archer 2000). Met toenemende plantdigtheid neem die wortelmasa per stok af maar die worteldigtheid in kg en/of getal wortels/m² profielwand neem toe. Branas en Vergnes (1957) vind dat met toenemende plantdigtheid, wortelmasa/m² saam met groeikragtigheid, opbrengs en lootmasa ook toeneem. Vlakker deurworteling (25 - 45 cm) neem egter af, terwyl dieper deurworteling (65+ cm) toeneem weens groter kompetisie in die mees deurwortelde 25 - 45 cm grondlaag na gelang plantdigtheid toeneem. Dit dui op beter benutting van die grondvolume, met 'n toename in bogrondse groeikragtigheid, per oppervlakeenheid.

Ook Hidalgo (1968) vind vir Tempranillo/99 Richter dat wortelmasa per stok omgekeerd eweredig is met plantdigtheid (1.85 - 4.20 kg/stok), maar dat worteldigtheid direk eweredig daarmee is (0.82 - 0.47 kg/m²). Hy verkry 'n kurwiliniêre verwantskap van: Wortelmasa (WM) = 5.98 - 2.06(Plantdigtheid) + 0.25(Plantdigtheid)² en 'n reglynige verwantskap van: Worteldigtheid (WD) = 0.34 + 0.11 (Plantdigtheid), met $r = 0.70$ (Fig. 4.4.1).

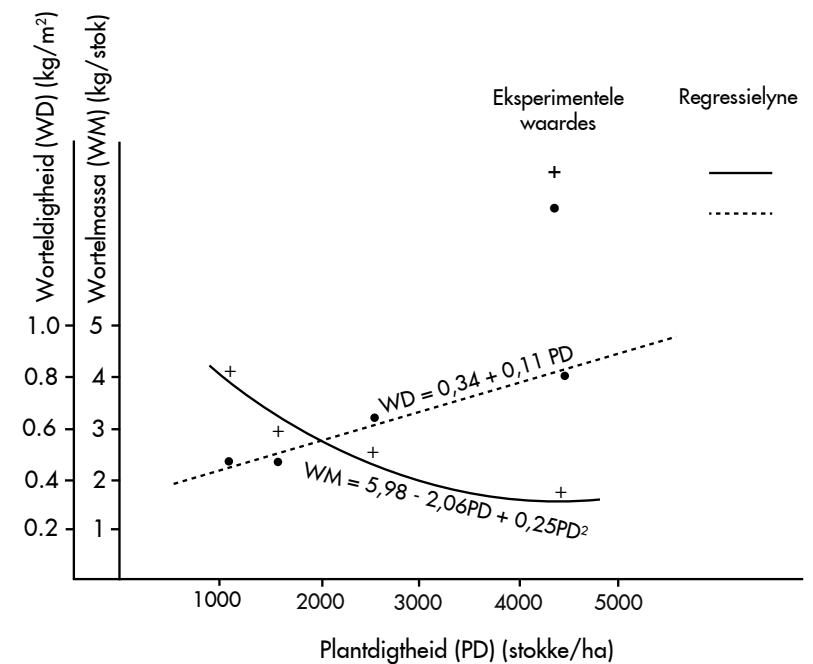


Fig. 4.4.1 Verhouding tussen wortel-kriterium en plantdigtheid. (Oorgeteken uit Hidalgo, 1968)

Ten einde die goeie of swak benutting van grond te identifiseer, moet die verhouding tussen worteldigtheid en vegetatiewe groeikragtigheid /-potensiaal (VP) per vierkante meter grondoppervlak in ag geneem word. Hiervoor is daar 'n verwantskap van: $\text{Groeikragtigheid per m}^2 \text{ (VP)} = -25.47 + 82.31 \text{ (Worteldigtheid)}$, met $r = 0.76$ (Hidalgo, 1968; Fig. 4.4.2).

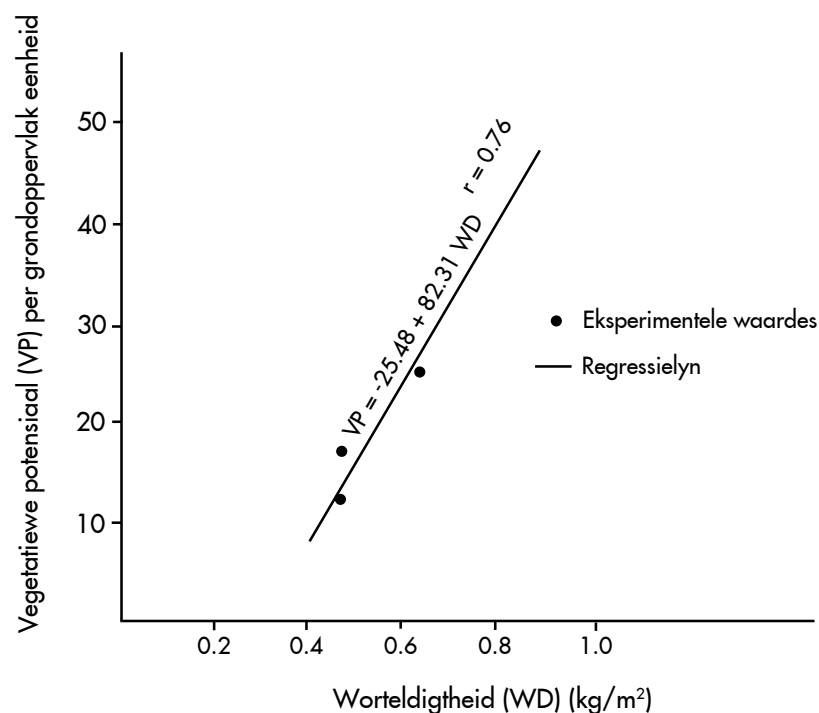


Fig. 4.4.2 Verwantskap tussen worteldigtheid (WD) en vegetatiewe groeikragtigheid /-potensiaal (VP) per grondoppervlakeenheid. (Oorgeteken uit Hidalgo, 1968)

Die invloed van plantdigtheid op die ontwikkeling en produksie van die stok word bepaal deur die vrugbaarheid van die omgewing. Met toename in plantdigtheid verklein die wortelstelsel van die stok, maar hiervoor word baie gekompenseer deur die aantal stokke per oppervlakeenheid en gevolglik groter totale worteldigtheid. Die benutting van grond in wingerde kom neer op die groeikragtigheid, wat toeneem met toename in worteldigtheid. Nou spasiëring is oënskynlik voordelig, maar indien oordoen, lei dit tot minder groeikragtigheid, wat nie altyd gewens is nie.

Dit maak ook bewerking onmoontlik of onprakties, met toenemende totale produksiekoste, wat direk eweredig is aan die aantal stokke per hektaar (Hidalgo, 1968; Hunter, 1998b).

Kubečka (1968) vind ook dat plantwydte die worteleienskappe van wingerdstokke merkbaar beïnvloed (Tabel 4.4.1). 'n Toename in rywydte (minder stokke per ha) het 'n toename in fynwortellengte, sowel as fynworteldroëmassa per stok meegebring. Daarteenoor het worteldigtheid, uitgedruk as wortellengte, sowel as droëmassa per m^2 grondoppervlak en 80 cm gronddiepte, vanaf 1.3 m na 1.7 m rywydte afgeneem, maar vir die 2.8 m rywydte weer toegeneem. Hy vind ook 'n negatiewe korrelasie tussen bo- en ondergrondse plantdele. Hierdie is gedeeltelik in ooreenstemming met die resultate van Archer (1990, 1991/2 en 2000).

Tabel 4.4.1 Die effek van rywydte op die worteleienskappe van 10-jaar-oue Italiaanse Riesling. (Kubečka, 1968)

Priël/ snoeistelsel	Plant wydte (m)	Gemidd. < 0,4 mm deursnit wortellengte/ stok (cm)	Gemidd. fynwortel droëmassa/ stok (g)	Totale wortellengte/ m^2 -80 cm diepte (cm)	Totale wortel- droëmassa/ m^2 -80 cm diepte (g)
Guyot (laag)	1.3 x 1.1	16 272	173.50	11 696	121.3
Heining (medium)	1.7 x 1.1	19 374	203.07	10 360	108.6
Moser (hoog)	2.8 x 1.1	36 646	441.66	11 897	143.4

Die groot tussenryafstand was meer voordelig as setel vir ontwikkeling van aktiewe wortels (< 0.4 mm deursnit) en het 6.7 g/m^2 hiervan gehad, teenoor die 4.16 g/m^2 vir die medium tussenryafstand. Die nou tussenryafstand het slegs 2.88 g/m^2 fyn wortels gehad. Die grootste aantal klein en dun wortels (tot 1 mm deursnit) het vir die nou tussenryafstand stokke op 20 - 40 cm gronddiepte voorgekom en die kleinste aantal op 60 - 80 cm gronddiepte. 'n Soortgelyke verwantskap is vir die groot tussenry afstand verkry in terme van beide wortellengte en -massa. By die medium tussenryafstand is die grootste aantal wortels op 40 - 60 cm diepte verkry en die kleinste aantal op 60 - 80 cm diepte.

Sterk groeiende wingerdstokke, wyd geplant, het ook 'n groeikragtige wortelstelsel. Die meeste wortels, uitgedruk as massa of lengte, word in goeie grond op 20 - 60 cm diepte aangetref. Tussen 20 - 40 cm en 40 - 60 cm

is daar prakties geen essensiële verskille nie. Absorpsie van voedingstowwe uit grondwater hang af van die oppervlak dimensies van aktiewe wortels (dit wil sê die wortelhare), wat die meeste op dun wortels gevorm word. Wortels tot 1 mm deursnit word veral op 20 - 40 cm diepte gevind en is minder op 40 - 60 cm diepte. Dit vereis dat die bewerkingspraktyke vir die toediening van organiese of minerale misstowwe in grond minstens 20 - 25 cm diep moet wees en dat besproeiingswater tot minstens 40 - 60 cm indring (Kubečka, 1968).

Archer (1990, 1991/2) onder droëland- en Hunter (1998a) onder besproeiingtoestande, vind 'n toename in fynworteldigtheid regdeur die profiel tot op 1,2 m gronddiepte vir ses verskillende plantwydtes. Onder droëlandtoestande was daar nie 'n betekenisvolle verskil in die totale getal wortels per stok nie (Archer 1991/2), maar met besproeiing vind Hunter (1998a) dat die getal wortels by die nouste spasiëring (1.0 m x 0.5 m) meer as die helfte minder was as vir die wydste spasiëring (3.0 m x 3.0 m). Dit was in ooreenstemming met die wortelmasse per stok. Onder droëland was die worteldigtheid (getal wortels/m² profielwand) van die nouste spasiëring meer as 4.4 keer meer as dié van die wydste spasiëring (Archer, 1990), terwyl dit 2.3 keer meer was met besproeiing (Hunter, 1998a). Onder droëland was die wortelindeks (< 2.0 mm deursnit ÷ > 2.0 mm deursnit), as indikasie van wortelstelselgehalte, 85 by die nouste en 30 by die wydste spasiëring (Archer, 1990), terwyl dit 17 was vir beide spasiërings met besproeiing (Hunter, 1998a). Onder droëland was die lootmasse per stok 7.2 keer laer by die nouste teenoor die wydste spasiëring, maar die lootmasse per ha was 2.4 keer hoër (Archer 1991/2). Dieselfde tendens is met besproeiing gevind (Hunter, 1998a).

Volgens Branas en Vergnes (1957) neem gevoeligheid vir waterspanning toe met toenemende plantdigtheid weens toenemende lowermasse/m² grondoppervlak en wortelkompetisie in die grond, maar ook omdat daar 'n groter proporsie wortels is in die boonste grondlae wat eerste uitdroog, waarvoor nie deur die groter proporsie wortels in dieper grondlae gekompenseer word nie. Horisontale wortelverspreiding neem af na die middelry by nou (1 m) plantafstand maar nie die vertikale verspreiding nie. Homogeniteit van horisontale wortelverspreiding neem toe met toename in tussenry-afstand en die verhouding van wortelmasse in die middelry tot wortelmasse langs die stokry nader waarskynlik 1 soos tussenryspasie toeneem.

Hidalgo (1968) vind dat selfs in diep alluviale grond, waar plantdigtheid van 1 111 stokke/ha tot 4 444 stokke/ha vermeerder is, wortelmasse ooreenstemmend van 4.2 kg/stok na 1.8 kg/stok afgeneem het, maar dat worteldigtheid, uitgedruk as totale wortelmasse per eenheid grondoppervlak, van 0.42 kg/m² na 0.82 kg/m² toegeneem het (Fig. 4.4.3).

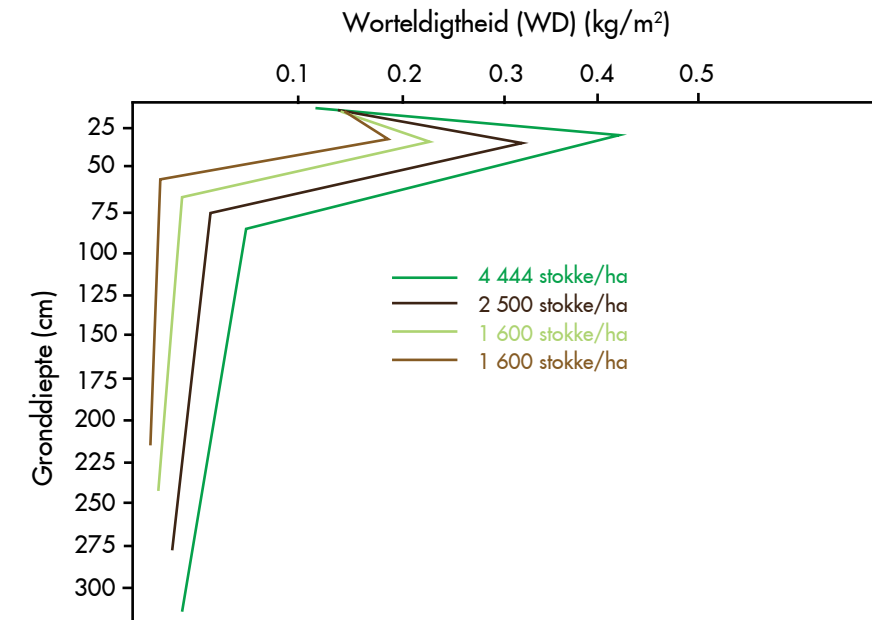


Fig. 4.4.3 Die effek van plantwydte op die worteldigtheid van wingerd. (Oorgeteken uit Hidalgo, 1968)

Volgens Parfenenko (1968) is die horisontale en vertikale verspreiding van wingerdwortels onafhanklik van die plantafstand tussen stokke gedurende die eerste jare van ontwikkeling. Daarteenoor toon Archer en Strauss (1985) se resultate dat, drie jaar na vestiging, die wortels van nouer gespasiëerde stokke die grond teen 'n skerper hoek penetreer as dié van wyer gespasiëerde stokke. Verder vind Archer (1990, 1991, 1991/2) dat worteldigtheid, sowel as dieptepenetrasie, afgeneem het by wyer stokspasiëring nege jaar na vestiging (Fig. 4.4.4, 4.4.5, 4.4.6 en Tabel 4.4.2).

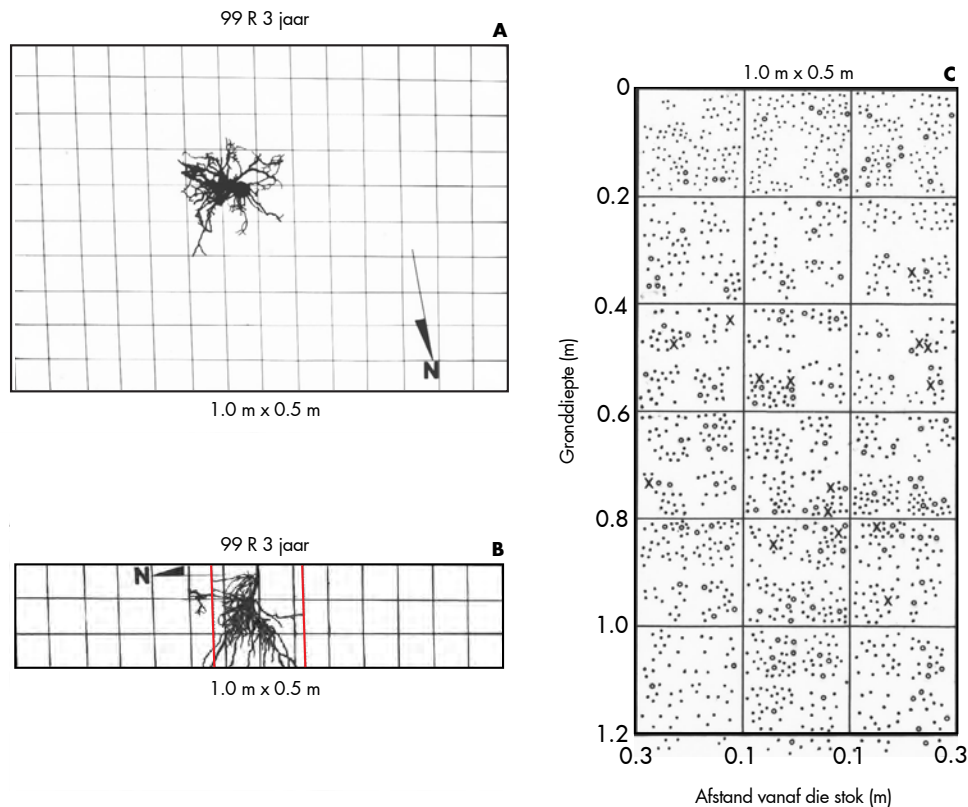


Fig. 4.4.4 Effek van 1.0 m x 0.5 m plantwydte op wortelverspreiding van geënte 99 Richter wingerdstokke.

A: Horizontale wortelverspreiding tot op 60 cm diepte, drie jaar na plant.

B: Vertikale wortelverspreiding tot op 60 cm diepte, drie jaar na plant.

Rooi lyne dui die teoretiese spasie van stok aan (let op die min oorvleueling).

C: Profielwandstudie nege jaar na plant. Let op die intensiewe kolonisasie van veral die fynwortels tot meer as 1.2 m diepte.

Worteldikte: • = < 0.5 mm; ○ = 0.5 – 2 mm; x = 2 – 5 mm; □ = 5 – 10 mm; ⊗ = > 10 mm. Ruitgrootte by A, B & C: 20 cm x 20 cm.

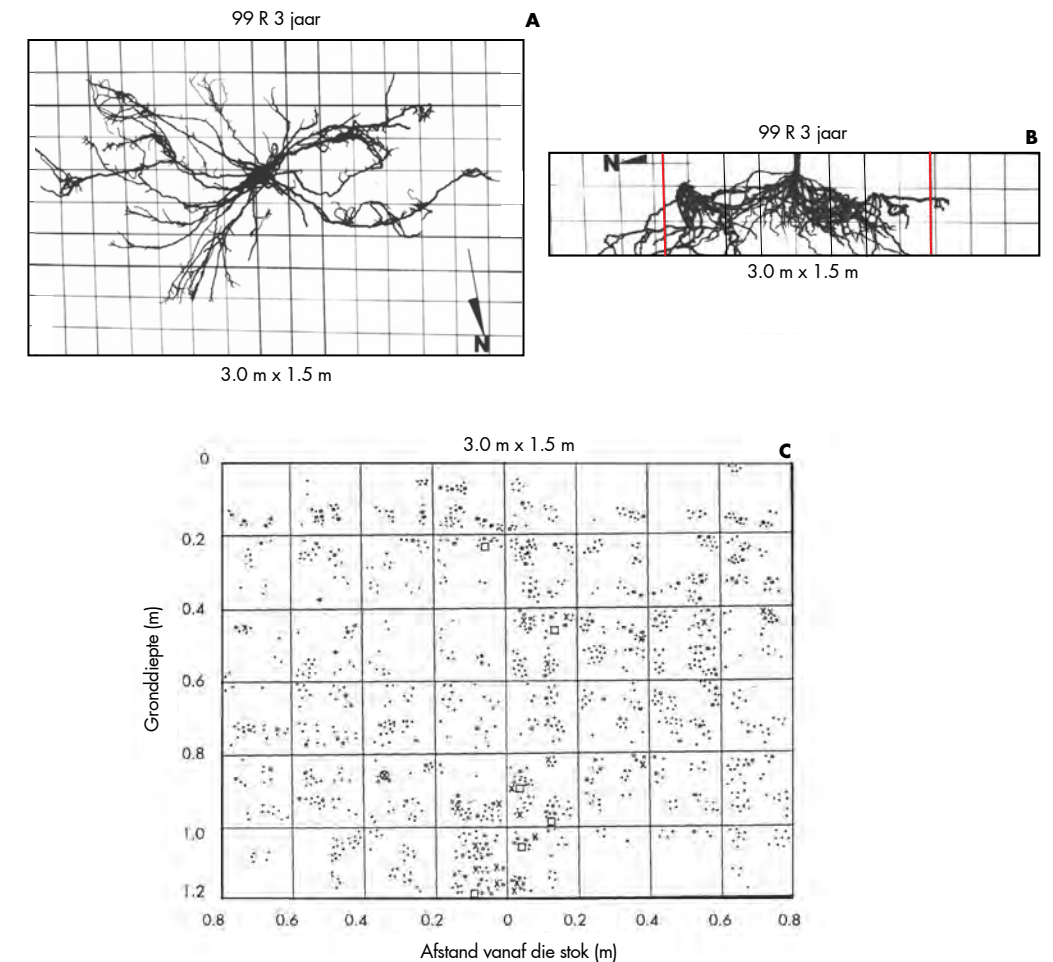


Fig. 4.4.5 Effek van 3.0 m x 1.5 m plantwydte op wortelverspreiding van geënte 99 Richter wingerdstokke.

A: Horizontale wortelverspreiding tot op 60 cm diepte, drie jaar na plant.

B: Vertikale wortelverspreiding tot op 60 cm diepte, drie jaar na plant.

Rooi lyne dui die teoretiese spasie van stok aan (let op die relatief min oorvleueling).

C: Profielwandstudie nege jaar na plant. Let op die minder intensiewe kolonisasie van die wortels in die boonste 10 cm diepte.

Worteldikte: • = < 0.5 mm; ○ = 0.5 – 2 mm; x = 2 – 5 mm; □ = 5 – 10 mm; ⊗ = > 10 mm. Ruitgrootte by A, B & C: 20 cm x 20 cm.

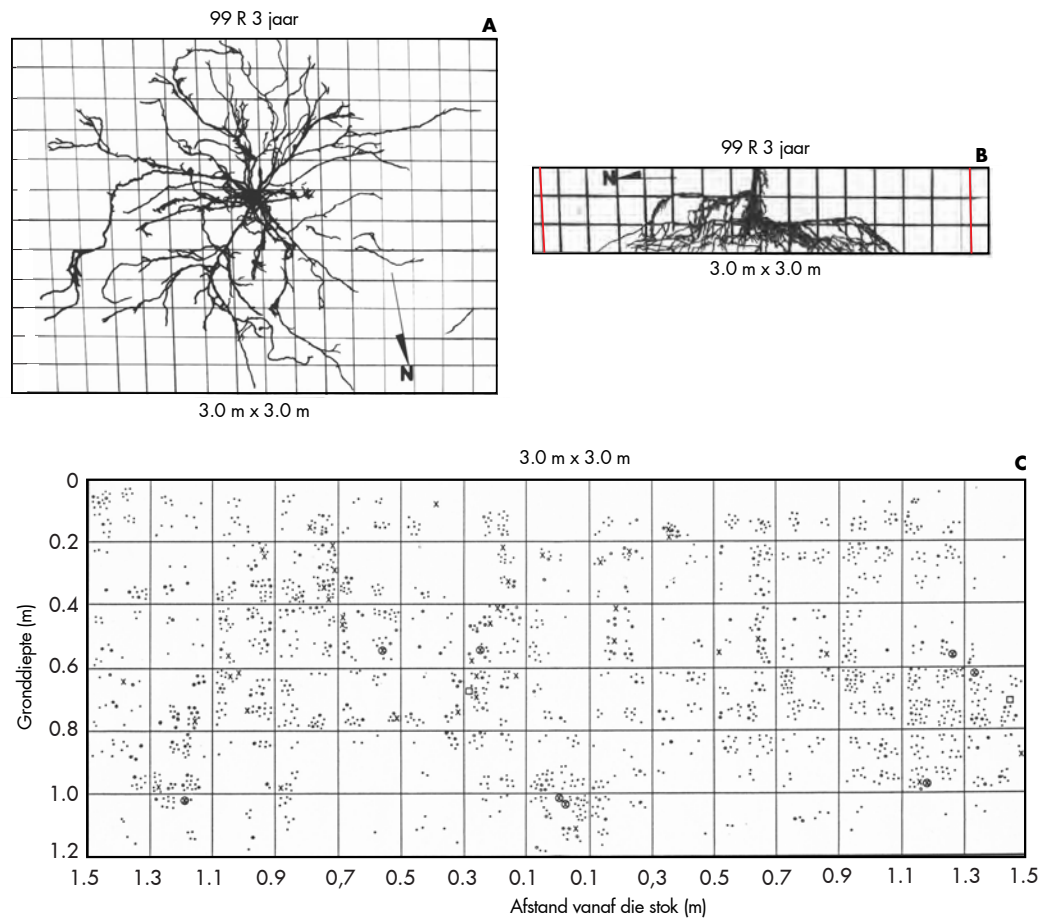


Fig. 4.4.6 Effek van 3.0 m x 3.0 m plantwydte op wortelverspreiding van geënte Richter 99 wingerdstokke.

A: Horizontale wortelverspreiding tot op 60 cm diepte, drie jaar na plant.

B: Vertikale wortelverspreiding tot op 60 cm diepte, drie jaar na plant. Rooi lyne dui die teoretiese spasie van stok aan (let op die afwesigheid van oorvleueling).

