



Doet extreme droogte **stikstofbom** in droge heide barsten?

foto's Roland Bobbink et al

In oude heide is veel koolstof en stikstof vastgelegd in de organische bodemlagen. Zelfs sterk verhoogde stikstoftoevoer doet het heidesysteem nauwelijks lekken: er spoelt ook dan vrijwel geen nitraat of ammonium uit naar dieper grondwater. Echter, ernstige verstoringen zijn een risico voor het vrijkomen van deze stikstof, zoals extreme droogte. Om dit te onderzoeken is een laboratoriumexperiment uitgevoerd, aangevuld met veldmetingen na de extreem droge zomer van 2018. Het blijkt dat de N-huishouding ernstig verstoord is door extreme droogte met zeer hoge concentraties beschikbaar ammonium en veel nitraatuitspoeling als gevolg.

— Roland Bobbink en Roos Loeb (Onderzoekcentrum B-WARE) en Rienk-Jan Bijlsma en Bas van Delft (Wageningen University & Research).

> Droge heide is een kenmerkende vegetatie en leefgebied van tal van karakteristieke soorten. Het belang van Nederland voor het Natura 2000-habitattype Droge heiden (H4030) in Europa is groot, mede vanwege het hier nog aanwezige grote oppervlak van het type. Tijdens de successie van open grond naar gesloten heide hoopt zich zowel organisch materiaal als stikstof op in het systeem. Deze ophoping van stikstof wordt in hoge mate versneld door N-depositie. In de laatste twee decennia is duidelijk geworden dat plaggen in droge heide contraproductief is voor de biodiversiteit, en daarmee niet geschikt als herstelmaatregel tegen stikstofaccumulatie door jarenlange depositie. Zonder plaggen gaat de opbouw van humuslagen echter steeds verder en ontstaat er op humuspodzolgronden een typische

Foto 1. Goed ontwikkelde oude, droge heide met naast struikhei ook gewone dophei en veenbies (Rheder-Worthrhederheide) (foto R.-J. Bijlsma).

gelaagdheid van organische en mineraal-humeuze profielen met een eigen karakteristieke vegetatie. Deze heidebodems hebben een zeer grote immobilisatiecapaciteit voor stikstof, waardoor geleidelijk zeer veel stikstof in het heide-ecosysteem kan accumuleren en er nauwelijks stikstof uitspoelt naar diepere lagen of het grondwater. Dit geldt zelfs bij langdurig sterk verhoogde N-depositie zoals in Nederland.

Kortom, stikstofverzuivering treedt nauwelijks op in heide. Het opgeslagen stikstof kan echter bij calamiteiten als droogte of heidekeverplagen, wel versneld vrijkomen. De kans op langdurige en intense droogte wordt als gevolg van klimaatverandering steeds groter, en daarmee is inzicht in de processen die de stikstofhuishouding doen veranderen van groot belang voor het behouden van de veerkracht van droge heide in de toekomst. Mede om die reden is een OBN-project gestart in oude droge heide op humuspodzolgronden. Onderdeel van dit project is een experiment met intacte bodemkolommen in een klimaatkamer.

Experiment met intacte bodemkolommen

In april 2018 hebben we op de Terletse heide tien intacte bodemkolommen van 40 cm lang en een doorsnede van 25 cm van oude, langdurig ongeplagde droge heide op humuspodzolgrond verzameld. De kolommen hebben we in een klimaatkamer gezet met ingestelde temperatuur (eerst 18°C, vervolgens 25°C) en belichting (foto 2). Net onder de organische H-laag (7,5 cm onder het bodemoppervlak) en net onder of in de B-horizont werden rhizonsamplers geïnstalleerd waarmee we poriewater konden bemonsteren gedurende de looptijd van het experiment (veertien maanden). De eerste twee maanden (april, mei) werd de bodemvochtigheid op peil gehouden met schoon, kunstmatig regenwater (80 mm/maand). Vanaf begin juli werd de helft van de kolommen niet meer beregend ("droogtestress", vijf herhalingen), terwijl voor de vijf andere kolommen ("de controle") de standaard beregening werd voortgezet. De droogtebehandeling duurde ruim vijf maanden, waarbij tenslotte het bodemvochtgehalte net zo laag werd als tijdens de extreem droge zomer van 2018. Vervolgens werd de droogtebehandeling beëindigd en vijf maanden weer beregend met schoon water, net zoals bij de controlebehandeling. In mei 2019 hebben we het experiment afgesloten met metingen aan bodem en vegetatie.

