

Verdamping van bossen

LITERATUUR CIJFERS EN EEN KAART MET RELATIEVE VERSCHILLEN

Bernard Voortman

Agenda

- Presentatie literatuurcijfers bossen (Bernard, ca. 45 min).
- Presentatie kaart relatieve verdamping bossen (Bernard ca. 10 min).
- Richting afronding en presentatie voor breder publiek.

De discussie over de verdamping van bossen

VOORGESCHIEDENIS

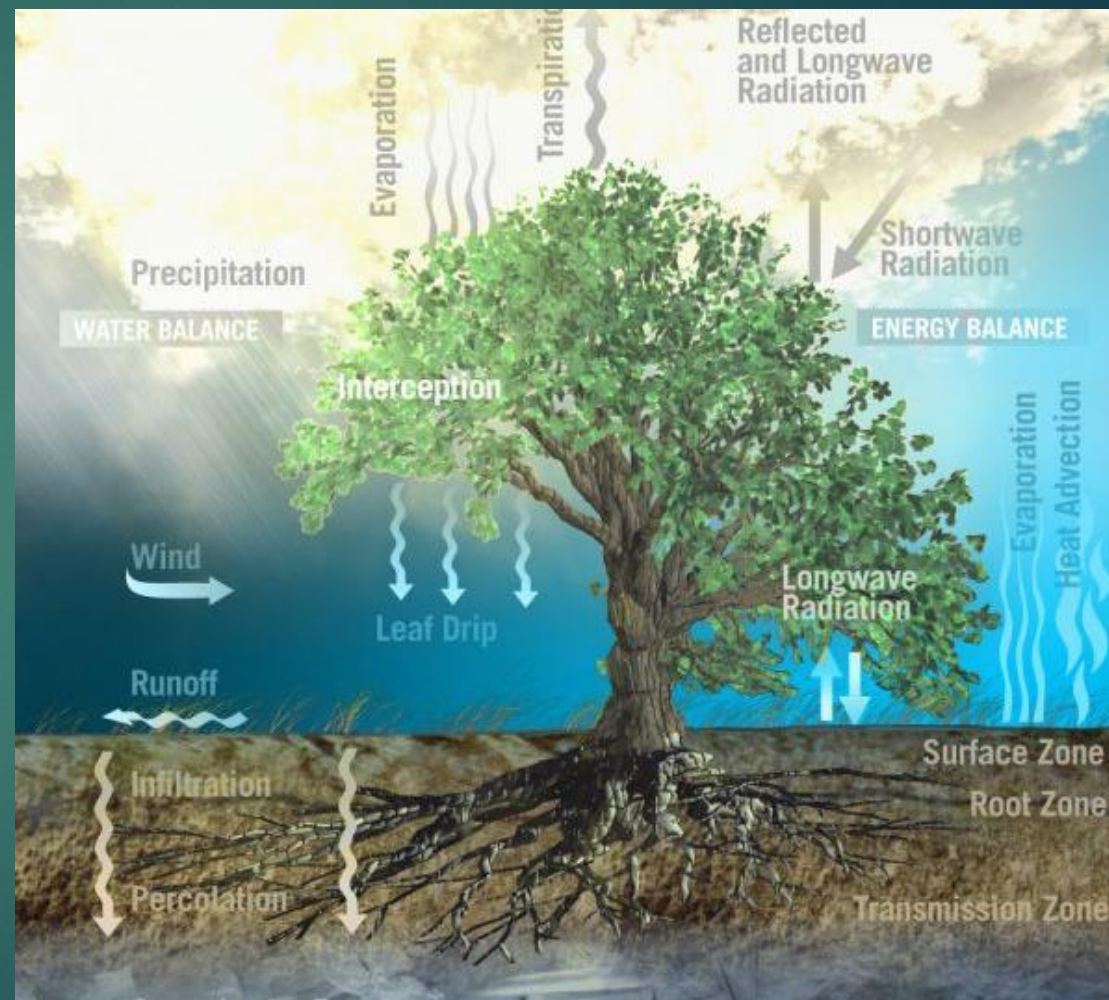
- ▶ Al meer dan een eeuw is er discussie over de verdamping van bossen. Dit heeft in Nederland geleid tot verschillende veldexperimenten:
 - ▶ **1933:** “Wateronttrekking aan de Veluwe”. Rapport van de Commissie, ingesteld bij beschikking van den Minister van Binnenlandsche Zaken en Landbouw.
 - ▶ **1938 tot 1990:** Castricum Lysimeters.
 - ▶ **Jaren 1980 - 1990:** Studiecommissie Waterbeheer Natuur Bos en Landschap (SWNBL), literatuur studies, experimentele studie gemengd loofbos in Ede. En modellenstudie die vuistregels zou moeten verstrekken voor de dagelijkse praktijk.
 - ▶ **Jaren 1990-2000:** Opstart van meer veldmetingen door discussie over de SWNBL tabellen.
 - ▶ Daarna continuering tot het heden van meetlocaties Loobos en Speulderbos en veel modellenwerk op processen.

De complexiteit van bossen

- ▶ Er valt veel te onderzoeken aan bomen en bossen. De combinatie van verschillende energie fluxen, heterogeniteit en de grootte van de begroeiing maken het bijzonder complex.

- ▶ **Afbakening:**

Literatuurstudie is gefocust op voornamelijk metingen in Nederlandse bossen en in de eerste plaats op cijfers van de totale verdamping op jaarbasis.



Waterbalans methoden: bijvoorbeeld Lysimeters



Micro-meteorologische
methoden
Bijvoorbeeld: eddy correlatie



Lysimeters

- ▶ Lysimeters te Castricum: 25 x 25 m, 2.5 m diep. Verdamping is een restpost van neerslag – drainage. Langjarige, vrij directe metingen.

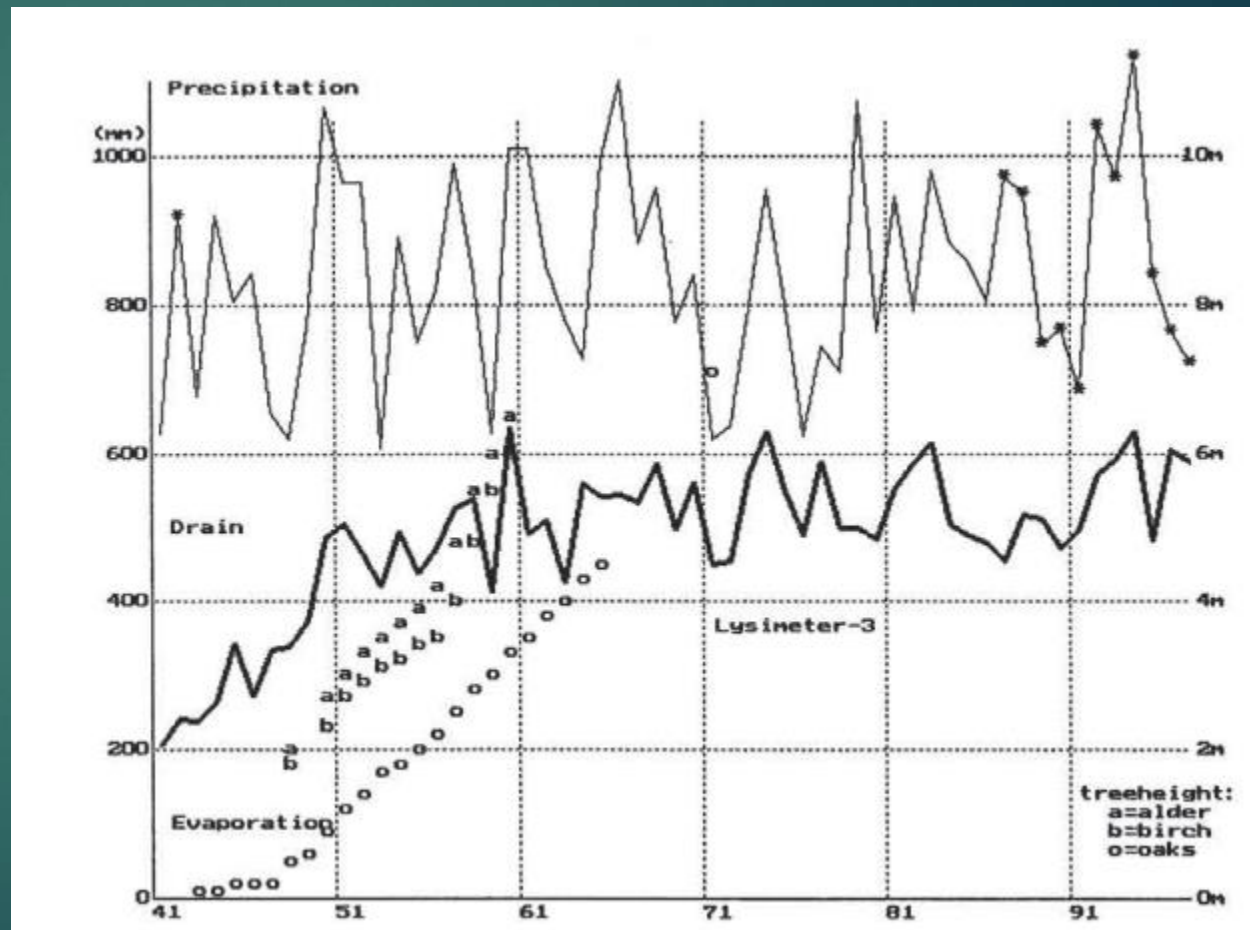


Bijzonderheden/voordelen

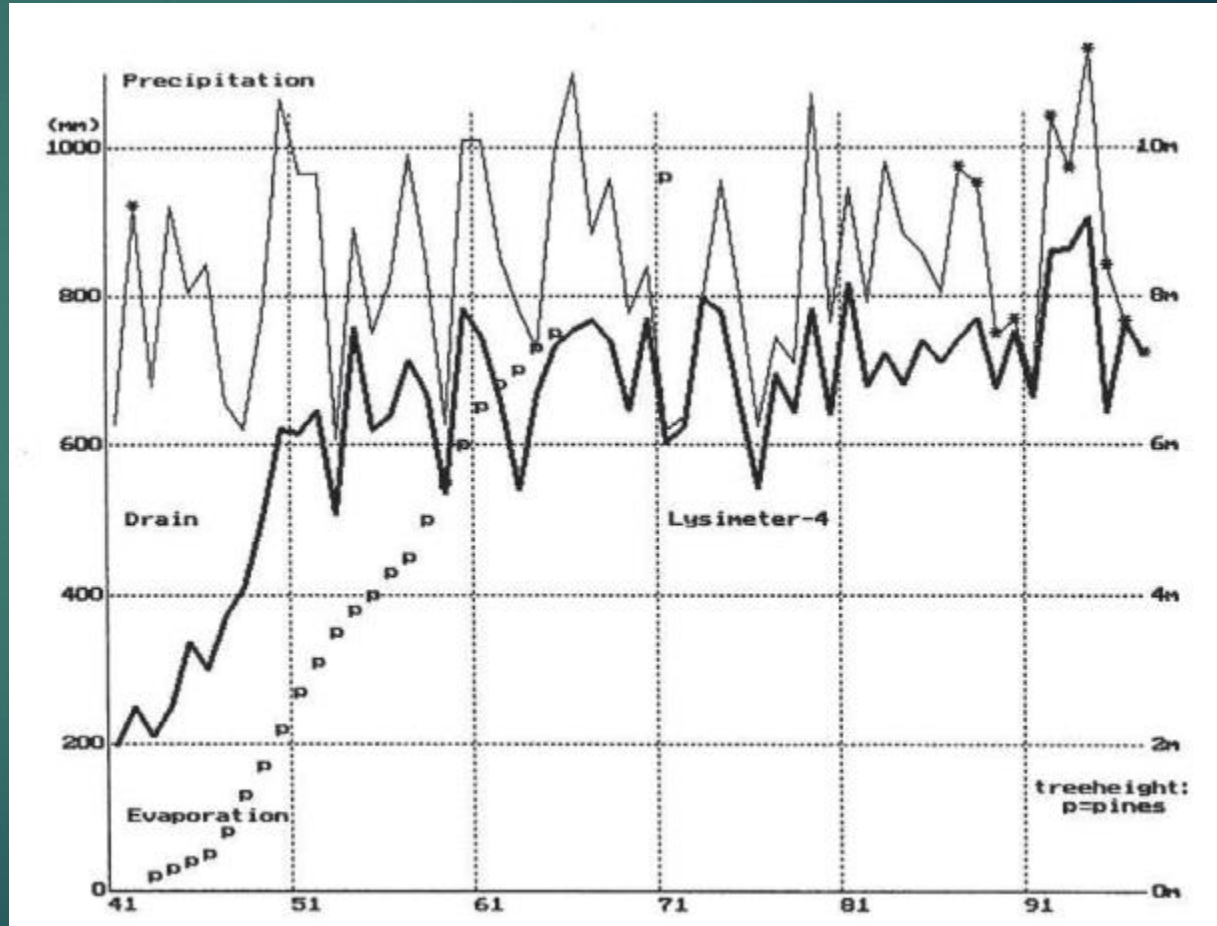
- ▶ Door de langjarige metingen op eenzelfde locatie worden meteorologische verschillen verwaarloosbaar en kunnen cijfers goed worden vergeleken.
- ▶ Door de start met zaailingen kan ontwikkeling in de tijd worden onderzocht.

Ontwikkeling van verdamping in de tijd.

- ▶ Verdamping van Eikenbos (Castricum) loopt op van 200 mm/jaar naar ca. 530 mm/jaar.
- ▶ Tot een boomhoogte van ca. 4 tot 6 m neemt de verdamping substantieel toe. Eind stadium waren eikenbomen met een stamdiameter van 15 cm.



- ▶ Verdamping van Zwarte Den (lysimeter 4 Castricum) loopt op van 200 mm/jaar naar ca. 690 mm/jaar.
- ▶ De ontwikkeling gaat hier bijzonder snel. In 10 jaar tijd neemt de verdamping enorm toe. Terwijl de boomhoogte nog betrekkelijk laag blijft.



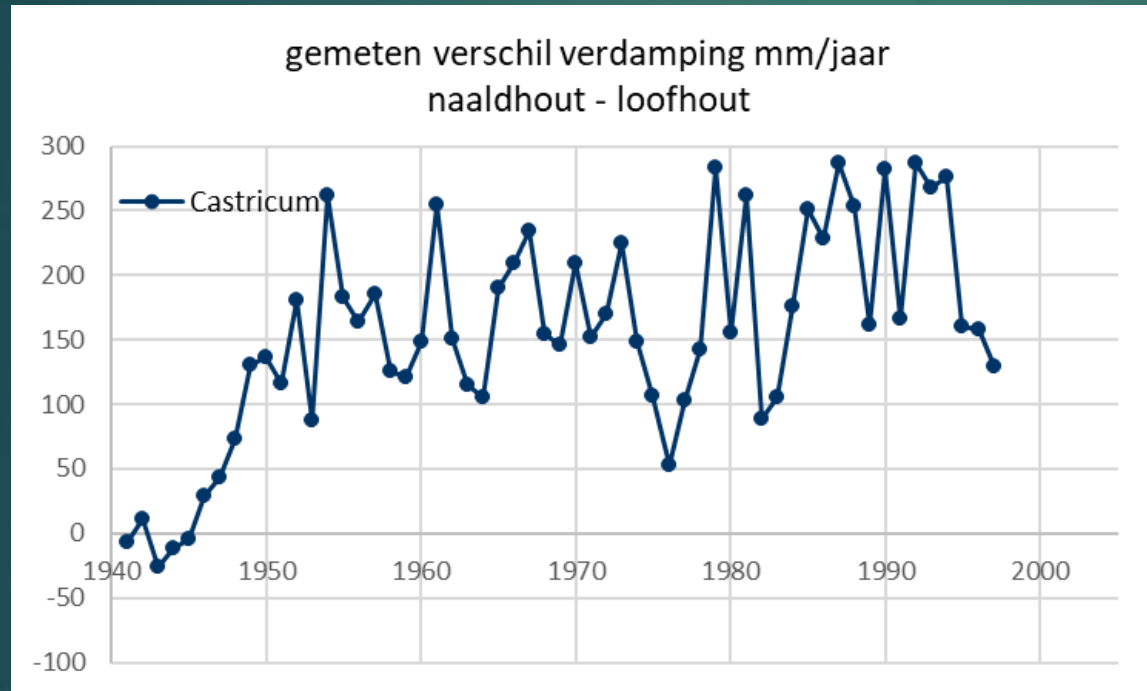
Ontwikkeling begroeiing Castricum lysimeters

- ▶ De boomhoogte was weliswaar beperkt, toch ging de verdamping enorm omhoog.
- ▶ Boomhoogte zegt lang niet alles. De dichtheid is even belangrijk is vaak maatgevend. Vooral voor naaldbos zien we vrij snel een “volwassen” verdamping. Naaldbos liet na 10 jaar een geschatte bedekking zien van ca. 95% en daarom een “volwassen” verdamping.

jaar	Lys. I	Lys. II*	Lys. III	Lys. IV
1942		± 60%	1%	± 1%
maart 1943		± 60%	eikenzaad opgelopen	1%
mei 1943	0,5%	60%	30%	30%
1944	0,5%	60%	30%	30%
1945	0,5%	60%	30%	30%
1946	0,5%	60%	30%	40%
1947	0,5%	60%	30%	50%
1948	0,5%	60%	40%	60%
1949	0,5%	80%	60%	70%
1950	0,5%	80%	70%	80%
1951	0,5%	80%	75%	90%
aug. 1952	0,5%	95%	85%	95%
1953	0,5%	95%	90%	95%
1954	1,0%	98%	93%	93%
1955	1,0%	98%	95%	95%
1956	1,0%	98%	95%	95%
1957	1 %	98%	95%	95%
1958	1 %	98%	95%	95%
1959	1 %	98%	95%	95%
1960	1 %	98%	95%	95%
1961	1 %	98%	90%	95%
1962	1 %	98%	90%	95%
1963	1 %	98%	90%	95%
1964	1 %	98%	90%	85%