C: Profielwandstudie nege jaar na plant. Let op die minder intensiewe kolonisasie van die wortels in die boonste 10 cm en onderste 20 cm diepte. Worteldikte: • = < 0.5 mm; ◦ = 0.5 – 2 mm; x = 2 – 5 mm; □ = 5 – 10 mm; ⊗ = > 10 mm. Ruitgrootte by A, B & C: (20 cm x 20 cm).

Gemiddeld 23% van die wortels van nouer gespasiëerde stokke het in die boonste 20 cm gronddiepte voorgekom, terwyl dit slegs 12% in die geval van wyer gespasiëerde stokke was (Tabel 4.4.2). Dit word aan die meer volledige grondskaduwee van die nouer gespasiëerde stokke toegeskryf, wat waarskynlik meer gelykmatige grondtemperatuur in die boonste grondlae meebring het (Archer, 1990).

Tabel 4.4.2 Effek van plantwydte op wingerdwortelverspreiding (%) in verskillende gronddieptelae. (Archer, 1990)

Plantwydte (m)	Gronddiepte (cm)						
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140
1.0 x 0.5	21	13	14	18	18	14	2
1.0 x 1.0	22	15	19	21	13	9	1
2.0 x 1.0	26	23	17	12	15	7	0
2.0 x 2.0	16	24	26	21	10	3	0
3.0 x 1.5	12	17	19	18	20	14	0
3.0 x 3.0	12	17	18	28	18	7	0

Die meer intensiewe wortelkolonisasie wat met nouer stokspasiëring verkry is, het 'n meer intensiewe verbruik van grondwater van die begin tot die einde van die groeiseisoen meebring (Fig. 4.4.7). Hierdie bevinding is in ooreenstemming met waarnemings deur Branas (1974) en Champagnol (1979), wat ook meen dat dit moontlik ook vir voedingstowwe geld. Daar is dus gevalle waar die waterinhoud van die grond deur die intensiewe wortelkolonisasie van nou gespasiëerde stokke vroegtydig uitgeput kan word met gevolglike nadelige invloed op wingerdprestasie, soos in die geval van droëlandverbouing.

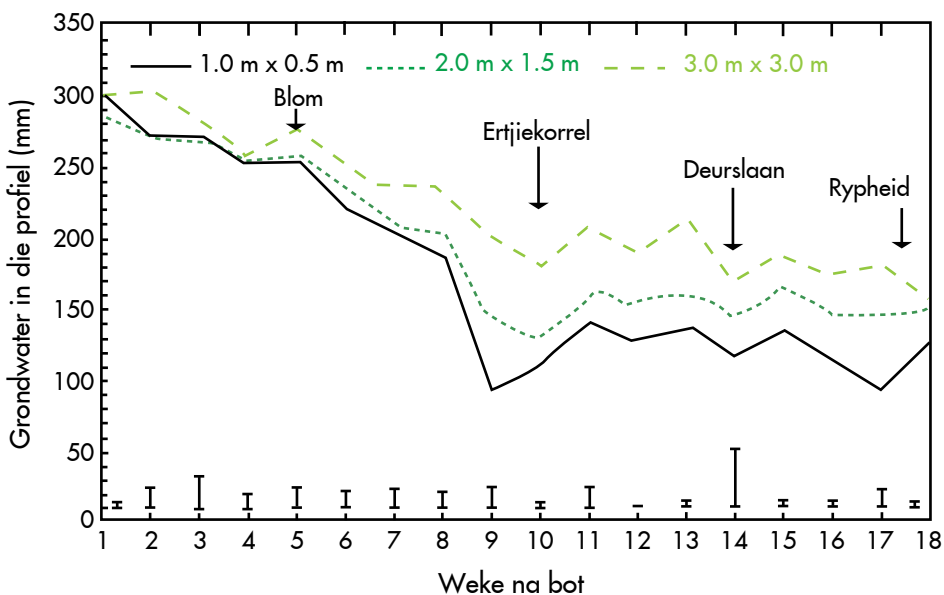


Fig. 4.4.7 Die effek van die meer intensiewe wortelkolonisasie van nouer plantwydtes op die grondwaterverbruik deur die groeiseisoen. Vertikale balkies = KBV ($p \leq 0,05$). (Archer, 1990)

Alhoewel die voorkoms van dikwortels (5 tot >10 mm deursnit) deur wyer plantwydtes bevoordeel word, is die voorkoms van die persentasie dun wortels merkwaardig konstant oor plantwydtes heen (Tabel 4.4.3). Dit is egter duidelik dat worteldigtheid deur nouer plantwydtes bevoordeel word.

Tabel 4.4.3 Die effek van plantwydte op die verspreiding van fyn- en dikwortels (aantal/m² profielwand). (Archer, 1990)

Worteldeursnit (mm)	Plantwydte (m)					
	1 x 0.5	1 x 1	2 x 1	2 x 2	3 x 1.5	3 x 3
< 2.0	2034 (98.8%)	1589 (99.4%)	893 (97.2%)	367 (97.4%)	613 (97.5%)	452 (96.8%)
> 2.0	24 (1.2%)	9 (0.6%)	26 (2.8%)	10 (2.5%)	16 (2.5%)	15 (3.2%)

In Roemenië vind Matuzoc (1977) ook dat wortels van nou gespaseerde stokke die betrokke grondvolume meer volledig benut as wyer gespaseerde stokke en ook dieper penetreer en sodoende waterreserwes in die grond benut wat nie deur die wyer gespaseerde stokke bekom kon word nie. Minder waterverdamping is ook waargeneem by nou spasiëring, vanwaar ook hoër opbrengste verkry is, sonder verlies aan kwaliteit.

OPSOMMING

Hoe nouer die plantwydte, hoe digter en dieper is die verspreiding van wingerdwortels. Die totale wortellengte per stok neem af met nouer spasiëring, maar die beskikbare grondvolume word beter deur die hoër worteldigtheid benut omdat meer water en voedingstowwe opgeneem word. Op vrugbare gronde bring nouer spasiëring gevolglik lowerverdigting mee. Op armer en droër gronde, daarteenoor, dui dit op die potensiele gevaar dat oorbenutting kan plaasvind voordat die groeiseisoen verby is en dit sodoende die opbrengs en kwaliteit benadeel. Die keuse van plantwydte word dus bepaal deur die potensiaal van die grond om vegetatiewe groei te induseer.

4.5 Prieelstelsel

In 'n studie met verskillende prieelstelsels op 'n kalkryke grond met 'n ondeurdringbare, kalkryke duripan op 70 cm diepte, vind Van Zyl en Van Huyssteen (1980) dat die groter priële 'n digter wortelstelsel as die kleineres geïnduseer het (Fig. 4.5.1 A+B). Dit het 'n direkte verwantskap met lootgroeï getoon.

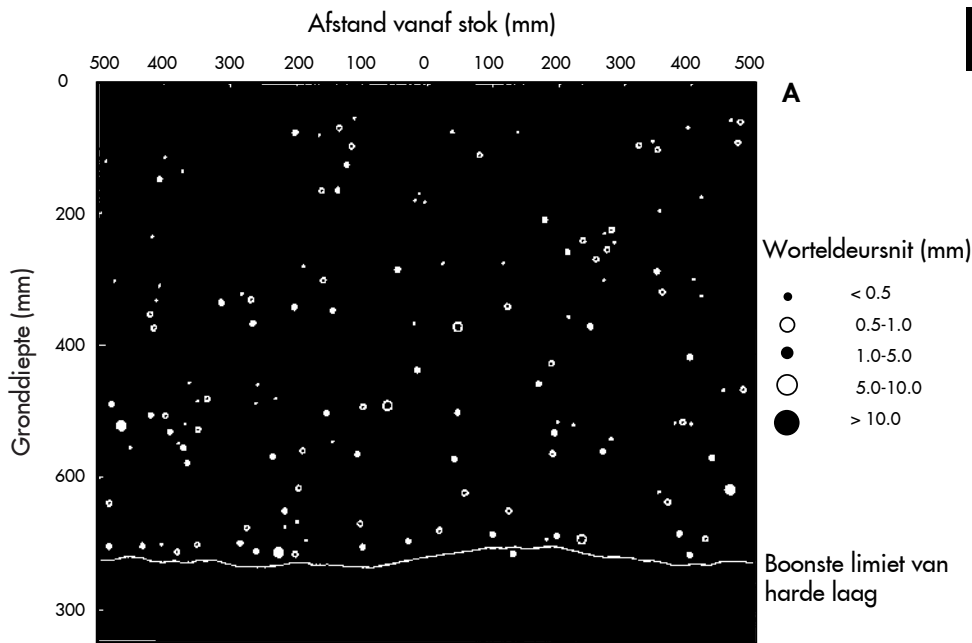


Fig. 4.5.1 A Wortelverspreiding van Chenin blanc/101-14 Mgt bosstok op 'n kalkryke grond, Robertson. (Uit Van Zyl & Van Huyssteen, 1980)

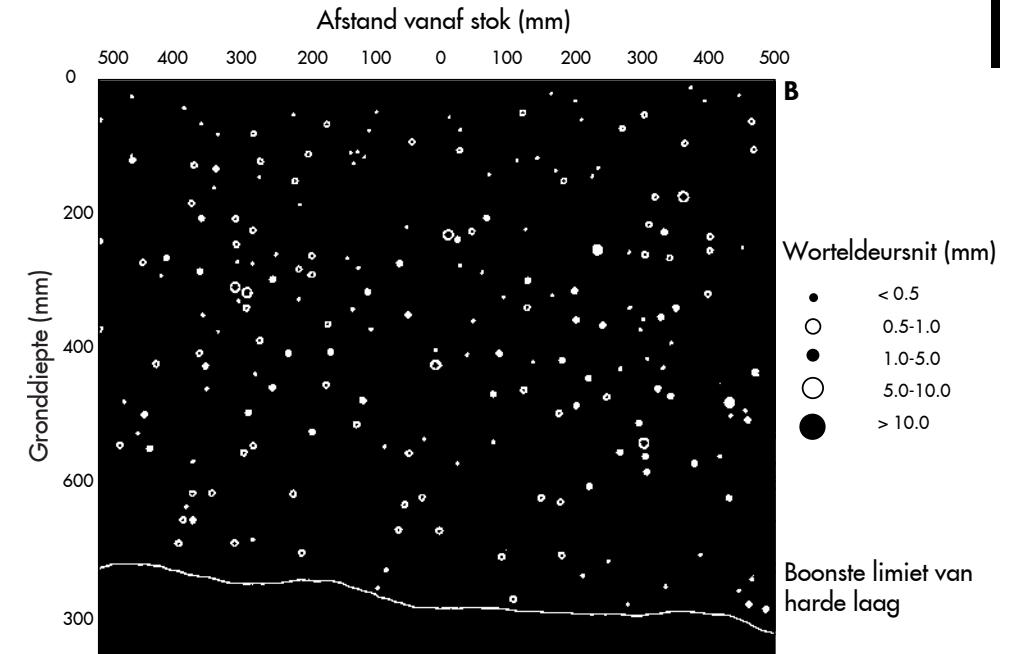


Fig. 4.5.1 B Wortelverspreiding van Chenin blanc/101-14 Mgt opgelei op 'n skuinskap stelsel op 'n kalkryke grond, Robertson. (Uit Van Zyl & Van Huyssteen, 1980)

Archer *et al.* (1988) vind ook dat die intensiteit van wortelkolonisasie deur die grootte van die prieelstelsel beïnvloed word (Fig. 4.5.2). Hierdie studie is in 'n 10-jaar-oue Chenin blanc/99 Richter wingerd in die Stellenbosch omgewing, Wes-Kaapland, gedoen in 'n wingerd wat 3.0 m x 1.5 m gespaseer is en die stokke aan die hand van stamonttrek en lootmassa uitgesoek is om verteenwoordigend van die opleibehandlings te wees. Die stokke is met dieselfde oogglading per lootmassa gesnoei ten einde 'n oes:lootmassaverhouding van 4:1 tot 5:1 te verkry. Fig. 4.5.2 toon dat worteldigtheid sowel as dieptepenetrasie van wingerdwortels deur die vergroting van die bogrondse groei verhoog word.

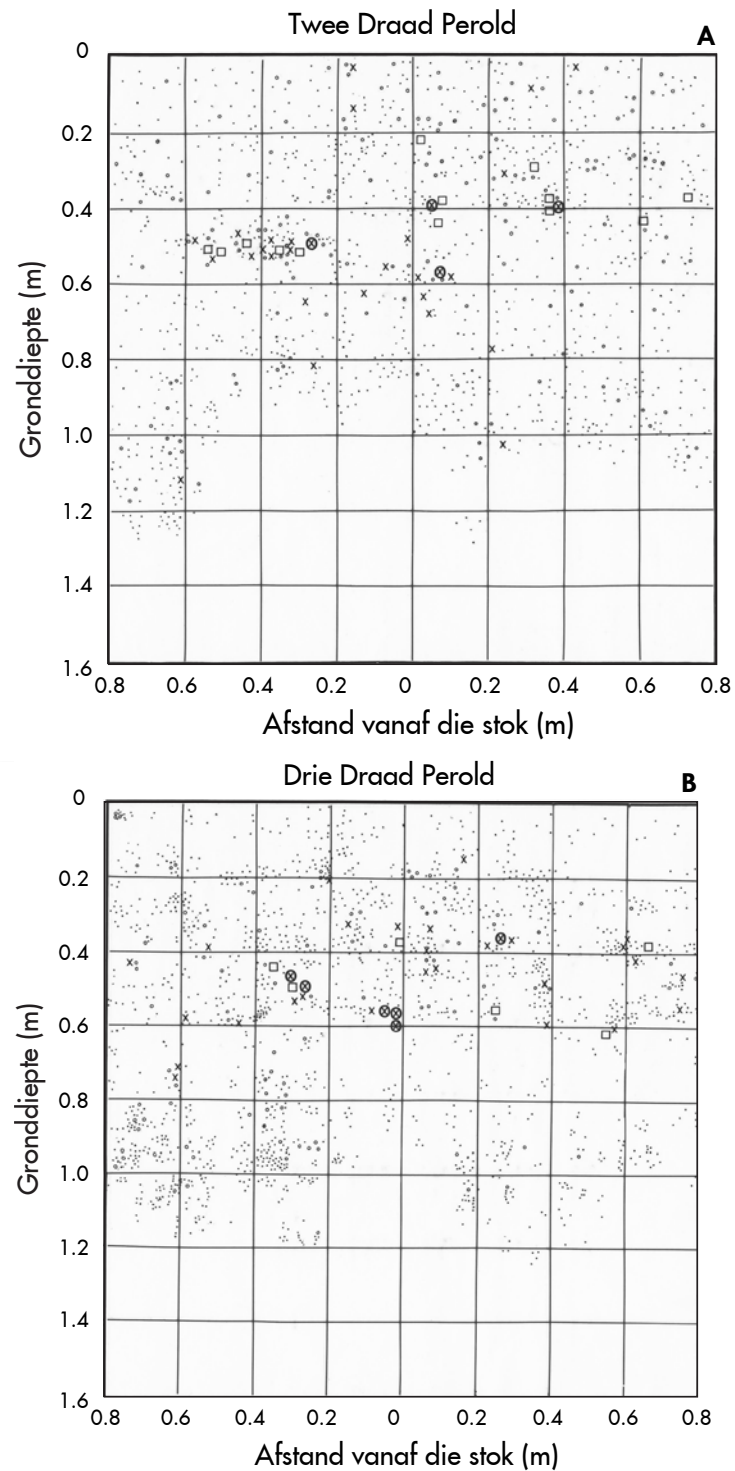


Fig. 4.5.2 A+B Effek van preeelstelsel op die diepte en intensiteit van wortelverspreiding van Chenin blanc/99 Richter wingerdstokke op Nietvoorbij, Stellenbosch. Ruitgrootte: 20 cm x 20 cm. Worteldikte: • = < 0.5 mm; ○ = 0.5 – 2 mm; x = 2 – 5 mm; □ = 5 – 10 mm; ⊗ = > 10 mm.

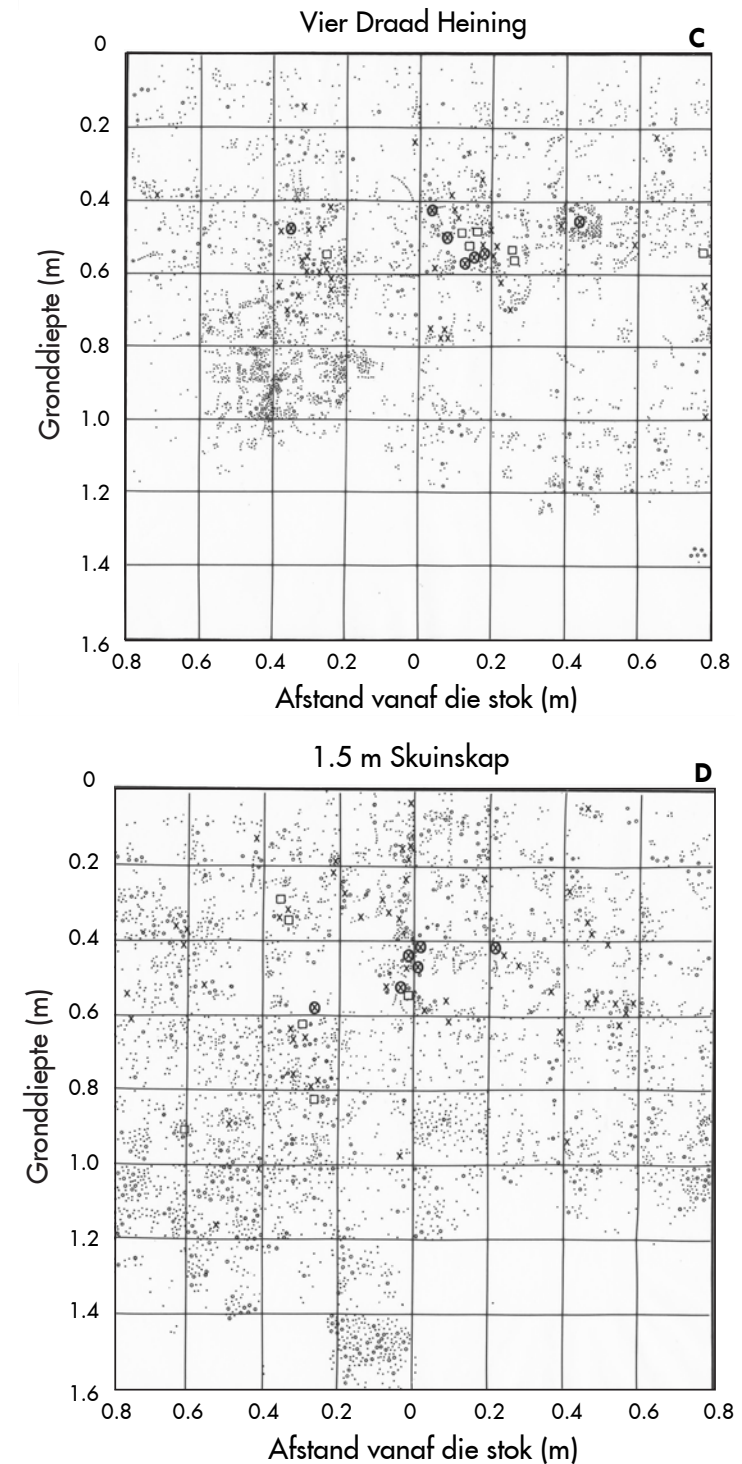


Fig. 4.5.2 C+D Effek van preeelstelsel op die diepte en intensiteit van wortelverspreiding van Chenin blanc/99 Richter wingerdstokke op Nietvoorbij, Stellenbosch. Ruitgrootte: 20 cm x 20 cm. Worteldikte: • = < 0.5 mm; ○ = 0.5 – 2 mm; x = 2 – 5 mm; □ = 5 – 10 mm; ⊗ = > 10 mm.

Met wortelstudies op Chenin blanc/99 Richter stokke wat na dubbel die oorspronklike plantafstand tussen stokke omgeskakel is deur alternatiewe stokke uit te haal (verdubbeling van kordonlengte en grondvolume/stok) en na 'n Lierstelsel omvorm is (verdubbeling van kordonlengte maar konstante grondvolume/stok), vind Hunter en Volschenk (2001) na vyf jaar dat die wortels van die verlengde kordonstokke met dubbel die grondvolume, dubbel die aantal wortels gehad het, maar dat worteldigtheid (aantal wortels/m²) vergelykbaar was tussen behandelings. Toename in lootgroei per stok weens verdubbeling van kordonlengte is in die geval van die Lierstelsel beperk weens statiese wortelvolumen, wat tot beter lowerdeurlugting aanleiding gegee het.

4.6 Snoei

Onder droëlandtoestande vind Mirzalieva (1968) met twee kultivars en oogladings wat wissel van 24, 48 en 60 oë per stok, dat die beste wortelontwikkeling by die medium ooglading (48 oë) voorgekom het. Swaarder oogladings het die totale wortellengte beperk.

Volgens Comas *et al.* (2010), veroorsaak minimum snoei vinniger lowerontwikkeling in die lente, saam met vroeër inisiasie van wortelgroei in die vlakke grondlae, moontlik omdat temperature daar gunstiger is.

Hunter *et al.* (2016) toon dat toenemend digter lower, soos verkry met meganiëse en minimum snoei, beduidende toenames in aantal < 0.5 mm deursnit wortels tot gevolg het by Sauvignon blanc en Shiraz geënt op 99 Richter. Comas *et al.* (2005) vind dat opbrengs en wortelgroei van 25-jaar-oue Concord 26% meer was by minimum snoei as by strawwer handsnoei. Die aanvang van wortelgroei was ook vroeër en val saam met die vroeër en groter bopgrondse groei.

4.7 Lowerbestuur

Volgens Rogers (1939) het A.J. Heinecke in 1936 met jong appelbome vasgestel dat wortelgroei deur vroeë blaarverwydering beperk word, terwyl R.G. Hatton en J. Amos in 1927 gevind het dat laterale lootverwydering in appelbome gedurende die somer wortelgroei feitlik tot stilstand gebring het. Daarteenoor het ewekansige blaaruitdunning van 33% oor die hele wingerdstok tydens korrelset, ertjekorrelstadium en deurslaan oor vier seisoene die aantal wortels per m² profielwand betekenisvol verhoog (Fig. 4.7.1, Hunter & Le Roux, 1992). Dit was veral die fyn (≤ 0.5 mm deursnit) tot mediumdik (0.5-5 mm deursnit) wortels wat hierdeur

bevoordeel is, wat verbeterde water- en voedingstofopname impliseer. Tensame met verbeterde lowerdoeltreffendheid het dit die gehalte- en opbrengsprestasie van die wingerd verhoog. Daar was egter aanduidings dat die digtheid van dikwortels (>5 mm deursnit) oor tyd afgeneem het, veral waar blaaruitdunning vroeër gedoen word (Hunter *et al.* 1995).

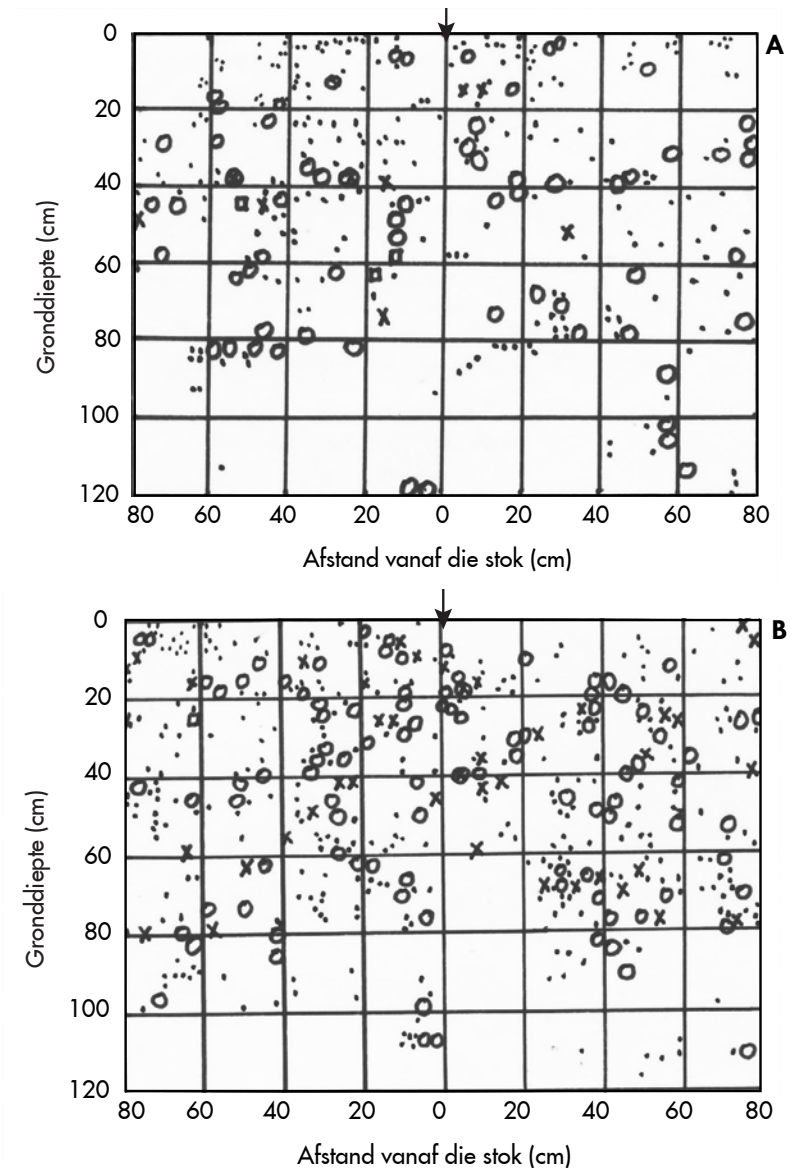


Fig. 4.7.1 Effek van blaaruitdunning op wingerdwortelverspreiding en -digtheid van Cabernet Sauvignon/99 Richter, Nietvoorbij, Stellenbosch. A: Geen blaaruitdunning. B: 33% ewekansige blaaruitdunning. Ruitgrootte: 200 mm x 200 mm. Worteldikte: • = < 0.5 mm; ○ = 0.5 – 2 mm; x = 2 – 5 mm; □ = 5 – 10 mm; ⊗ = > 10 mm. (Oorgeteken uit Hunter & Le Roux, 1992)

Daarteenoor vind Buttrose (1966) en Kliewer en Fuller (1973) dat totale wortel droëmassa van Muscat d'Alexandrie en Thompson Seedless stokke in potte deur blaarverwydering verminder word. Hulle het egter nie wortelverspreiding of -digtheidstudies gedoen nie en die drastiese blaarverwyderingsbehandelings is nie in ooreenstemming met praktyk-gerigte aanbevelings nie. Daarom kan hulle resultate nie direk met wingerdstokke in die veld vergelyk word nie.