Stikstof in het poriewoort

De hoeveelheid stikstof in het poriewoort werd sterk beïnvloed door de droogteperiode. Op 28 cm diepte, in de Bh-horizont, nam het ammoniumgehalte na de droogteperiode toe tot boven 500 µmol/l, en bleef daarna onveranderd hoog. In de controlebehandeling zonder droogte bleef dit gehalte gedurende de gehele meetperiode gemiddeld lager dan 50 µmol/l. Ook in de organische bovenlaag (-7,5 cm) nam het ammoniumgehalte van het poriewoort na droogte aanzienlijk toe, van minder dan 250 µmol/l in de controlekolommen tot langdurig boven 2000 µmol/l in de droogtestressbehandeling (figuur 1).

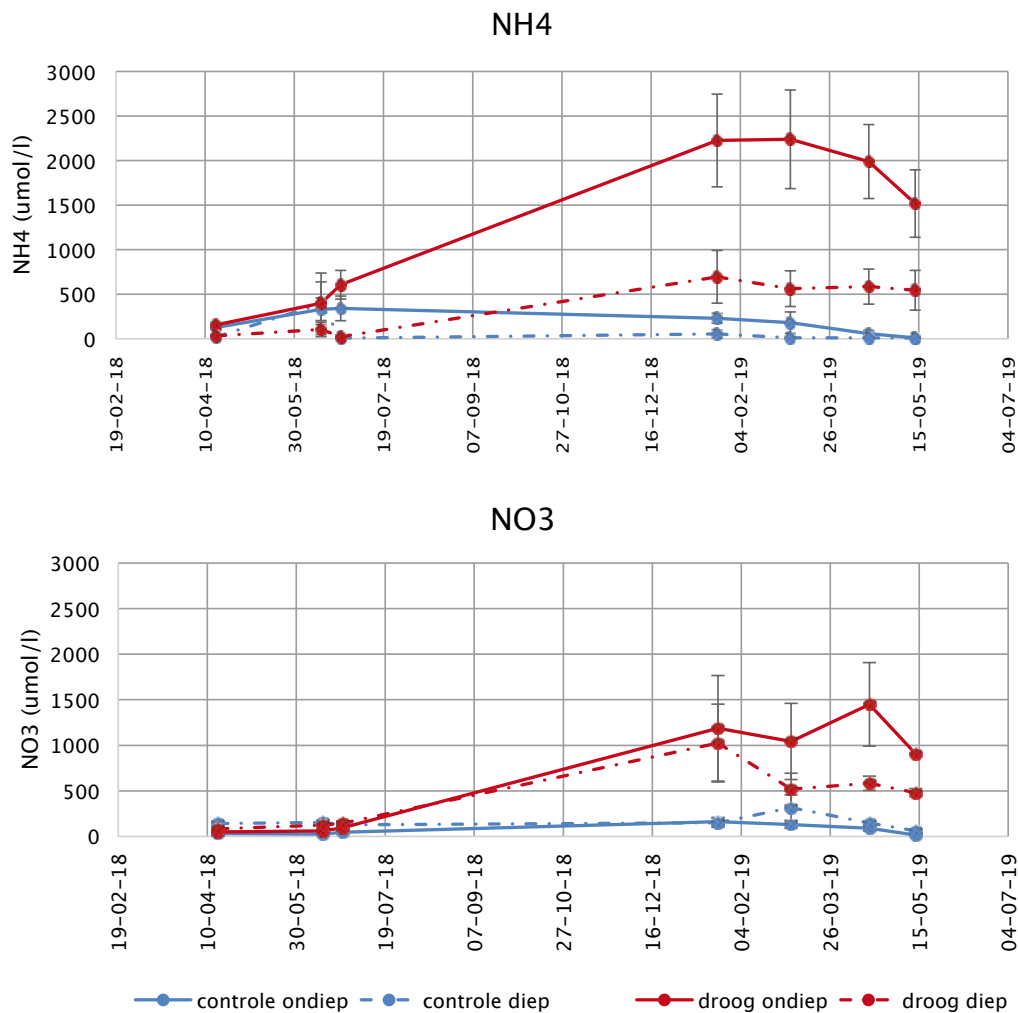
Ook het nitraatgehalte in het poriewoort is sterk gestegen na de droogtestress, ondiep tot ruim boven 1000 µmol/l, en in de diepere bodemlaag even tot 1000 µmol/l, daarna afnemend tot 500 µmol/l. Dit is duidelijk hoger dan het nitraatgehalte in de controlekolommen, of voor de start van de droogteperiode (bijna altijd lager dan 150 µmol/l, figuur 1). Kortom, dit experiment laat duidelijk zien dat door een langdurige, extreme droogteperiode de hoeveelheden ammonium en nitraat in het poriewoort van intacte bodemkolommen langdurig en sterk verhoogd worden.

