



Atlas der Bewässerung

Sprinklerbewässerung

Berechnungsprinzip | Bodenparameter

Die verwendeten **Bewässerungsraten** wurden so gewählt, dass diese von allen handelsüblichen Sprinklervarianten (Impact, Spray, Bubbler) abgedeckt werden. Da mit der Entfernung zum Sprinkler die Effektivität des selbigen abnimmt besitzt die Berechnungssimulation lediglich für eine Fläche innerhalb eines Verbunds, in welchem durch die Anpassung des Abstandes der Sprinkler dieser Effekt minimiert werden kann, die höchste Aussagekraft. Für die Überregnung wird daher mit einer gleichmäßigen **Verteilung** gerechnet, d.h. die aus der Beregnung resultierende Feuchtefront breitet sich parallel zur Geländeoberfläche nach unten hin aus. Die **Effektivität** reduzierende Einflüsse wie starker Wind, hohe Temperatur, geringe Luftfeuchte u.ä. bleiben hier unberücksichtigt (generell muss mit einem Wirkungsgrad von etwa 75 % gerechnet werden).

Für das **hydraulische Modell**, welches die Bodenwassercharakteristik und die Leitfähigkeitsfunktion beschreibt, wurde das Modell von van Genuchten-Mualem (van Genuchten, 1980) genutzt. Die Hysterese findet in der Bodenwassercharakteristik keine Berücksichtigung.

Als **Bodenarten** wurden entsprechend der Klassifizierung des SCS ein Sand-, Lehm- und Schluffboden gewählt. Mit der Wahl der drei Böden sollte eine möglichst große Bandbreite bodenspezifischer Merkmale simuliert werden.

Die **bodenhydraulischen Parameter** wurden dem Bodenkatalog von Carsel und Parrish (1988) entnommen.

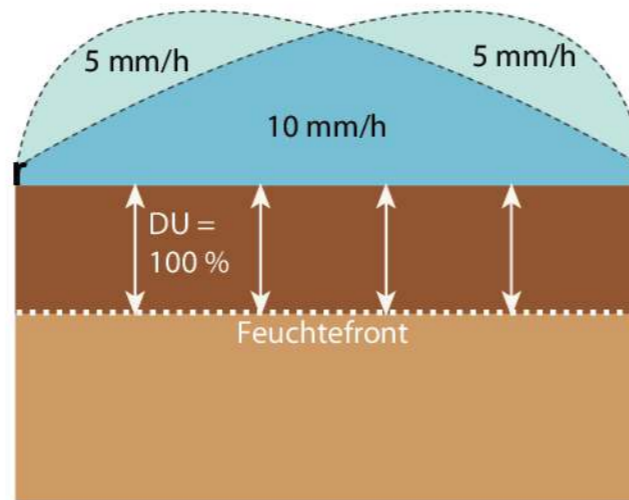
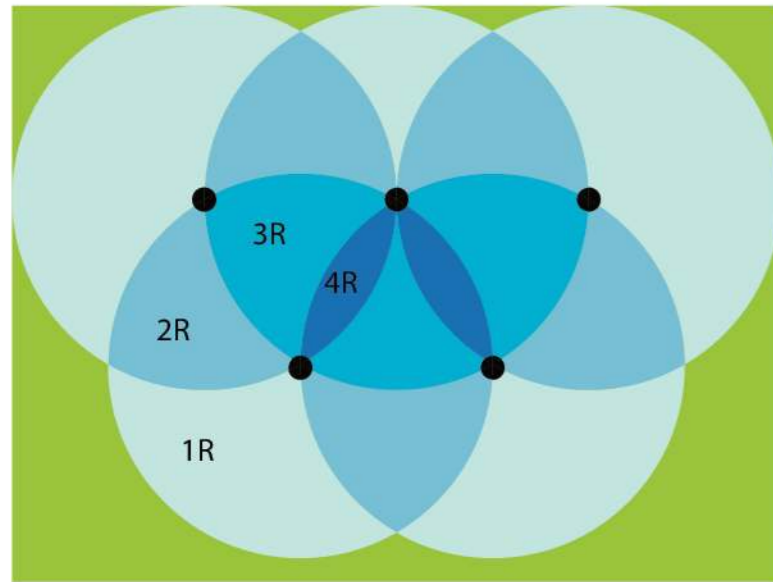


Tabelle 1: Die charakteristischen Bodenparameter für die verwendeten Bodenarten entsprechend dem Bodenkatalog von Carsel und Parrish (1988).