Verskil loof- en naalhout

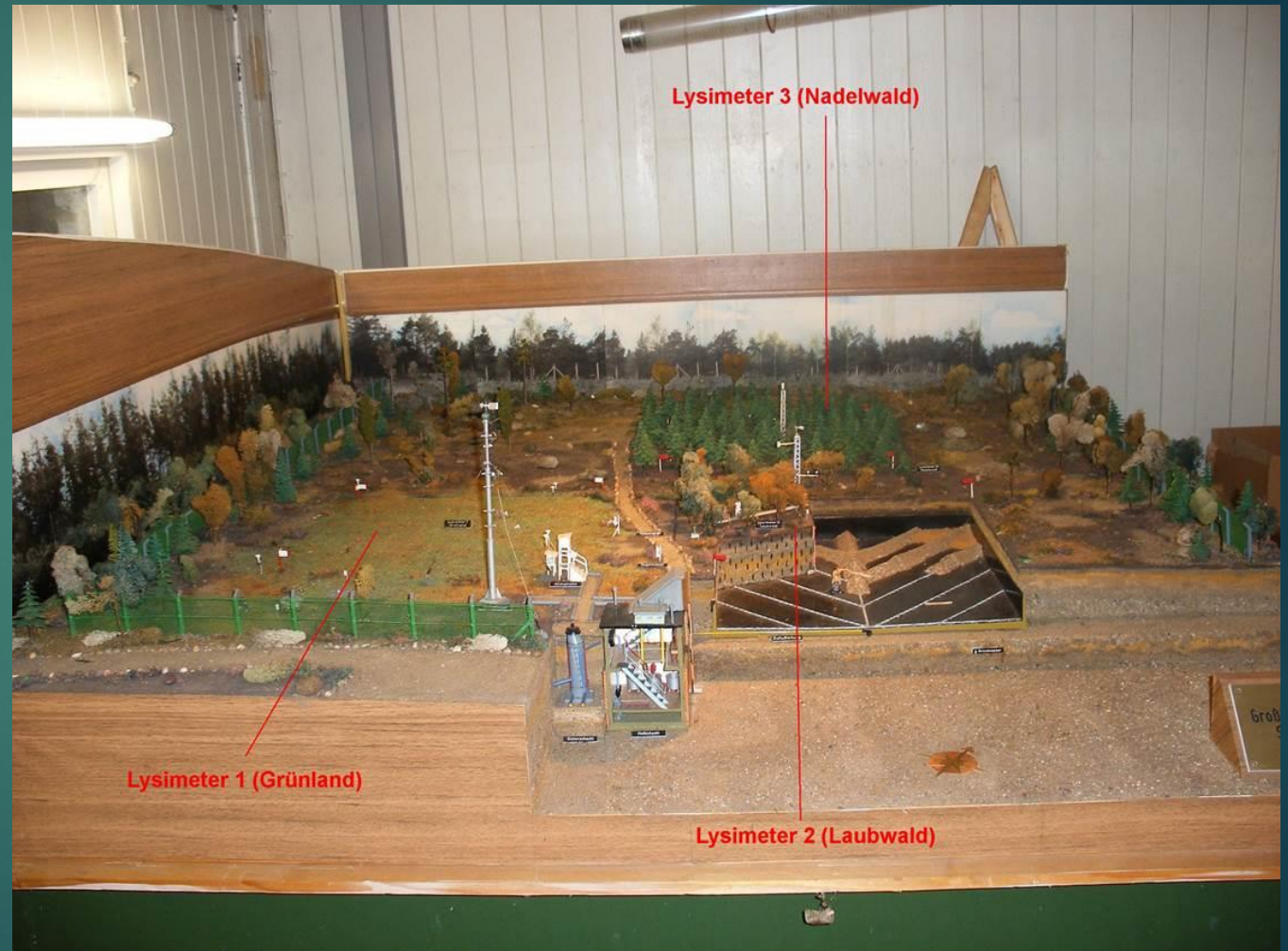
- Enorm verschil in grondwateraanvulling ca. 100% meer bij eikenbos (i.e. 2 x zo veel aanvulling).



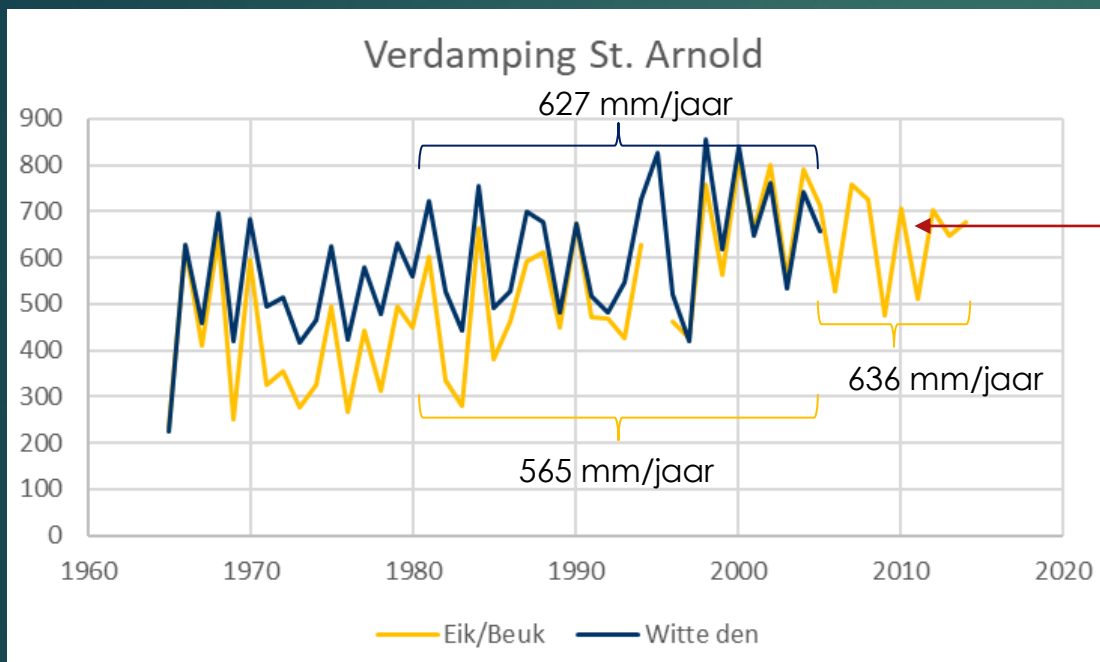
n = 1

Vergelijkbare experimenten

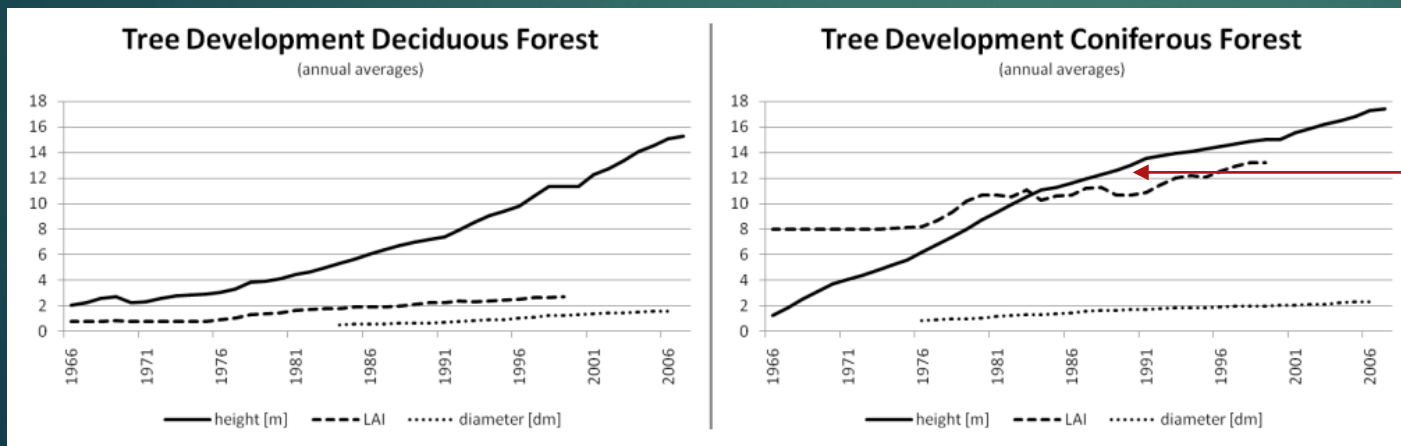
- Lysimeters te Munster (st. Arnold): Eijk/Beuk, Witte Den (20 x 20 m, 3.5 m diep).



Verdamping St. Arnold



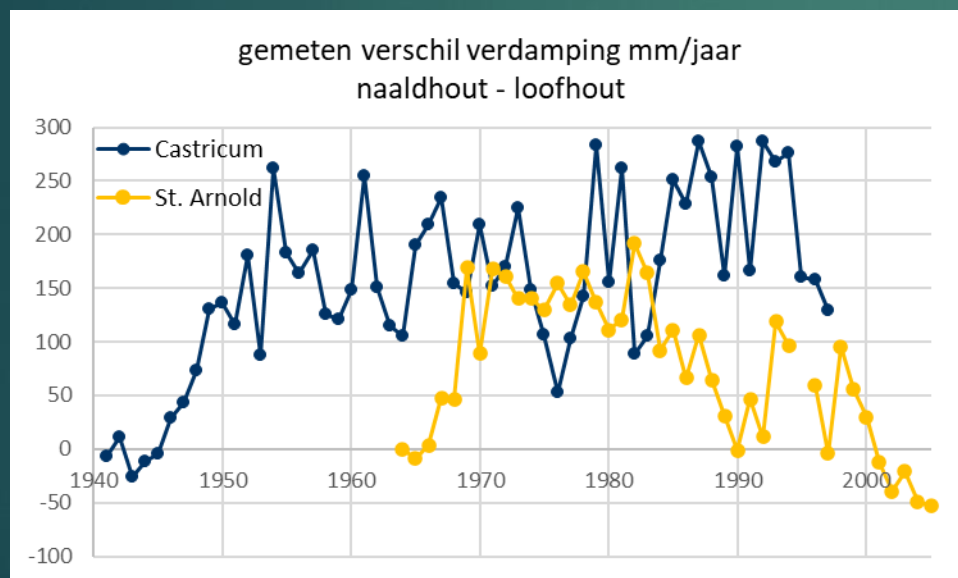
In de laatste fase worden cijfers vergelijkbaar. Bossen staan niet stil evenals de verdamping.



Wederom een snellere ontwikkeling van naalddhout en dus een hogere verdamping.

Verschillen loof- en naaldhout

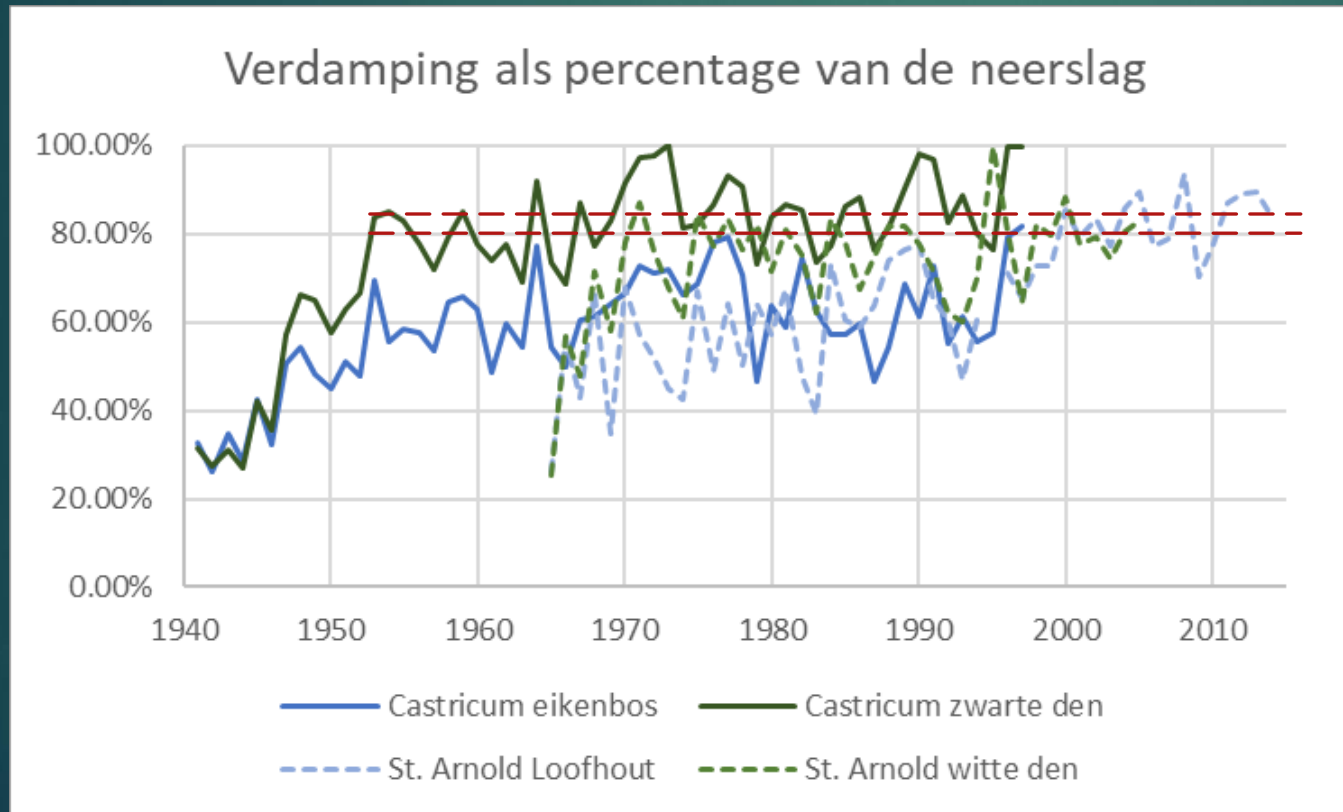
- De gemeten verschillen zijn ongeveer hetzelfde (ca. 150 mm/jaar, periode 1970:1985), maar na verdere ontwikkeling van het loofhout te St. Arnold neemt het verschil daar flink af.



n = 2

Stelregel uit beide experimenten

- Er zijn natuurlijk meteorologische verschillen. Door de verdamping te delen door de neerslag kan je een deel van deze verschillen compenseren.



Bovengrens:
ca. 80% tot 85% van de
neerslag.

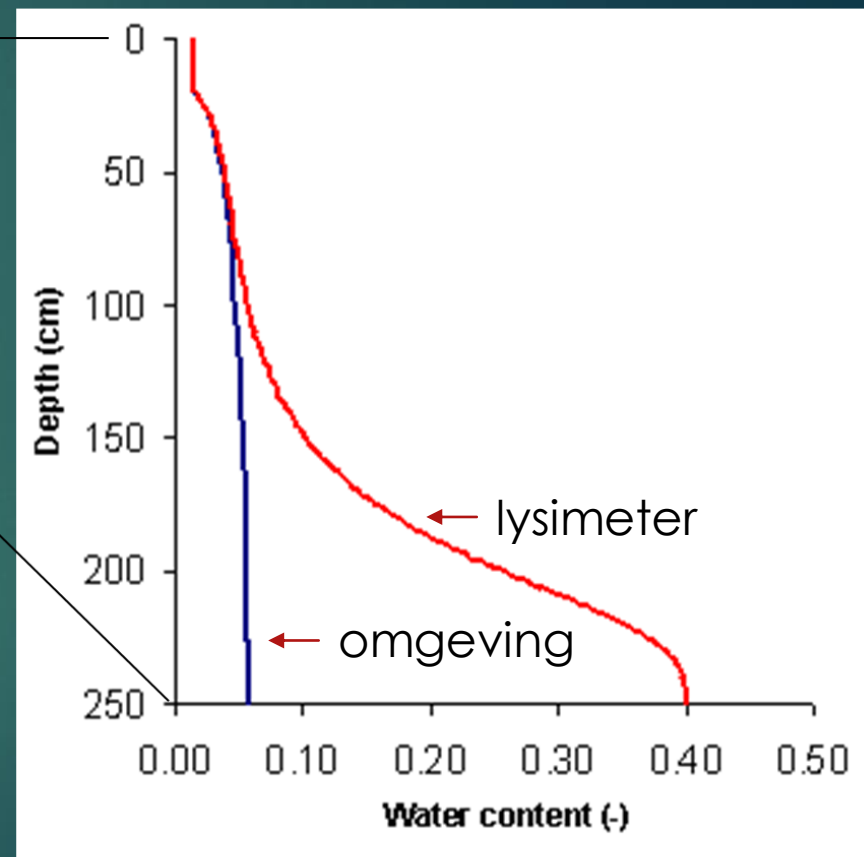
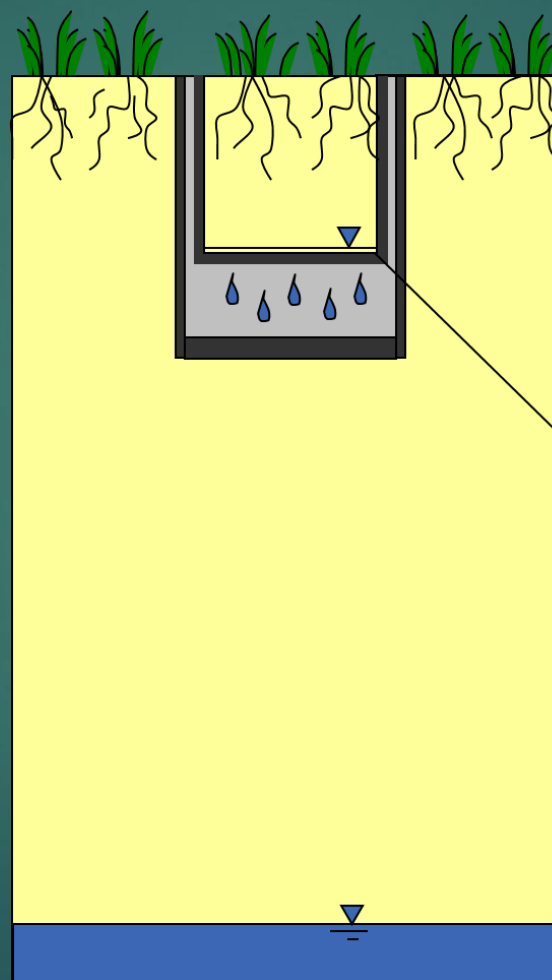
Conclusies

METINGEN GROTE LYSIMETERS

- ▶ Naaldbossen ontwikkelen binnen 10 jaar een “volwassen verdamping”, bij een boomhoogte van ca. 3 tot 6 meter. Dit geldt alleen bij een dichte opstand en bedekking van ca. 95 %. (zoals in Castricum en St. Arnold). Een bos staat niet stil, door de jaren heen veranderd een bos en daarom moet bij de inschatting van de effecten van beheersmaatregelen de temporele effecten worden meegewogen.
- ▶ Er is een ogenschijnlijke bovengrens aan de verdamping van naaldbossen van ca. 80% tot 85% van de neerslag (Castricum en St. Arnold).
- ▶ Het is niet zozeer het aantal bomen per ha, of de hoogte van de bomen, maar de bedekking die het meest effect heeft op verdamping.
- ▶ Als een loofbos ouder wordt en zich ontwikkelt tot een dicht beukenbos wordt het verschil in verdamping tussen loof- en naalddhout kleiner.