In Chile toets Corvalan *et al.* (2016) die effek van twee tipes fotoselektiewe nette, wat beide fotosinteties aktiewe straling (FAS) met 20% verminder. Lootlengte van 3-jaar-oue Pinot noir in potte was meer onder nette maar blaaroppervak was dieselfde as dié van die kontrole. Wortel droëmassa was egter 84% hoër onder pêrelkleurige net en 45% hoër onder rooi net. Die meganisme hierby betrokke is onbekend en vereis verdere studie deurdat dit kan bydra tot potensiële gebruik van fotoselektiewe nette om oormaat sonbestraling te bekamp in die konteks van klimaatverandering.

OPSOMMING

Groter priële bring mee dat wortels die beskikbare grond meer intensief koloniseer om te voorsien aan die groter aanvraag wat die groter bogrondse groei het. Daarmee saam bring groter oogladings, binne perke, 'n toename in veral fynwortelkolonisasie mee. Dit vereis dus 'n meer sorgvuldige besproeiings- en voedingsbenadering. Korrekte lowerbestuurspraktyke verhoog die intensiteit van kolonisasie deur fyn- en mediumdik wortels wat, saam met verbeterde sonligpentrasie, die fisiologiese doeltreffendheid van die blaredak verhoog.

4.8 Plantgate

Reeds in die eerste eeu nC. beveel Columella (± 76 nC.) aan dat plantgate vir wingerdstokke diep (90 cm) gemaak en die bodem losgesteek moet word om te verseker dat die wortels diep groei om die plant te buffer en die oesgehalte te waarborg. Hy beveel verder aan dat sowat 2.3 kg klippe onder in die plantgat geplaas word om te help met dreinerings in die winter en om water te verskaf in die somer. 'n Hoeveelheid rooidruifdoppe moet onder in die gat geplaas word met die plant van wit kultivars en witdruifdoppe vir die plant van rooi kultivars. Columella beveel ook aan dat die plantgate stapsgewys oor 'n periode van drie jaar gevul moet word. Volgens hom is hierdie moeite dit werd om te verseker dat die wingerdwortels afwaarts groei. Die meeste navorsers is dit eens dat die diepte van plant latere wortelverspreiding beïnvloed (Deidda, 1964; Diofasi & Kirali, 1968). In teenstelling egter met Columella, word gevind dat stokke of bome wat dieper geplant is, 'n meer horisontale wortelverspreiding toon in teenstelling met vlak geplante stokke wat neig om meer vertikale wortelgroei te gee. Hierdie is binne perke, want ervaring het geleer dat stokke wat té vlak geplant is weens uitdroging sukkel om te oorleef.

In hul studie met plantgate vind Archer en Hunter (2010) dat die metode van plant wingerdwortelgroei en -verspreiding oor die leeftyd van die stokke beïnvloed. Hulle beveel aan dat plantgate groot genoeg gemaak moet word om die wortels van die kwekerystokkies te akkommodeer en dat die wande en bodem van elke gat met vurke geperforeer moet word sodat die jong wortels die grond kan koloniseer sonder om deur die kompakteerde of gesmeerde plantgatwande en -bodem verhinder te word om uit te brei. Swak plantgate belemmer wortelgroei en kolonisasie (Fig. 4.8.1; 4.8.2) en het tot gevolg dat die stokke ver onder hul vermoë presteer. Dit het dikwels tot gevolg dat die wingerd ekonomies nooit gelykbreek nie en dat dit voortydig vervang moet word. Bogrondse groei word tot 'n groot mate deur die grootte en prestasie van die wortelstelsel dikteer en dus het 'n klein, swak wortelstelsel klein en swak lootgroei tot gevolg (Fig. 4.8.3) (Archer & Hunter, 2004/5; Archer & Hunter, 2005/6). Daarom word plantgate gemaak wat weerskante van die plantlyn strek en die stokkie in die middel van die gat geplant en effe opgetrek soos die plantgat gevul word. Die inkort van wortels korter as twee skêrlengtes word nie aanbeveel nie.

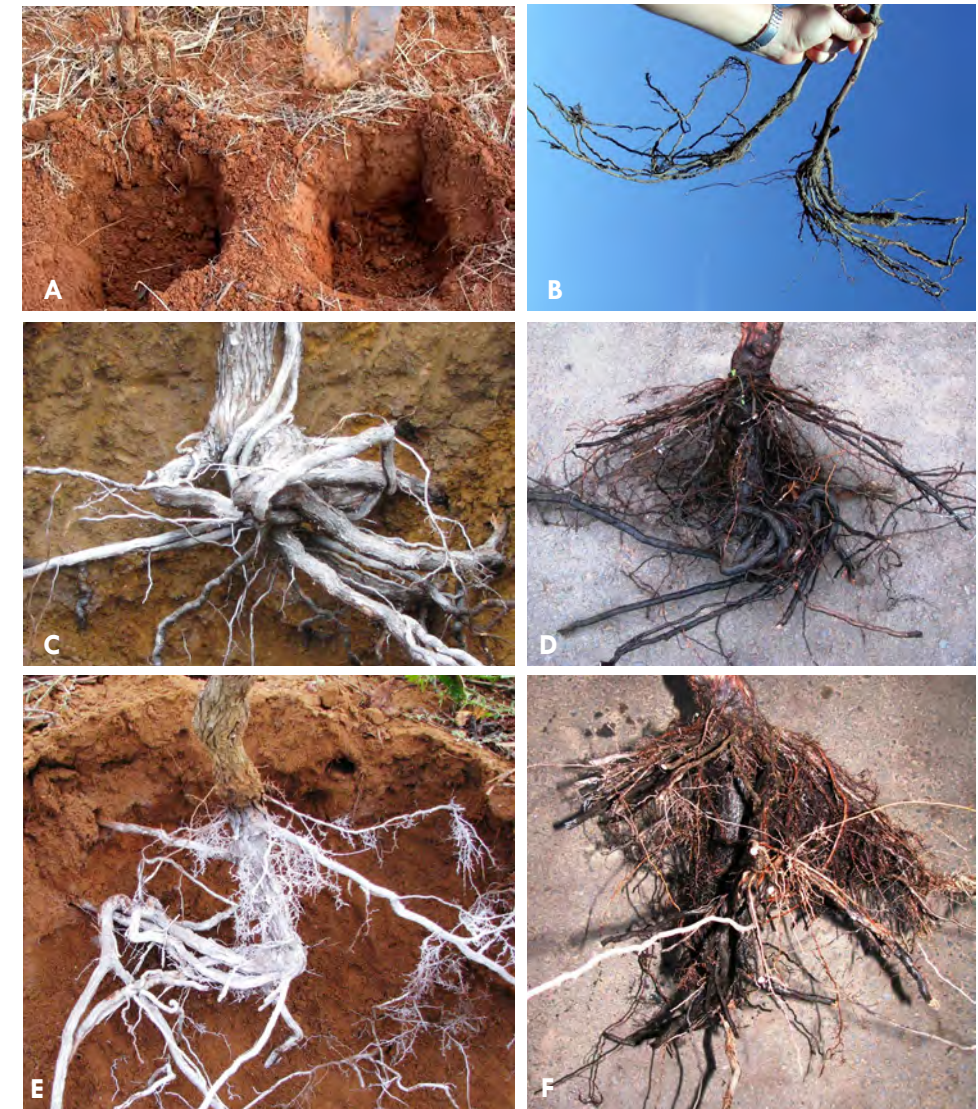


Fig. 4.8.1 Effek van plantgate op wingerdwortelverspreiding. A: Plant-gate met 'n vurk (links) en met 'n graaf (regs) gemaak. Let op die kompakteerde wande met die graaf verkry. B: Stokkies een jaar na plant teen die gekompakteerde wande van plantgate. Wortelgroei was slegs na een kant toe sonder dieptepenetrasie. C: Tien-jaar-oue wortels steeds vasgedruk op die bodem van die plantgat. D: Twaalf-jaar-oue wortels wat etlike jare gesukkel het om uit die plantgat met kompakte wande en bodem te kom. Let op dat die oorspronklike wortels versuip is. E: Nege-jaar-oue wortels wat selfs in sandgrond lank gesukkel het om uit die plantgat te kom. F: Veertien-jaar-oue wortels in 'n kompakte graafgemaakte plantgat in kleigrond. Let op dat die oorspronklike wortels versuip het en dat 'n tweede stel wortels nader aan die grondoppervlakte gevorm het. (Foto's A,C,D,E en F: E Archer; Foto B: NIWW)



Fig. 4.8.2 A: Stok op die kompakte bodem van 'n graafgemaakte plantgat. Let op dat die wortels eers opwaarts gegroei het om te ontsnap. B: Agt-jaar-oue wortelstelsel in 'n gekompakteerde plantgat. C: Wortelgroei vyf jaar na plant in 'n vlak plantgat met kompakte wande. Let op die saamgedrukte onderstokwortels in die gat sowel as die bedekte entlas. Die onderstokwortels het versmoor en makwortels het gevorm. D: Wortelgroei agt jaar na plant teen die kompakte wand van die plantgat. Let op dat die wortels steeds sukkel om uit die gat te ontsnap en dat hulle selfs in die rondte groei ten einde in die losgrond te bly. E: Wortelgroei 25 jaar na plant in 'n kompakte, klein plantgat. Let op hoe die wortels eers in die rondte gegroei het om die plantgat te ontsnap. F: Wortelverspreiding en dieptegroei een jaar na plant in 'n korrekte plantgat. Wortels is oopgemaak tot op 60 cm diepte. (Foto A: NIWW; Foto's B,C,D,E en F: E Archer)



Fig. 4.8.3 Bo- en ondergrondse wingerdgroei twee jaar na plant in dieselfde wingerdry.
A: Plantgat met 'n graaf gemaak en wande gekompakteer en die wortels kon nie die wande gereedelik penetreer nie. Let op die swak bogroei wat in balans is met die wortelgroei.
B: Plantgat met 'n vurk gemaak en wande losgemaak en die wortels kon ongehinderd uitbrei. Let op die sterk bogrondse groei wat in balans is met die wortelgroei. (Foto's: E Archer)

Groot voordele met die maak van korrekte plantgate is ook met Sultanina tafeldruive in die Oranjerivier verkry waar stokvorm in die eerste groeiseisoen feitlik volledig gedoen is en wortels die beskikbare grondvolume feitlik volledig 10 maande na plant gekoloniseer het (Fig. 4.8.4). Plantgat-afmetings was 50 x 50 x 50 cm. Hierdie wingerd het in die tweede groeiseisoen reeds meer as 1 000 kartonne/ha geproduseer.



Fig. 4.8.4 Die wortelverspreiding en bogrondse groei van Thompson Seedless x Ramsey 10 maande na plant. (Foto's: E Archer)

4.9 Plae en siektes

Wingerdwortels word deur 'n verskeidenheid plae aangeval, bv. filloksera, nematodes, margarodes, snuitkewers, swart mieliekewer en die witsykantkewer (De Klerk & Loubser, 1988). Van hierdie plae is filloksera, nematodes en margarodes die belangrikste.

Filloksera (*Daktulosphaira vitifolli*) (Fig. 4.9.1) het wêreldwyd wingerde gedurende die laat 1800's verwoes deurdat dit die funksies van beide jong en ou wortels drasties belemmer het. Die wortelluis kom seisoenaal voor in ooreenstemming met stygende grondtemperatuur, sowel as met aktiewe wortelgroei (De Klerk & Loubser, 1988). Filloksera begin aktief raak in September, gaan deur 'n piek in Desember, Januarie en Februarie en neem dan aftot einde Mei om dan te oorwinter. Die wonde wat deur die lang suiende bekdele van filloksera veroorsaak word, dien as ideale indringingsplek vir ander verrottingsorganismes, wat dan die hele wortelstelsel kan vernietig. Terselfdertyd veroorsaak die speeksel van filloksera abnormale seldeling, wat die vorming van nodositeite of haakagtige galle op jong wortels, en tuberositeite op ou wortels tot gevolg het (Fig. 4.9.2). Sodoende word die normale anatomie (Britz, 1968) en fisiologie van die wortels belemmer, wat die groei van wingerd laat kwyn en uiteindelik sterftes meebring. Die doeltreffende beheer van filloksera (en ook aalwurms) is primêr gebaseer op goeie grondvoorbereiding, die gebruik van weerstandbiedende onderstokke en goeie wortelvestigingspraktyke sodat groot, goedverspreide wortelstelsels verkry kan word (Loubser & Ueckermann, 1997). Jong stokke moet deur middel van plantgate, besproeiing en oesbeheer aangemoedig word om so gou moontlik diep en doeltreffende wortelstelsels te ontwikkel, wat sover moontlik, enige stremmingstoestande suksesvol die hoof kan bied.



Fig. 4.9.1 Filloksera wat voed op 'n wingerdwortel en galle veroorsaak.

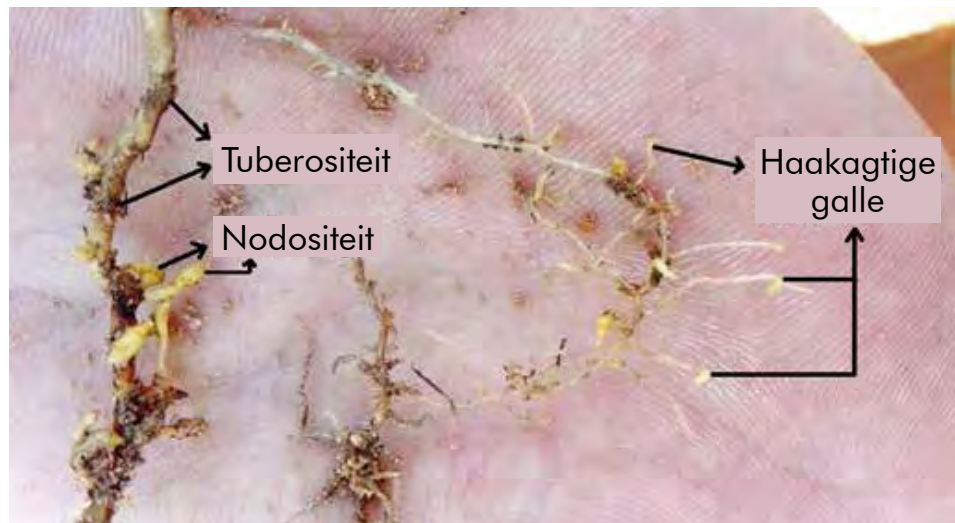


Fig. 4.9.2 Verskillende galle wat deur filloksera veroorsaak word op die wortels van 'n US 8-7 onderstok. (Foto: D. Kritzinger, Agrimotion)

Aalwurms kom wyd in die Wes-Kaapse wingerde voor en dit is veral knopwortel-, letsel-, dolk- en spiraalaalwurms wat die meeste skade veroorsaak (De Klerk, 1981). Dolkaalwurm (*Xiphenema index*) dra ook netelblaarvirus oor en het verder 'n drastiese nadelige effek op alle wortelfunksies, veral betreffende water- en voedingstofopname (Van Zyl et al., 2012). Dit sal uiteraard ook die produksie van hormone benadeel en sodoende verpotte lootgroeï en 'n afname in produksie veroorsaak. Die beste metode van bestryding is om van weerstandbiedende onderstokke (bv. Harmony en Freedom) gebruik te maak (Van Zyl et al., 2012). In 'n studie met twee *Vitis vinifera* kultivars en vyf onderstokke, vind Joubert (1971) groot verskille in die weerstand van wingerdwortels teen aanvalle van *Meloidogyna hapla* aalwurms. By vatbare kultivars word abnormale xileemweefsel gevorm, wat die opwaartse vervoer van water en voedingstowwe belemmer, terwyl ander histologiese veranderinge dikwels ook voorkom. By meer weerstandbiedende kultivars word wondperiderm by die bytplek gevorm, wat verhoed dat die nematodes die xileem bereik. Verder is gevind dat die aalwurm by hierdie meer weerstandbiedende kultivars verhoed word om sy lewenskringloop te voltooi. Sauer (1967) kry soortgelyke resultate in sy studie en vind groot verskille in die weerstand van verskillende onderstokke teen knopwortelaalwurm. Dit was veral 101-14 Mgt en Rupestris du Lot wat beter gevaar het. Vir effektiewe chemiese beheer van aalwurms moet die fenologie van wortelgroeï deeglik in ag geneem word ten einde die tydigheid van toediening te optimaliseer (McKenry, 1984).

Volgens Nicol en Heeswijck (1997) is die algemeenste aalwurms op wingerd in Australië knopwortel-, sitrus- en wortelletsel-aalwurms. Daar kom ook dolk- en ringaalwurm voor, maar hulle is beperk. Vier spesies van knopwortelaalwurm val wingerdwortels aan, naamlik *M. incognita*, *M. javanica*, *M. arenaria* en *M. hapla*. Die wyfies plant partenogeneties voort en hulle kan tot 60% opbrengsverlies veroorsaak. Daar is een spesie van sitrusaalwurm bekend, naamlik *Tylenchus semipenetrans* en tot 20 - 30% oesverlies word daardeur veroorsaak. Daar is 'n aantal wortelletselaalwurm-spesies, maar hulle veroorsaak relatief klein oesverliese. Slegs een spesie van ringaalwurm is bekend en minimale oesverliese word hierdeur veroorsaak, ten spyte daarvan dat dit redelik baie wortelringelering meebring. Oor die algemeen is aalwurms lief vir sanderige gronde en die chemiese beheer is moeilik. Dit is goed om warmwaterbehandelde stokke te plant en van weerstandbiedende of verdraagsame onderstokke gebruik te

maak. Daar moet vooraf 'n bepaling gedoen word van watter aalwurms in die grond voorkom ten einde op die nodigheid van chemiese behandeling te besluit. Verder moet dekgewasse gebruik word wat aalwurm-onderdrukkend is, soos byvoorbeeld wilde mosterd.

Volgens McKenry (1984) val nematodes (knopwortel) die area net agter die wortelmussie aan en dring daar binne. Meeste ander nematodes val ook die wortelpunte of onmiddellike omgewing aan. Op massabasis behels wortels ongeveer 0.05% van beskikbare grondmassa, wat die praktyk om aalwurms te beheer deur toksiese middels deur die hele grondvolume te was, ondoeltreffend laat lyk. Dit is duidelik dat toekomstige benaderings moet wees om aalwurmmiddels via translokasie deur die wortelstelsel toe te dien, eerder as deur die grond. Indien grondgedraagde middels wel gebruik moet word, behoort dit op die bankie toegedien te word, waar 56% van strukturele wortels < 2 mm deursnit is en 72% van nuwe wortelpunte in die wingerd bereik kan word.

Margarodes (M) is dopluise waarvan die larwes in die grond voorkom en, toegerus met lang suierende bekdele, die sap van wortelselle uitsuig terwyl dit giftige stowwe in die wortels inspuut (De Klerk, 1981; De Klerk & Loubser, 1988; De Klerk, 2017). Alhoewel daar ongeveer 70 spesies wêreldwyd op 'n wye reeks gasheerplante voorkom, is daar slegs 10 spesies

in Suid-Afrika bekend (De Klerk, 2017). Hiervan val vyf spesies wingerd aan, naamlik: *M. greeni*, *M. trimeni*, *M. capensis*, *M. vredendalensis* en *M. prieskaensis* (Fig. 4.9.3). Dit benadeel die algemene wortelfunksies, met gepaardgaande agteruitgang van groeikrag (korter en dunner lote, met blare wat na onder krul), kordonarms wat doodgaan en uiteindelijke algehele stokvrektes. Die agteruitgang en uiteindelijke vrektes van die wortelstelsel geskied oor tyd, waartydens die bogrondse prestasie van stokke ernstig benadeel word wat betref beide opbrengs en gehalte. Hierdie aantasting is veral opmerklik op stokke wat weens ander oorsake swaarkry. Daar is tans geen onderstok wat teen margarodes bestand is nie en die beheer daarvan is op chemiese middels aangewese, terwyl praktyke wat die stokke so stremmingsvry as moontlik hou 'n belangrike rol speel (De Klerk, 2017).

Verskeie swamopatogene kom voor wat wingerdwortels aanval en wortelvrot veroorsaak, met dodelike gevolge vir die wingerdstok (Marais, 1988). Die belangrikste swamme wat wingerdwortels aanval is *Phytophthora* en *Pythium* spp. en beide veroorsaak merkbare veranderinge in veral die ultrastruktuur van wortelselle, wat normale selfunksies belemmer (Marais & De la Harpe, 1982; Marais, 1988). Groot weerstandbiedendheidsverskille tussen onderstokke teen *Phytophthora cinnamomi* kom voor en dit is veral dié met *Vitis vinifera* in die teelouers wat beter presteer. Onderstokkultivars met meer glutamiensuur, arginien en aspartiensuur in hul worteluitskeidings, is meer vatbaar as die ander. Die vatbaarste onderstokke is 99 Richter, 1045 Paulsen, 1103 Paulsen en Rupestris du Lot. Warmwaterbehandeling van geënte stokke word as effektiewe beheermaatreël voorgeskryf (Marais, 1988). *Phytophthora cinnamomi* kom tot op 'n diepte van 320 mm in die grond voor en spreid sowat 1 m horisontaal binne die eerste jaar van infeksie (Marais, 1988). Die verspreiding van hierdie patogeen word hoofsaaklik deur waterbeweging in die grond bepaal en die populasie bereik 'n piek in November, Desember en Januarie. Die voorkoms en verspreiding van *Pythium* spp. volg baie dieselfde patroon as dié van *Phytophthora*.

Ander swamme wat wingerdwortels aanval is *Phaeomoniella chlamydospora* (Petri-siekte) en *Cylindrocarpon* spp. (swartvoet-siekte) (Halleen et al., 2004; Mostert et al., 2006; Halleen et al., 2006a; Halleen et al., 2006b; Halleen, 2010). Altesaam 11 spesies van Petri-siekte (Fig. 4.9.4 A) is reeds geïdentifiseer en hulle kom hoofsaaklik in jong wingerdaanplantings voor waar hulle betekenisvolle verliese van stokke kan veroorsaak. Swartvoetbesmettings (Fig. 4.9.4 B,C,D) kom hoofsaaklik in kwekerystokke



Fig. 4.9.3 *Margarodes prieskaensis* op wingerdwortels in die Oranjerivier Streek in Suid-Afrika. (Foto's: Johan van Zyl, Nexus, 2017)

voor en vind akute ekspressie in jong wingerdaanplantings waar die stokkies weens omgewingstoestande (veral ongunstige grondtoestande) onder stremming verkeer. Beide hierdie twee swamsiektes belemmer nuwe wortelvorming sowel as effektiewe translokasie van opgeneemde water en minerale. Sodoende word die algemene groei sowel as normale plantprestasie belemmer.

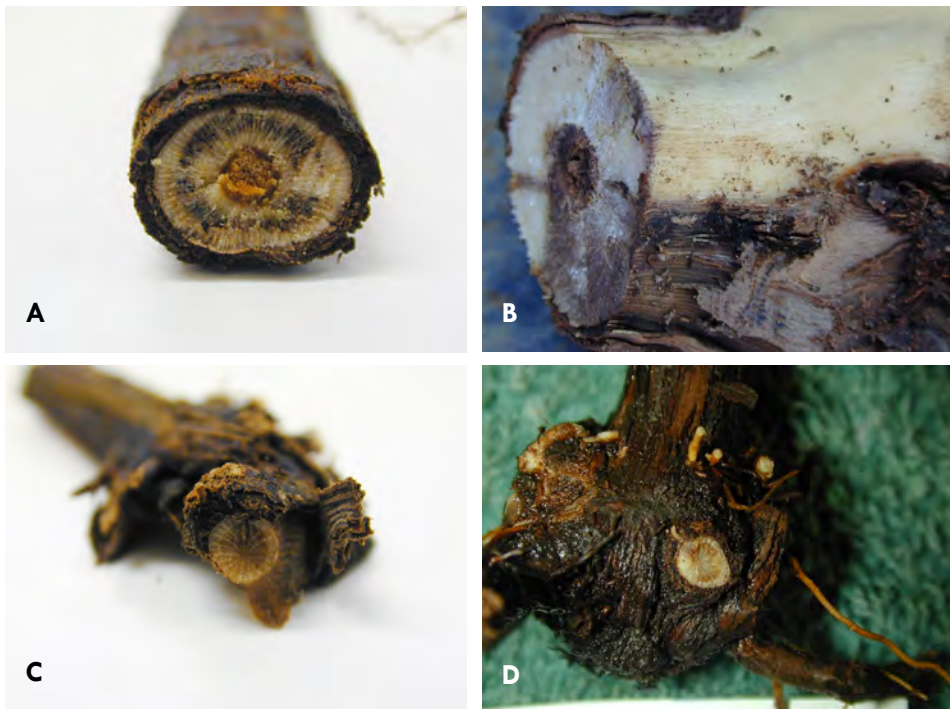


Fig. 4.9.4 A: Petri-siektesimptome in 'n deurgesnyde wingerdwortel. B: Swartvoetsimptome in die onderstokstam net onderkant die entlas. Die tipiese verbruining van die bas en onderliggende weefsel is belemmerend vir normale stokfunksionering. C: Deursnit deur 'n erg swartvoetbesmette wingerdwortel waarin geen translokasie moontlik is nie. D: Swartvoetbesmetting aan die voet van 'n jong wingerdstokkie wat die vorming van nuwe wortels belemmer.
(Foto's: Francois Halleen, LNR Instituut Nietvoorbij)

Hierdie siektes kan beheer word met warmwaterbehandeling (50 °C vir 30 minute) van jong stokkies, tesame met ondersteunende behandelings gedurende die eerste drie jaar na plant met *Trichoderma* na snoei, kompostee en fosetyl-Al (Halleen, 2010).