Bodenart	θ_r [m ³ m ⁻³]	θ_s [m ³ m ⁻³]	α [cm ⁻¹]	n [-]	K_s [cm h ⁻¹]	l [-]
Sand	0,045	0,43	0,145	2,68	29,7	0,5
Lehm	0,078	0,43	0,036	1,56	1,038	0,5
Schluff	0,034	0,46	0,016	1,37	0,25	0,5

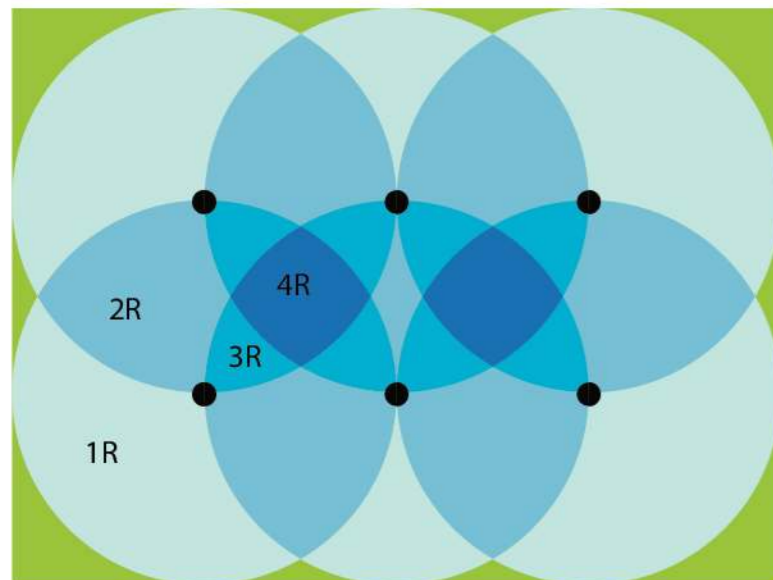


Abbildung 1 (oben): Darstellung der sich überschneidenden Beregnungsbögen bei einem Regnerabstand von 50 % und Veranschaulichung der gleichmäßigen Verteilung (Distribution Uniformity, DU).

Abbildung 2 (links): Regneraufstellung und wirksam beregnete Fläche im Dreieckverband (links oben) und im Viereckverband (links unten); R stellt dabei den Niederschlag eines Regners dar.

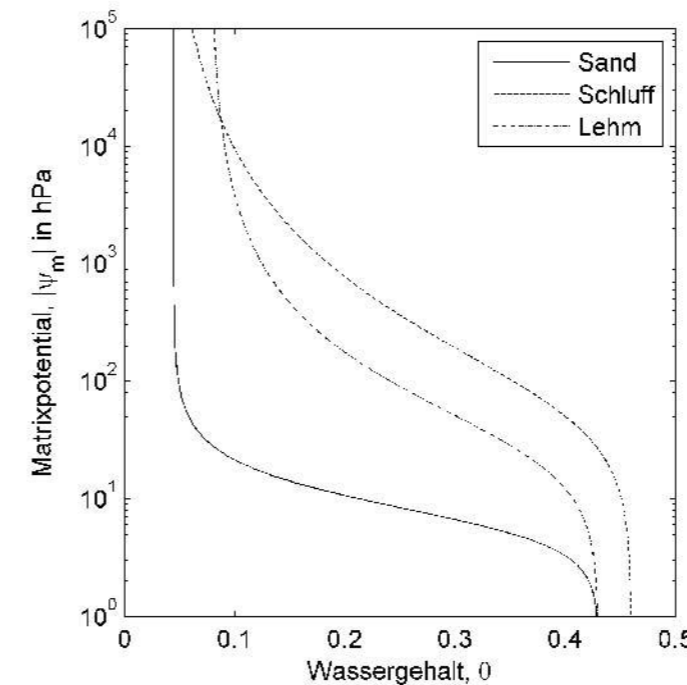


Abbildung 3: Funktionsverlauf der Bodenwassercharakteristik für die verwendeten Bodenarten.