Vocht condities in vrij drainerende lysimeters

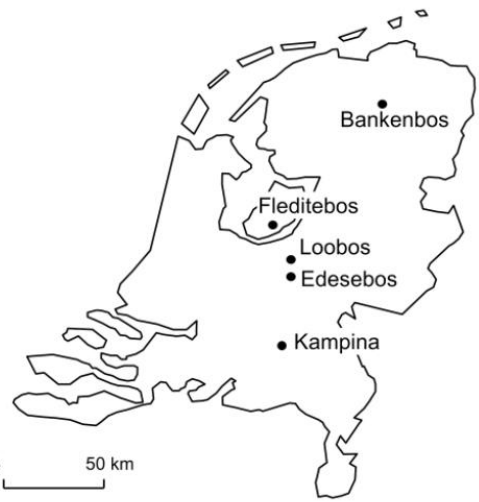
- ▶ Vochtcondities in vrij drainerende lysimeters zijn vaak te nat ten opzichte van de grondwateronafhankelijke omgeving. De waterdruk moet eerst oplopen voordat er water uitstroomt.
- ▶ Er was daardoor waarschijnlijk weinig tot geen vochtlimitatie. In de praktijk is dit waarschijnlijk ook vaak het geval door diepe beworteling. Als condities hiervan afwijken ligt de verdamping mogelijk lager.



Eddy correlatie metingen

BOSSENONDERZOEK JAREN 90

- ▶ Bossenonderzoek jaren 90
 - ▶ <http://www.climatexchange.nl/projects/boshydrologie/index.htm>
- ▶ Meetcampagne van 1995 t/m 1998
- ▶ Eddy correlatie techniek: meteo toren boven het balderdek.



Fleditebos, Populier



Bankenbos, Lariks



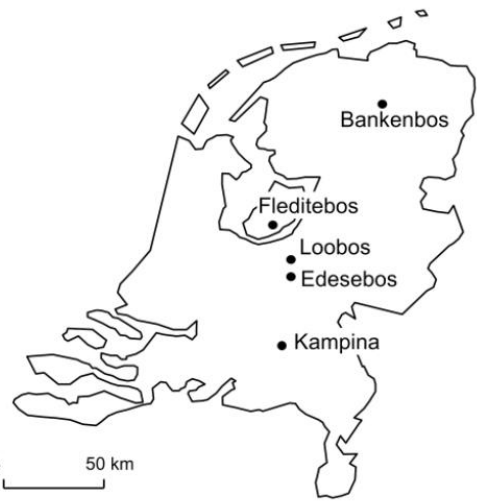
Loobos, Grove den



Edese bos, Eik



Kampina, Gemengd loof/naald



Fleditebos, Populier
 Verdamping: 620 mm/jaar (74%)
 Aanvulling: 220 mm/jaar

Bankenbos, Lariks
 Verdamping: 585 mm/jaar (72%)
 Aanvulling: 225 mm/jaar

Opvallend veel gelijkenis in de verdamping als percentage van de neerslag. Grove den heeft de meeste verdamping maar ook de meeste aanvulling (door meer neerslag).

Loobos, Grove den
 Verdamping: 630 mm/jaar (70%)
 Aanvulling: 270 mm/jaar

Edese bos, Eik
 Geen jaarcijfers

Kampina, Gemengd loof/naald
 Verdamping 550 mm/jaar (71%)
 Aanvulling 225 mm/jaar

Overzicht verdampingscijfers

Naaldbossen hebben een donker groene kleur.
Loofbossen licht groen.

Tabel is gesorteerd op de verdamping als percentage van de neerslag.

Begroeiing	T + E (mm/jaar)	Int (mm/jaar)	Evap totaal (mm/jaar)	Aanvulling (mm/jaar)	Neerslag (mm/jaar)	Evap tot/neerslag (%)	Locatie	Periode	Bron	Techniek
Douglas	395	317	712	104	834	85.4%	Speulderbos	1960 - 1990	Tiktak en Bouten (1994)	eddy correlatie en bodemvocht balans, gekalibreerd model
Beuk			636	131	767	82.9%	st. Arnold	2006 - 2014	Harsch et al. (2009)	Grote lysimeter
Zwarte Den			692	150	842	82.2%	Castricum	1957 - 1981	van der Hoeven (2011)	Grote lysimeter
Witte Den			627	189	816	76.8%	st. Arnold	1981 - 2005	Harsch et al. (2009)	Grote lysimeter
Engels raaigras (potentieel)	535	64	599	199	798	75.1%	de Moer	1991-2021	Voortman et al. (2022)	modelberekening op basis van gewaseigenschappen (1991 - 2020)
Polulier	470	150	620	220	840	73.8%	Fleditebos	1995-1998	Dolman et al. 2000	eddy correlatie
Lariks	390	195	585	225	810	72.2%	Bankenbos	1995-1997	Dolman et al. 2000	eddy correlatie
Gemengd (vliegden en eik/beuk)	320	230	550	225	775	71.0%	Kampina	1996-1998	Dolman et al. 2000	eddy correlatie
Grove den	385	245	630	270	900	70.0%	Loobos	1995-2001	Dolman et al. 2000	eddy correlatie
Beuk			565	251	816	69.2%	st. Arnold	1981 - 2005	Harsch et. al (2009)	Grote lysimeter
Mais (potentieel, zonder groenbemester)	477	64	541	257	798	67.8%	Moergestel	1991-2021	Voortman et al. (2022)	modelberekening op basis van gewaseigenschappen (1991 - 2020)
Beuk	350	208	558	276	834	66.9%			Dolman et al. 2000	
Engels raaigras (werkelijk, klei op veen)			547	286	833	65.7%	Cabauw	1987 - 1996	Massop et al. (2005)	bowen ratio
Eik			526	316	842	62.5%	Castricum	1957 - 1981	van der Hoeven (2011)	Grote lysimeter
Droge heide			430	437	867	49.6%	Hoge Veluwe	1988 - 2017	Voortman et al. (2019)	lysimeter gebaseerd berekening
Pijpenstrootje (diep grondwater)			430	588	1018	42.2%	Kootwijk	1994	Gehrels (1999)	eddy correlatie
Droog natuurlijk grasland			333	543	876	38.0%	Soestduinen	2013	Voortman et al. (2015)	lysimeter gebaseerd berekening
Stabiele duinbodem			250	626	876	28.5%	Soestduinen	2013	Voortman et al. (2015)	lysimeter gebaseerd berekening
Stuifzand			200	642	842	23.8%	Castricum	1957 - 1981	van der Hoeven (2011)	Grote lysimeter

Bij de interpretatie van bovenstaande tabel moet zeer zorgvuldig worden gekeken naar de standplaatscondities en de opstand.

Overzicht verdampingscijfers

Naaldbossen zitten in de hogere regionen. De interceptie verdamping is vooral hoog. Mede door het jaar rond hebben van naalden.

Begroeiing	T + E (mm/jaar)	Int (mm/jaar)	Evap totaal (mm/jaar)	Aanvulling (mm/jaar)	Neerslag (mm/jaar)	Evap tot/neerslag (%)	Locatie	Periode	Bron	Techniek
Douglas	395	317	712	104	834	85.4%	Speulderbos	1960 - 1990	Tiktak en Bouten (1994)	eddy correlatie en bodemvocht balans, gekalibreerd model
Beuk			636	131	767	82.9%	st. Arnold	2006 - 2014	Harsch et al. (2009)	Grote lysimeter
Zwarte Den			692	150	842	82.2%	Castricum	1957 - 1981	van der Hoeven (2011)	Grote lysimeter
Witte Den			627	189	816	76.8%	st. Arnold	1981 - 2005	Harsch et al. (2009)	Grote lysimeter
Engels raaigras (potentieel)			599	199	798	75.1%	de Moer	1991-2021	Voortman et al. (2022)	modelberekening op basis van gewaseigenschappen (1991 - 2020)
Polulier	470	150	620	220	840	73.8%	Fleditebos	1995-1998	Dolman et al. 2000	eddy correlatie
Lariks	390	195	585	225	810	72.2%	Bankenbos	1995-1997	Dolman et al. 2000	eddy correlatie
Gemengd (vliegden en eik/beuk)	320	230	550	225	775	71.0%	Kampina	1996-1998	Dolman et al. 2000	eddy correlatie
Grove den	385	245	630	270	900	70.0%	Loobos	1995-2001	Dolman et al. 2000	eddy correlatie
Beuk			565	251	816	69.2%	st. Arnold	1981 - 2005	Harsch et. al (2009)	Grote lysimeter
Mais (potentieel, zonder groenbemester)	477	64	541	257	798	67.8%	Moergestel	1991-2021	Voortman et al. (2022)	modelberekening op basis van gewaseigenschappen (1991 - 2020)
Beuk	350	208	558	276	834	66.9%			Dolman et al. 2000	
Engels raaigras (werkelijk, klei op veen)			547	286	833	65.7%	Cabauw	1987 - 1996	Massop et al. (2005)	bowen ratio
Eik			526	316	842	62.5%	Castricum	1957 - 1981	van der Hoeven (2011)	Grote lysimeter
Droge heide			430	437	867	49.6%	Hoge Veluwe	1988 - 2017	Voortman et al. (2019)	lysimeter gebaseerd berekening
Pijpenstrootje (diep grondwater)			430	588	1018	42.2%	Kootwijk	1994	Gehrels (1999)	eddy correlatie
Droog natuurlijk grasland			333	543	876	38.0%	Soestduinen	2013	Voortman et al. (2015)	lysimeter gebaseerd berekening
Stabiele duinbodem			250	626	876	28.5%	Soestduinen	2013	Voortman et al. (2015)	lysimeter gebaseerd berekening
Stuifzand			200	642	842	23.8%	Castricum	1957 - 1981	van der Hoeven (2011)	Grote lysimeter

Overzicht verdampingscijfers

Loofbossen hebben meer observaties met een lage verdamping. Daardoor is de spreiding groter dan voor naaldbossen. Er is maar 1 loofbos observatie met bijzonder hoge verdampingscijfers (Beuk, st Arnold). Deze observatie is gedaan voor een eindstadium en in een periode met relatief weinig neerslag (767 mm/jaar). In de periode 1981-2005 lag voor dezelfde locatie de verdamping een stuk lager. Het maakt dus veel uit welke periode is gemeten en hoe het bos zicht heeft ontwikkeld.

Begroeiing	T + E (mm/jaar)	Int (mm/jaar)	Evap totaal (mm/jaar)	Aanvulling (mm/jaar)	Neerslag (mm/jaar)	Evap tot/neerslag (%)	Locatie	Periode	Bron	Techniek
Douglas	395	317	712	104	834	85.4%	Speulderbos	1960 - 1990	Tiktak en Bouten (1994)	eddy correlatie en bodemvocht balans, gekalibreerd model
Beuk			636	131	767	82.9%	st. Arnold	2006 - 2014	Harsch et al. (2009)	Grote lysimeter
Zwarte Den			692	150	842	82.2%	Castricum	1957 - 1981	van der Hoeven (2011)	Grote lysimeter
Witte Den			627	189	816	76.8%	st. Arnold	1981 - 2005	Harsch et al. (2009)	Grote lysimeter
Engels raaigras (potentieel)	535	64	599	199	798	75.1%	de Moer	1991-2021	Voortman et al. (2022)	modelberekening op basis van gewaseigenschappen (1991 - 2020)
Polulier	470	150	620	220	840	73.8%	Fleditebos	1995-1998	Dolman et al. 2000	eddy correlatie
Lariks	390	195	585	225	810	72.2%	Bankenbos	1995-1997	Dolman et al. 2000	eddy correlatie
Gemengd (vliegden en eik/beuk)	320	230	550	225	775	71.0%	Kampina	1996-1998	Dolman et al. 2000	eddy correlatie
Grove den	385	245	630	270	900	70.0%	Loobos	1995-2001	Dolman et al. 2000	eddy correlatie
Beuk			565	251	816	69.2%	st. Arnold	1981 - 2005	Harsch et. al (2009)	Grote lysimeter
Mais (potentieel, zonder groenbemester)	477	64	541	257	798	67.8%	Moergestel	1991-2021	Voortman et al. (2022)	modelberekening op basis van gewaseigenschappen (1991 - 2020)
Beuk	350	208	558	276	834	66.9%			Dolman et al. 2000	
Engels raaigras (werkelijk, klei op veen)			547	286	833	65.7%	Cabauw	1987 - 1996	Massop et al. (2005)	bowen ratio
Eik			526	316	842	62.5%	Castricum	1957 - 1981	van der Hoeven (2011)	Grote lysimeter
Droge heide			430	437	867	49.6%	Hoge Veluwe	1988 - 2017	Voortman et al. (2019)	lysimeter gebaseerd berekening
Pijpenstrootje (diep grondwater)			430	588	1018	42.2%	Kootwijk	1994	Gehrels (1999)	eddy correlatie
Droog natuurlijk grasland			333	543	876	38.0%	Soestduinen	2013	Voortman et al. (2015)	lysimeter gebaseerd berekening
Stabiele duinbodem			250	626	876	28.5%	Soestduinen	2013	Voortman et al. (2015)	lysimeter gebaseerd berekening
Stuifzand			200	642	842	23.8%	Castricum	1957 - 1981	van der Hoeven (2011)	Grote lysimeter

Overzicht verdampingscijfers

Je kan wel concluderen dat de verdamping van naaldbossen hoger ligt dan die van loofbossen, het verschil kan oplopen tot ca. 150 mm/jaar, maar er zit zeker een bepaald overlap in. Voor een lichtere opstand van grove den is het verschil eerder ca. 50 tot 85 mm/jaar. In de praktijk betekend dit dat er zorgvuldig gekeken moet worden naar de opstand en hydro-meteorologische condities.

Begroeiing	T + E (mm/jaar)	Int (mm/jaar)	Evap totaal (mm/jaar)	Aanvulling (mm/jaar)	Neerslag (mm/jaar)	Evap tot/neerslag (%)	Locatie	Periode	Bron	Techniek
Douglas	395	317	712	104	834	85.4%	Speulderbos	1960 - 1990	Tiktak en Bouten (1994)	eddy correlatie en bodemvocht balans, gekalibreerd model
Beuk			636	131	767	82.9%	st. Arnold	2006 - 2014	Harsch et al. (2009)	Grote lysimeter
Zwarte Den			692	150	842	82.2%	Castricum	1957 - 1981	van der Hoeven (2011)	Grote lysimeter
Witte Den			627	189	816	76.8%	st. Arnold	1981 - 2005	Harsch et al. (2009)	Grote lysimeter
Engels raaigras (potentieel)	535	64	599	199	798	75.1%	de Moer	1991-2021	Voortman et al. (2022)	modelberekening op basis van gewaseigenschappen (1991 - 2020)
Polulier	470	150	620	220	840	73.8%	Fleditebos	1995-1998	Dolman et al. 2000	eddy correlatie
Lariks	390	195	585	225	810	72.2%	Bankenbos	1995-1997	Dolman et al. 2000	eddy correlatie
Gemengd (vliegden en eik/beuk)	320	230	550	225	775	71.0%	Kampina	1996-1998	Dolman et al. 2000	eddy correlatie
Grove den	385	245	630	270	900	70.0%	Loobos	1995-2001	Dolman et al. 2000	eddy correlatie
Beuk			565	251	816	69.2%	st. Arnold	1981 - 2005	Harsch et. al (2009)	Grote lysimeter
Mais (potentieel, zonder groenbemester)	477	64	541	257	798	67.8%	Moergestel	1991-2021	Voortman et al. (2022)	modelberekening op basis van gewaseigenschappen (1991 - 2020)
Beuk	350	208	558	276	834	66.9%			Dolman et al. 2000	
Engels raaigras (werkelijk, klei op veen)			547	286	833	65.7%	Cabauw	1987 - 1996	Massop et al. (2005)	bowen ratio
Eik			526	316	842	62.5%	Castricum	1957 - 1981	van der Hoeven (2011)	Grote lysimeter
Droge heide			430	437	867	49.6%	Hoge Veluwe	1988 - 2017	Voortman et al. (2019)	lysimeter gebaseerd berekening
Pijpenstrootje (diep grondwater)			430	588	1018	42.2%	Kootwijk	1994	Gehrels (1999)	eddy correlatie
Droog natuurlijk grasland			333	543	876	38.0%	Soestduinen	2013	Voortman et al. (2015)	lysimeter gebaseerd berekening
Stabiele duinbodem			250	626	876	28.5%	Soestduinen	2013	Voortman et al. (2015)	lysimeter gebaseerd berekening
Stuifzand			200	642	842	23.8%	Castricum	1957 - 1981	van der Hoeven (2011)	Grote lysimeter

Overzicht verdampingscijfers

De werkelijke verdamping van mais of Engels raaigras zit aan de onderkant van de verdeling. Daarbij moet worden opgemerkt dat de potentiële verdamping van Engels raaigras nog steeds hoog ligt. Mocht grasland geïrrigeerd worden, dan kom je dus snel aan een verdamping die vergelijkbaar is met bossen.