Armillaria wortelvrotswam is nog nie in Suid-Afrika gerapporteer nie, maar kom wel in die VSA voor (Winkler *et al.*, 1974). Daar staan dit ook as die sogenaamde akkerwortelswam bekend en dit ringeleer die stam en dikker wortels van die wingerdstok. Dit vernietig die floeë, korteks en kambium van die wortels en kan die hele wortelstelsel of slegs enkele wortels laat afsterf. Geaffekteerde wortels het 'n aangename sampioengeur en dit ruik nie suur of stink nie. Geen onderstok of makwortels is bestand teen *Armillaria* nie.

Infeksie met rolbladvirus het 'n negatiewe invloed op wortelgroei en -verspreiding (Fig. 4.9.5). Hierdie studie is gedoen in dieselfde wingerd en in dieselfde grond waar grondvoorbereiding en plantmetodes dieselfde was. Die wortels van 'n swaar- en ligte rolbladbesmette stok is vergelyk.

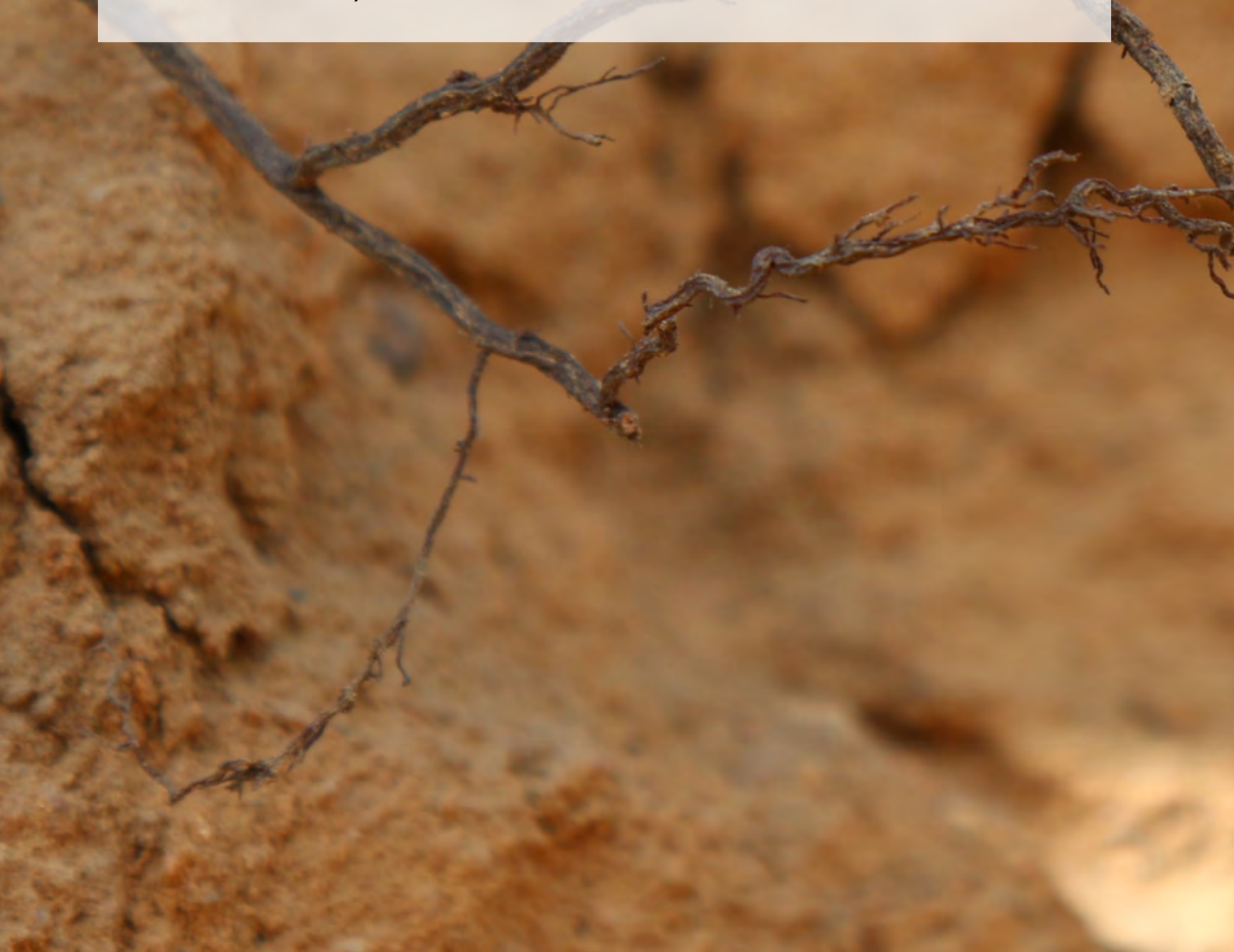


Fig. 4.9.5 Die effek van rolbladvirus op wortelgroei en -verspreiding. Links: Swaar besmetting. Regs: Ligte besmetting (Ruitgrootte: 20 cm x 20 cm). (Foto's: E Archer)

OPSOMMING

Die grootte asook bodem- en wandporositeit van plantgate het 'n deurslaggewende impak op wortelkolonisasie regdeur die leeftyd van die wingerdstok. Gekompakteerde wande en bodems is uiters belemmerend op wortelgroei en -verspreiding en het 'n groot negatiewe invloed op wingerdprestasie oor die leeftyd daarvan. Daarom is die maak van plantgate volgens die regte prosedures krities belangrik, al neem dit ook langer – daar is net een kans om dit reg te doen. Plantgate word weerskante van die plantlyn gemaak en die stokkie word in die middel van die gat gehou en liggies opgetrek terwyl die gat gevul word sodat die wortels afwaarts wys. Wortels moenie korter as twee snoeiskêlengtes ingekort word nie.

Filloksera, aalwurms, margarodes, verskeie swamopatogene en rolbladvirus het ernstige belemmerende invloede op wortelgroei en -verspreiding en bepaal sodoende die ekonomiese prestasie van die wingerd. Hierdie patogene moet doeltreffend beheer word om wortelgroei en -prestasie te bevoordeel en sodoende te verseker dat wingerdverbouing lewensvatbaar bly.







HOOFSTUK 5

ONDERHOUD VAN WORTELS

5.1 Grondvoorbereiding

Water en suurstof is noodsaaklik vir goeie wortelgroei en daarom, veral in die lig van klimaatsverandering, is dit noodsaaklik dat gebufferde wortelstelsels geskep moet word. In hierdie verband speel doeltreffende fisiese en chemiese grondvoorbereiding 'n deurslaggewende rol (Cass *et al.*, 1998; Archer & Hunter, 2010). Bewyse is deur Saayman en Van Huyssteen (1980) sowel as Saayman (1982) gevind dat diep skuifdol 'n dieper en meer homogene wingerdwortelverspreiding as vlak- en skeurbewerking meegebring het. 'n Hoogsbetekenisvolle direkte korrelasie is tussen effektiewe gronddiepte en loot- en oesmassa gevind. Sonder grondvoorbereiding is die voorkeursone vir wortelgroei oppervlakkig en is daar nie sprake van 'n gebufferde wortelstelsel nie (Fig. 5.1.1; Archer & Hunter, 2010). Fig. 5.1.2 toon die impak wat fisiese en chemiese grondvoorbereiding op die groei en verspreiding van wingerdwortels het. Vlak grondvoorbereiding beperk die dieptepentrasie van wortels. Opgedolde ondergrondtong, sowel as lae pH en fosfaatinhoude, toon dat die grondvoorbereiding onvoldoende was om aanvaarbare wortelkolonisasie mee te bring. In ooreenstemming hiermee vind Zerebkov (1966) en Cass *et al.* (1998) ook dat diep fisiese en chemiese grondvoorbereiding op geskikte grond voordelig vir die ontwikkeling van goed verspreide wortelstelsels is. Hierdie voorbereide grondvolume moet deur praktyke soos deklaagbewerking en tussen-ry skeurploegbewerking onderhou word (Cass *et al.*, 1998). 'n Deklaag bevoordeel erdwurms en grondmikrobes, terwyl die skeurploeg ook wortelsnoei doen. Garcia de Lujan Gil de Bernabe en Gil Monreal (1982) vind dat, ongeag die onderstokkultivar, plantwydte, verbouings- en ander faktore, grondwaterinhoud en grondgeaardheid die belangrikste invloed op wingerdwortelontwikkeling uitoefen. Die doeltreffendheid van grondvoorbereiding voor plant is dus kardinaal belangrik vir die ontwikkeling van gebufferde wortelstelsels.



Fig. 5.1.1 Vlak wortelontwikkeling met min fyn wortels word verkry wanneer die grond nie voorberei is nie. (Foto: NIWW)

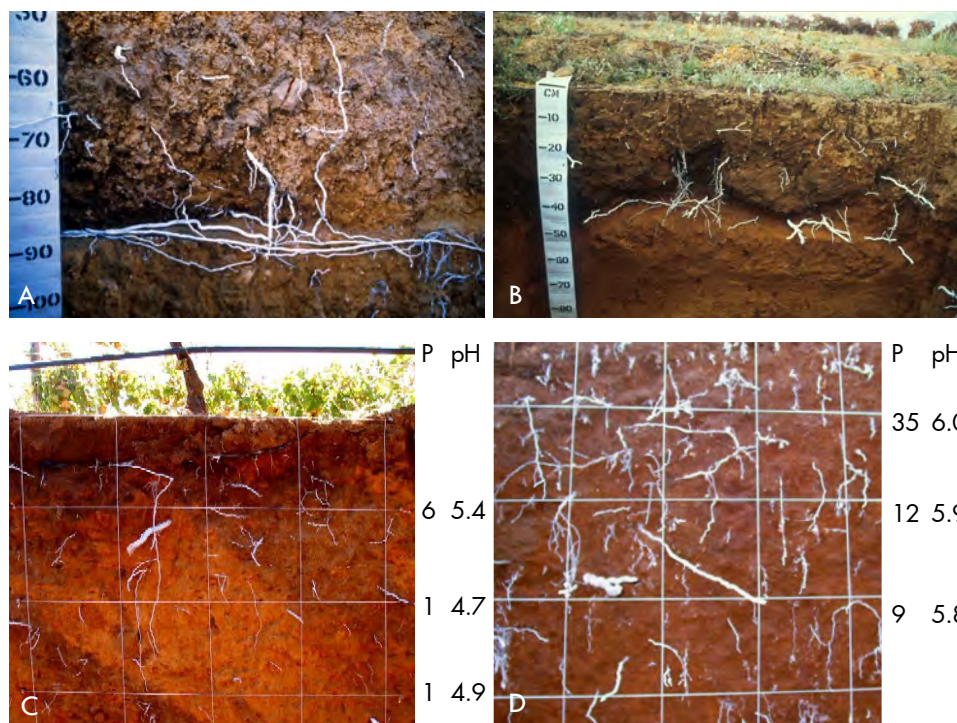


Fig. 5.1.2 Die effek van fisiese en chemiese grondvoorbereiding op die groei en verspreiding van wingerdwortels. P: = Fosfaatinhoud in dpm (Bray II; norm: 35 dpm). $pH_{(KCl)}$: = Grondsuurheid op 0 - 30, 30 - 60 en 60 - 90 cm gronddieptes. Ruitgrootte: = 20 x 20 cm.
A & B: Wortelindringing na dieper grondlae word beperk deur diepte van grondvoorbereiding (90 en 50 cm onderskeidelik). (Foto's: NIWW)
C: Swak vermenging, met opgedolde ondergrond- en afgedolde bogrond-tonge. Regstellings van P sowel as kalktoedienings het duidelik in gebreke gebly.
D: Wortelverspreidingsresultaat van goeie chemiese en fisiese grondvoorbereiding. (Uit Archer en Hunter, 2010)

OPSOMMING

Doeltreffende grondvoorbereiding verskaf water en suurstof vir wortelgroei en skakel die fisiese en chemiese beperkings op wortelkolonisasie uit. In Suid-Afrika word grondvoorbereiding beskou as die belangrikste stap om gebufferde wortelstelsels te skep wat klimaatsverandering doeltreffend kan teenwerk. Soos met die maak van plantgate is daar net een kans om dit vir die leeftyd van die wingerd reg te doen, daarom moet hierdie besluite aan die hand van sorgvuldige grondondersoeke en -analises geneem word.

5.2 Periodieke diepbewerking

Columella (c.76 nC.) beveel aan dat wingerde periodiek met behulp van handgegraafde loopgrawe diep bewerk word om die grond los te hou en om nuwe wortelgroei vanuit die wortelsnitwonde te promoveer. Sodoende word wortelgroei relatief naby die stokke gehou. Verder meen hy dat dit raadsaam is om die wingerdgrond gereeld met grawe vlak om te spit sodat enige reënval die grond maklik kan penetreer. Hy beveel ook aan om van tyd tot tyd geselekteerde wortels aan die begin van herfs naby die stam af te sny om nuwe wortelgroei te verseker. Gereelde wortelsnoei verdwerg bogrondse groei en is 'n tegniek wat grondliggend is aan die kuns om *bonsai* plante te kweek. Wortelsnoei word egter ook gebruik om nuwe wortelgroei te stimuleer wat nodig is om lootgroei te onderhou (Geisler & Ferree, 1984). Die meeste wortelsnoei praktyke is op praktiese ervaring gegrond en heelwat navorsing is nodig om hierdie praktyk op wetenskaplike beginsels te baseer.

Volgens Barnard (1932) oorvleuel wortels aansienlik en verminder dit groei weens kompetisie. Hiervoor help diep ploeg in die winter deurdat hoofwortels dikwels afgesny word. Dit lei tot sterk nuwe groei in die lente. Diep ploeg is volgens hom dus sonder twyfel 'n voordelige praktyk. Laterale wortels wat opwaarts vanuit die hoofwortels groei, word ook erg afgesny, maar nuwe uitbreidende groei ontstaan uit die afgesnyde ente, groei horisontaal en vorm 'n massa nuwe wortels op die basis van die bewerkingsone. Trosse voedingswortels ontstaan uit hierdie nuwe wortels gedurende dieselfde seisoen, terwyl bewerking tot sowat 12.5 cm verhoed dat die voedingsone nader aan die grondoppervlak opkom. Die mate van wortelregenerering na snoei weens diepbewerking, word deur grondtipe bepaal en waarskynlik ook deur onder- en bostokkultivars (Van Huyssteen, 1988b). Litinov en Beskrovnyf (1979) vind dat tussenry bewerking die grondwaterinhoud van droëland wingerd met tot 5.2% tydens blomtyd verbeter het. Gepaardgaande hiermee vind Melkojan *et al.* (1968) dat 45 - 50 cm diep tussenry bewerking in klipgrond in Armenië die waterinhoud, sowel as grondtemperatuur, merkbaar verbeter het. Veral die hergroei van gesnoeide dikwortels was merkbaar beter en het tot beter bogrondse groei gelei, terwyl 'n afname in afspeen en verhoogde korrel- en tros massa voorgekom het. Diepbewerking in elke tweede ry het die opbrengs met 16.7% en diepbewerking in elke ry met 34.9% verbeter, terwyl 'n afname van slegs 0.4% in suikergehalte gemeet is.

'n Gesnoeide wortel vorm die volgende volgorde van sones vanaf die snoeiwond: 'n buite sone van verdroogde selle; 'n sone wat deur wondsubstantie geïnfiltreer is en wat gedisorganiseer en nekroties voorkom; 'n sone van wondkurk in die buitenste kallus; 'n sone van meristematiese kallus en uiteindelik 'n sone van oorgang in normale weefsel (Geisler & Ferree, 1984). Wanneer wortelsnoei gedoen word voordat sekondêre groei (volledige kambiumring rondom die xileemkern) voltooi is, ontstaan nuwe wortels vanuit die perisikel. Wanneer wortelsnoei gedoen word nadat sekondêre groei voltooi is, ontstaan nuwe wortels vanuit die geregenereerde kambium van die kallussone (Fig. 5.2.1). Wortelsnoei in koue grond (< 10 °C) lewer swakker resultate as in warm grond (20 - 25 °C), daarom is wortelsnoei in die laat herfs minder suksesvol as dié in die laat lente.

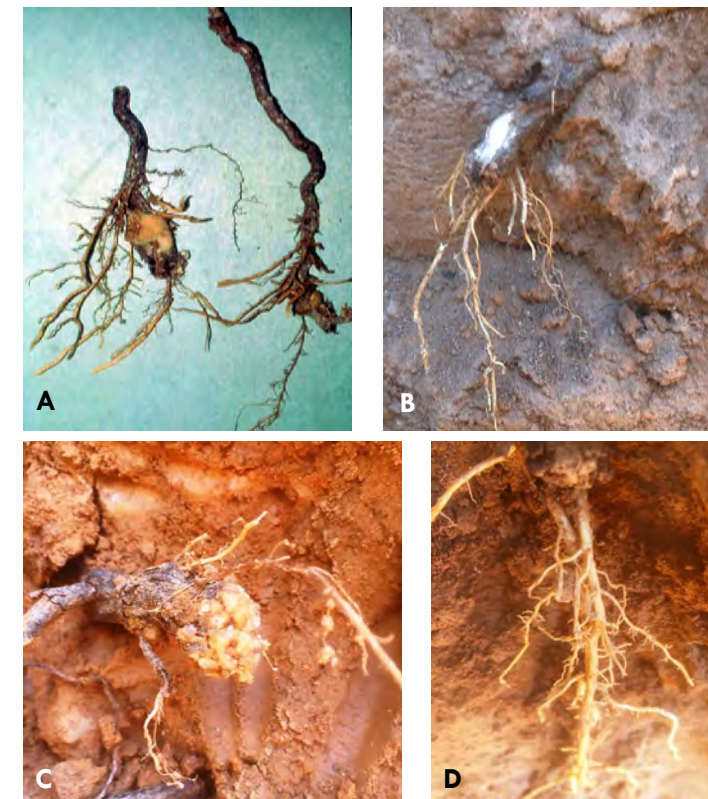


Fig. 5.2.1 A: Kallusvorming en vorming van nuwe wortels op gesnoeide wingerdwortels. (Foto: NIWW). B: Nuwe wortels ontwikkel net agter die snoeiwond. C: Korrelvormige kallus op afgesnoeide wortel. D: Nuwe wortels is liggeel, dik en vlesig. B, C & D: In 'n droëlandwingerd met 99 Richter in Darling, Suid-Afrika. (Foto's: E. Archer)

Van Huyssteen en Weber (1980) vind dat wortels wat met diepbewerking afgesny word, nuwe aktiefgroeiende wortels genereer, waarvan die aantal en lengte toeneem met deursnit van die afgesnyde wortel. Hulle meen dat die waarde van wortelsnoei debatteerbaar bly. Dit het 'n onmiddellike negatiewe effek op lootgroei en opbrengs, maar kan positief wees in daaropvolgende seisoene. Dit is moontlik dat die waarde van wortelsnoei lê in die herverspreiding van wortels en dus toegang tot voorheen onbenutte water en voedingstowwe bied. Bewerking tot 'n diepte van 50 cm in klam grond het nuwe wortelvorming en -groei van veral dikker wortels (1.9 tot 24.5 mm deursnit) bevorder (Oprea *et al.*, 1967). Vir elke wortel het daar 7 tot 12.7 nuwe wortels (25 - 65 per stok) ontwikkel.

Wortelsnoei op die regte tyd kan die wortelkontakoppervlakte met die grond heelwat verbeter (Fig. 5.2.2). Die tydsberekening van die bewerking is kardinaal belangrik en word eintlik deur die grondwaterinhoud bepaal wanneer dit nie té nat of té droog is nie (Cass *et al.*, 1998). Wortelsnoei op die regte tyd het nuwe raamwerkwortels teweeg gebring in grondsones waar vantevore nie wortels gegroei het nie (Hansen, 2012). Kaiser (1969) het wortelsnoei op 'n afstand van 40 cm vanaf die stokke en 50 cm diep in Augustus (einde winter), September (lente), Januarie (mid-somer), Februarie (einde somer) en Mei (herfs) gedoen en nuwe wortelgroei binne 45 dae na die behandeling, sowel as aan die einde van die groeiseisoen gevind. Dit was veral in Mei wanneer die meeste hergroei plaasgevind het. Herkompaksie van die grond in die werksry bring mee dat meeste wortels oor tyd meestal die bankie koloniseer en nie die grond tussen rye nie (Gasbovic, 1963).



Fig. 5.2.2 Wortelsnoei na-oes veroorsaak vertakking en dus vergroting van die wortel/grond kontakoppervlakte. (Foto: C. Snyman, Rust en Vrede)

Grondkompaksie kom geredelik voor in sones waar die meeste wielverkeer plaasvind en kan tussen 15 - 60 cm diep strek (McKenry, 1984). Periodieke diepbewerking tussen rye om grondkompaksie op te hef, bring noodgedwonge mee dat wingerdwortels afgesny word (Van Zyl & Van Huyssteen, 1987; Van Huyssteen, 1988). Normaalweg vorm nuwe wortels in die nabyheid van die wortelsnit, maar Van Zyl en Van Huyssteen (1987) het gevind dat hierdie hergroei ook so ver terug as 50 mm kan plaasvind. Die mate van hergroei word deur die strafheid van snoei, worteldikte en stokouderdom bepaal: Dikker wortels gee meer hergroei as dunner wortels en jonger stokke reageer sterker as ouer stokke (Oniani, 1974). Hoe strawwer die snoei-aksie (nader aan die stok), hoe groter is die negatiewe invloed op die groei van ongesnoeide wortels (Geisler & Ferree, 1984).

Plaaslike ervaring toon dat die blote opheffing van kompaksie heelwat hergroei van wingerdwortels in die losgemaakte skeurvoor stimuleer (Fig. 5.2.3).



Fig. 5.2.3 Hergroei van wortels in die skeurvoor na losmaak van kompakte grond. (Foto: E. Archer)

Pickering *et al.* (2009) vind 'n sterk verwantskap tussen sterk groeikrag tydens die kritiese periode na kappiesval en die voorkoms van rouband na deurslaan. Hulle het die voorkoms van rouband van 10 - 20% tot 1 - 4% verminder deur die wortels van Cabernet Sauvignon 25 cm weg van die stokry aan beide kante tot 60 cm diep in die herfs te snoei. Hierdie vermindering het vir drie seisoene geduur. Die kontrolestokke moes gereeld getop word, maar die wortelgesnoei se verminderde groeikrag het dit feitlik onnodig gemaak. Bykomstige effekte van wortelsnoei was vervroegde rypheid met kleiner korrels en hoër kwaliteit.

Wortelsnoei, veral op verkeerde manier en tyd, beïnvloed lootgroeï negatief en kan opbrengs benadeel. Herhaaldelike wortelsnoei benadeel die groei- en dragprestasie van die wingerdstok en daarom word dit nie meer gereeld as elke vyf jaar aanbeveel nie (Van Huyssteen, 1981; Dry *et al.*, 1998). Vir groeistimulering word die wortels tussen die trekkerspore in elke alternatiewe tussenryspasie gedurende die na-oesperiode gesnoei in gevalle waar grondkompaksie wortelgroeï en -funksies benadeel (Van Zyl & Van Huyssteen, 1987). Sodoende word verseker dat die wortel-opgebergte koolhidraatreserwes nie onnodig weggesny word nie.

Volgens Champagnol (1984) moet diep bewerking met die doel om wortels te hernu, afgekeur word omdat dit die stokke op drie maniere verswak: Dit verminder eerstens die aantal wortel ekstremiteite, dit veroorsaak die vorming van nuwe wortels slegs in een gedeelte van die grond wat reeds baie gekoloniseerd is en dit hou die risiko in om die verspreiding van virussiektes te bevoordeel.

OPSOMMING

Die herkompaksie van grond is belemmerend op wortelkolonisasie sowel as op die doeltreffendheid van alle wortelfunksies. Wanneer herkompaksie voorkom, is dit nodig om dit op te hef, maar dan is voorafondersoek krities belangrik om te bepaal presies watter grondgedeeltes bewerk moet word. Die opheffing van grondkompaksie kan slegs plaasvind wanneer die grondklimaat reg is sodat kluitvorming (té droog) of smering (té nat) nie plaasvind nie. Die gepaardgaande wortelsnoei kan 'n verbetering in wortelkolonisasie meebring met gevolglike verhoging in wingerdprestasie. Indien die praktyk egter verkeerd gedoen word, het dit erg belemmerende effekte op wingerdprestasie. Die opheffing van herkompaksie is nie 'n resepte nie en deeglike voorafondersoek is nodig.

5.3 Grondoppervlaktebestuur

Volgens Degrully en Ravaz (1905) het Columella reeds sowat 76 jaar na Christus aanbeveel dat in jong aanplantings die grond aan die einde van die somer sowat 45 cm diep bewerk moet word ten einde vlak wortels te vernietig, sodat dieper deurworteling aangemoedig word, wat dan meer bestand sal wees teen koue of hitte. Daaropvolgende bewerkings was vlak, met die doel om kompeterende onkruid uit te skakel. Hierdie gesigspunt is deur verskeie opvolgende publikasies gehuldig, maar later in die laat agtienhonderds is onder andere deur Jules Guyot gepropageer dat oormatige bewerking, anders as om onkruid te beheer, oordadig is en dat wortelontwikkeling in die oppervlaklae voordelig is, veral ten opsigte van voeding en deurlugting.