Plantbeschikbaar stikstof

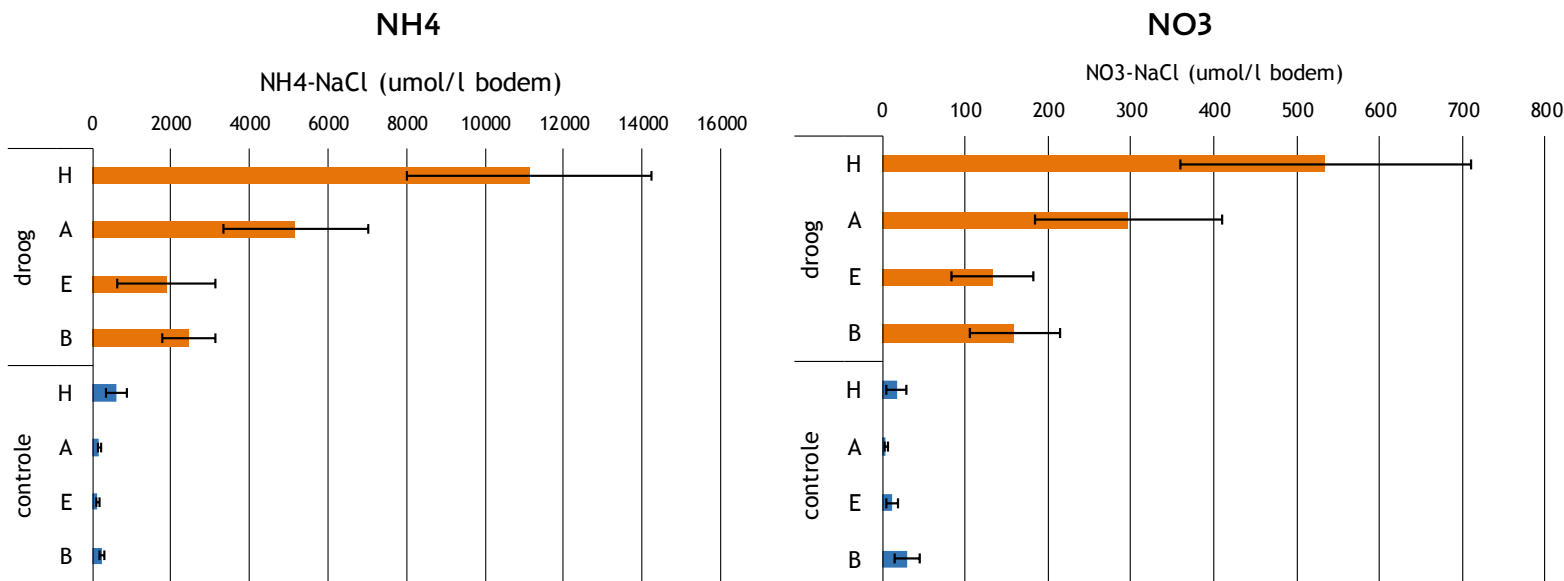
Aan het eind van het experiment hebben we het beschikbaar ammonium- en nitraatgehalte per bodemlaag (FH-, A-, E- en Bh-laag) gemeten met behulp van een NaCl-extractie (figuur 2). Ook uit deze metingen blijkt dat de stikstofhuishouding in hoge mate is veranderd na een extreme droogteperiode: in alle vier onderzochte bodemlagen zijn de concentraties aan beschikbaar ammonium vele malen hoger (10-30x) dan in de bodems die



Foto 2. Overzicht van een deel van de proefopstelling in de klimaatkamer (2-1-2019). Duidelijk zichtbaar zijn de rhizonporiewatersamplers op twee dieptes.