Begroeiing	T + E (mm/jaar)	Int (mm/jaar)	Evap totaal (mm/jaar)	Aanvulling (mm/jaar)	Neerslag (mm/jaar)	Evap tot/neerslag (%)	Locatie	Periode	Bron	Techniek
Douglas	395	317	712	104	834	85.4%	Speulderbos	1960 - 1990	Tiktak en Bouten (1994)	eddy correlatie en bodemvocht balans, gekalibreerd model
Beuk			636	131	767	82.9%	st. Arnold	2006 - 2014	Harsch et al. (2009)	Grote lysimeter
Zwarte Den			692	150	842	82.2%	Castricum	1957 - 1981	van der Hoeven (2011)	Grote lysimeter
Witte Den			627	189	816	76.8%	st. Arnold	1981 - 2005	Harsch et al. (2009)	Grote lysimeter
Engels raaigras (potentieel)	535	64	599	199	798	75.1%	de Moer	1991-2021	Voortman et al. (2022)	modelberekening op basis van gewaseigenschappen (1991 - 2020)
Polulier	470	150	620	220	840	73.8%	Fleditebos	1995-1998	Dolman et al. 2000	eddy correlatie
Lariks	390	195	585	225	810	72.2%	Bankenbos	1995-1997	Dolman et al. 2000	eddy correlatie
Gemengd (vliegden en eik/beuk)	320	230	550	225	775	71.0%	Kampina	1996-1998	Dolman et al. 2000	eddy correlatie
Grove den	385	245	630	270	900	70.0%	Loobos	1995-2001	Dolman et al. 2000	eddy correlatie
Beuk			565	251	816	69.2%	st. Arnold	1981 - 2005	Harsch et. al (2009)	Grote lysimeter
Mais (potentieel, zonder groenbemester)	477	64	541	257	798	67.8%	Moergestel	1991-2021	Voortman et al. (2022)	modelberekening op basis van gewaseigenschappen (1991 - 2020)
Beuk	350	208	558	276	834	66.9%			Dolman et al. 2000	
Engels raaigras (werkelijk, klei op veen)			547	286	833	65.7%	Cabauw	1987 - 1996	Massop et al. (2005)	bowen ratio
Eik			526	316	842	62.5%	Castricum	1957 - 1981	van der Hoeven (2011)	Grote lysimeter
Droge heide			430	437	867	49.6%	Hoge Veluwe	1988 - 2017	Voortman et al. (2019)	lysimeter gebaseerd berekening
Pijpenstrootje (diep grondwater)			430	588	1018	42.2%	Kootwijk	1994	Gehrels (1999)	eddy correlatie
Droog natuurlijk grasland			333	543	876	38.0%	Soestduinen	2013	Voortman et al. (2015)	lysimeter gebaseerd berekening
Stabiele duinbodem			250	626	876	28.5%	Soestduinen	2013	Voortman et al. (2015)	lysimeter gebaseerd berekening
Stuifzand			200	642	842	23.8%	Castricum	1957 - 1981	van der Hoeven (2011)	Grote lysimeter

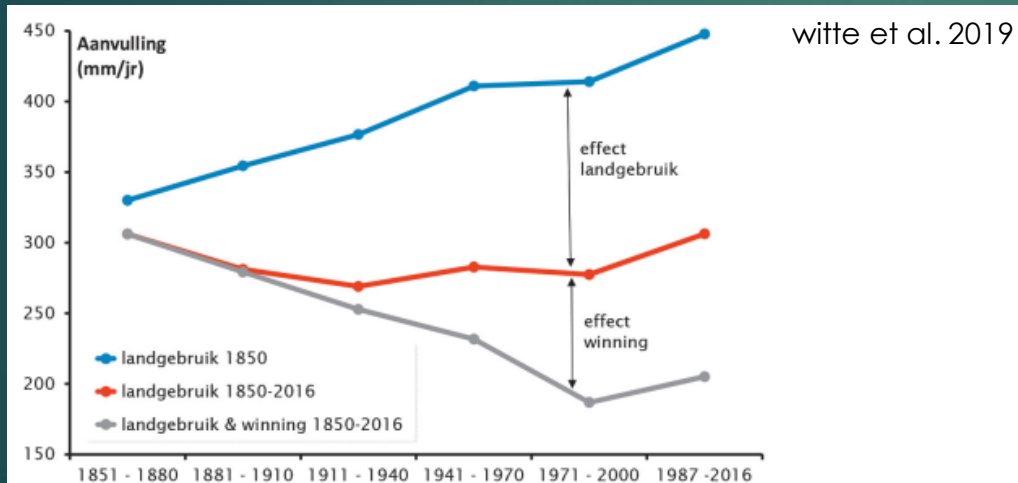
Overzicht verdampingscijfers

Er is vooral een groot verschil tussen bossen en droge natuur (zoals heide, droog grasland, mos steppes of stuifzand). De grondwateraanvulling kan 3 tot 4 keer toenemen. Behoud en beheer van dit soort terreinen is daarom belangrijk voor de grondwateraanvulling.

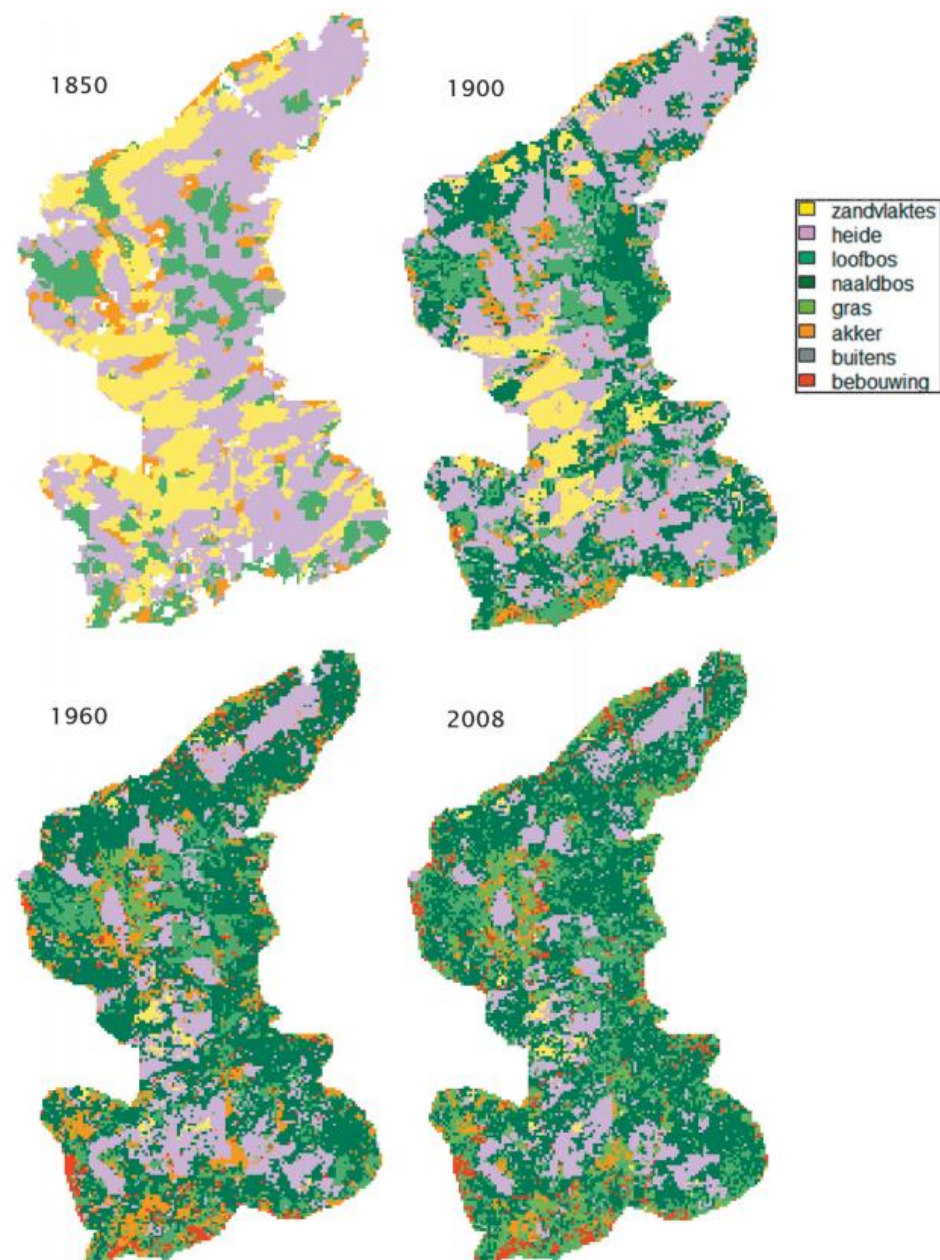
Begroeiing	T + E (mm/jaar)	Int (mm/jaar)	Evap totaal (mm/jaar)	Aanvulling (mm/jaar)	Neerslag (mm/jaar)	Evap tot/neerslag (%)	Locatie	Periode	Bron	Techniek
Douglas	395	317	712	104	834	85.4%	Speulderbos	1960 - 1990	Tiktak en Bouten (1994)	eddy correlatie en bodemvocht balans, gekalibreerd model
Beuk			636	131	767	82.9%	st. Arnold	2006 - 2014	Harsch et al. (2009)	Grote lysimeter
Zwarte Den			692	150	842	82.2%	Castricum	1957 - 1981	van der Hoeven (2011)	Grote lysimeter
Witte Den			627	189	816	76.8%	st. Arnold	1981 - 2005	Harsch et al. (2009)	Grote lysimeter
Engels raaigras (potentieel)	535	64	599	199	798	75.1%	de Moer	1991-2021	Voortman et al. (2022)	modelberekening op basis van gewaseigenschappen (1991 - 2020)
Polulier	470	150	620	220	840	73.8%	Fleditebos	1995-1998	Dolman et al. 2000	eddy correlatie
Lariks	390	195	585	225	810	72.2%	Bankenbos	1995-1997	Dolman et al. 2000	eddy correlatie
Gemengd (vliegden en eik/beuk)	320	230	550	225	775	71.0%	Kampina	1996-1998	Dolman et al. 2000	eddy correlatie
Grove den	385	245	630	270	900	70.0%	Loobos	1995-2001	Dolman et al. 2000	eddy correlatie
Beuk			565	251	816	69.2%	st. Arnold	1981 - 2005	Harsch et. al (2009)	Grote lysimeter
Mais (potentieel, zonder groenbemester)	477	64	541	257	798	67.8%	Moergestel	1991-2021	Voortman et al. (2022)	modelberekening op basis van gewaseigenschappen (1991 - 2020)
Beuk	350	208	558	276	834	66.9%			Dolman et al. 2000	
Engels raaigras (werkelijk, klei op veen)			547	286	833	65.7%	Cabauw	1987 - 1996	Massop et al. (2005)	bowen ratio
Eik			526	316	842	62.5%	Castricum	1957 - 1981	van der Hoeven (2011)	Grote lysimeter
Droge heide			430	437	867	49.6%	Hoge Veluwe	1988 - 2017	Voortman et al. (2019)	lysimeter gebaseerd berekening
Pijpenstrootje (diep grondwater)			430	588	1018	42.2%	Kootwijk	1994	Gehrels (1999)	eddy correlatie
Droog natuurlijk grasland			333	543	876	38.0%	Soestduinen	2013	Voortman et al. (2015)	lysimeter gebaseerd berekening
Stabiele duinbodem			250	626	876	28.5%	Soestduinen	2013	Voortman et al. (2015)	lysimeter gebaseerd berekening
Stuifzand			200	642	842	23.8%	Castricum	1957 - 1981	van der Hoeven (2011)	Grote lysimeter

Landgebruik

- Grootschalige landgebruiksveranderingen hebben daarmee veel impact op de waterbalans.



Afbeelding 9: Ontwikkeling van de gemiddelde grondwateraanvulling in het voedingsgebied van de Veluwe bij verondersteld ongewijzigd landgebruik van 1850-1880 (bovenste blauwe lijn) en bij het werkelijke landgebruik van 1850 tot 2016 (middelste rode lijn). Ter illustratie is van de laatste lijn de grondwaterwinning uit het voedingsgebied afgetrokken (onderste grijze lijn), zodat zichtbaar wordt welk deel van de afgenomen toestroom naar beken en kwelgebieden is toe te schrijven aan de winning, en welk deel aan het landgebruik.



Afbeelding 8: Historische ontwikkeling van het landgebruik op de Veluwe (voedingsgebied) (Nijhuis, 2017).

Verdamping geschat jaren 1930. t.o.v. recent

Tabel 6. Overzicht van verdampingscijfers genoemd in (Anonymous, 1933). Eenheden in mm/jaar met tussen haakjes percentage van de neerslag. De auteurs gaan uit van een neerslag van 730 mm/jaar.

Begroeiing	Totale verdamping	Interceptie	Bodemverdamping	Transpiratie
Kaal zand	200		200 (27%)	
Loofhout	460	117 (16%)		
Beuk	450-500	183 (25%)	66 (9%)	200-250
Eik	430-460	183 (25%)	95 (13%)	150-180
Grove den	415	219 (30%)	109 (15%)	70-100
Heide, grondwater diep	425			
Heide, verharde laag stagnatie grondwater	580			
Hakhout, i.e. opgaande Eiken	445			
Berk			13%	187.5
Fijnspar			9%	223

Conclusies:

Ca. 100 jaar geleden waren schattingen behoorlijk goed voor kaal zand, beuk, en heide. Naalddhout had een lager cijfers wellicht mogelijk door een nog minder ontwikkelde opstand. Ook de percentages van interceptieverdamping zijn behoorlijk goed.

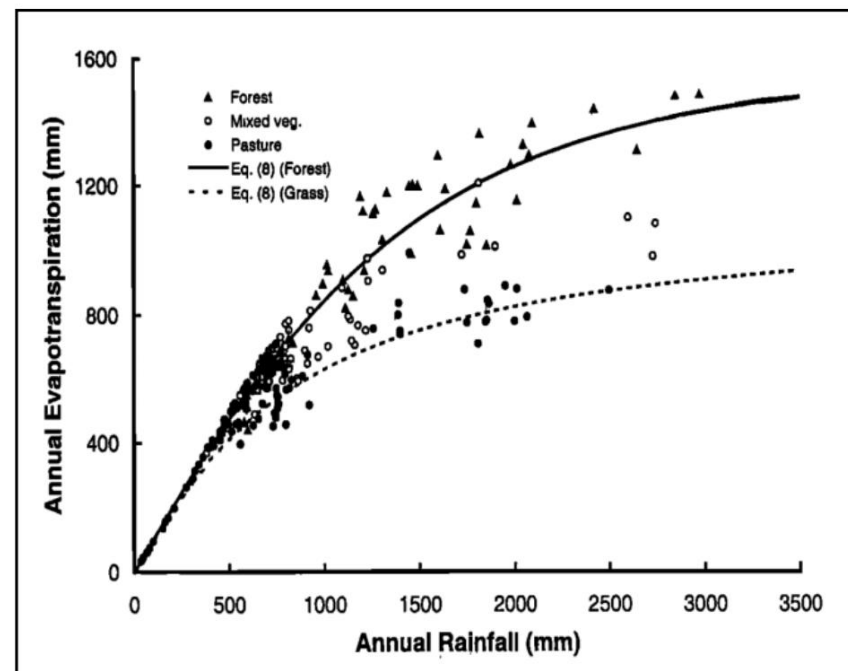
Tabel 7. Vergelijking van verdampingscijfers uit 1933 en 2000.

	totale verdamping (mm/jaar)		percentage van de neerslag (%)	
	Anonymous (1933)	Dolman et al. (2000)	Anonymous (1933)	Dolman et al. (2000)
Kaal zand	200	156-200	27	19-24
Loofhout	460	550	63	71
Beuk	450-500	558	62-68	67
Grove Den	415	630	57	70
Heide	425	320-500	58	39-60

Bron: Voortman et al. 2019

Verdamping van bossen in relatie tot andere gewassen

- Het is algemeen geaccepteerd in de internationale literatuur dat bossen meer water verbruiken dan andere gewassen. Wel is het zo dat de absolute verschillen in ons land, met onze neerslaghoeveelheden, klein kunnen zijn.



Zhang, L., Dawes, W.R., Walker, G.R., 2001. Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. *Water Resour. Res.* 37, 701–708.
<https://doi.org/10.1029/2000WR900325>

Conclusies

TABEL VERDAMPING

- ▶ De omvorming van bossen naar droge natuur zoals heide of stuifzand leidt tot een aanzienlijke toename van de grondwateraanvulling (3 tot 4 keer zoveel is realistisch).
- ▶ Bij de omvorming van bossen is het veiliger om vooral te focussen op donker naalddhout. De baten van de omvorming van licht naalddhout naar loofbos is beperkt.
- ▶ Vooral de interceptieverdamping van naaldbossen is hoog en wijkt af van andere begroeiingstypen.
- ▶ Loofbos kan in een dichte opstand ook hoge verdampingcijfers geven. Hoger dan tot nu toe vaak wordt aangenomen.

Wat weten we niet?

BELANGRIJKE NUANCES

- ▶ De gepresenteerde cijfers zijn locatie specifiek en ondanks dat het een hele tabel lijkt en veel inspanning heeft gevergd (tijd en geld) zijn er best een hoop typen onbemeten. Over het algemeen geldt dat dit soort metingen gedaan zijn in homogene begroeiingstypen met vaak een relatief dichte begroeiing. Vooral jonge of open opstanden zullen daarom afwijken van de literatuurcijfers.



Open opstand in de Schoorlse duinen

Wat weten we niet?