Die meeste onderskeppings- (fyn-) wortels word 7.5 - 25 cm diep onder deklaagbewerking gevind, maar dit is heelwat dieper wanneer die grond met groeiende gras bedek is. Laasgenoemde het 'n merkbare toename in die CO₂ konsentrasie in die grond teweeggebring (Rogers, 1939). W.W. Yocum (volgens Rogers, 1939) het reeds in 1935 vasgestel dat oppervlakkige fynwortelontwikkeling merkbaar deur strooideklaagbewerking bevorder word omdat die deklaag grondwater in die bogrondse lae bewaar. Goff (1897) vind dat by 9-jaar-oue wingerd op 'n sandleem grond met skoonbewerking, baie min wortels vlakker as 45 cm voorgekom het en dat tapwortels tot so diep as 240 cm diep gegroei het. Daarmee saam vind Le Roux (1941) dat aanhoudende skoonbewerking en die gepaardgaande ploegsoolontwikkeling nadelig is vir die dieptepenetrasie van wingerdwortels. In ooreenstemming hiermee vind Gabovic (1963) dat die grootste konsentrasie wortelgroei in die stokry tussen stokke voorkom, waar die grond die minste gekompakteer is, teenoor die werksry waar trekkerspookompaksie belemmerend is.

Gereelde vlak bewerking veroorsaak 'n wortelvrye oppervlaklaag en onkruidkompetisie het 'n soortgelyke effek (Van Huyssteen & Weber, 1980). Eersgenoemde word toegeskryf aan gedurige bewerking tot ongeveer 20 cm, wat wortels vernietig en laasgenoemde weens waterkompetisie deur aktiefgroeiende onkruid. Ook Morlat (1981) en Soyer *et al.* (1984) vind dat permanente dekgewasse wingerdwortels sterk verminder in die oppervlak horisonte. In ooreenstemming hiermee vind Honda en Okazaki (1967) dat heelwat meer voedingswortels onder 'n deklaagbewerking as onder skoonbewerking voorkom, veral in die 40 - 60 cm diepte lae.

Gereelde vlak bewerking veroorsaak ook dikwels 'n ploegbank waardeur wortels nie geredelik dring nie (Fig. 5.3.1).

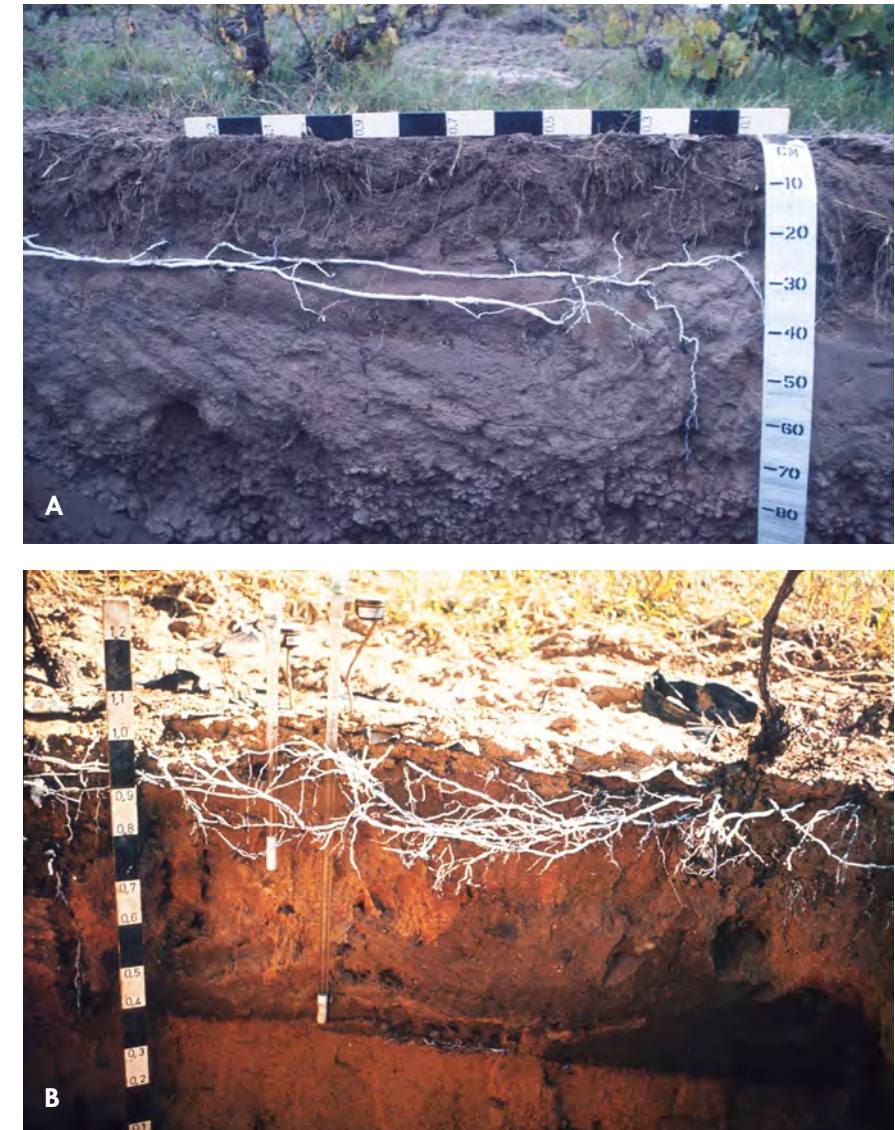


Fig. 5.3.1 Gereelde vlakbewerking veroorsaak 'n ploegbank waardeur wingerdwortels nie maklik dring nie. A: Vlakbewerking tot op 20 - 30 cm. B: Vlakbewerking tot op 10 - 20 cm. Let op dat dit ook meebring dat tensiometers dikwels op verkeerde dieptes geïnstalleer word. (Foto's: NIWW)

Ook Hansen (2012) vind dat deklaagbewerking op die bankies 'n verbetering in wortelkolonisasie in die bogrond bewerkstellig en dat die waterverbruiksoeltreffendheid dramaties verbeter. Dit is in ooreenstemming met navorsing wat plaaslik gedoen is, waar betekenisvol meer fynwortels in die boonste 20 cm grond diepte onder deklaag as met skoonbewerking voorgekom het (Fig. 5.3.2).



Fig. 5.3.2 Die positiewe effek van deklaagbewerking op die verspreiding van veral oppervlakkige fynwortels by wingerd. Links: Schoonbewerking. Regs: Deklaagbewerking. (Foto's: C. Snyman, Rust en Vrede)

Van Huyssteen en Weber (1980) vind dat skoonbewerking sowel as permanente dekgewas die ontwikkeling van wingerdwortels in die boonste 20 cm grond diepte onderdruk, terwyl die strooideklaag- en onkruid-doder-behandelings dit bevoordeel (Fig. 5.3.3). In gevalle waar die onkruidkompetisie chemies verwyder is, was dit veral die fynwortel-ontwikkeling wat bevoordeel is (Fig. 5.3.3 C). Die kompetisie wat onkruidwortels teen wingerdwortels bied, het die getal wingerdwortels met 50 % verminder en dit was veral fynwortelgroei wat benadeel is. Die temperatuurskommeling wat in die boonste grondlae van die skoonbewerking-behandeling voorgekom het, was waarskynlik die oorsaak van min wortelgroei in hierdie sone. Van Huyssteen (1988) toon duidelik dat, teenoor minimum bewerking, gedurige meganiese grondbewerking die hoeveelheid fyner wortels (< 4 mm deursnit) drasties in die boonste 20 cm grond diepte verminder. Die negatiewe impak hiervan word aanvanklik eers in lootgroei gemeet en daarna in opbrengs per hektaar.

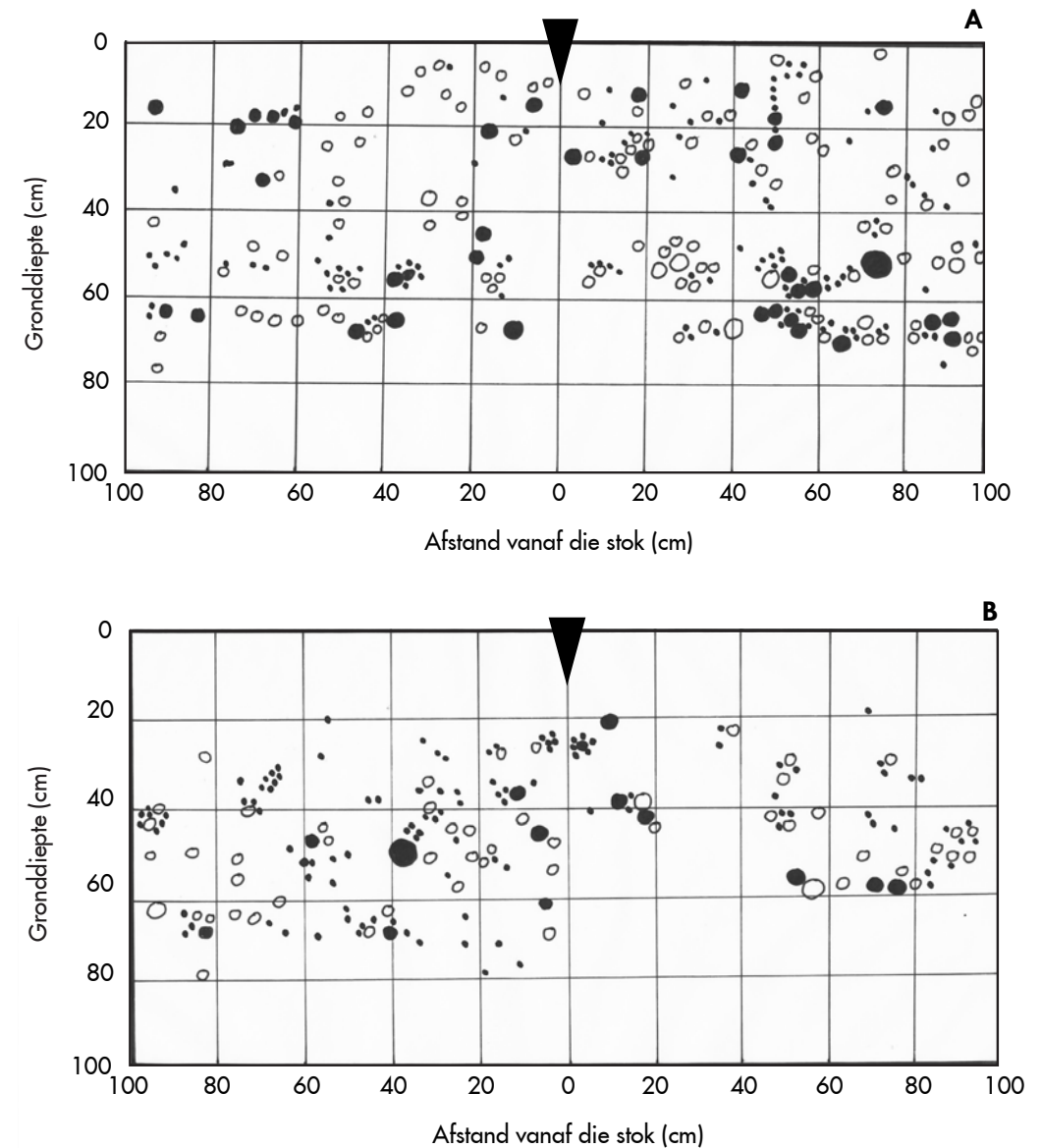


Fig. 5.3.3 A+B Wingerdwortelverspreiding onder twee verskillende bewerkings-praktyke. Worteldeursnitklasse: • = < 0.5 mm; ◦ = 0.5 – 1.0 mm; ● = 1.0 – 5.0 mm; ○ = 5.0 – 10.0 mm; ● = > 10 mm. A: Strooi-deklaag. B: Schoonbewerking. Let op hoe skoonbewerking wortelontwikkeling in die bogrondse lae belemmer. (Oorgeteken uit Van Huyssteen & Weber, 1980.)

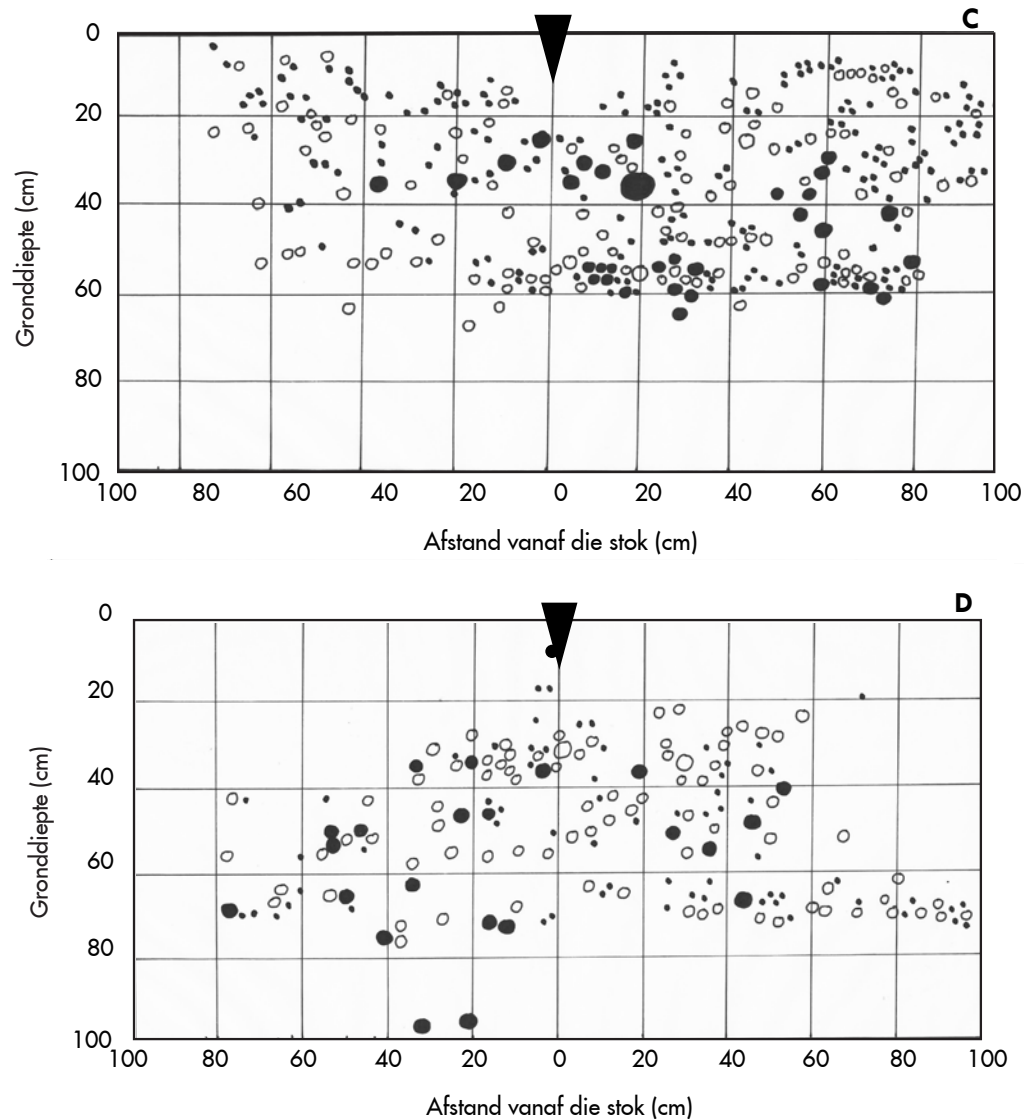


Fig. 5.3.3 C+D Wingerdwortelverspreiding onder twee verskillende bewerkingspraktyke. Worteldeursnitklasse: • = < 0,5 mm; ○ = 0,5 – 1,0 mm; ● = 1,0 – 5,0 mm; ○ = 5,0 – 10,0 mm; ● > 10 mm. C: Onkruidodder. D: Permanente dekgewas. Let op hoe permanente dekgewas wortelontwikkeling in die bgrondse lae belemmer. (Oorgeteken uit Van Huyssteen & Weber, 1980.)

Die wortels van permanente grasbedekking in die werksry toon strawwe kompetisie vir wingerdwortels, veral in die boonste grondlae. Hierdie kompetisie verminder drasties hoe nader aan die stokry beweeg word

(Morlat & Jacquet, 2003). Alhoewel bulkdigtheid en meganiese weerstand van die grond onder permanente dekgewas afneem, hou dit nie direkte voordele vir wingerdwortels in nie.

Anders as gerapporteer deur Van Huyssteen en Weber (1980), vind Linares *et al.* (2009) dat gras- en rog-dekgewasse die fynworteldigtheid van wingerd vermeerder en onderskeidelik 40% en 32% meer wortels/m² as kaal grond (skoonbework en onkruidodder) tot gevolg gehad het, maar nie totale wortelmasse geaffekteer het nie. Die produksie (Merlot en Shiraz) is egter met 15% deur die dekgewasse verlaag. Die groter worteldigtheid in die oppervlaklae onder dekgewas word toegeskryf aan die eliminerings van die dekgewas tydens die periode van maksimum wortelgroei (blom, deurslaan, na-oes) en die gebruik van besproeiing. Die afsny van wortels weens bewerking en die agteruitgaan van fisiese grondeienskappe weens chemiese onkruidbeheer, het wingerdwortels in oppervlak grondlae verminder.

In 'n proef oor 28 jaar waar verskillende tipes en hoeveelhede organiese materiaal as deklaagbewerking toegedien is, vind Morlat (2008) dat wortels van < 2 mm deursnit, 73 - 79% van die totale wortels uitgemaak het. Eers 14 jaar na die aanvang van die proef is betekenisvolle verskille vir die eerste maal gemeet. Dit impliseer dat talle internasionale proewe betreffende deklaagbewerking voortydig gestaak word. Morlat (2008) vind dat hoë toedienings van organiese materiaal (20 t/ha per jaar beesmis) die wortelstelsel merkbaar verklein teenoor die kontrole wat geen organiese materiaal ontvang het nie. Matig/lae toediening van 2 t/ha per jaar gemaalde winterlote het die wortelstelsel merkbaar vergroot teenoor dié van die kontrole. Die hoë toedienings mis het die grond oor langtermyn versout en het ook nitraatvergiftiging veroorsaak. Die gebruik van groot hoeveelhede organiese materiaal is verder nie bekostigbaar nie, maar die lae toedienings van gemaalde wingerdlote dra by tot volhoubare wingerdverbouing as gevolg van beter watergebruiksdoeltreffendheid (meer wortels) en gevolglike beter groei en drag.

Gaiotti *et al.* (2016a, 2016b & 2017) vind dat die tipe kompos wat toegedien word die wortelverspreiding beïnvloed. Beesmiskompos het nie wortelverspreiding betekenisvol positief beïnvloed nie, maar wel lootgroei, wat hulle toeskryf aan moontlik te hoë N-voorsiening wat lootgroei stimuleer maar wortelgroei onderdruk. Morlat (2008) rapporteer soortgelyke effekte. Kompos van wingerdsnoeisels het 'n merkbare positiewe invloed op vertikale en horisontale wortelgroei gehad, veral waar dit op die bankies toegedien was. Die kompos is jaarliks oor 'n periode van vyf jaar

toegedien en vlak ingewerk. Die kontrole-, werksry- beesmiskompos-, werksry snoeiselkompos- en bankie snoeiselkomposbehandelings het onderskeidelik 12, 15, 17 en 51 wortels per m² profielwand, 90 cm vanaf die stokry oor 'n periode van vyf jaar meegebring. Laasgenoemde resultaat was waarskynlik te danke aan meer doeltreffende voedingstofopname weens die gelokaliseerde plasing op die bankies.

Morlat en Venin (1981) vind dat, in die Loire-vallei, swenkgras as permanente dekgras minder as die helfte wingerdwortels/m² in totaal tot gevolg gehad het in vergelyking met chemiese beheer. Wortels < 1 mm, 1 - 2 mm en > 10 mm deursnit was betekenisvol minder by dekgras, terwyl tussen-in klasse nie geaffekteer is nie. Wortels < 1 mm deursnit is die meeste verminder, moontlik weens swakker weerstand teenoor ongunstige water-/minerale toestande wat deur die swenkgras veroorsaak is, of weens direkte kompetisie (fisiologiese inhibering, toksiese worteluitskeidings, ensovoorts). Ongeag die horison, is wortels > 2 mm deursnit betekenisvol verminder deur die swenkgras, soveel te meer nader aan die grondoppervlak waar die fisies/chemiese beperkings die minste was. In die 25 - 50 cm horison, wat die voorkeursone is vir die wortelraamwerk, was die 2 - 5 mm en > 10 mm deursnit wortels onder swenkgras betekenisvol minder teenoor chemiese beheer. In die dieper horisonte is hierdie tendens omgekeer en het swenkgras 'n voordelige effek gehad op 2 - 5 mm deursnit wortels, dus op die permanente wortels. Diep duikende wortels was betekenisvol meer onder swenkgras vir die 2 - 5 mm deursnit klas, wat daarop dui dat die dekgras dieper wingerdwortels tot gevolg gehad het, wat beperkend kan wees indien diep grondlae nie benutbaar is nie. Verbetering van fisies/chemiese grondeienskappe deur die dekgras was net in die boonste 0 - 10 cm en 10 - 25 cm lae, waar die grootste kompetisie met wingerdwortels was, sodat die stok slegs indirek daaruit kon voordeel trek. In die oppervlaklaag blokkeer kompetisie van swenkgras die vestiging van wingerdwortels en die ontwikkeling van hulle grootte. Die benutting van hierdie laag is dus baie beperk en word slegs gedoen deur baie klein wortels met 'n kort leeftyd.

In 'n twintig jaar lange eksperiment waar kaal grond (verkry deur chemiese onkruidbeheer), permanente dekgras (natuurlike onkruid en 0.5 m bankie chemies skoon gehou) en konvensionele skoonbewerking vergelyk is, vind Soyer (1984) dat die totale aantal wortels betekenisvol meer is by chemiese beheer as by skoonbewerking en dekgras. Daar was geen wortels in die boonste 0 - 20 cm diepte van skoonbewerking nie en 'n verskuiwing van wortels na die 20 - 50 cm grondlae (Fig. 5.3.4), sodat die totale aantal wortels van die dekgras- en skoonbewerking-behandelings

vergelykbaar was. 'n Afname in worteldigtheid was betekenisvol vir chemiese beheer vanaf 60 cm diepte. Volgens Soyer (1984) gee chemiese beheer en skoonbewerking 'n bevredigende agronomiese resultaat oor lang termyn, maar weens waterkompetisie is aktief groeiende dekgras nie wenslik vir die tradisionele nou plantwydtes (1.8 x 1.1 m) van Bordeaux nie.

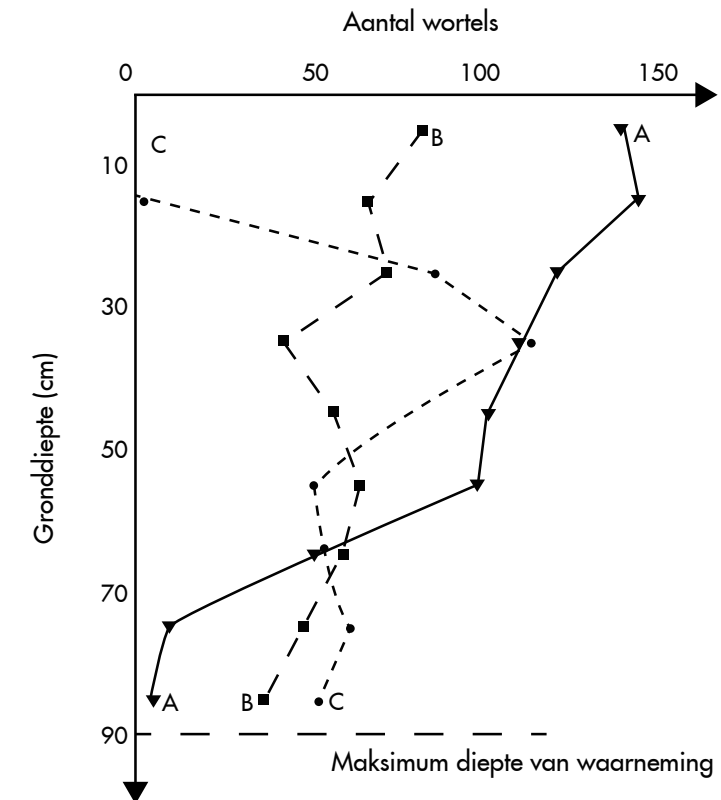


Fig. 5.3.4 Die gemiddelde aantal wortelinterseksies/0.11 m² as 'n funksie van gronddiepte en bewerkingspraktik.

- A: Chemiese onkruidbeheer;
B: Permanente dekgras en skoon bankies;
C: Skoonbewerking. (Oorgeteken uit Soyer, 1984)

Agulhon (1968) rapporteer die eerste werk met plastiekbedekking tydens wingerdvestiging wat vanaf 1963 in Frankryk gedoen is. Analoog aan beter vestiging en lootgroei, is tot 152% hoër wortelmasse gemeet onder plastiek as by die kontrolestokkies. Hierdie voordelige effekte het gemanifesteer in vroeër en groter oeste, wat hierdie praktyk haalbaar maak. Die voordelige

effek op groei was nie soseer weens verhoogde grondtemperatuur nie, maar wel weens meer gelykmatige dag-nag grondtemperatuur deur die verhoging van die grond se nagtemperatuur. Bykomstige voordele is die uitsluiting van grondwater-verdamping en goeie onkruidbeheer.

In Suid-Afrika, vind Van der Westhuizen (1980) ook dat waar swart plastiek as deklaag by wingerdvestiging gebruik is, die stokke na een jaar oor 'n 80 cm diepte drievoudig meer wortels as die onbedekte stokke gehad het (Fig. 5.3.5). Selfs nadat die plastiek na 18 maande begin verweer het, het hierdie stokke hul wortelverspreidingsvoordele behou, beide wat vlak- en diepwortels betref. Na die derde en vierde seisoene was die bedekte wortels 66% en 93% meer as dié van die nie-bedekte stokke. Hierdie wortelgroei is gereflekteer deur loot- en oesmassa (met drag wat een jaar vervroeg is), met 'n voorsprong wat tot die vyfde jaar na vestiging voortgeduur het. Die redes wat Van der Westhuizen (1980) vir hierdie ooglopend beter prestasie aandui, sluit in meer stabiele grondtemperatuur, beter waterbewaring, beter grondfisiese toestande en beter onkruidbeheer.