Figuur 1. Verloop van het ammonium- (boven) en nitraatgehalte (in µmol/l ± standaardfout) in het ondiepe poriewoort (-7,5 cm, doorgetrokken lijn) en het diepe poriewoort (-28 cm, onderbroken lijn) gedurende de looptijd van het experiment. De pijlen geven het begin en het eind van de droogteperiode aan. De droogtestress-behandeling is in rood, de controlebehandeling in blauw.



Figuur 2. Concentratie van plantbeschikbaar ammonium (links) gemiddelde \pm standaardfout) en nitraat (rechts) in $\mu\text{mol/l}$ bodem per bodemlaag (FH-, A-, E- en Bh-laag) aan het eind van het experiment in de behandeling met een droogteperiode (oranje) en in de controle (blauw). NB.: x-as is 20x groter bij ammonium dan bij nitraat.

niet zijn blootgesteld aan langdurige droogte. Zo werd bijvoorbeeld in de minerale A-laag ongeveer 5000 μmol ammonium/l bodem vastgesteld, terwijl dit in dezelfde laag in de controlebehandeling slechts 150 μmol ammonium/l bodem was (figuur 2). Deze laatste waarde komt goed overeen met de waarden gemeten in het veld in goed-ontwikkelde, niet-vergraste droge heide. Ook de nitraatgehalten van de bodemlagen zijn na de droogteperiode aanzienlijk gestegen, maar minder sterk dan voor ammonium. Zo werd onder de FH-laag tussen 95-285 μmol nitraat/l bodem gemeten na droogtestress, terwijl dit gemiddeld <30 μmol nitraat/l bodem is in de bodems van de controlebehandeling (figuur 2).

Aangezien de plantbeschikbare stikstofgehalten per inhoudsmaat van de bodem zijn bepaald, konden we ook de totale hoeveelheid beschikbaar ammonium en nitraat in de bodem (0-40 cm) berekenen. Daaruit bleek dat het beschikbaar ammonium toenam tot 1265 mmol/m^2 bodem na de droogteperiode, vergeleken met 147 mmol/m^2 in de controle. Voor beschikbaar nitraat bedroeg dit respectievelijk 74 en 6 mmol/m^2 . Een enorme toename van beschikbaar ammonium (en nitraat) dus na een extreme droogteperiode!

N-uitspoeling in het veld

Toevallig bleek gedurende het klimaatkamerexperiment ook een vergelijkbaar in vivo experiment gaande: de extreem droge zomer van 2018. Om de uitkomsten van het kolomexperiment ook in het veld te staven, zijn daarom op drie locaties met oude heide (Terletse heide, Strabrechtse heide en Brunsummer heide) begin augustus 2018 – tegen het einde van de extreme droogteperiode – in het veld op 40-45 cm diepte rhizon-poriewater samplers geplaatst, om eventuele uitspoeling onder de wortellaag naar het dieper grondwater te kunnen vaststellen (foto 3). Per locatie zijn drie sets

van twee samplers geplaatst, en na natte periodes bemonsterd. Helaas is in juni 2019 de meetlocatie op de Brunsummer heide vernield, waardoor we de metingen daar moesten stoppen.

Nitraat is vele malen mobieler in bodems dan ammonium, dat sterk geadsorbeerd wordt aan het bodemcomplex, zeker in oude heiden met dikke humusprofielen. Dit betekent dat uitspoeling van stikstof uit ecosystemen vooral zal plaatsvinden in de vorm van nitraat. Uiteraard is dit afhankelijk of er nitrificatie optreedt in het bodemprofiel. Ook in de veldmetingen is dit verschil in uitspoeling teruggevonden: de concentratie aan ammonium in het water onder de wortelzone is vrijwel altijd tussen de 50-150 μmol per liter, en licht verschillend tussen de drie onderzochte heidelocaties. Dit zijn redelijk normale waarden voor heide-ecosystemen (figuur 3).