BELANGRIJKE NUANCES

- ▶ De gepresenteerde cijfers zijn locatie specifiek en ondanks dat het een hele tabel lijkt en veel inspanning heeft geleverd (tijd en geld) zijn er best een hoop typen onbemeten. Over het algemeen geldt dat dit soort metingen gedaan zijn in homogene begroeiingstypen met vaak een relatief dichte begroeiing. Vooral jonge of open opstanden zullen daarom afwijken van de literatuurcijfers.
- ▶ Ook zijn de metingen vaak gedaan onder condities waarbij de bomen relatief veel water tot hun beschikking hebben. Alleen voor het Speulderbos kan gesproken worden van een grondwateronafhankelijke locatie. De effecten van droogte en vooral de droogtestress in extreme jaren zoals 2018, 2019, 2020 en 2022 zijn daarom onzeker.

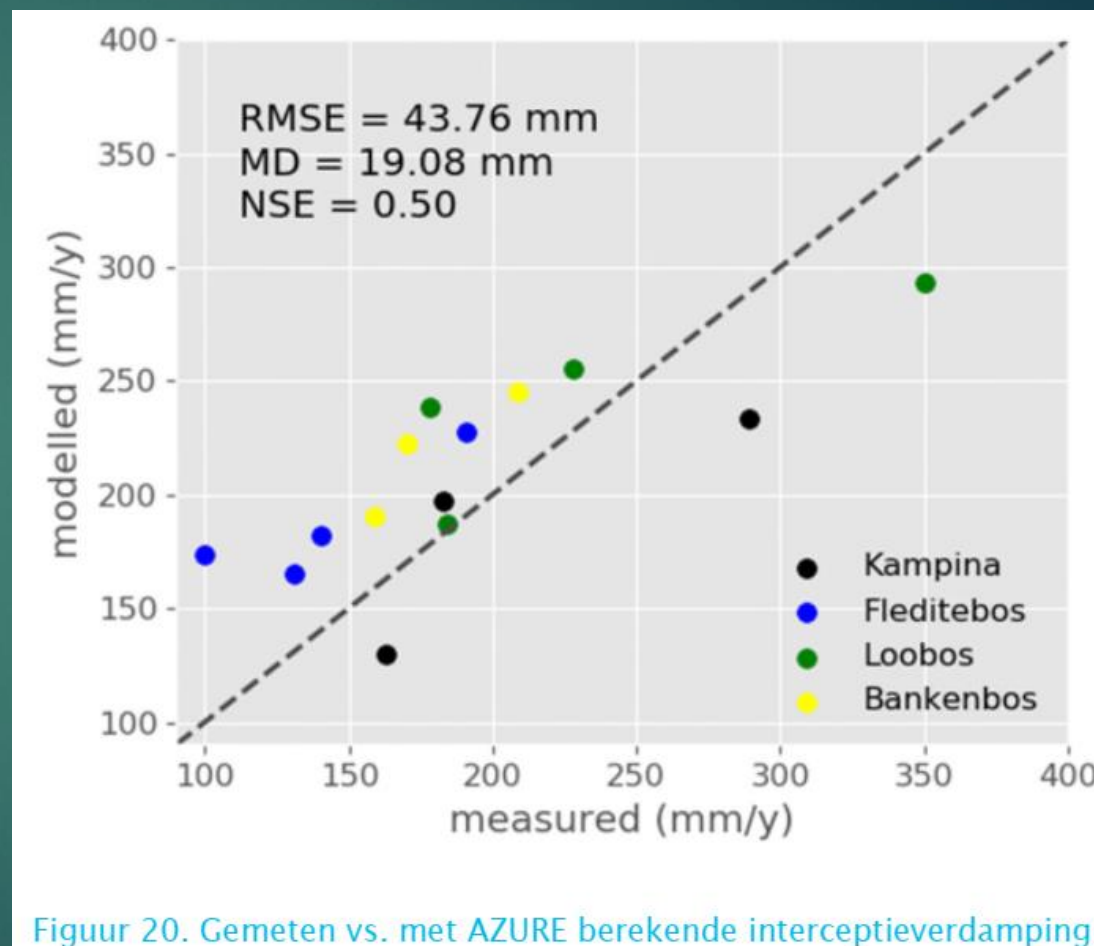
Modellen en modelconcepten

- ▶ Interceptieverdamping
- ▶ Totale verdamping
- ▶ Worteldieptes

Hydrologische modellen en verdamping bossen

INTERCEPTIE VERDAMPING

- ▶ Interceptieverdamping is een grote post voor bossen. Daarom belangrijk om goed te hebben.
- ▶ Over het algemeen zijn cijfers vrij goed. Vaak iets overschat t.o.v. metingen.



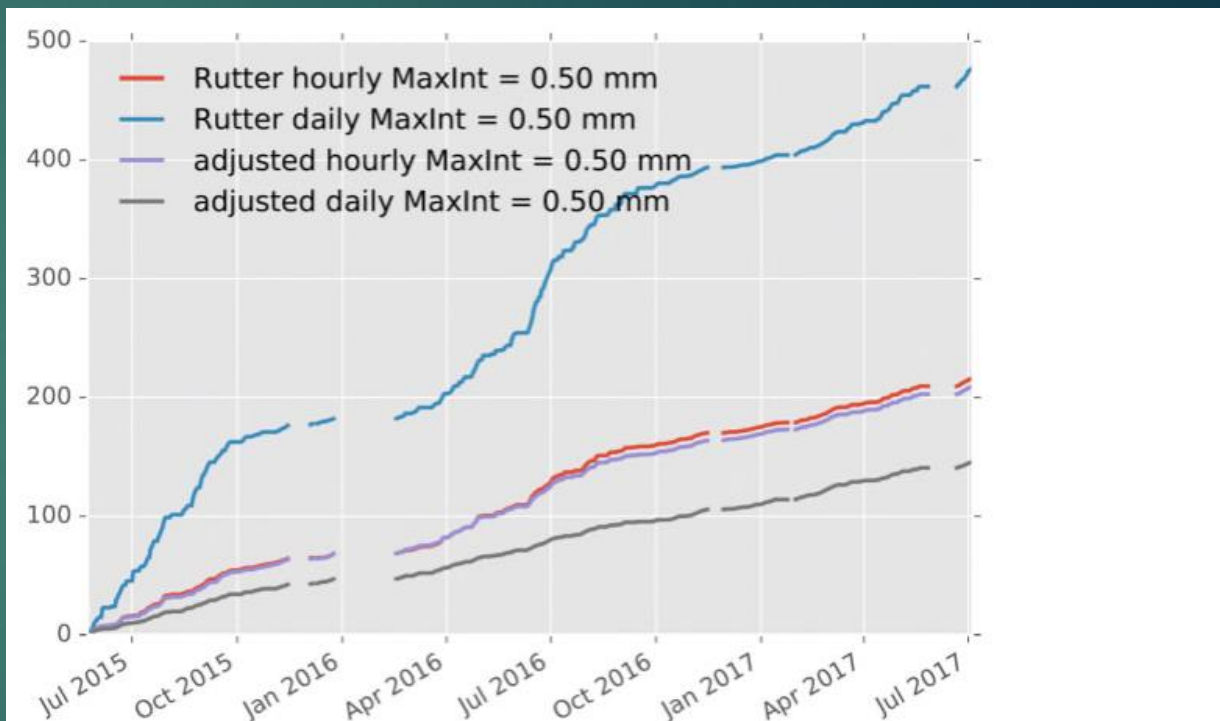
Figuur 20. Gemeten vs. met AZURE berekende interceptieverdamping

Hydrologische modellen en verdamping bossen

INTERCEPTIE VERDAMPING

- ▶ Interceptieverdamping is een grote post voor bossen. Daarom belangrijk om goed te hebben.
- ▶ Over het algemeen zijn cijfers vrij goed. Vaak iets overschat t.o.v. metingen.
- ▶ Conceptueel gaat er soms meer mis. Berekeningen van interceptie zijn gevoelig voor de tijdstap (uur of dag) dit geeft uitdagingen en soms na kalibratie modelparameters zonder fysische betekenis. Dit behoeft dan ook aandacht.

Cumulatieve interceptie verdamping



Figuur 17. Cumulatieve vergelijking van het Rutter interceptiemodel en het aangepaste interceptiemodel "adjusted" (met harde grenswaarde van de interceptiecapaciteit) voor uur- en dagwaardes. Op uurbasis zijn de modellen bijna identiek (rood en paars). Op dagbasis liggen de modellen ver uit elkaar (blauw en grijs).

Totale verdamping in hydrologische modellen

- ▶ Doorgaans zijn schattingen van naald en loofbos wel ok voor gemiddelde situaties. Cijfermatig zitten we niet heel ver van metingen. Ruimtelijke nuances ontbreken echter waardoor gezien de bandbreedte er eenvoudig fouten van ca. 100 tot 200 mm/ jaar gemaakt kunnen worden. In hydrologische modellen wordt vaak maar gewerkt met ca. 3 verschillende bos typen (loof, naald en donker naalddhout).

Tabel 8. Samenvatting van de vergelijking tussen AZURE uitkomsten met de literatuur en eigen metingen. Uitgaande van cijfers voor grove den voor naaldbos. Positieve cijfers betekenen een overschatting door AZURE, negatieve een onderschatting.

Naaldbos	-23 tot 11 mm/jaar
Loofbos	36 tot 58 mm/jaar
Heide (zonder vernieuwde parametrisatie)	5 tot 33 mm/jaar
Mossteppes	100 tot 250 mm/jaar
Kaal zand	100 mm/jaar

Totale verdamping in hydrologische modellen

- ▶ Doorgaans zijn schattingen van naald en loofbos wel ok voor gemiddelde situaties. Cijfermatig zitten we niet heel ver van metingen. Ruimtelijke nuances ontbreken echter waardoor gezien de bandbreedte er eenvoudig fouten van ca. 100 tot 150 mm/ jaar gemaakt kunnen worden.
- ▶ Het is mijn indruk dat vooral de worteldieptes van bossen worden onderschat overal is de diepte ca. 80 tot 120 cm. Terwijl observaties eenvoudig het dubbele of meer aangeven:
 - ▶ Van den Burg (1996): Lariks: 1 m, Populier 1.62 m, eik: 1.4 m. grove den 4.25 m
 - ▶ maximale worteldieptes uit Moors (2012): Lariks 0.7m, Eik 1.6m, Populier 1.8, Gemengd 1.2, Grove den >2.5 m. Castricum lysimeters: 2.5 m
- ▶ Dit kan grote gevolgen hebben. Nu wordt onder klimaatverandering een positief toekomstbeeld geschetst voor hoge zandgronden omdat door een gebrek aan water een toename van de potentiële verdamping niet leidt tot meer werkelijke verdamping. Als bomen dieper wortelen kan dit beeld omslaan en kunnen bomen doorverdampen in de zomer. Daarmee neemt de grondwateraanvulling af in plaats van toe. Dit rijmt ook beter met onze observaties van grondwaterstanden.

Hydrologische modellen en verdamping bossen

- ▶ De grondwateraanvulling en de zogenaamde KD waarde van een grondwaterlichaam zijn uitwisselbaar. Voor hoge zandgronden zijn er vaak problemen met het krijgen van de juiste opbolling van de grondwaterstand. Als de opbolling onvoldoende is, dan is het aantrekkelijk om de aanvulling hoog te houden i.p.v. naar beneden bij te stellen. Hier komt dus een kalibratie stap die effect sorteert op de cijfers en mogelijk op de kwaliteit van projecties.
- ▶ Er zijn naar mijn inzicht minder problemen met concepten als het gebruik van Makkink en gewasfactoren. Soms wordt gesuggereerd dat Penman Monteith een beter alternatief is. In Voortman et al 2022. laten we zien dat Penman Monteith ook veel problemen levert en gecorrigeerd moet worden voor Nederlandse situaties.

Bandbreedtes en een schatting van de fout

- ▶ De gemeten verdamping van bossen ligt in de bandbreedte: 530 tot 710 mm/jaar gemiddeld. De totale marge is dus 180 mm/jaar gemiddeld. Waarschijnlijk is de werkelijke bandbreedte nog iets groter door het ontbreken van observaties aan de extreme kant van de verdeling. Als modellen het gemiddelde wel ongeveer goed schatten wordt de maximale fout dus ongeveer de helft (ca. 90 mm/jaar). Op de grondwateraanvulling is dat ca. 30% tot 40%. Dat is niet gering.

Verdamping van bossen

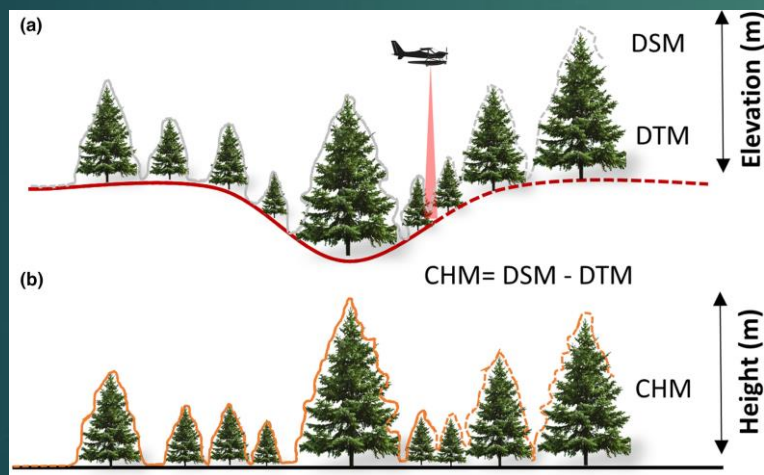
RELATIEVE VERSCHILLEND

- Zoals genoemd ontbreken ruimtelijke nuances in hydrologische modellen. Vaak worden maar een paar klassen aan bossen gebruikt. Hierdoor is het lastig om voor specifieke terreinen uitspraken te doen. De ontwikkelde kaart moet hier meer inzicht in verschaffen.



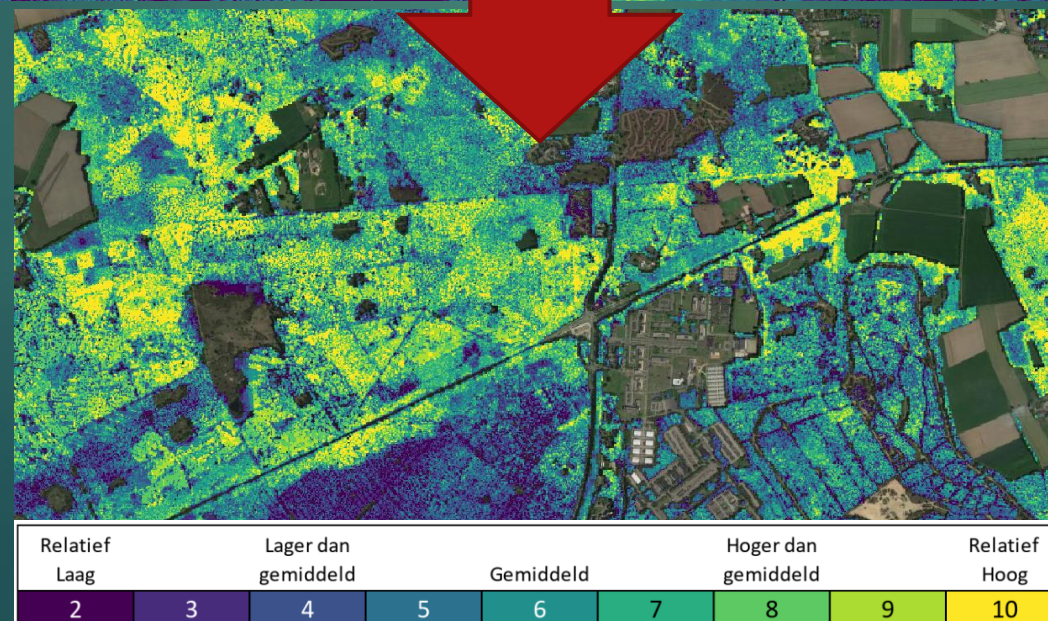
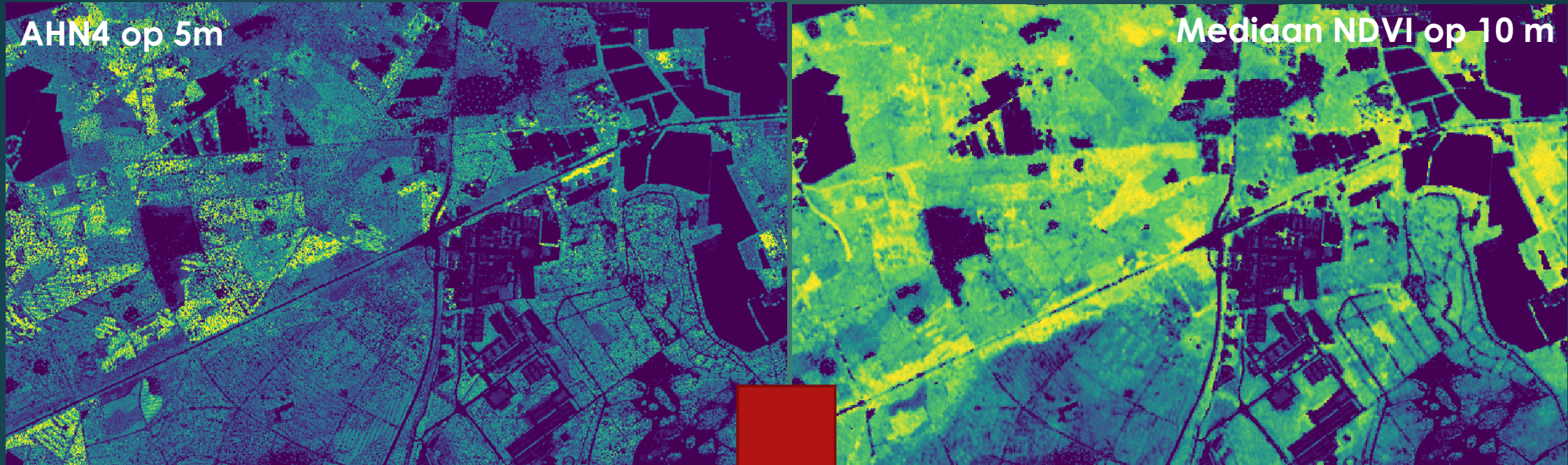
AHN4 en bossen

- ▶ De boomhoogte zegt lang niet alles over verdamping (zie ook de eerder gepresenteerde verdampingcijfers). Het zijn eerder de open stukken in een bos die er toe doen. Die trekken als het ware de verdamping naar beneden. Om deze openheid te kwantificeren is het AHN4 zeer geschikt. Een aanvullende bron is nodig om de dichtheid van de begroeiing te kwantificeren. Hiervoor is de NDVI groenindex van 2021 gebruikt.