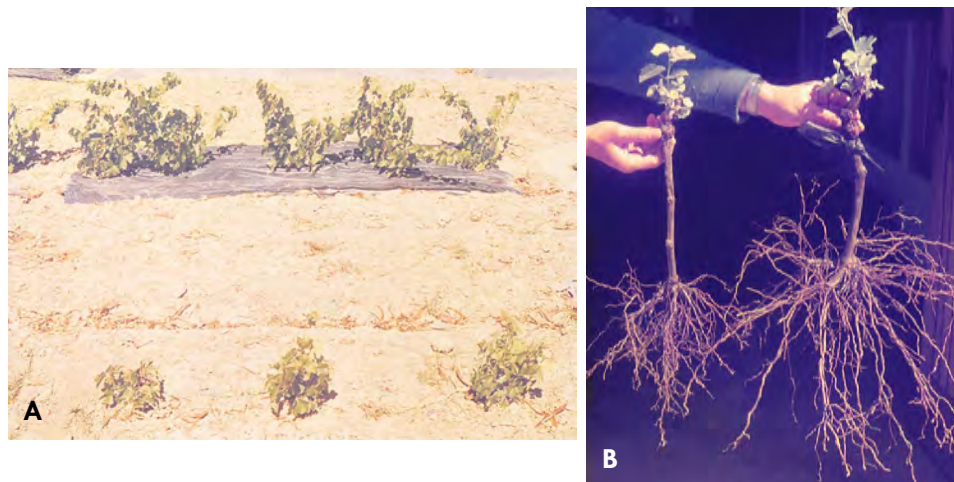


Fig. 5.3.5 Die effek van plastiekgrondbedekking tydens die vestiging van wingerd. A: Die impak op bopgrondse groei: Agter: Met plastiek. Voor: Sonder plastiek. B: Die impak op wortelgroei: Links: Sonder plastiek. Regs: Met plastiek. (Foto's: J.H. Van der Westhuyzen, NIWW, 1980)

OPSOMMING

Deklaagbewerking hou groot voordele in vir die ontwikkeling van fynwortels in die vlakker lae asook vir diepwortels in die dieper grondlae. Daarteenoor het skoonbewerking (groot grondtemperatuur-skommeling) sowel as bedekking met groeiende onkruid of permanente dekgewas (wortelkompetisie) groot nadele vir die ontwikkeling van onderskeppingswortels. Skoonbewerking het die verdere nadeel van ploegbankvorming wat die diepteverspreiding van wortels beperk. Hierdie nadelige effekte word eers in afnemende lootgroei en daarna in dalende produksie waargeneem. Veselryke deklaagmateriaal is verkieslik omdat dit langer in die wind en son behoue bly. Weens die voordele wat dit vir fynwortelontwikkeling inhou, word deklaagbewerking op die bankies sterk aanbeveel. Deklaagbewerking kan reeds na plant begin met plastiekbedekking wat groot voordele vir wortelgroei, bopgrondse groei en onkruidbeheer inhou.

5.4 Besproeiing

Chemotropie en hidrotropie is die vernaamste stimulanse vir wortelverlenging (Rogers, 1939). Perold (1926) rapporteer dat wingerdwortelgroei meer deur water as deur geopatrone beïnvloed word. Reeds in 1811 het T.A. Knight bepaal dat wortels die geneigdheid het om na klam grond toe te groei en bevind hy ook dat merkbaar meer wortelvertakking in ryk as in arm grond voorkom (Rogers, 1939). Le Roux (1941) vind dat grondwater die grootste dryfveer vir wortelverspreiding onder droëlandtoestande is en dat dit selfs die genetiese eienskappe van die onderstok oorheers. Hy beveel aan dat, veral vir jong stokke, minder gereeld, maar meer intensief per keer besproei moet word ten einde die tapwortels dieper die grond in te lok. Terselfdertyd waarsku hy teen oormatige besproeiing wat die watertafel te hoog laat styg en sodoende wortelgroei erg belemmer. Pomohaci (1967) toon aan dat wingerdwortels 7.2 m diep na die bestaande watertafel gegroei het. 'n Hoë watertafel het vlak wortels tot gevolg (Penkov & Dzilnajov, 1964). Wortels benut grondwatertafels deurdat dit water uit die kapillêre soom bokant die grondwatertafel onttrek (Segiun, 1971). Soos die watertafel daal en die stok nog in 'n vegetatiewe groeifase voor rypwording is, ontwikkel wortels agter hierdie water aan en is die stok min of glad nie afhanklik van reën tydens hierdie periode nie. Tydens rypwording staak groei en so ook wortelgroei en word die dalende grondwatertafel nie meer benut nie. Met styging van die watertafel in die herfs en winter, word 'n gedeelte van die wortelstelsel ondergedompel. Groot wortels verdra egter sonder ernstige gevolge 'n periode van onderdompeling gedurende die winter, wanneer dit in 'n baie verstadigde lewenstadium is.

Die effek van besproeiing hang af van tyd van toediening (Barnard, 1932). Besproeiing van Sultanina in Mildura, Australië, einde November, veroorsaak wit punte op uitbreidingswortels en sommige jong voedingswortels, asook die vorming van 'n klein aantal voedingswortels op ouer wortels, met 'n gemiddelde uitbreiding van omtrent vyf cm. Hierdie nuwe groei word gou bruin en groei verstadig weer sowat drie weke na besproeiing. Besproeiing teen begin Januarie het dieselfde effek maar wortelverlenging is gemiddeld 2.5 cm en later besproeiings het 'n minder merkbare en meer tydelike effek.

Safran, *et al.* (1975) doen van die eerste studies op die effekte van drupbesproeiing op wingerd en vind dat die ontwikkeling van die wortelstelsel beperk word tot die grondvolume wat benut word, wat relatief

minder is as by voloppervlak besproeiing en afhang van die aard van die grond, die gereeldheid van toedienings, die leweringtempo van die druppers en die hoeveelheid water per besproeiing. In diep, goed deurlugte grond ontwikkel diep en uitgebreide wortelstelsels wat in staat is om ook winterreën te benut wat diep infiltreer. Onder drupbesproeiing is ongeveer 70% van wingerdwortels in die boonste 1 m diep grond en gekonsentreerd in die stokry naby die drupperlyn, terwyl dit onder voorbesproeiing meer eweredig deur die hele profiel verspreid is (Mullins *et al.*, 1992). Besproeiing in vore het die getal van beide fyn- en tapwortels van *Rupestis du Lot* in Bulgarye verhoog. Hierdie verbetering het in die boonste een meter diepte van die grond plaasgevind (Magriso & Toncev, 1966).

In hulle ondersoek na die effekte van mikrospruite op Chenin blanc, vind Van Zyl en Weber (1981) dat 87% van die wortels in die boonste 60 cm grondlaag voorkom, met die grootste konsentrasie (28.9%) in die 30 - 45 cm grondlaag.

In Riverland, Australië, vind Soar en Loveys (2007) dat, na omskakeling van voloppervlak besproeiing na drupbesproeiing, wortels binne een jaar onder die drupperlyn meer gekonsentreerd raak. Daar was egter selfs na vyf jaar nie 'n afname in wortels van alle grootteklasse in die tussenry sone nie, ten spyte van effektief droë grond hier gedurende die grootste deel van die somer. Dit kan impliseer dat hierdie wortels oorleef van water wat beweeg vanaf wortels in die benatte sone en dat wortels wat die droë mid-ry sone oorsteek, dien as 'pyplyne' vir watervervoer vanaf naburige stokke. 'n Praktiese gevolg van hierdie groter wortelstelsel van wingerd wat onder voloppervlak besproeiing gevestig is, is dat dit moontlik meer droogtebestand sal wees as 'n wingerd wat onder drupbesproeiing gevestig is. Hierdie mid-ry wortels kan moontlik die potensiaal hê as 'n bron van 'stremming hormone', wat vrygestel kan word as die mid-ry benut word en dan as 'n opwelling van abssiensuur in die xileemsap kan dien, wat bestuur kan word vir beter watergebruik-doeltreffendheid.

Van Zyl (1984b) se wortelstudies met Colombar te Robertson by verskillende grondwater-regimes, toon dat die aantal aktiefgroeiende wortelpunte en wortellengte deur die seisoen dieselfde patroon gevolg het en dat beide parameters geskik is om nuwe wortelgroei te kwantifiseer. Nuwe wortelgroei het 'n maksimum bereik tydens blom en na oes, wat Conradie (1980) se bevindinge in potte en dié van Van Rooyen *et al.* (1980) in lisimeters en Freeman en Smart (1976) in risotrons, bevestig. Ongeag waterregime,

was daar min wortelgroei gedurende mid-somer wanneer wateropname maksimaal was. Wit wortels is dus nie die enigste weg van waterbeweging vanaf die grond na die stok nie. Gedurende een seisoen het wortelgroei selfs voor oes begin, wat daarop dui dat vrugverwydering nie die enigste stimulus vir die tweede piek van wortelgroei is nie of dat die duiwe gestaak het om 'n hoof-akkumuleerder van fotosintetiese produkte op daardie stadium te wees. Betekenisvol minder aktiefgroeiende wortelpunte is by die droë besproeiingsbehandeling verkry (Van Zyl, 1984b). Gemiddeld het nuwe wortelgroei hoofsaaklik in die boonste grondlae voorgekom, naamlik 45 - 50% in die 0 - 30 cm laag, 34 - 35% in die 30 - 60 cm laag en 21 - 25% in die 60 - 90 cm laag. Hy kom tot die gevolgtrekking dat, anders as lootgroei, wortelgroei, wat ook 'n piek toon tussen bot en blom, nie te veel deur beperkte besproeiing onderdruk sal word nie deurdat 'n groot gedeelte van wortelgroei na-oes plaasvind en dat wortels minder sensitief as bopgrondse groei teenoor waterspanning is.

Van Zyl en Van Huyssteen (1980) vind dat wingerdworteldigtheid geen invloed op die tempo van wateronttrekking het nie. Daarteenoor vind Archer *et al.* (1988) en Archer (1990) dat die hoër worteldigtheid soos deur nouer plantwydtes geïnduseer, grondwater vinniger deur die seisoen onttrek as wat die geval was met laer worteldigtheid by wyer plantwydtes (kyk Fig. 4.4.7).

Edwards *et al.* (2016) bestudeer die effek van drasties verminderde drupbesproeiing na vrugset in Riverland, Australië op Chardonnay/Ramsey in leemsaand grond. Anders as Anderson *et al.* (2003), wat vir Concord 75% worteloorlewing van minder as 150 dae gevind het, is hier gevind dat die meerderheid waargenome nuwe wortels deur die drie seisoene van waarneming oorleef het. Beperkte besproeiing, tot soveel as 10% van normaal, het slegs 'n beperkte negatiewe effek op wortels gehad. Minirison beelde het geen effek op wortellengte getoon nie, maar wel 'n vermindering in aantal wortelsterftes relatief tot die ontstaan van nuwe wortels. Grondkerne het slegs klein afnames in wortelgroei getoon, slegs betekenisvol oor vier seisoene. Hulle resultate illustreer die veerkragtigheid van die wortelstelsel onder waterspanning, gegewe die gepaardgaande afname in bopgrondse groei, weens die vermoë daarvan om allokasie vanaf bronne na die wortels onder sulke omstandighede te handhaaf.

OPSOMMING

Wingerdwortels het die geneigdheid om na klam grond toe te groei. Dit is 'n groot stimulus vir dieptegroei sowel as vir die etlike meter lange horisontale groei wat dikwels waargeneem word. Doelgerigte besproeiing om wortels te lok na onbenutte grondgedeeltes is dus 'n kragtige hulpmiddel om doeltreffende kolonisasie te bewerkstellig. Aanduidings is gevind dat wortels met 'n hoër waterinhoud die vermoë het om water na wortels met 'n laer waterinhoud te translokeer en sodoende uitdroging te verhoed. 'n Belangrike impak van besproeiing op diepteverspreiding van wortels is dus in die vroeë jare na vestiging waar minder gereelde maar dieper watertoedienings aanbeveel word.

5.5 Bemesting

Seguin (1971) vind dat die 'grand crus' wingerde van Bordeaux meestal deur arm grond gekenmerk word. Lae elementinhoud soos deur analyses vasgestel, is meer opsigtelik as werklik omdat, weens diep deurworteling, die wingerdstok groot hoeveelhede opneembare elemente kan benut. Hierteenoor is lae organiese materiaal en dus ook stikstofinhoud meer werklik omdat dit in die grond-oppervlaklae gelokaliseer is. Deurdat arm grond groeikrag beperk, word beperkte opbrengs verkry, maar hoë kwaliteit. Die lae minerale inhoud van oppervlakhorisonte bevoordeel die ontwikkeling van wortels na dieper grondlae, waar elemente gevind kan word wat nie aan die oppervlak aanwesig is nie, alhoewel die wortels veral in die oppervlak-grondlae gelokaliseer is indien dit mineraalryk genoeg is. Die wingerdstok het 'n lang leeftyd, 30 - 50 jaar, wat meebring dat die wortels tot groot dieptes weens normale geotropisme-prosesse kan ontwikkel. Hierdie diep wortelstelsel is dikwels noodsaaklik ten einde te kan oorleef in arm en droë gronde. Bykomstig tot geotropisme is daar ook chemotropisme en hidrotropisme wat diepte-uitbreiding van wortels bevoordeel of beperk.

Serpuhovitina (1969) kon aantoon dat daar besliste kultivarverskille was in die benutting van bemesting, wat deels toegeskryf kon word aan verskille in wingerdwortelverspreiding. Hy kon ook toon dat, met of sonder stikstof en kalium, superfosfaat beter wortelgroei veroorsaak het as gedefluorineerde rotsfosfaat of kalium-metafosfaat. Lagutinska (1968) vind dat anorganiese kunsmiste alleen 'n groter uitbreiding van absorberende wortels meegebring het as organiese kunsmiste of plaasmis. Dit dui daarop dat hierdie gronde nie 'n tekort aan organiese materiaal gehad het nie, maar wel arm was aan anorganiese voedingselemente. Le Roux (1941) vind dat waar organiese bemesting in die grond ingewerk is, die verrotte en half-verrotte materiaal goeie vertakking van veral fynwortels inisieer.

In sy navorsing vind Bozinova-Boneva (1969) dat die wingerdwortels die beste reageer op bemesting met 200 kg N/ha plus 90 kg P/ha en dat die twee bemestingstowwe op hulle eie nie doeltreffend was nie. Sommige elemente soos B en Ca moet voldoende teenwoordig wees in die onmiddellike omgewing van die wortels. Wortelvertakking van gewasse lyk hoogsafhanklik van beskikbare N en P te wees. Die voorsiening hiervan aan slegs 'n gedeelte van die wortelstelsel, kan tot 'n groot mate beperkte voorsiening aan die orige wortels oorkom (Woodham & Alexander, 1966).

Met Chenin blanc in sandkultuur is getoon dat daar twee periodes van aktiewe wortelgroei is, naamlik vanaf sowat ses weke na bot tot deurslaan en 'n tweede periode onmiddelik na oes, waarna wortelmasse relatief konstant bly (Conradie, 1988). In warmer binnelandse areas mag die eerste periode vroeër begin. Wingerdwortels is duidelik 'n bron van N vanaf bot tot einde van vinnige lootgroei en dan weer vanaf deurslaan tot oes. Die getranslokeerde N is deur nuwe groei gebruik en behels 40% van die N hiervoor benodig. Die N-inhoud van wortels styg met 192% vanaf oes tot bot, waarna dit weer afneem, wat aandui dat die wortels 'n belangrike bron van N is gedurende die voor-oes stadium en 'n groot sink van N is gedurende die na-oes periode. (Fig. 5.5.1).

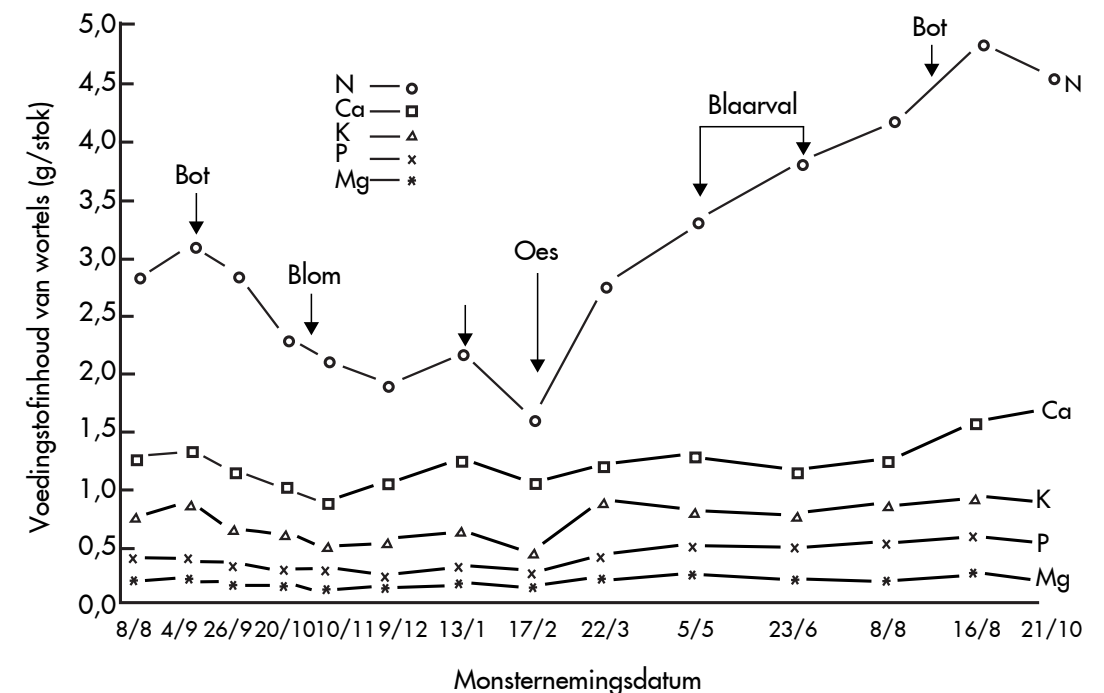


Fig. 5.5.1 Seisoenale variasie in die absolute hoeveelhede (g/stok) van N, P, K, Ca en Mg teenwoordig in wingerdwortels. (Oorgeteken uit Conradie, 1988)

Wortels dien dus as belangrike bron van veral N gedurende die vroeg seisoen periode en weer die maand voor oes. Dit is dus veral belangrik dat daar genoeg N in die wortelsone gedurende die na-oes periode moet wees wanneer reserves aangesamel word en dit beklemtoon die belang van herfsbemesting onder Wes-Kaap klimaatstoestande. Na bot is daar egter min wortelgroei, waarskynlik weens te nat en koue grond, sodat te vroeg

toegediende bemesting foutief is en deur lentereën uit veral sanderige grond geloog kan word. Eissenstat *et al.* (2006) is van mening dat daar min getuienis is dat herfs-bemesting in noordelike gematigde streke saamval met 'n periode van hoë wortelaktiwiteit. Bemestingsdoeltreffendheid kan hier die beste verkry word deur gereelde klein hoeveelhede toedienings, eerder as groot toediening slegs een of twee keer per jaar.

Seguin (1971) vind meer fynwortels in Bordeaux in grondlae waar die Fe in gereduseerde vorm is (grys-blou kleure) as waar die Fe geoksideer en as konkresies voorkom. In sekere gevalle kan die hardheid van die konkresielae oorsaaklik wees, maar hy vind dat selfs in gevalle waar die Fe-ryke grondlaag baie bros en goed deurlug is, daar steeds 'n afwesigheid van lewende fynwortels is. Fisiese en chemiese analyses kon dit nie verklaar nie en hierdie verskynsel verdien diepgaande ondersoek.

Die teenwoordigheid van 'alios' of eerder die meer realistiese term, Fe-konkresies (-aansameling), in Bordeaux gronde, is altyd beskou as 'n kwaliteitsfaktor (Seguin, 1971). Dit is onwaarskynlik dat Fe-konkresies op sigself 'n voordelige faktor ten opsigte van wynkwaliteit kan wees, deurdadig in meeste gevalle dit nie deur wingerdwortels benut word nie. Dit lyk egter of dit toestande in die Medoc is wat die vorming van Fe-konkresies bepaal, naamlik die daling van die grondwatervlak in die somer, wat voordelig is ten opsigte van goeie rypword van duiwe.

In Brasilië vind De Melo *et al.* (2016) met potproewe, waarin die grond se Zn -inhoud van 20 dpm tot 160 dpm aangepas is, dat wortel droëmassa 50% deur die hoë Zn-vlak verminder is, teenoor 25% van lote. Dus is wortels 'n beter indikator van Zn-fitotoksisiteit as lote.

OPSOMMING

Bemesting beïnvloed die chemotropisme van wortels. Minder luukse oppervlakte bemesting forseer dieptewortels om elemente, wat nie bogronds beskikbaar is nie, in die dieper grondlae te gaan opneem indien die behoefte daarvoor ontstaan. Daarom word minder beweeglike elemente tydens grondvoorbereiding diep ingewerk, terwyl beweeglike elemente periodiek op die grondoppervlakte geplaas word waar dit deur onderskeppingswortels opgeneem word. Bemesting moet volgens die wortelgroeisiklus beplan word en in Suid-Afrika is dit veral gedurende die periode na-oes wanneer voedingselemente vir nuwe wortelgroeï en vir die neerlegging van reserves benodig word. Daarteenoor is té vroeë bemesting (voor bot) ondoeltreffend omdat wortelaktiwiteit laag is en die elemente ook deur lentereën, veral op sanderige gronde, uitgewas kan word. Kennis van die wortelgroeisiklus en grondgeaardheid van elke wingerd is dus belangrik om 'n doeltreffende bemestingsprogram te beplan.

HOOFSTUK 6
SLOTSOM

HOOFSTUK 6

SLOTSOM

Wêreldwyd het sonligboerdery in wingerd heelwat meer aandag in navorsing en praktykvoering as wortelboerdery gekry. Suid-Afrika, met sy inherente suur- en soms vlak gronde waarop wingerde algemeen verbou word, het gedurende die 1980's en 1990's leiding geneem in die skepping van optimale chemiese en fisiese wingerdwortel omgewings danksy voorpuntnavorsing wat deur 'n bekwame span grondkundiges te LNR Nietvoorbij onderneem is. Dit het meegebring dat wingerdwortelgroei en -reaksie dramaties verbeter is. Dit is ook die groot rede waarom Suid-Afrikaanse wingerdwortel-verspreidingspatrone soms drasties verskil van dié wat internasionaal aangetref word. Die Suid-Afrikaanse benadering het vir elke stok sy voorkeurvolumen geskep waarbinne dit kon gedy en presteer sonder om met naburige stokke te kompeteer.

Geen bogrondse groeireaksie vind plaas sonder die direkte of indirekte invloed van die wortelsisteem nie. Behalwe vir die opname van water en voedingstowwe, is wortels belangrike produksiesentra vir hormone, waarsonder geen groei kan plaasvind nie. Alle wingerdkundige praktyke impakteer wortelontwikkeling en -groei en daarom moet die ondergrondse invloed van hierdie praktyke altyd deeglik oorweeg word.

Dit blyk duidelik dat, hoe kouer die betrokke wynbouland, hoe meer word die wortelgroeisiklus deur een piek (naby deurslaan) gekenmerk. Warmer (Mediterreense) klimaat lande toon duidelik twee pieke van wortelgroei, naamlik by volblom en na oes. Dit het belangrike implikasies vir die tydsberekening van wortelboerderypraktyke in verskillende streke en lande. In hierdie verband is die tydperk na-oes vir die neerlegging van reserwekoolhidrate in die wortels krities belangrik omdat dit so 'n groot impak op wingerdprestasie in die daaropvolgende groeiseisoen het.

Omdat wingerdwortels sensitief is vir enige grondfisiese en -chemiese beperking, is dit belangrik dat alle grondverwante praktyke daarop ingestel is om sulke beperkings te verhoed en/of op te hef. Die optimalisering van

die wortelfunksies impakteer direk positief op die wingerd se groei- en dragprestasie en dit sal in die toekoms toenemend meer belangrik word ten einde die volhoubaarheid van wingerdboerdery te verseker.

Gebufferde wingerdwortelstelsels is waarskynlik die belangrikste wapen teen klimaatsverandering (warmer en droër) in die Wes-Kaap van Suid-Afrika. Daarom is 'n beter kennis van wortelgroei, -reaksies en -funksies kardinaal belangrik om wingerdwortelboerdery suksesvol te maak. Daar is voldoende bewyse dat 'n goed gebufferde wortelstelsel voordelig is ten opsigte van weerstand teen klimaatskotte en dus gelykmatige groei en gepaardgaande wynkarakter. Ook om hierdie rede is die benadering van beperkte grondbenutting weens operdwalle en 'n saamgaande veld-hidroponika benadering van watertoediening en voeding, wat dikwels in die vrugtebedryf aangetref word, nie vir kwaliteit wyndruifverbouing aan te beveel nie.