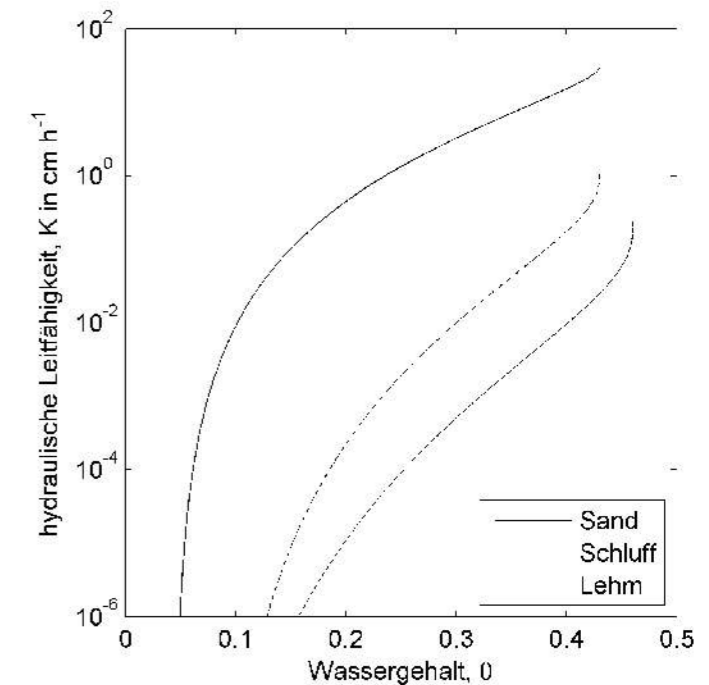


Abbildung 4: Die hydraulische Leitfähigkeit als Funktion des Wassergehalts für alle Bodenarten.

Literatur:

Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, 2000: Landscape Irrigation Design Manual.

Achtnich, W., 1980: Bewässerungslandbau: Agrotechnische Grundlagen der Bewässerungswirtschaft. Ulmer, Stuttgart.

van Genuchten, M. T., 1980: A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 44 (5), 892–898.

Carsel, R. F., Parrish, R. S., 1988: Developing joint probability distributions of soil water retention characteristics. Water Resources Research 24 (5), 755–769.

Rand- und Anfangsbedingungen | Wurzelwasserentzug

Die obere atmosphärische **Randbedingung** ist systemabhängig und wechselt entsprechend den Berechnungszeiten zwischen der Differenz aus Evaporations- und Niederschlagsrate und der maximalen Evaporationsrate in Abhängigkeit vom Wassergehalt. Die seitlichen Ränder sind undurchlässig. Die untere Randbedingung bildet einen freien Abfluss entsprechend der hydraulischen Leitfähigkeit.

Als **Anfangsbedingung** wurde für jeden Boden jeweils ein trockener und ein feuchter Zustand definiert, wobei die zugehörigen Potentiale über das gesamte Bodenkompartment hinweg homogen verteilt sind. Für den Lehm- und den Schluffboden wurde des Weiteren für einen trockenen Ausgangszustand ein 24-stündiger Wasserentzug durch die Pflanzenwurzel simuliert, welcher eine dritte Anfangsbedingung darstellt.