Bron Silva 2022

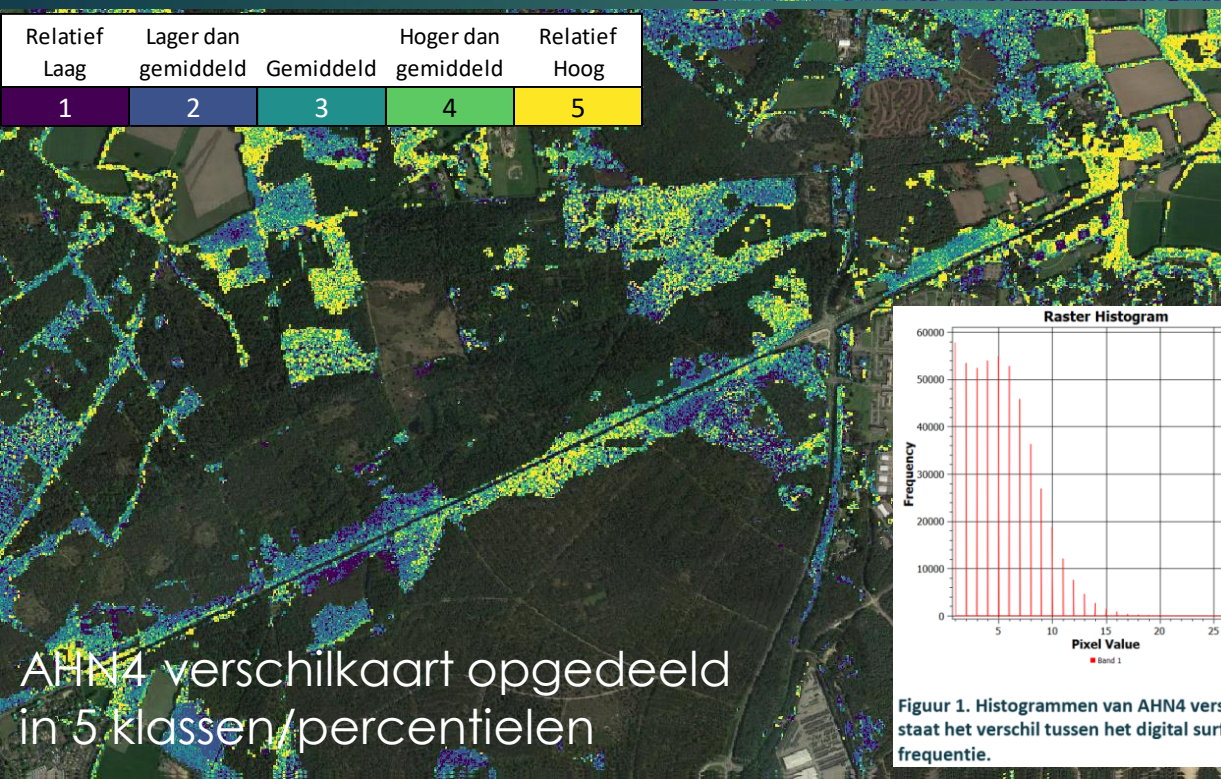
Ontwikkeling kaartmateriaal bossen



AHN4 verschilkaart

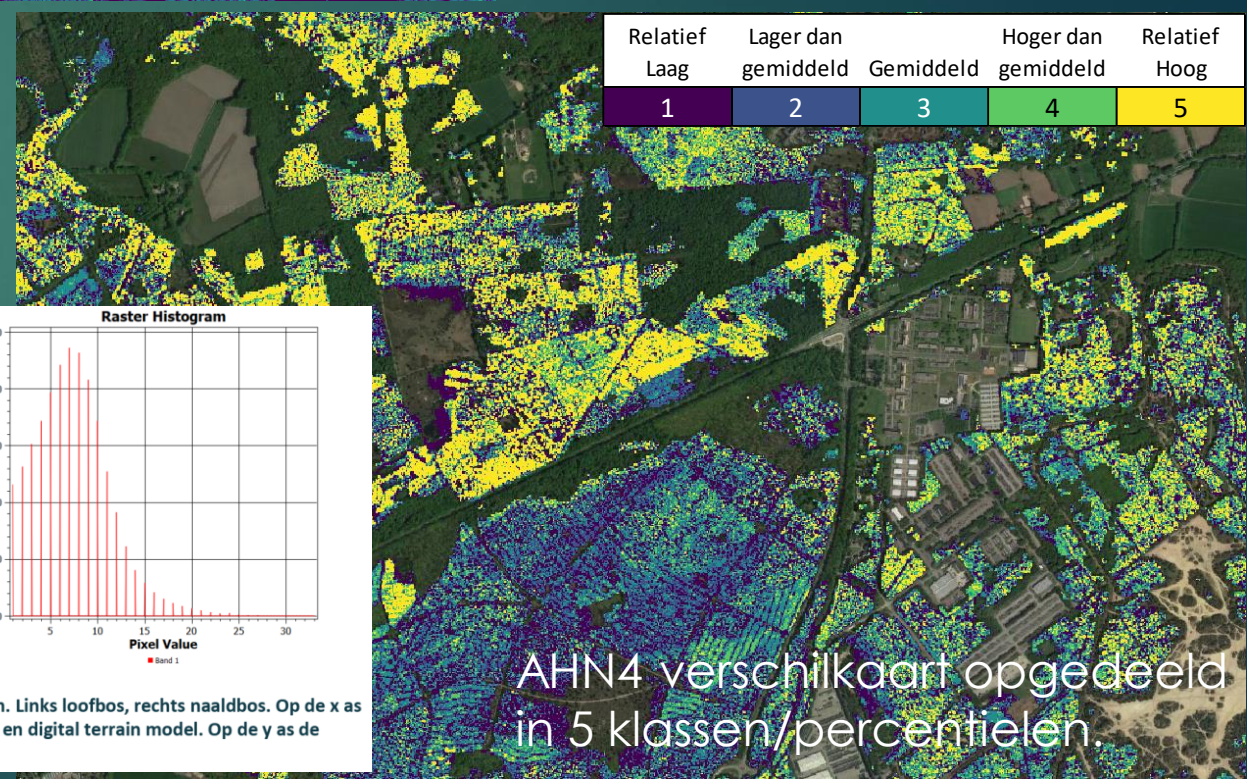


Relatief Laag	Lager dan gemiddeld	Gemiddeld	Hoger dan gemiddeld	Relatief Hoog
1	2	3	4	5

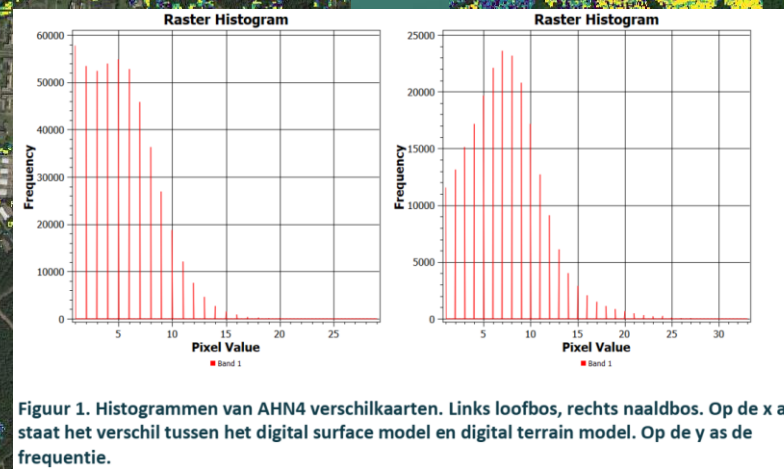


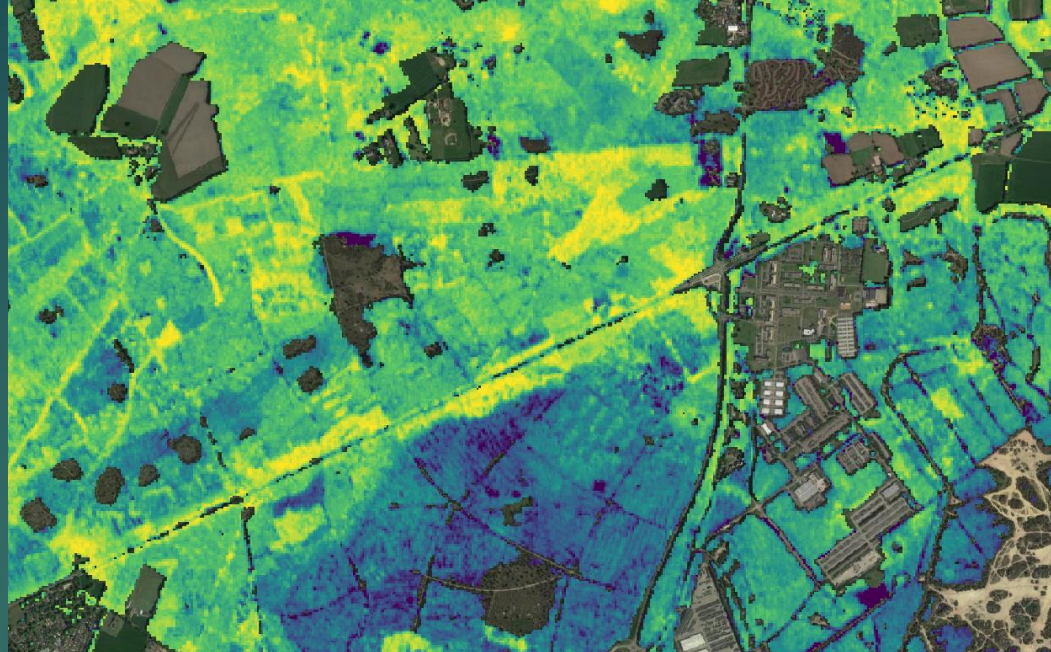
AHN4 verschilkaart opgedeeld in 5 klassen/percentielen

Relatief Laag	Lager dan gemiddeld	Gemiddeld	Hoger dan gemiddeld	Relatief Hoog
1	2	3	4	5

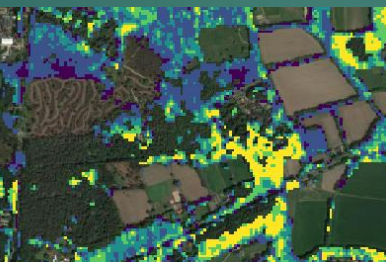
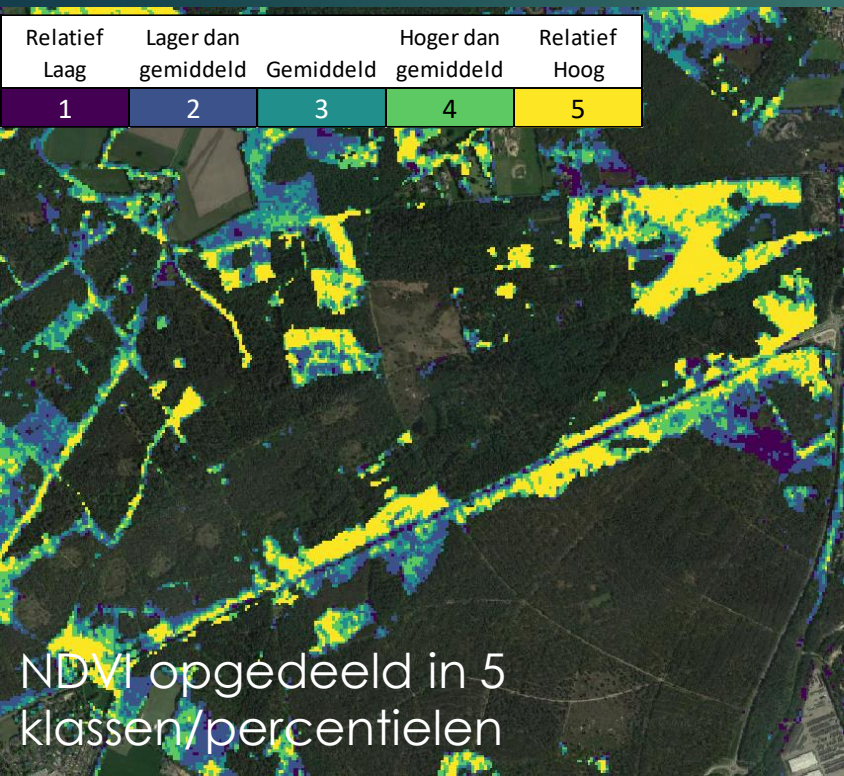


AHN4 verschilkaart opgedeeld in 5 klassen/percentielen

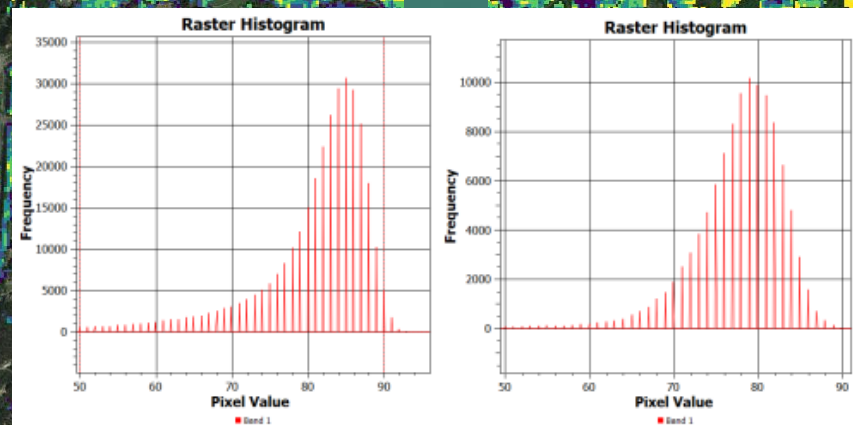
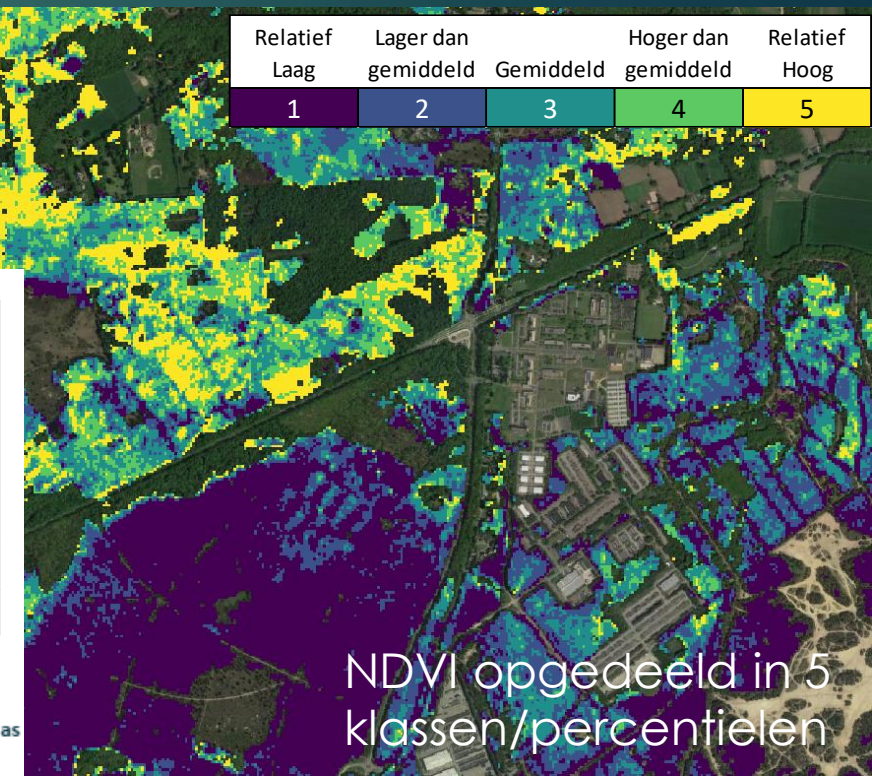




Relatief Laag	Lager dan gemiddeld	Gemiddeld	Hoger dan gemiddeld	Relatief Hoog
1	2	3	4	5



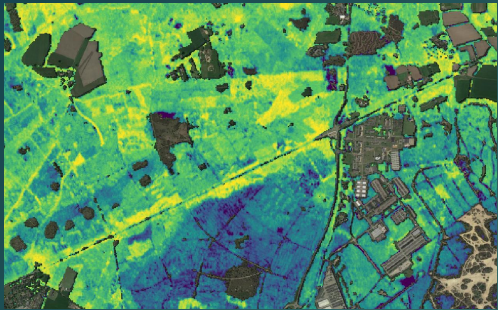
Relatief Laag	Lager dan gemiddeld	Gemiddeld	Hoger dan gemiddeld	Relatief Hoog
1	2	3	4	5



Figuur 2. Histogrammen van de groenindex kaarten. Links loofbos, rechts naaldbos. Op de x staat de groenindex (van 0 tot max 100). Op de y as de frequentie.