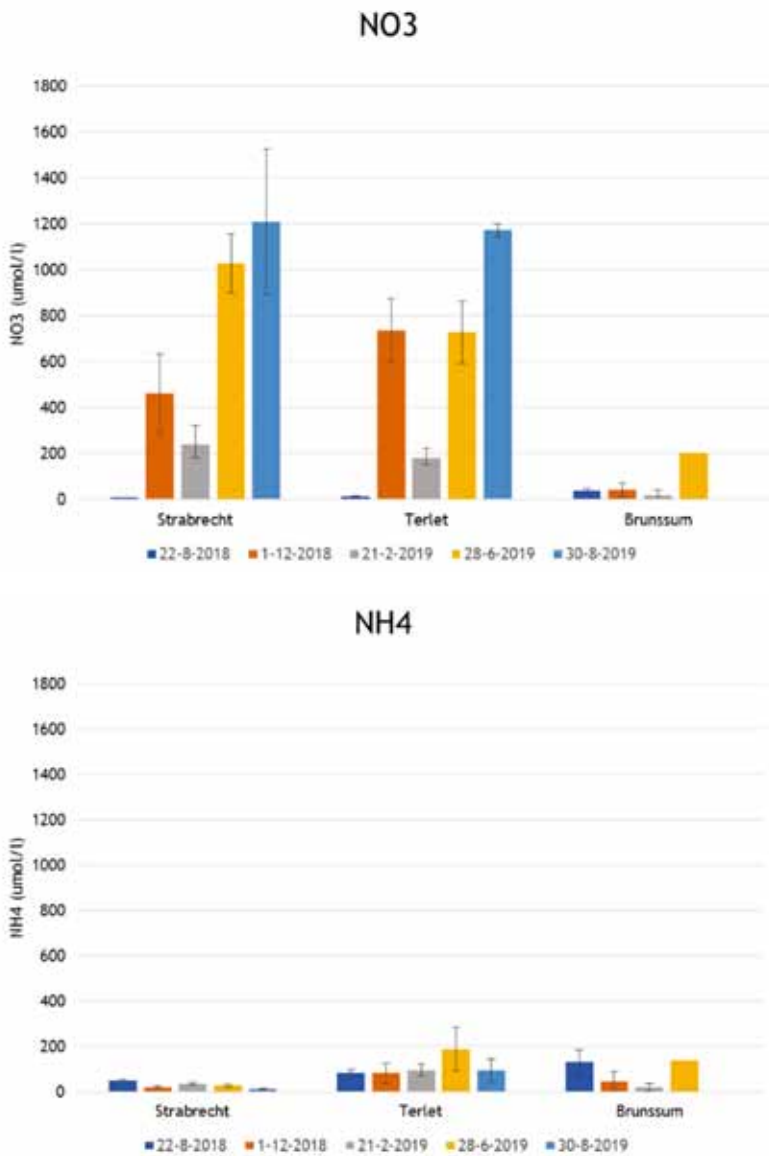
Wat nitraat betreft zijn de metingen des te opmerkelijker: onder beide droge heiden op Pleistocene zandgrond (Strabrechtse en Terletse heide) zijn de nitraatgehalten in het water onder de wortelzone hoog tot zeer hoog (figuur 3). Zo werd één jaar na de droogte (eind augustus 2019) gemiddeld meer dan 1000 μmol nitraat/l (68,2 mg nitraat per liter) gemeten op 40-45 cm diepte, terwijl dat in augustus 2018, net na de droogte, nog vele malen lager was. Ook de nitraatgehalten direct na het steken van de bodemkolommen was veel lager (<100 $\mu\text{mol/l}$). Dit betekent dat, als dit water verder zou uitspoelen naar het grondwater, er een risico zou ontstaan dat de nitraatnorm voor drinkwater in het grondwater onder beide terreinen zou worden overschreden. Verder is het opvallend dat onder oude droge heide op de Brunsummer heide veel minder nitraat in het uitspoelend water werd gemeten. Dit heeft mogelijk te maken met de zeer mineraalarme tertiaire zanden ter plekke waarin ammonificatie en/of nitrificatie mogelijk minder snel (of vrijwel niet) optreedt.

Stikstofbom

Uit de resultaten van zowel het kolommenexperiment als de latere veldmetingen na een extreme zomer blijkt dat de N-huishouding van oude droge heide – na decennialang te hoge N-depositie – sterk verstoord is. Het lijkt erop dat de stikstofbom in de bodem barst na extreme droogte, waarbij in de bovenste 30 cm van de bodem veel meer ammonium en nitraat in het poriewater komt en er ook veel meer ammonium beschikbaar is aan het bodemcomplex. Dit zou de groei van grassen als pijpenstrootje kunnen gaan stimuleren. Ook bereikt veel meer nitraat het bodemwater onder de wortelzone, tot zelfs boven de toegestane concentratie voor drinkwaterwinning (50 mg nitraat/l).