LITERATUUR

LITERATUUR

- Agulhon, R., 1968. Paillage plastique à la plantation des vignes. Texte d'un exposé fait à Montpellier à l'occasion de la Journée Technique d'Information Viticole, 23 Avril, 1968.
- Ambrosini, V.G., Voges, J.G., Canton, L., Couto, R. da R., Ferreira, P.A.A., Comin, J.J., De Melo, G.W.B., Brunetto, G. & Soares, C.R.F.S., 2015., Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on young vines in copper-contaminated soil. *Braz. J. Microbiol.*, 46(4):1045-1052.
- Anderson, L.J., Comas, L.H., Lakso, A.N. & Eissenstat, D.M., 2003. Multiple risk factors in root survivorship: A four-year study in Concord grape. *The New Phytologist*, 158:489-501.
- Araujo, F.J., 1988. The response of three year-old Thompson Seedless grapevines to drip and furrow irrigation in the San Joaquin Valley. Masters thesis, Univ. Calif., Davis.
- Araujo, F.J. & Williams, L.E., 1988. Dry matter and nitrogen partitioning and root growth of young field-grown Thompson Seedless grapevines. *Vitis*, 27:21-32.
- Archer, E., 1981. Klassifikasie, anatomie en morfologie. In: Burger J.D. & Deist, J. (reds.). *Wingerdbou in Suid-Afrika*. NIWW, Privaatsak X5026, 7600 Stellenbosch: Trio-Rand (SA), Litho: N'dabeni, 1-32.
- Archer, E., 1990. Espacement studies on unirrigated, grafted Pinot noir (*Vitis vinifera* L.). Ph.D. Thesis. University of Stellenbosch, 7600 RSA.
- Archer, E., 1991/2. Espacement studies with unirrigated, grafted Pinot noir (*Vitis vinifera* L.) grapevines. *Ann. Univ. Stellenbosch*, 1991/2:1-48.
- Archer, E., 2000. How vine spacing impacts water use and root development. *Pract. Winery & Vineyard*, XX (6):23-29.
- Archer, E. & Hunter, J.J., 2004/5. Vine balance: Its importance to successful cultivation. *WineLand Tech. Yearbook*, 2004/5:60-66.
- Archer, E. & Hunter, J.J., 2005/6. Vine roots play an important role in determining wine quality. *WineLand Tech. Yearbook*, 2005/6:30-32.
- Archer, E. & Hunter, J.J., 2010. Practices for sustainable viticulture. Part 1: Soil preparation for a proper root system. *WineLand Tech. Yearbook*, 2010:120-125.
- Archer, E. & Hunter, J.J., 2010. Practices for sustainable viticulture. Part 3: Planting of vines. *WineLand Tech. Yearbook*, 2010:136-141.
- Archer, E., Swanepoel, J.J. & Strauss, H.C., 1988. Effect of plant spacing and trellising systems on grapevine root distribution. In: The Grapevine Root and its Environment. Compiled by J.L. van Zyl. Dept. Agric. & Water Supply, Pretoria, RSA. *Tech. Comm.*, 215: 74-87.
- Archer, E. & Strauss, H.C., 1985. Effect of plant density on root distribution of three-year-old grafted 99 Richter grapevines. *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, 6(2):25-30.
- Atkinson, D., 1980. The distribution and effectiveness of the roots of tree crops. *Hort. Rev.*, 2:424-490.
- Barnard, C., 1932. The root system of Sultana. *Comm. Sci. Ind. Res. J.*, 5:89-93.
- Bartchi, H. & Garrec, J.-P., 1981. A comparative study on the cytological localization of some mineral elements in the cortex of non-mycorrhizal *Vitis vinifera* roots. *Hort. Abs.*, 51(6):4457.

- Bates, T.R., Dunst, R.M. & Joy, P., 2002. Seasonal dry matter, starch and nutrient distribution in Concord grapevine roots. *Hort Science*, 37:313-316.
- Bauerle, T.L., Smart, D.R., Bauerle, W.L., Stockert, C. & Eissenstat, D.M., 2008. Root foraging in response to heterogeneous soil moisture in two grapevines that differ in potential growth rate. *The New Phytologist*, 179:857-866.
- Beakbane, A.B. & Thompson, E.C., 1939. Anatomical studies of stems and roots of hardy fruit trees. *J. Pom. Hort. Sci.*, 17:141-149.
- Bennett, J., Trought, M.C.T. & Jarvis, P., 2002. The importance of over-wintering carbohydrates on inflorescence development and yield potential. *Austr. & New Zeal. Gr. Grower & Winemaker*, Jan 2002:70-72.
- Bidwell, R.G.S., 1974. *Plant Physiology*. Macmillan Publishing Co., Inc. New York.
- Böhm, W., 1979. Methods of studying root systems. *Ecological studies*, Vol. 33. Springer-Verlag: Berlin, New York.
- Bollard, E.G., 1960. Transport in the xylem. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 11:141-166.
- Bonfante-Fasolo, P., 1978. Some ultrastructural features of the vesicular-arbuscular mycorrhiza in the grapevine. *Vitis*, 17:386-395.
- Bonzon, B. & Picard, D., 1969. Matériel et méthodes pour l'étude de la croissance et du développement en pleine terre des systèmes racinaires. *Cah. ORSTOM, sér. Biol.*, 9:3-18.
- Bouard, J. & Pouget, R., 1971. Physiologie de la croissance et du développement. In: J. Ribereaux-Gayon & E. Peynaud (eds.), *Sciences et Techniques de la Vigne*, Dunod, Paris, 329-413.
- Boubals, D., 1977. L'évolution dangereuse des vignobles établis sur sol acide. L'exemple de Berlou dans la région de Saint-Chinian (Hérault). *Prog. agric. vitic.*, 114(22). Spécial SITEVI: 491-493.
- Bowen, G.D., 1985. Roots as a Component of Tree Productivity. In: *Attributes of Trees as Crop Plants*. Eds. M.G.R. Cannell & J.E. Jackson, pp. 303-315. Titus Wilson & Son: Kendal, Cumbria.
- Bozinova-Boneva, I., 1969. The effect of different conditions of mineral nutrition on the absorptive and biosynthetic functions of the vine root system. *Hort. Abs.*, 40:3398.
- Branas, J., 1974. *Viticulture*. Déhan: Montpellier.
- Branas, J. & Vergnes, A., 1957. Morphologie du système racinaire. *Prog. agric. vitic.*, Tome CLXV, 74^{me} année, Nr. 3-4:29-32; Nr. 7-8:94-104; Nr. 9-10:122-129; Nr. 11-12:147-158; Nr. 13:173-183; Nr. 14-15:203-209.
- Britz, C.J., 1968. 'n Anatomiese studie van *Vitis* wortels gesond en beskadig deur filloksera. M.Sc. Tesis. Univ. Stellenbosch, RSA.
- Buckland, S.T. Campbell, C.D., Mackie-Dawson, L.A., Horgan, G.W. & Duff, E.I., 1993. A method for counting roots observed in minirhizotrons and their theoretical conversion to root length density. *Plant and Soil*, 153:1-9.
- Burton, A.J., Pregitzer, K.S., Zogg, G.P. & Zak, D.R., 1988. Drought reduces root respiration in sugar maple forests. *Ecol. Appl.*, 8:771-78.
- Buttrose, M.S., 1966. The effect of reducing leaf area on the growth of roots, stems and berries of Gordo grapevines. *Vitis*, 5:455-464.
- Cailloux, M., 1972. Metabolism and the absorption of water by root hairs. *Can. J. Bot.*, 50:557-573.
- Cass, A., Maschmedt, D. & Chapman, J., 1998. Managing physical impediments to root growth. *Austr. Gr. Grower & Winemaker*, June 1998, 13-17.
- Champagnol, F., 1979. Le densité de plantation en viticulture. *Prog. agric. vitic.*, 96:185-195.
- Champagnol, F., 1984. *Elements de physiologie de la vigne et de viticulture generale*. B.P. 13 Prades-le Lez, 34980 Saint-Gely-du-Fesc, France.
- Clarke, S.J., Lamont, K.J., Pan, H.Y., Barry, L.A., Hall, A. & Rogiers, S.Y., 2015. Spring root-zone temperature regulates root growth, nutrient uptake and shoot growth dynamics in grapevines. *Aust. J. Gr. Wine & Res.*, 21:479-489.
- Columella, L.J.M., ± 76 nC. Columella on Agriculture, Books X – XII, Trees, (Transl. Foster, E.S. & Heffner, E.H. 1955). Loeb Classical Library, Harvard Univ. Press: London.
- Comas, L.H., Anderson, L.J., Dunst, R.M., Lakso, A.N. & Eissenstat, D.M., 2005. Canopy and environmental control of root dynamics in a long-term study of Concord grape. *The New Phytologist*, 167:829-840.
- Comas, L.H., Eissenstat, D.M. & Lakso, A.N., 2000. Assessing root death and rootsystem dynamics in a study of grape canopy pruning. *The New Phytologist*, 147:171-178.
- Comas, L.H., Bauerle, T.L. & Eissenstat, D.M., 2010. Biological and environmental factors controlling root dynamics and function: Effects of root ageing and soil moisture. *Aust. J. Grape & Wine Res.*, 16:131-137.
- Conradie, W.J., 1980. Seasonal uptake of nutrients by Chenin blanc in sand culture: I. Nitrogen. *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, 1:59-65.
- Conradie, W.J., 1981. Seasonal uptake of nutrients by Chenin blanc in sand culture: II. Phosphorus, potassium, calcium and magnesium. *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, 2:7-13.
- Conradie, W.J., 1983. Liming and choice of rootstocks as cultural techniques for vines in acid soils. *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, 4(2):39-44.
- Conradie, W.J., 1988. Effect of soil acidity on grapevine root growth and the role of roots as a source of nutrient reserves. In: *The Grapevine Root and its Environment*. Compiled by J.L. van Zyl. Dept. Agric. & Water Supply, *Tech. Comm.*, 215:16-29.
- Conradie, W.J., 1992. Partitioning of nitrogen in grapevines during autumn and the utilisation of nitrogen reserves during the following growing season. *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, 13:45-51.
- Corvalán, N., Bastiás, R.M., Umanzor, C. & Serra, I., 2016. Grapevine root and shoot growth responses to photoselective nets: preliminary results. *Proc. 1 Symp. on Grapevine Roots. Acta Hort.*, 1136.12:89-94.
- Daulta, B.S. & Chauhan, K.S., 1980. Varietal variations in root growth of some grape cultivars (*V. vinifera* L.). *Prog. Hort.*, 12:37-39.
- Davidson, J.M. & Hammond, L.C., 1977. Soil physical aspects of root development. *Soil and Crop Sci. Soc. of Florida, Proc.*, 36:1-4.
- Degrully, L. & Ravaz, L., 1905. Sur la culture superficielle de la vigne. *Annales de l'école nationale d'agriculture de Montpellier* 5(1):64-87.
- Deidda, P., 1964. Relationships existing between depth of planting, root development and shoot growth in rooted vine cuttings. *Hort. Abs.*, 36:728.
- De Klerk, C.A., 1981. Wingerdplae. In: J.D. Burger & J. Deist (reds.), *Wingerdbou in Suid-Afrika*. NIWW, Privaatsak X5026, 7600 Stellenbosch. Trio-Rand (SA), Litho: N'dabeni, 433-462.

- De Klerk, C.A., 2017. Identifikasie, beheer en bestuur van wingerdmargarodes. In: WineLand Tydskrif, Februarie 2017. *Winetech Tegnies*, 330:68-71.
- De Klerk, C.A. & Loubser, J.T., 1988. Relationship between grapevine roots and soil-borne pests. In: The Grapevine Root and its Environment. Compiled by J.L. van Zyl. Dept. Agric. Water Supply, Pretoria, RSA. *Tech. Comm.*, 215:88-105.
- De Melo, G.W.B., Da Silva, L.S., Brunetto, G., Zalamena, J. & Albarello, J.B., 2016. Sensitivity of grapevine rootstocks to changes in zinc concentration in the soil. Proc. 1 Int. Symp. on Grapevine Roots. *Acta Hort.*, 1136.27:201-208.
- Devlin, R.M., 1966. Plant Physiology. Reinhold Publishing Corporation: New York, Amsterdam, London.
- Diófasi, L. & Kiraly, F., 1968. Comparative studies on grafts with rootstocks of different lengths in the vineyard. *Hort. Abs.*, 40:5816.
- Doll, C.C., 1954. Studies of Concord grape roots in loess soil. *Amer. Soc. Hort. Sci.*, 65:175-182.
- Dry, P., Loveys, B., Johnstone, A. & Sadler, L., 1998. Grapevine response to root pruning. *Austr. Gr. Grower & Winemaker Ann. Techn. Issue*, 414a:73-78.
- Edwards, E.J., Pearce, A.F., Pech, J., McCarthy, M.G. & Tyerman, S.D., 2016. The effects of sustained deficit irrigation and re-watering on root production and turnover in warm climate viticulture. Proc. 1 Int. Symp. on Grapevine Roots. *Acta Hort.*, 1136.13:95-102.
- Erlenwein, H., 1965. The influence of nutrition and of the graft partner on the root growth of *Vitis* species and varieties. *Vitis*, 5:161-186.
- Esau, K., 1967. Anatomy of Seed Plants (1st ed.). Int. Ed. John Wiley & Sons, Inc: New York.
- Esau, K., 1976. Anatomy of Seed Plants (2nd ed.). Int. Ed. John Wiley & Sons, Inc: New York, London.
- Eissenstat, D.M., Bauerle, T.L., Comas, L.H., Lakso, A.N., Neilsen, D., Neilsen, G.H. & Smart, D.R., 2006. Seasonal patterns of root growth in relation to shoot phenology in grape and apple. Proc. Vth Int. Sym. on Mineral Nutrition of Fruit Plants. *Acta Hort.* 721, 21-26.
- Field, S.K., Smith, J.P., Holzapfel, B.P., Hardie, W.J. & Neil Emery, R.J., 2009. Grapevine response to soil temperature: Xylem cytokinins and carbohydrate reserve mobilization from budbreak to anthesis. *Am. J. Enol. Vitic.*, 60:164-172.
- Fitter, A.K., 1982. Morphometric analyses of root systems: Application of the technique and influence of soil fertility on root system development in two herbaceous species. *Plant Cell & Environment*, 5:313-322.
- Freeman, B.M., 1983. At the root of the vine. *Austr. Gr. Grower Winemaker*, 232:58-64.
- Freeman, B.M. & Smart, R.E., 1976. A root observation laboratory for studies with grapevines. *Amer. J. Enol. Vitic.*, 27:36-39.
- Gabovic, V.I., 1963. The development of the vine root system in relation to soil density. *Hort. Abs.*, 33:4786.
- Gaiotti, F., Marcuzzo, P., Battista, F., Belfiore, N., Petoumenou, D. & Tomasil, D., 2016. Compost amendment effects on grapevine root density and distribution. Proc. 1 Int. Symp. on Grapevine Roots. *Acta Hort.*, 1136.16:115-119.
- Gaiotti, F., Marcuzzo, P., Belfiore, N., Lovat, L. & Tomassi, D., 2016. Vine response to compost addition on a sandy-loam soil in the North-East of Italy: Effects on root system, vegetative growth, yield and grape quality of Cabernet Sauvignon cv. XI Int. Terroir Congr. Oregon, July 10-14, 2016.
- Gaiotti, F., Marcuzzo, P., Belfiore, N., Lovat, L., Fornasier, F. & Tomasi, D., 2017. Influence of compost addition on soil properties, root growth and vine performances of *Vitis vinifera* cv. Cabernet Sauvignon. *Scientia Horticulturae*, 225:88-95.
- Gale, M.R. & Grigal, D.F., 1987. Vertical root distributions of northern tree species in relation to successional status. *Can. J. For. Res.*, 17:829-834.
- Garcia de Lujan Gil de Bernabe, A. & Gil Monreal, L., 1982. Sobre la distribucion del sistema radicular de la vid. *Ann. Del Inst. Nac. De Invest. Agr.*, Serie: Agric 20(2). General Sunjurjo, 56, Madrid-3 (Spain).
- Gebbing, H., Schwab, A. & Alleweldt, G., 1977. Mykorrhiza der rebe. *Vitis*, 16:279-285.
- Geisler, D. & Ferree, D.C., 1984. Response of plants to root pruning. *Hort. Rev.*, 6:155-188.
- Giese, W.G., Wolf, T.K., Velasco-Cruz, C. & Roberts, L., 2016. Cover crop and root pruning effects on the rooting pattern of SO4 rootstock grafted to Cabernet Sauvignon. *Am. J. Enol. Vitic.*, 67(1):105-115.
- Gill, W.R. & Miller, R.D., 1956. A method for study of the influence of mechanical impedance and aeration on the growth of seedling roots. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 20:154-157.
- Goff, E.S., 1897. Study of roots of certain perennial plants. *Wisc. Agric. Exp. Sta. Rpt.*, 14:286-298.
- Goff, E.S., 1898. The resumption of root growth in spring. *Wisc. Agric. Exp. Sta. Rpt.*, 15:220-228.
- Goffinet, M.C., 1999. The water and food conducting system of the grapevine. In: Black Goo: Symptoms and occurrence of grape declines. *IAS/ICGTD Proceedings 1998*, ed. L. Morton. International Ampelography Society: Fort Valley, Virginia, USA.
- Graham, J.H., Montague, D.T., Durham, R.E. & Herring, A.D., 2002. Root-zone refrigeration delays budbreak and reduces growth of two containerized, greenhouse grown grape cultivars. *Texas J. Agric. Nat. Resources*, 15:71-80.
- Grobbelaar, N., Robbertse, P.J., Van Greuning, J.V. & Visser, J.H., 1979. Plantkunde: Anatomie en Fisiologie. Butterworth (SA).
- Hacket, S., 1999. Vine root function. *Austr. Gr. Grower & Winemaker*, June: 23-24.
- Halleen, F., Schroers, H.-J., Groenewald, J.Z. & Crous, P.W., 2004. Novel species of *Cylindrocarpon* (*Neonectria*) and *Campyloncarpon* gen. nov. associated with black foot disease of grapevines (*Vitis* spp.). *Studies in Mycology*, 50:431-455.
- Halleen, F., Fourie, P.H. & Crous, P.W., 2006a. A review of black foot disease of grapevine. *Phytopathol. Mediterr.*, 45:S55-S67.
- Halleen, F., Schroers, H.-J., Groenewald, J.Z., Rego, C., Oliviera, H. & Crous, P.W., 2006b. *Neonectria liriiodendri* sp. nov., the main casual agent of black foot disease of grapevines. *Studies in Mycology*, 55:227-234.
- Halleen, F., 2010. Pro-active control of Petri Disease and Black Foot Disease in newly established vineyards. <http://www.sawislibrary.co.za> Final Report.
- Hansen, D., 2012. Mulching, soil amendments and management in a commercial vineyard. *Aust. Gr. Grower & Winemaker*, 581:38-41.

- Harmon, F.N. & Snyder, E., 1934. Grape root distribution studies. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.*, 32:370-373.
- Hatton, R.G. & Amos, J., 1927. Experiments upon the removal of lateral growth on young apple trees in summer. The effect on stem and root development. *J. Pom. & Hort. Sci.*, 6:61-71.
- Hidalgo, L., 1968. Contribuții la studiul densității radiculare la vița de vie. *Revista de Horticultură și Viticultură*, 7-8:116-121.
- Hidalgo, L., 1968. Contribution a l'étude de la densité radiculaire de la vigne. *Rev. Hortic. Vitic.*, 17:185-191.
- Hidalgo, L. & Candela, M.R., 1969. Morfologia radicular de la vid. *Ins. Nac. Invest. Agronom. Madrid, Spain*.
- Hilton, R.J. & Khatamian, H., 1973. Diurnal variation in elongation of roots of woody plants. *Can. J. Plant Sci.*, 53:699-700.
- Holzappel, B., 2004. Identifying manageable factors determining carbohydrate accumulation in reserves and rootgrowth of grapevines after harvest. Final Report to: Grape and Wine Research Corporation. National Wine & Grape Research Centre. Project CSU, 99/2:1-84.
- Honda, N. & Okazaki, M., 1967. The effect of soil management on the root development. *Hort. Abs.*, 37:573.
- Hooker, J.E., Jaizme-Vega, M. & Atkinson, D., 1994. Biocontrol of plant pathogens using arbuscular mycorrhizal fungi. In: Impact of arbuscular mycorrhizal fungi on sustainable agriculture and natural ecosystems. S. Gianinazzi & H Schüepp (eds.), 191-200. Birkhauser: Berlin.
- Huck, M.G., 1970. Variation in taproot elongation rate as influenced by composition of the soil air. *Agron. J.*, 62:815-818.
- Huglin, P., 1986. *Biologie et Écologie de la Vigne*. Editions Payot Lausanne: Paris.
- Hunter, J.J., 1998a. Plant spacing implications for grafted grapevine I. Soil characteristics, root growth, dry matter partitioning, dry matter composition and soil utilisation. *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, 19:25-34.
- Hunter, J.J., 1998b. Plant spacing implications for grafted grapevine II. Soil water, plant water relations, canopy physiology, vegetative and reproductive characteristics, grape composition, wine quality and labour requirements. *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, 19:35-51.
- Hunter, J.J., Archer, E., Van Schalkwyk, D., Strever, A.E. & Volschenk, C.G., 2016. Grapevine roots: interaction with natural factors and agronomic practices. *Proc. 1 Int. Symp. on Grapevine Roots. Acta. Hortic.*, 1136.10:63-80.
- Hunter, J.J. & Le Roux, D.J., 1992. The effect of partial defoliation on development and distribution of roots of *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon grafted onto rootstock 99 Richter. *Am. J. Enol. Vitic.*, 43(1):71-78.
- Hunter, J.J., Ruffner, H.P., Volschenk, C.G. & Le Roux, D.J., 1995. Partial defoliation of *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon/99 Richter: Effect on root growth, canopy efficiency, grape composition and wine quality. *Am. J. Enol. Vitic.*, 46:306-314.
- Hunter, J.J. & Volschenk, C.G., 2001. Effect of altered canopy: root volume ratio on grapevine growth compensation. *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, 22(1):27-30.
- Israelsen, O. & Hansen, V.E., 1967. *Irrigation Principles and Practices*. John Wiley & Sons: New York, London & Sydney (447).
- Jacoby, B., 1964. Function of the root and stems in sodium retention. *Plant Physiol.*, 39:445-449.
- Jones, H.G., 1983. *Plants and Microclimate*. Cambridge Univ. Press.
- Jooste, L.J., 1983. Invloed van grondtemperatuur op groei en sitokininmetabolisme by wingerd (*Vitis*). M.Sc. Tesis. Univ. van Stellenbosch, 7600, RSA.
- Joubert, D.J., 1971. An anatomical and experimental study on changes induced by *Meloidogyne hapla* (Chitwood, 1949) in *Vitis* roots. PhD Thesis. Stellenbosch University, 7600, RSA.
- Joubert, S. & Archer, E., 2000. The influence of mycorrhiza on vines (In Afrikaans). *WineLand*, May 2000, 86-88.
- Juncu, V., Pituc, L. & Pituc, P., 1969. Studies of the root systems of the main varieties of vine rootstocks in the Jassy vineyard. *Hort. Abs.*, 40:3371.
- Kaiser, G., 1969. The optimum period for deep soil cultivation in vineyards in relation to the recovery of damaged roots. *Hort. Abs.*, 39:507.
- Kidman, C.M., Dry, P.R., McCarthy, M.G. & Collins, C., 2014. Effect of rootstock on nutrition, pollination and fertilization in Shiraz (*Vitis vinifera* L.). *Vitis*, 55(3):139-145.
- Kliewer, W.M. & Fuller, R.D., 1973. Effect of time and severity of defoliation on growth of roots, trunk and shoots of Thompson Seedless grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.*, 24:59-64.
- Kliewer, W.M., 1975. Effect of root temperature on budbreak, shoot growth and fruit-set of Cabernet Sauvignon grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.*, 26:82-89.
- Kocsis, L., Tarcsal, E. & Molnár Kocsisné, G., 2016. Grape rootstock-scion interaction on root system development. *Proc. 1 Int Symp on Grapevine Roots. Acta Hortic.* 1136.4:27-31.
- Kotze, W.A.G., 1973. The influence of aluminium on plant growth. *Decid. Fruit Grow.*, 23:20-22.
- Kramer, P.J. & Bullock, H.C., 1966. Seasonal variations in the proportions of suberized and unsuberized roots of trees in relation to absorption of water. *Amer. J. Bot.*, 53:200-204.
- Krauss, U. & Deacon, J.W., 1994. Root turnover of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) in soil tubes. *Plant & Soil*, 166:259-270.
- Kroemer, R., 1909. Organographie, Anatomie und Physiologie der Rebe. In: F. von Babo & E. Mach (eds.) *Handbuch des Weinbaues*, Paul Parey, Berlin. 6-177.
- Kubečka, D., 1968. L'influence exercée par l'espacement sur la système radiculaire de la vigne. *Rev. Hortic. Vitic.*, 17:193-199.
- Lagutinska, N.O., 1968. The effect of fertilizers on the development of the root system in vines. *Hort. Abs.*, 40:3397.
- Lehnart, R., Michel, H., Lohnertz, O. & Linsenmeier, A., 2008. Root dynamics and pattern of Riesling on 5C rootstock using minirhizotrons. *Vitis*, 47(4):197-200.
- Le Roux, M.S., 1941. Studies in verband met die worteldistribusie van die volwasse wynstok. M.Sc. (Agric.) Tesis. Universiteit van Stellenbosch, 7600 Stellenbosch, RSA.
- Linares, R., Junquera, P., Lissarrague, J.R. & Baeza, P., 2009. Influence of the soil management on the root system and its consequences in the agronomic behavior of the vine under Mediterranean climate. 16th Int. GESCO Symp. July 12-15, 2009, Univ. of Calif., Davis.