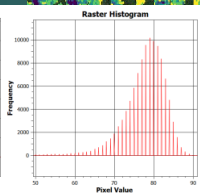
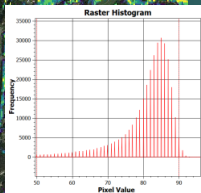
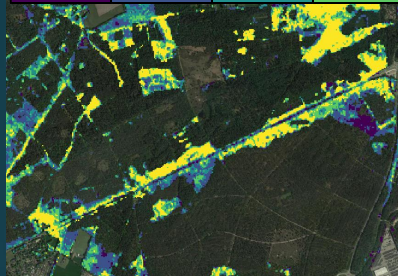
NDVI opgedeeld in 5 klassen/percentielen

NDVI opgedeeld in 5 klassen/percentielen



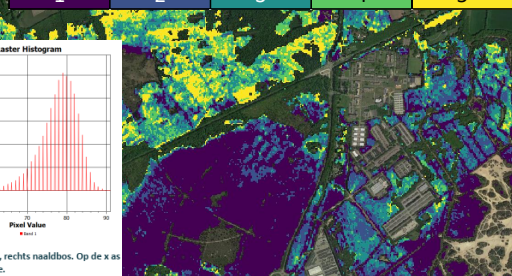
AHN4 verschilkaart

Relatief Laag	Lager dan gemiddeld	Gemiddeld	Hoger dan gemiddeld	Relatief Hoog
1	2	3	4	5

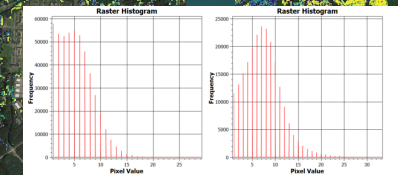
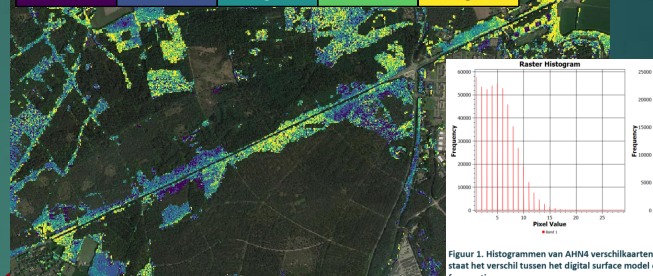


Figuur 2. Histogrammen van de groenindex kaarten. Links loofbos, rechts naaldbos. Op de x as staat de groenindex (van 0 tot max 100). Op de y as de frequentie.

Relatief Laag	Lager dan gemiddeld	Gemiddeld	Hoger dan gemiddeld	Relatief Hoog
1	2	3	4	5

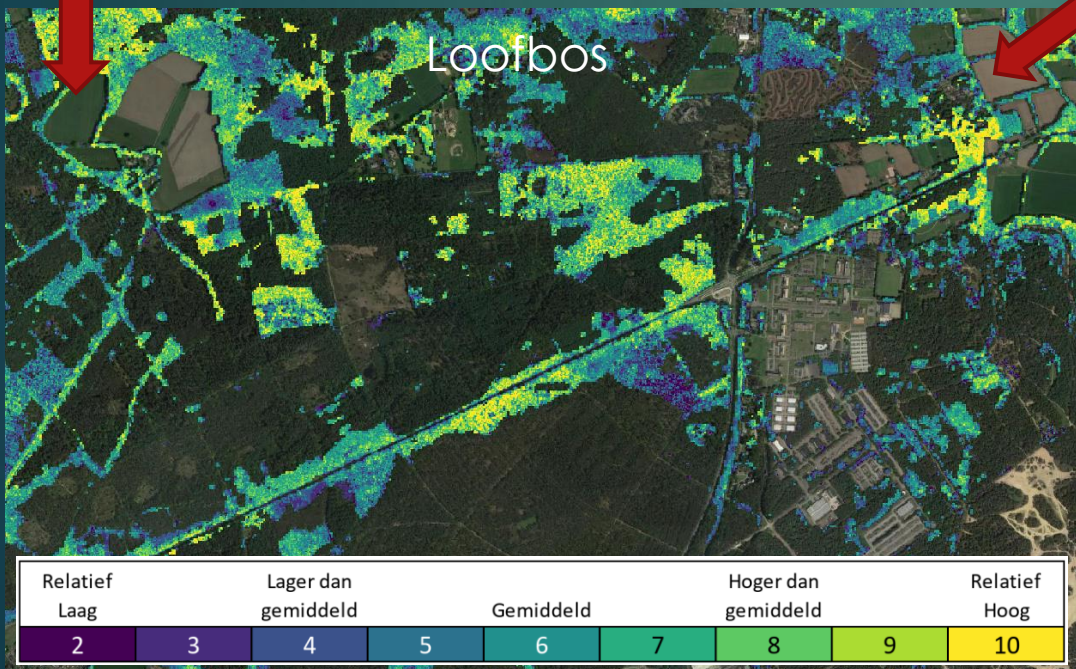
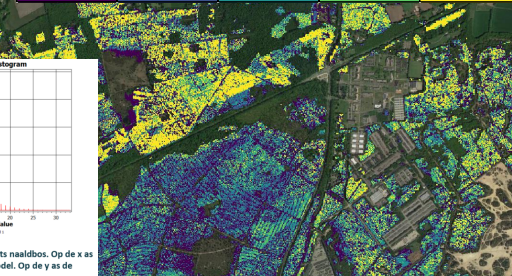


Relatief Laag	Lager dan gemiddeld	Gemiddeld	Hoger dan gemiddeld	Relatief Hoog
1	2	3	4	5



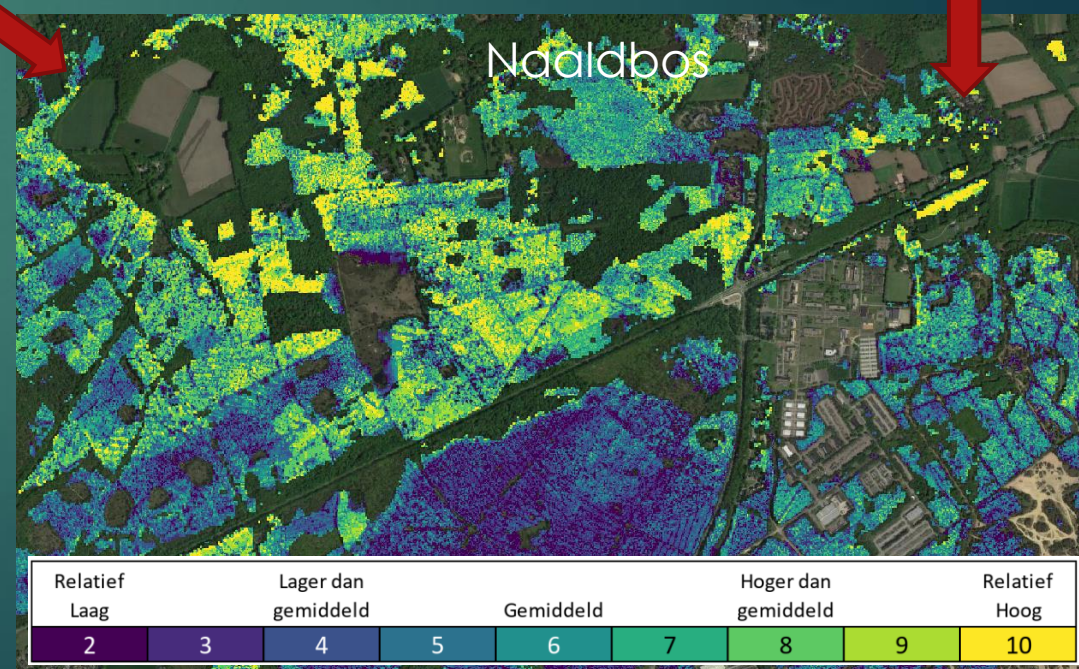
Figuur 1. Histogrammen van AHN4 verschilkaarten. Links loofbos, rechts naaldbos. Op de x as staat het verschil tussen het digital surface model en digital terrain model. Op de y as de frequentie.

Relatief Laag	Lager dan gemiddeld	Gemiddeld	Hoger dan gemiddeld	Relatief Hoog
1	2	3	4	5



Loofbos

Relatief Laag		Lager dan gemiddeld			Gemiddeld		Hoger dan gemiddeld		Relatief Hoog
2	3	4	5	6	7	8	9	10	



Naaldbos

Relatief Laag		Lager dan gemiddeld			Gemiddeld		Hoger dan gemiddeld		Relatief Hoog
2	3	4	5	6	7	8	9	10	

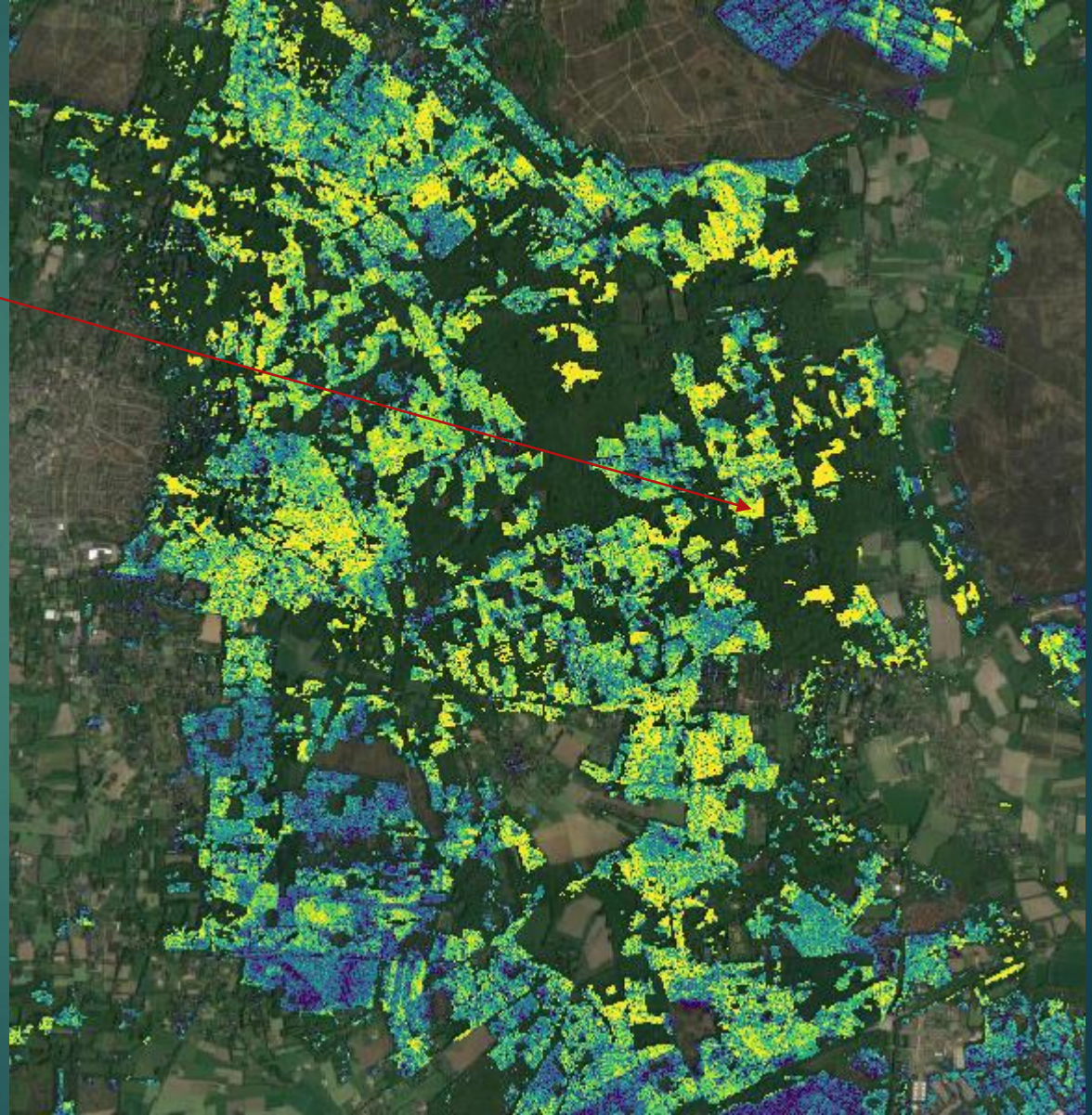
Resultaten

- ▶ Naaldbos Schoorlse duinen opvallend laag.



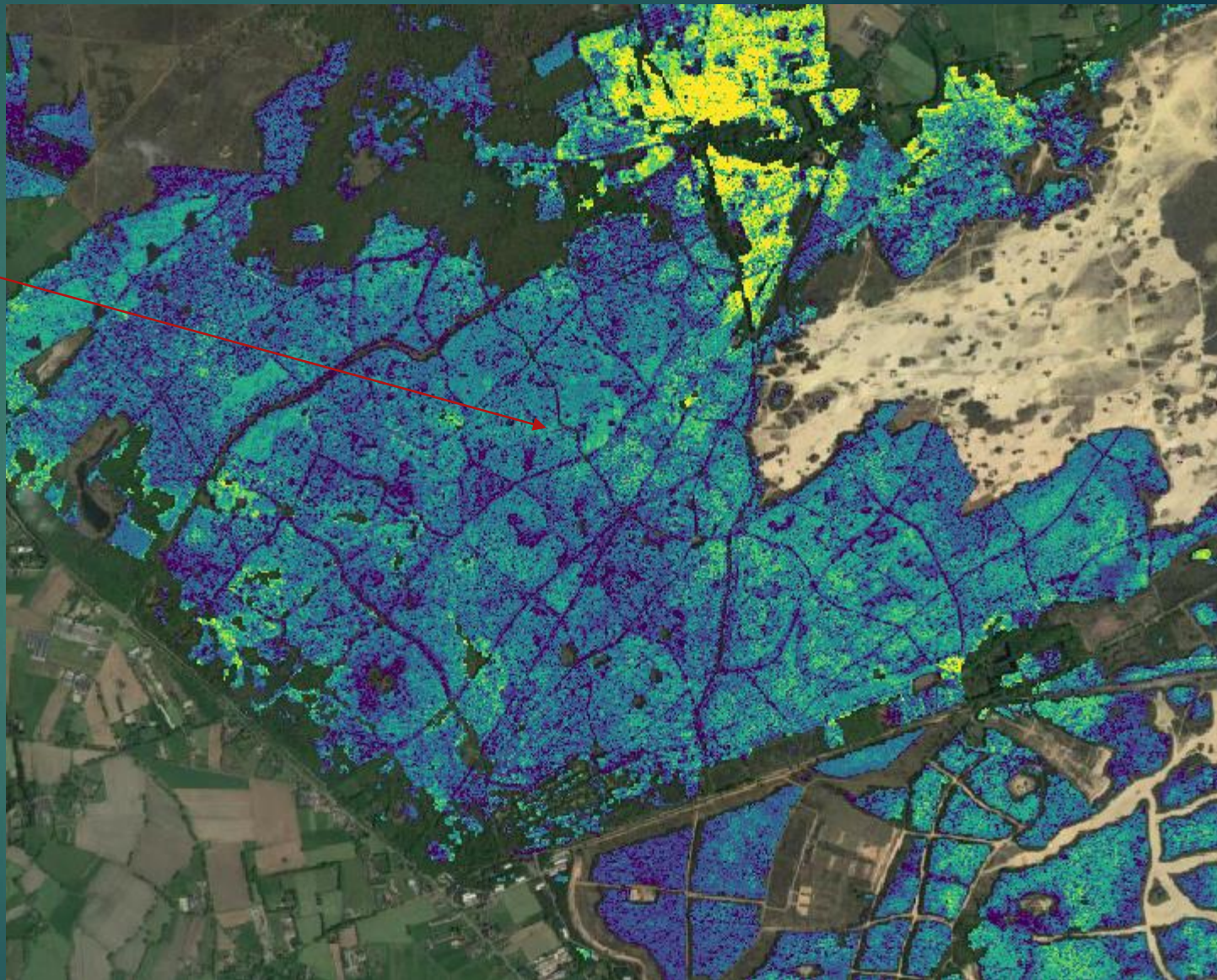
Resultaten

- Speulderbos (Douglas) in een relatief hoge klasse.



Resultaten

Loobos gemiddelde klasse



Verdamping van bossen

RELATIEVE VERSCHILLEND

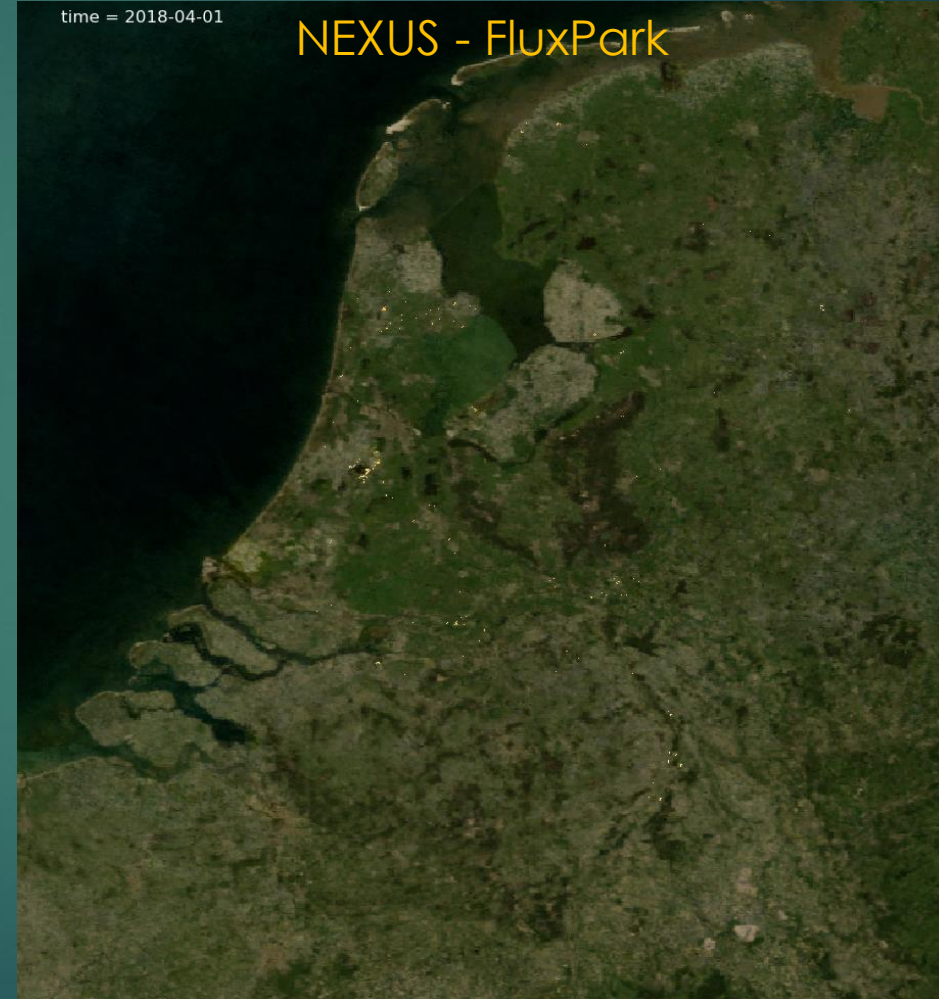
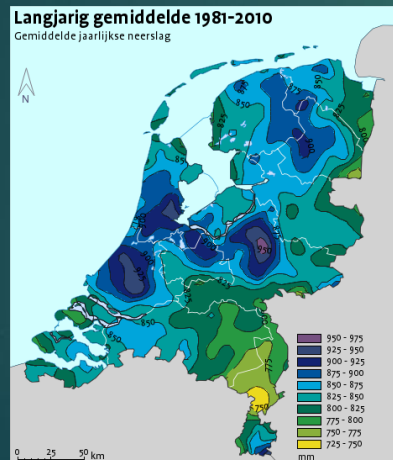
- Beschouw de kaart vooral als een beeld van relatieve verschillen. Het is geen kaart van de biomassa. Verdamping heeft namelijk niet 1:1 een relatie met biomassa. Als bijvoorbeeld het aantal bladlagen toeneemt dan neemt de verdamping niet meer lineair toe. De bovenste bladeren in de zon transpireren meer dan de bladeren onderin.