Op deze wijze verdwijnt geaccumuleerde stikstof uit het heidesysteem, en dat is op zichzelf positief. Maar het nitraat kan via het dieper grondwater ook kwelwater in andere (natuur)terreinen negatief beïnvloeden. Het is daarmee ook duidelijk geworden dat in deze oude droge heide na verstoring door droogte significante nitraatproductie (nitrificatie!) optreedt. Dit betekent dat, althans tijdelijk, de ammonium/nitraat-ratio in de bodem lager zou kunnen worden als het nitraat niet snel uitspoelt, wat voor veel kenmerkende kruiden uit het heidelandschap positief is voor hun ontwikkeling. Echter, de zeer hoge ammoniumconcentraties in de bovenste bodemlagen die we nu hebben gemeten, doen voorlopig het ergst vrezen voor veel soorten uit het heidelandschap die gevoelig zijn voor hoog beschikbaar ammonium (> 200-300 $\mu\text{mol/l}$ bodem). Bij niveaus boven deze waarden wordt ammonium toxisch voor deze kenmerkende kruiden, en dat is heel slecht voor hun voortbestaan in de vegetatie.

We weten nog niet waardoor zoveel stikstof vrijkomt. Waarschijnlijk spelen verschillende processen een rol, zoals (gedeeltelijk) afsterven



Figuur 3. Verloop van het nitraat- en ammoniumgehalte ($\mu\text{mol/l}$; gemiddelde \pm standaardfout) in het water onder de wortelzone (-40-45 cm) vanaf augustus 2018 tot eind augustus 2019. NB.: laatste meting Brunsummerheide n=1 door vernieling.

Foto 3. Beeld van de bovenzijde van de rizonporiewatersamplers (-40/45 cm beneden maaiveld) zoals deze zijn geïnstalleerd op drie locaties met oude, ongeplagde heide (Strabrechtse heide, 14-08-2018). Duidelijk is te zien dat een deel van de heidebegroeiing flink heeft geleden onder de extreme droogte van 2018.

van de vegetatie (minder plantopname), hogere strooiselproductie boven- en ondergronds (meer makkelijk afbreekbaar organisch materiaal), verlaagde microbiële activiteit (minder immobilisatie), versnelde afbraak van organisch materiaal door minder anaerobe microsites in de bodem en mogelijk zelfs het uit elkaar vallen van stabiele humusverbindingen. Nader onderzoek is nodig om dit alles te ontrafelen.

Ook weten we nog niet welk deel van de N-voorraad nu gemobiliseerd wordt en of er bij herhaalde droogte-incidenten steeds evenveel stikstof vrij blijft komen. Welke rol spelen versnelde mineralisatie en nitrificatie in de verschillende humusprofielhorizonten en hoe werkt droogte daarop in? Verder is ook nog niet bekend hoelang de verhoogde N-beschikbaarheid en uitspoeling van nitraat doorgaat na één extreme zomer. Tot nu toe zijn de gevolgen een jaar later nog steeds heel goed meetbaar, maar metingen op langere termijn zijn nog niet beschikbaar. En het is ook de vraag of andere ecosystemen, zoals bossen in het droog zandlandschap waar ook een aanzienlijke hoeveelheid organische stof is opgeslagen in de bodem, op dezelfde wijze op extreme droogte reageren.

Drastisch

De ecologische gevolgen van dit alles op wat langere termijn zouden wel eens heel drastisch kunnen zijn voor het functioneren van droge heide. Ammoniumtolerante snelle groeiers kunnen de vegetatie totaal gaan domineren, en voor veel kenmerkende kruiden uit de heide dreigt de definitieve nekslag. Onderzoek naar het oplossen van dit knelpunt is van groot belang om in de toekomst de biodiversiteit in droge heide, ook bij frequenter optreden van extreem droger zomers, te behouden of te doen vergroten.<

Roland Bobbink, r.bobbink@b-ware.eu



foto Roos Loeb