- Linderman, R.G. & Davis, E.A., 2001. Comparative response of selected grapevine rootstocks and cultivars to inoculation with different mycorrhizal fungi. *Am. J. Enol. Vitic.*, 52(1):8-11.
- Litinov, P.I. & Beskrovnyf, A.S., 1979. The effect of deep cultivation of the soil on grapevine productivity. *Hort. Abstr.*, 49:5736.
- Loescher, W.H., McCamant, T. & Keller, J.D., 1990. Carbohydrate reserves, translocation and storage in woody plant roots. *Hort. Science*, 25:274-281.
- Loubser, J. & Ueckermann, P., 1997. Integrated approach towards nematodes and phylloxera in vineyards. *Dec. Fr. Grower.*, March, 1997:100-101.
- MacVicar, C.N. *et al.*, 1977. Soil classification. A binomial system for South Africa. S.I.R.I., Dept. Agr. Tech. Serv., Pretoria.
- Magriso, Y., 1979. Effect of some physical properties of the soil on root system development in the grapevine. *Hort. Abs.*, 51(6):4457 (393).
- Magriso, Y. & Toncev, G., 1966. The effect of irrigation on the root system of the vine. *Hort. Abs.*, 36:6284 (730).
- Mandel, R., Holzapfel, B., DeGaris, K. & Keller, M., 2001. Identifying manageable factors determining carbohydrate accumulation in reserves and root growth of grapevines after harvest. *Austr. Gr. Grower & Winemaker*, Feb. 2001:10-13.
- Marais, P.G., 1988. Grapevine roots and soil-borne fungi. In: *The Grapevine Root and its Environment*. Compiled by J.L. van Zyl. Dept. Agric. Water Supply, Pretoria, RSA. *Tech. Comm.* 215:106-137.
- Marais, P.G. & De la Harpe, A.C., 1982. Penetration of 99 Richter grapevine roots by *Phytophthora cinnamomi*. *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, 3:82-86.
- Marcelin, H., 1974. La vigne dans le sols du Roussillon. *Progrés agric. vitic.*, 91:548-555
- Matuzoc, N.V., 1977. The effect of in-row spacing on the grapevine root system] (Ru). *Hort. Abstracts*, 1978(48):6404.
- McKenry, M.V., 1984. Grape root phenology relative to control of parasitic nematodes. *Am. J. Enol. Vitic.* 34(4):206-211.
- McLean, M., Howell, G.S. & Smucker, A.J.M., 1992. A minirhizotron system for in situ root observation studies of Seyval grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* 43(1):87-89.
- McNairn, R.B. & Currier, H.B., 1967. Sieve plate callose formation in heated pycocotyl a factor in blocking axial phloem translocation. *Pl. Physiol.*, 42:19.
- Melkonjan, A.S., Mkrčjan, R.S. & Davtjan, M.O., 1968. The effectiveness of deep cultivation of interrows in vineyards on stony soils in Armenia. *Hort. Abstr.*, 39:4397, 1969.
- Meyer, A.H., Valentine, A.J., Botha, A., Archer, E. & Louw, P.J.E., 2004. Young grapevine response and root colonisation following inoculation with arbuscular micorrhizal fungi. *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, 25:26-31.
- Meyer, A. & Wooldridge, J., 2008a. Arbuscular mycorrhizal fungi in Western Cape grapevine nurseries (Part I): Varieties and distribution. *WineLand Tech. Yearbook*, 2008/9:73-75.
- Meyer, A. & Wooldridge, J., 2008b. Arbuscular mycorrhizal fungi in Western Cape grapevine nurseries (Part II): Spore counts, root colonisation and soil factors. *WineLand Tech. Yearbook*, 2008/9:76-78.
- Meyer, A. & Wooldridge, J., 2009a. Arbuscular mycorrhizae (AM) in vineyards (Part I): Effect of AM inoculation, fungicide and rootstock on soil AM populations. *WineLand Tech. Yearbook*, 2009/10:31-33.
- Meyer, A. & Wooldridge, J., 2009b. Arbuscular mycorrhizae (AM) in vineyards (Part II): Effects of AM on young grapevine performance. *WineLand Tech. Yearbook*, 2009/10:34-36.
- Mirzalieva, N.N., 1968. The effect of the number of buds left after pruning on the development of the root system in vines. *Hort. Abs.*, 40:3383.
- Möhr, H.D., 1996. Periodicity of root tip growth of vines in the Moselle valley. *Vitic. Enol. Sci.*, 51(2):83-90.
- Morano, L. & Kliewer, W.M., 1994. Root distribution of three grapevine rootstocks grafted to Cabernet Sauvignon grown on a very gravelly clay loam soil in Oakville, California. *Am. J. Enol. Vitic.*, 45(3):345-348.
- Morlat, R., 1989. Le terroir viticole: Contribution a l'étude de sa caractérisation et de son influence sur les vins. Application aux vignobles rouges de moyenne vallée de la Loire. These docteur des sciences. Univ. de Bordeaux II, U.E.R Institut d'Oenologie.
- Morlat, R., 2008. Long-term additions of organic amendants in a Loire Valley vineyard on a calcareous sandy soil: II. Effects on root system, growth, grape yield and foliar nutrient status of a Cabernet franc vine. *Am. J. Enol. Vitic.*, 59:364-374.
- Morlat, R. & Jacquet, A., 1993. The soil effects on the grapevine root system in several vineyards of the Loire valley (France). *Vitis*, 32:35-42.
- Morlat, R. & Jacquet, A., 2003. Grapevine root system and soil characteristics in a vineyard maintained long-term with or without interrow sward. *Am. J. Enol. Vitic.*, 54:1-7.
- Morlat, R., Puissant, A., Asselin, C., Leon, H. & Remoue, M., 2010. Quelques aspects de l'influence du milieu édaphique sur l'enracinement de la vigne, conséquences sur la qualité du vin. Association Française pour l'Etude du Sol-www.afes.fr: 125-145.
- Morlat, R. & Venin, G., 1981. Effets comparés de deux techniques d'entretien du sol sur l'enracinement de la vigne et sur le milieu édaphique. *Agronomie*, 1(10):887-896.
- Mostert, L., Halleen, F., Fourie, P. & Crous, P.W., 2006. A review of *Phaeoacremonium* species involved in Petri disease and esca of grapevines. *Phytopathol. Mediterr.*, 45:S12-S29.
- Mullins, M.G., Bouquet, A. & Williams, L.E., 1992. Biology of the grapevine. The Root System: 55-58. Cambridge Univ. Press.
- Nagarajah, S., 1987. Effects of soil texture on the rooting patterns of Thompson Seedless vines on own roots and on Ramsey rootstock in irrigated vineyards. *Am. J. Enol. Vitic.*, 38:54-59.
- Nassar, A.R. & Kliewer, W.M., 1966. Free amino acids in various parts of *Vitis vinifera* at different stages of development. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 89:281-294.
- Nicol, J.M. & Van Heeswijck, R., 1997. Grapevine nematodes: types, symptoms, sampling and control. *Tech. Issue Austr. Gr. Grower & Winemaker* 1997:139-151.
- Oniani, D.Y., 1974. The effect of severing grapevine roots on their regeneration. *Hort. Abs.*, 45:1459.
- Oprea, D.D., Severin, E. & Taloi, N., 1967. Observations on root regeneration in vines. *Hort. Abs.*, 39:2337 (291).

- Oslobeanu, M., 1968. Some aspects of the influence of the scion on the rootstock of bearing vines. *Hort. Abs.*, 39:777.
- Parfenenko, L.G., 1968. The root systems of vines planted at different densities. *Hort. Abs.*, 40, 39.
- Pellegrino, A., Lebon, E., Voltz, M. & Wery, J., 2004. Relationships between plant and soil water status in vine (*Vitis vinifera* L.). *Plant and Soil*, 266:129-142.
- Penkov, M., 1974. The effect of structure of the soil profile on the distribution of the root system of the grapevine. *Trans. 10th Int. Congr. Soil Sci.*, 1:246-253.
- Penkov, M. & Džiljanov, B., 1964. The influence of soil conditions on the pattern and vigour of peach root systems. *Hort. Abs.*, 35:544.
- Penkov, M. & Spirov, M., 1964. The influence of the soil on the distribution of the root system of certain varieties grafted on different rootstocks. *Hort. Abs.*, 35:5320.
- Perold, A.I., 1926. Handboek oor Wynbou. Die Uitwendige en Inwendige Bou van die Wynstok: Die Wortel, 25-30. Pro Ecclesia: Stellenbosch.
- Perry, R.L., Lyda, S.D. & Bowen, H.H., 1983. Root distribution of four *Vitis* cultivars. *Plant and Soil*, 71:63-74.
- Pickering, A.H., Warrington, I.J. & Woolly, D.J., 2009. The impact of root-pruning on early and late bunch stem necrosis. *Austr. Vitic.*, 13:51-52.
- Pituc, P., 1965. A study of the root system of terraced vines. *Hort. Abs.* 37:6536.
- Pomohaci, M., 1967. New aspects of the structure of vine roots in reddish brown forest soils. *Hort. Abs.*, 39:294.
- Pongrácz, D.P., 1968. The identification of dormant grape rootstock cultivars. *S. Afr. J. Agric. Sci.*, 11:655-672.
- Pongrácz, D.P., 1969. Vergelykende anatomiese studies van een- en driejarige wingerdwortels (*Vitis* spp.). MSc (Agric.) Tesis. Universiteit van Stellenbosch.
- Pongrácz, D.P., 1978. Practical Viticulture. David Philip: Cape Town.
- Possingham, J.V. & Groot-Obbink, J., 1971. Endotrophic mycorrhiza and the nutrition of grapevines. *Vitis*, 10:120-130.
- Pratt, C., 1974. Vegetative anatomy of cultivated grapes – a review. *Am. J. Enol. Vitic.*, 28:131-150.
- Queen, W.H., 1967. Water and entrance through grape roots. *Pl. Physiol.*, 42:18-19.
- Rahayu, Y.S., Walch-Lu, P., Neumann, G., Römhild, V., Von Wirén, N. & Bangerth, F., 2005. Root-derived cytokinins as long-distance signals for NO₃⁻-induced stimulation of leaf growth. *J. Exp. Bot.*, 56:1143-1152.
- Randall, W.D. & Coombe, B.G., 1978. Grape roots – repository of many mysteries. *Aust Gr. Grower & Winemaker*, 15:29-30.
- Reeve, N.G. & Sumner, M.E., 1970. Effects of aluminium toxicity and phosphorus fixation on crop growth on Oxisols in Natal. *Soil Sci Soc. Am. Proc.* 34:263-267.
- Reynolds, E.R.C., 1975. Tree rootlets and their distribution. In: J.G. Totter & D.T. Clarkson (eds.). *The Development and function of Roots*. Acad. Press: New York. 163-177.
- Ribéreau-Gayon, G. & Ribéreau-Gayon, P., 1971. Biochimie de la vigne et du raisin. In: Ribéreau-Gayon & Peynaud (eds.) *Sciences et techniques de la vigne*. Dunod: Paris. 415-485.
- Richards, D., 1983. The grape root system. *Hort. Rev.*, 5:127-168.
- Richards, D. & Considine, J.A., 1981. Suberization and Browning of Grapevine Roots. In: *Structure and Function of Plant Roots*. R. Brouwer, O. Gasparikova, J. Kolek & B. Loughman (eds.). Junk Publ: The Hague, The Netherlands, 111-115.
- Rogers, W.S., 1939. Root studies VII. A survey of the literature on root growth with special reference to hardy fruit plants. *J. Pom. Hort. Sci.*, 17:67-84.
- Rogiers, S., 2007. The vascular system: The vine's super highway for transport and communication. *Austr. New Zealand Gr. Grower & Winemaker*, Sept. 2007.
- Rogiers, S. & Clarke, S., 2014. Grapevine vegetative and reproductive development respond to soil temperature, *Wine & Viticulture J.*, Nov/Dec 2014:51-53.
- Russell, R.S., 1977. *Plant Root Systems: Their function and interaction with the soil*. McGraw-Hill Book Company (UK): Maidenhead, Berkshire, England.
- Saayman, D., 1982. Soil preparation studies: II. The effect of depth and method of soil preparation and of organic material on the performance of *Vitis vinifera* (var. Colombar on Clovelly/Hutton soil. *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, 3(2):61-74.
- Saayman, D., 1983. Investigations into the causes and control of Growth Arrestment Phenomenon of Sultana. II. Preliminary experimental investigations. *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, 4(1):27-34.
- Saayman, D. & Van Huyssteen, L., 1980. Soil preparation studies: I. The effect of depth and method of soil preparation and of organic material on the performance of *Vitis vinifera* (var. Chenin blanc) on Hutton/Sterkspruit soil. *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, 1(2):107-121.
- Saayman, D. & Van Huyssteen, L., 1981. Grondvoorbereiding. In: J. Burger & J. Deist (eds.), *Wingerdbou in Suid-Afrika*. NIWW, Privaatsak X5026, Stellenbosch. Trio-Rand (SA), Litho: N'dabeni, 120-140.
- Safran, B., Bravdo, B. & Bernstein, Z., 1975. L'irrigation de la vigne par goutte à goutte. *Bull. Off. Intern. Vigne*, 48:405-429.
- Sauer, M.R., 1967. Root knot tolerance in some grape vine rootstocks. *Austr. J. Exp. Agric. Anim. Husb.*, 7:580-583.
- Schreiner, R.P., 2005. Micorrhizas and mineral acquisition in grapevines. In: Christensen, L.P., Smart, D. (eds.), *Proceedings of the Soil Environment and Vine Mineral Nutrition Symposium*, 49-60.
- Schubert, A., 1985. Les mycorhizes à vesicules et arbuscules chez la vigne. *Connais. Vigne Vin* 19:207-214.
- Schubert, A. & Cravero, M.C., 1985. Occurrence and infectivity of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in north-western Italian vineyards. *Vitis*: 24:129-138.
- Schuurman, J.J. & Goedewagen, M.A.J., 1955. A new method for the simultaneous preservation of profiles and root systems. *Plant and Soil*, VI(4):373-381.
- Seguin, G., 1968. Les discontinuités texturales dans les sols du vignoble bordelaise. *Connais. Vigne Vin*, 2:127-134.
- Seguin, G., 1971. Sols de vignobles: Influence des facteurs naturels sur les caractères des vins. In: J. Ribereaux-Gayon & E. Peynaud (eds.), *Sciences et Techniques de la Vigne*, Dunod: Paris, 671-725.
- Seguin, G., 1972. Repartition dans l'espace du système racinaire de la vigne. *Compt. Rendus Acad. Sci.*, Paris, 274D:2178-2180.
- Seguin, G. & Compagnon, J., 1970. Une cause du développement de la pourriture grise sur les sols gravo-sableux du vignoble bordelaise. *Connais. Vigne Vin*, 2:203-214.

- Semina, N.P., 1965. The effect of scion/rootstock compatability on the condition of the root system. *Hort. Abs.*, 37:733.
- Serpuhovitina, K.A., 1969. The root system and productivity of vine bushes in relation to nutrition. *Hort. Abs.*, 40:96.
- Skene, K.G.M., 1967. Gibberellin-like substances in root exudate of *Vitis vinifera*. *Planta*, 74:250-262.
- Skene, K.G.M., 1975. Cytokinin production by roots as a factor in the control of plant growth, 365-396. In: J.G. Torrey & D.T. Clarkson (eds.). *The Development and Function of Roots*. Acad. Press: New York.
- Skene, K.G.M. & Kerridge, G.H., 1967. Effect of root temperature on cytokinin activity in root exudate of *Vitis vinifera* L. *Pl. Physiol.*, 42:1131-1139.
- Smart, D.R., Carlisle, E., Goebel, M. & Nùñez, B.A., 2005. Transverse hydraulic redistribution by a grapevine (*Vitis rupestris* x *Vitis berlandieri* cv. 420A). *Plant, Cell & Environment*, 28:157-166.
- Smart, D.R., Schwass, E., Lakso, A. & Morano, L., 2006. Grapevine rooting patterns: A comprehensive analysis and review. *Am. J. Enol. Vitic.*, 57:89-104.
- Soar, C.J. & Loveys, B.R., 2007. The effect of changing patterns in soil-moisture availability on grapevine root distribution, and viticultural implications for converting full-cover irrigation into a point-source irrigation system. *Aust. J. of Grape & Wine Res.*, 13:2-13.
- Southey, J.M., 1992. Root distribution of different grapevine rootstocks on a relatively saline soil. *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, 13(1):1-9.
- Southey, J.M. & Archer, E., 1988. The effect of rootstock cultivar on grapevine root distribution and density. In: *The Grapevine Root and its Environment*. Compiled by J.L. van Zyl. Dept. Agric. Water Supply, Pretoria, RSA. *Tech. Comm.*, 215:57-73.
- Soyer, J.P., 1984. Techniques d'entretien du sol en vignoble bordelaise. Consequences sur la vigne (Production, vigueur, enracinement, nutrition) et sur le sol apres 20 ans d' experimentation. *Prog. agric. vitic.*, 101:315-320.
- Stoev, K. & Rangelov, R., 1969. A contribution on the study of the morphology and physiology of the root system in vines. *Hort. Abs.*, 40:3870.
- Swanepoel, J.J., 1983. 'n Vergelykende anatomiese studie met internodia van wingerdlote van onderskeie wingerdcultivars (*Vitis* spp.). M Sc Tesis. Universiteit van Stellenbosch.
- Swanepoel, J.J. & Southey, J.M., 1989. The influence of rootstock on the rooting pattern of the grapevine, *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, 10:23-28.
- Taiz, L. & Zeiger, E., 1998. *Plant Physiology* (2nd ed). Sinauer Associates: Sunderland, Massachusetts.
- Tardáguila, J., Bertamini, M., Guilivo, C. & Scienza, A., 1995. Rootstock effects on growth, dry weight partitioning and mineral nutrient concentration of grapevine. *Acta Hort.*, 338:111-116.
- Tomasi, D., Gaiotti, F., Mosetti, D. & Bragato, G., 2015. Influence of soil on root distribution: Implications for quality of Tocai Friulano berries and wine. *Am. J. Enol. Vitic.*, 55:363-372.
- Torrey, J.G., 1976. Root hormones and plant growth. *Ann. Rev. Pl. Physiol.*, 27:435-459.
- Tromp, J., 1983. Nutrient reserves in roots of fruit trees, in particular carbohydrates and nitrogen. *Plant and Soil*, 71:401-413.
- Trouvelot, S., Bonneau, L., Redecker, D., Van Tuinen, D., Adrian, M. & Wipf, D., 2015. Arbuscular mycorrhiza symbiosis in viticulture: a review. *Agron. Sustain. Dev.*, 35:1449-1467.
- Van Breda, N.G., 1937. An improved method in the study of root bisects. *S Afr. J. Sci.*, 34:260-264.
- Van der Westhuizen, J.H., 1980. The effect of black plastic mulch on growth, production and root development of Chenin blanc vines under dryland conditions. *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, 1:1-6.
- Van Huyssteen, L. & Weber, H.W., 1980. The effect of selected minimum and conventional tillage practices in vineyard cultivation on vine performance. *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, 1:77-83.
- Van Huyssteen, L., 1981. *Bewerking*. In: J. Burger & J. Deist (reds.), *Wingerdbou in Suid-Afrika*. NIWW, Privaatsak X5026, Stellenbosch. Trio-Rand (SA) Litho: N'dabeni. 283-307.
- Van Huyssteen, L., 1983. Interpretation and use of penetrometer data to describe soil compaction in vineyards. *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, 4:59-56.
- Van Huyssteen, L., 1988a. Soil preparation and grapevine root distribution – a qualitative and quantitative assessment. In: *The Grapevine Root and its Environment*, 1-15. Compiler, J.L. van Zyl. *Tech. Comm.* 215, Dept. Agric. & Water Suppl., RSA.
- Van Huyssteen, L., 1988b. Grapevine root growth in response to soil tillage and root pruning practices, 44-55 In: *The Grapevine Root and its Environment*. Compiler J.L. van Zyl. *Tech. Comm.* 215. Dept. Agric. Water Suppl. Pretoria, RSA.
- Van Leeuwen, C., Tregoeat, O., Choné, X., Pernet, D. & Gaudillère, J.P., 2009. Vine waterstatus is a key factor in grape ripening and vintage quality for red Bordeaux wine. How can it be assessed for vineyard management purposes. *J. Int. Sci. Vigne Vin.*, 43:121-134.
- Van Rooyen, F.C., 1980. The water requirements of table grapes. *Decid. Fr. Gr.*, 30:100-105.
- Van Rooyen, F.C., Weber, H.W. & Levin, I., 1980. The response of grapes to a manipulation of the soil-plant-atmosphere continuum. I. Growth, yield and quality responses. *Agrochemophysica*, 12:59-68.
- Van Rooyen, M., Valentine, A. & Archer, E., 2004. Arbuscular mycorrhizal colonization modifies the water relations of young transplanted grapevines (*Vitis*). *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, 25(2):37-42.
- Van Zyl, J.L., 1984a. Interrelationships among soil water regime, irrigation and water stress in the grapevine (*Vitis vinifera* L.). PhD dissertation. University of Stellenbosch, 7600 Stellenbosch, Republic of South Africa.
- Van Zyl, J.L., 1984b. Response of Colombar grapevines to irrigation as regards quality aspects and growth. *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, 5(1):19-28.
- Van Zyl, J.L., 1988. Response of grapevine roots to soil water regimes and irrigation systems. In: *The Grapevine Root and its Environment*. Compiled by J.L. van Zyl. Dept. Agric. & Water Supply, Pretoria, RSA. *Tech Comm.*, 215:30-43.
- Van Zyl, J.L. & Van Huyssteen, L., 1980. Comparative studies on wine grapes on different trellising systems: Consumptive water use. *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, 1(1):7-14.
- Van Zyl, J.L. & Van Huyssteen, L., 1987. Root pruning. *Dec. Fr. Grower*, 37:20-25.

- Van Zyl, J.L. & Weber, H.W., 1981. Effect of various supplementary irrigation treatments on plant and soil moisture relationships in a vineyard (*Vitis vinifera* var. Chenin blanc). *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, 2:83-89.
- Van Zyl, S., Viviers, M.A. & Walker, M.A., 2012. *Xiphenema index* and its relationship to grapevines: A review. *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, 33:21-32.
- Vascenko, I.M., 1966. The influence of temperature on the formation of root systems. *Hort. Abs.*, 37:523.
- Volder, A., Smart, D.R., Bloom, A.J. & Eissenstat, D.M., 2005. Rapid decline in nitrate uptake and respiration with age in fine lateral roots of grape: Implications for root efficiency and competitiveness. *The New Phytologist*, 165:493-501.
- Volder, A., Anderson, L.J., Smart, D.R., Bloom, A.J., Lakso, A.N. & Eissenstat, D.M., 2009. Estimating nitrogen uptake of individual roots in a container- and field-grown plants using a N¹⁵ depletion approach. *Functional Pl. Biol.*, 36:621-628.
- Wang, S., Okamoto, G., Hirano, K., Lu, J. & Zhang, C., 2001. Effects of restricted rooting volume on vine growth and berry development of Kyoho grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.*, 52:248-253.
- Williams, L.E. & Smith, R.J., 1991. The effect of rootstock on the partitioning of dry weight, nitrogen and potassium, and root distribution of Cabernet Sauvignon grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.*, 42(2):118-122.
- Wilson, S.A. & Atkinson, D., 1979. Water and mineral uptake by fruit tree roots, 372-382. In: Root physiology and symbiosis. (eds.) A Riedacker & J. Gagnaire-Michard. Proc. Int. Union for Res. Org. Symp., 1978. Centre Natl. Res. For., Nancy, France.
- Winkler, A.J., 1962. General Viticulture. Univ. Calif. Press: Berkeley and Los Angeles.
- Winkler, A.J. & Williams, W.D., 1945. Starch and sugars of *Vitis vinifera*. *Plant Physiol.*, 20:412-432.
- Winkler, A.J., Cook, J.A., Kliewer, W.M. & Lider, L.A., 1974. General Viticulture. Univ. Calif. Press: Berkeley, Los Angeles, London.
- Woodham, R.C. & Alexander, D. McE., 1966. The effect of root temperature on the development of small fruiting Sultana vines. *Vitis*, 5:345-350.
- Zelleke, A. & Kliewer, W.M., 1980. Effect of root temperature, rootstock and fertilization on bud-break, shoot growth and composition of Cabernet Sauvignon grapevines. *Scientia Horticulturae*, 13(4):339-347.
- Zerebkov, F.F., 1966. The formation of root systems on deep soils. *Hort. Abs.*, 37:523.

DANKBETUIGINGS

Lucinda Heyns vir puik tegniese en organisatoriese ondersteuning met die daarstelling van hierdie boek. Haar doeltreffende skakeling met die ontwerpers, taalversorgers en drukkers het 'n groot las van ons skouers gehaal.

Jan Booyen vir waardevolle bydraes tot die tegniese inhoud en versorging van die teks asook tegniese raadgewing tot die uitleg van die boek.

Jakob Deist vir sy leierskap en bydrae tot ons loopbane oor baie jare asook sy bydrae tot die tegniese korrektheid van hierdie werk. Sy voorwoord getuig van groot insig en liefde vir die vakgebied.

Albert Strever vir insette tot die tegniese korrektheid en voorwoord wat duidelik bewys is van sy insig tot opleiding asook rypheid ten opsigte van studente-opleiding van wingerdbouers vir die toekoms.

Anne Kruger vir die taalversorging.

Liezl Fouché van AFRICAN SUN MeDIA vir die ontwerp en uitleg van hierdie boek.

Hierdie boek is 'n uitvloeisel van geïdentifiseerde bedryfsprioriteite, nagevors en geskryf deur twee veteraan tegniese rolspelers. Spesiale aandag word verleen aan die klassieke historiese bydraes van hoogaangeskrewe buitelandse werkers, wat nie geredelik vir alle belangstellendes toeganklik is nie. Dit handel oor alle aspekte van wingerdwortels, soos die groei, morfologie, anatomie, fisiologie en funksies daarvan. Voorts gee dit ook 'n oorsig van metodes van wortelondersoeke, asook van die faktore wat die groei en verspreiding van wingerdwortels affekteer, gevolg deur bespreking van tegnieke gerig op die onderhoud van wingerdwortels ten einde wyndruifverbouing in Suid-Afrika haalbaar en volhoubaar te maak.



UNIVERSITEIT
STELLENBOSCH
UNIVERSITY



SUNMODIA

ISBN 978-1-928314-36-3



9 781928 314363