$$LAI_{\text{eff}} = \frac{LAI}{0.3 * LAI + 1.2}$$



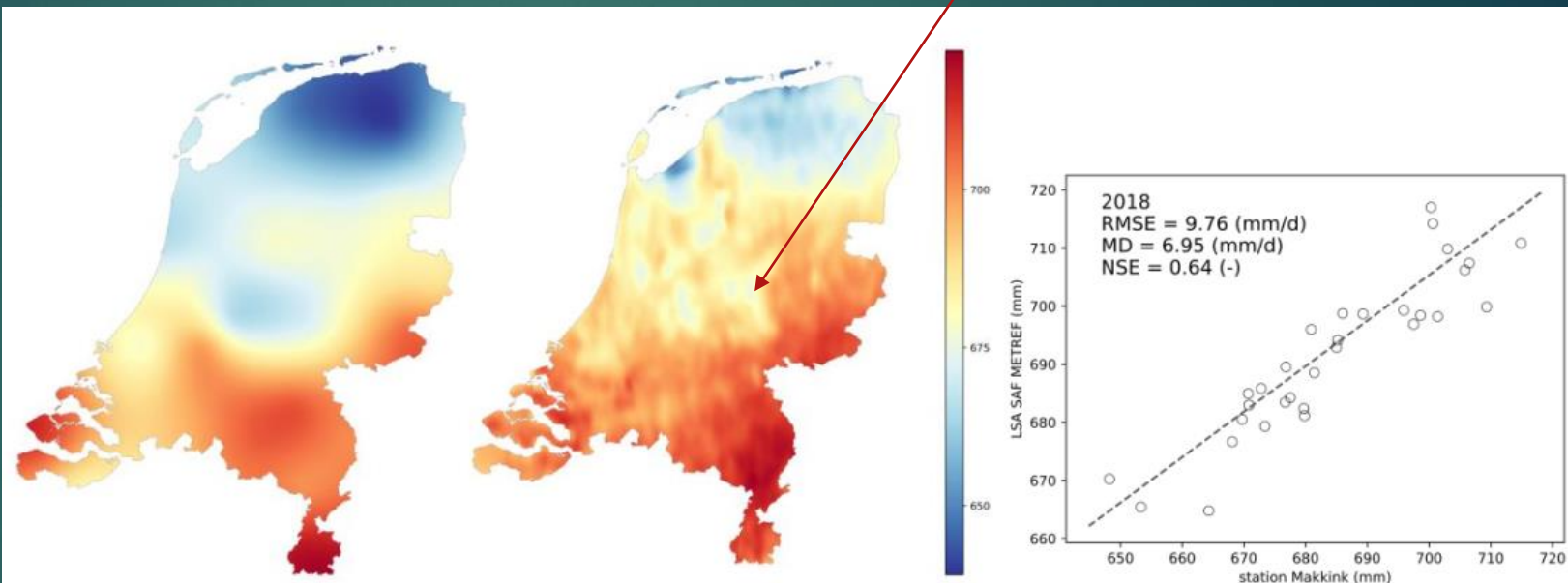
Aanbevelingen

- ▶ De kaart houdt geen rekening met het neerslagpatroon in Nederland. Een bos in Limburg doet iets anders dan een bos op de Veluwe (daar zijn marges kleiner). Ik denk dat het mogelijk is om de kaart met de relatieve verschillen om te zetten naar mm/jaar. In ieder geval als potentiële verdamping.



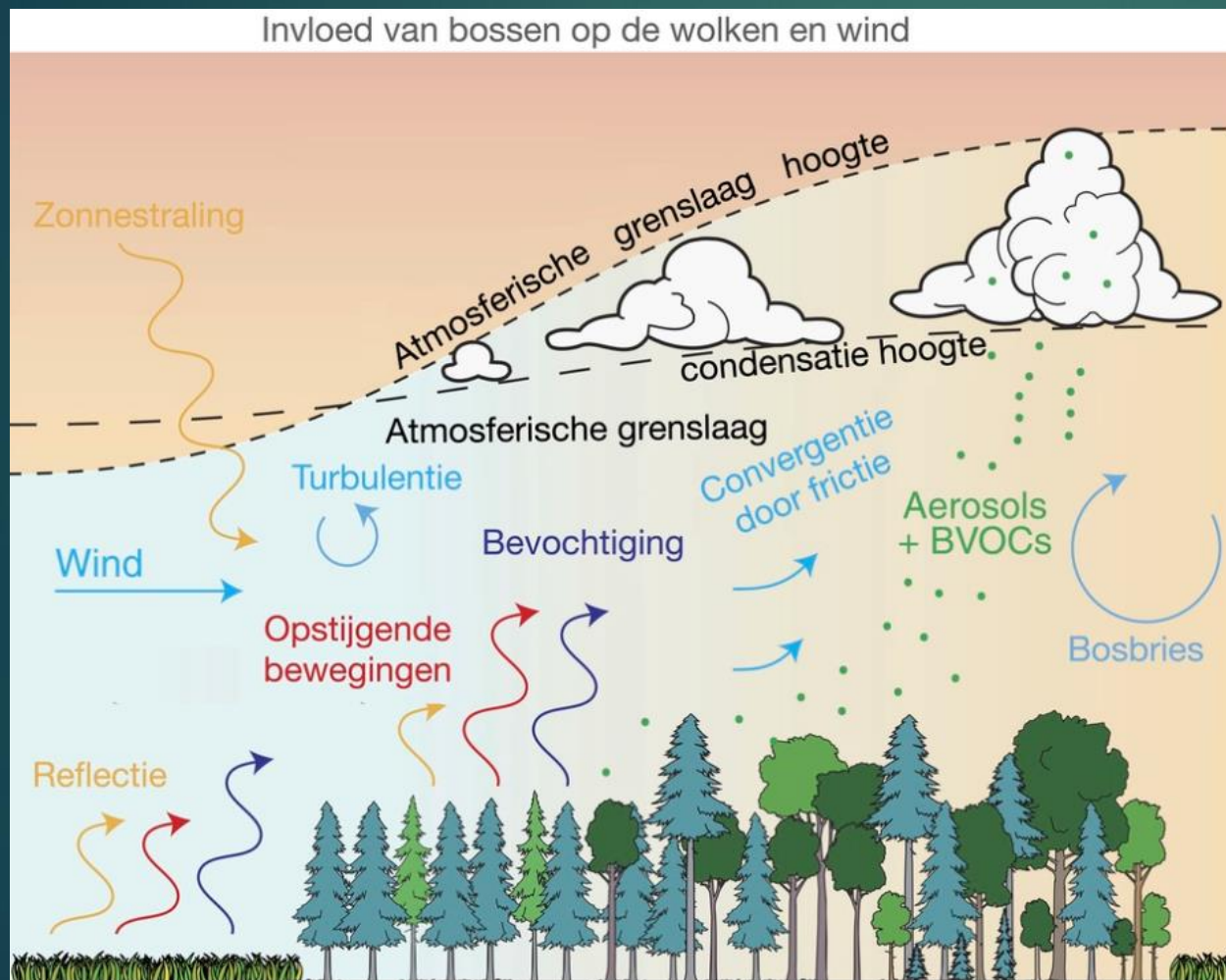
Bewolking, verdamping en neerslag.

Ook potentiële verdamping zou lager moeten liggen door meer bewolking



Figuur 4. Vergelijking tussen Makkink en LSA SAF METREF voor het jaar 2018. Links de referentiegewasverdamping volgens Makkink, midden METREF en rechts een scatterplot tussen stations data en satelliet data.

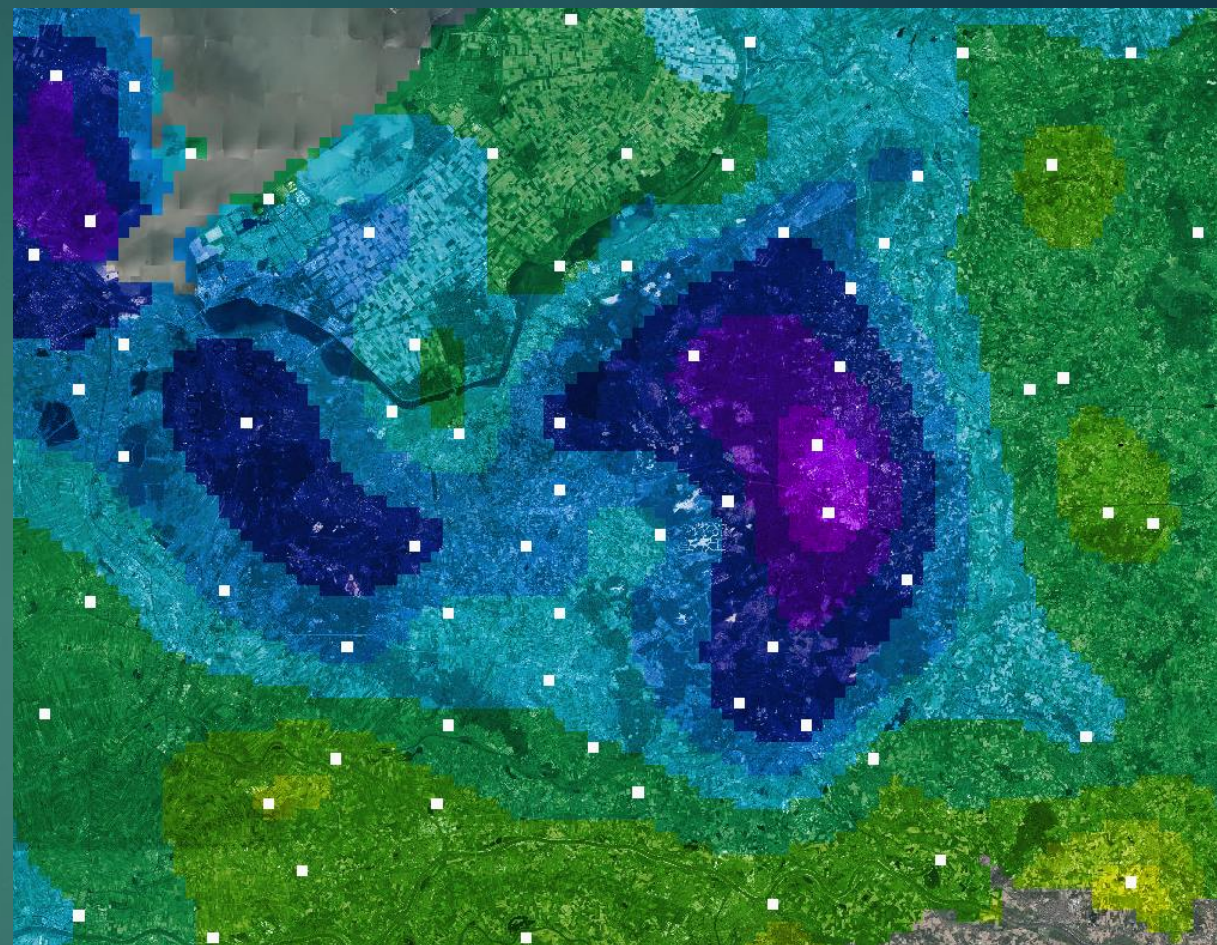
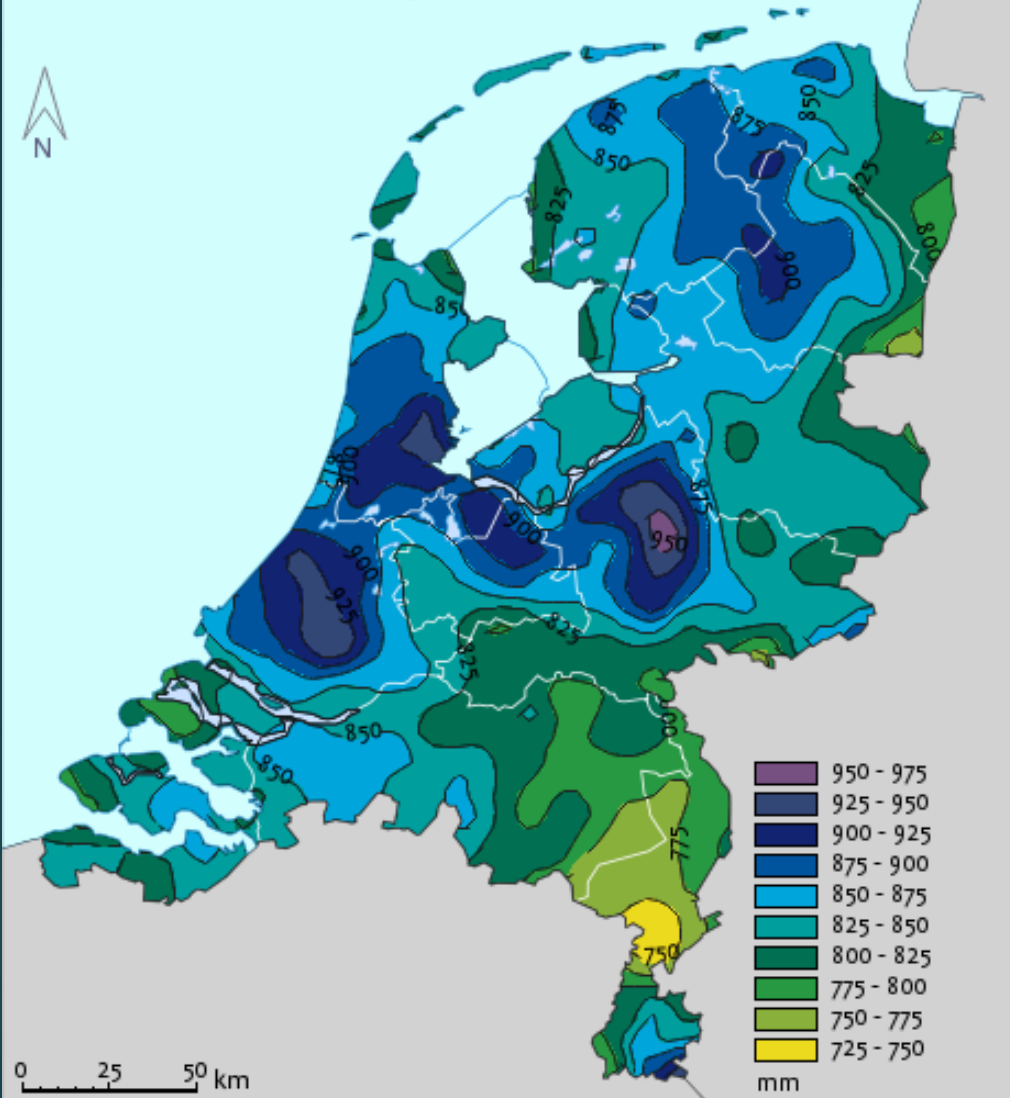
Bossen als biologische waterpomp



Bron: Teuling 2017

Langjarig gemiddelde 1981-2010

Gemiddelde jaarlijkse neerslag



- De neerslag anomalie boven Apeldoorn is het gevolg van topografie maar ook van het bosareaal.



Lysimeters Castricum

Meetproject en datafiles

Alterra-rapport 2
ISSN 1566

P.C.T. van der Hoeven

Waterbeheer Natuur Bos en Landschap

79

Bos en water

WATERVERBRUIK VAN NEDERLANDSE BOSSEN:
EEN MODELLEN STUDIE

door
Ir. S. Nonhebel

HANDBOEK

Grondwaterbeheer
voor
Natuur,
Bos en
Landschap

Modelling and Monitoring
Forest Evapotranspiration
Behaviour, Concepts and Parameters

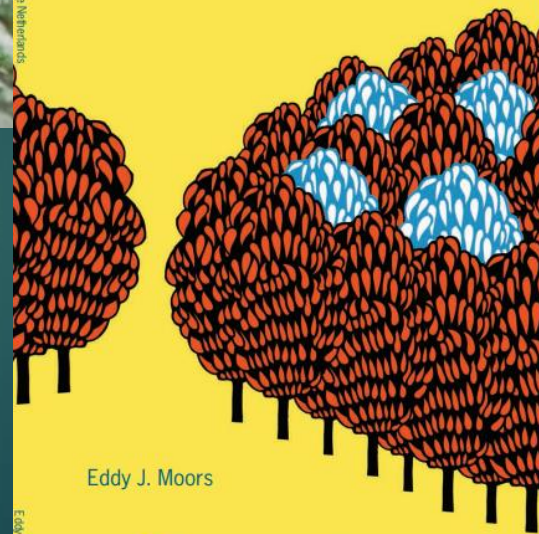


Stefan Dekker

Het waterverbruik
van bossen in Nederland

ALTEERRA

Water Use of Forests in
the Netherlands



Eddy J. Moors

VU
UNIVERSITY
AMSTERDAM

ALTEERRA
WAGENINGEN UR

ALTEERRA SCIENTIFIC CONTRIBUTIONS 41

WATER
MATTERS