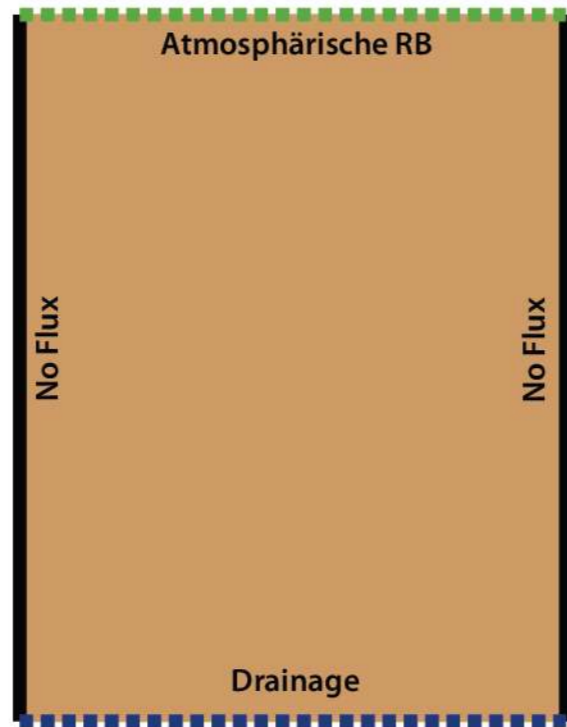


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Randbedingungen des modellierten Bodenkompiments.

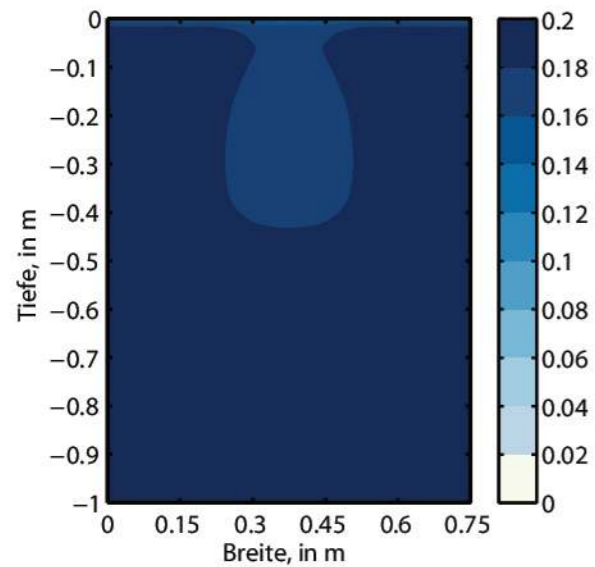


Abbildung 6: Wassergehalt im Schluffboden nach 24 h Transpiration und Evaporation.

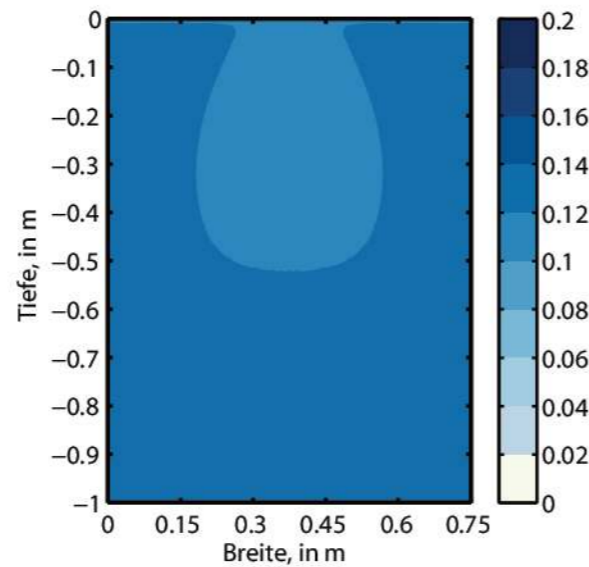


Abbildung 7: Wassergehalt im Lehm Boden nach 24 h Wasserentzug durch Transpiration und Evaporation.

Die **Wasseraufnahme** durch die Pflanzenwurzel wird durch den Wasserstressfaktor nach Feddes et al. (1978) gesteuert. In Abhängigkeit vom Matrixpotential wird die maximale Transpirationsrate gemindert oder ganz eingestellt. Die Parameter für die Wasserstressfunktion entsprechen denen für Getreide nach Wesseling (1991). Für den Sandboden wurden die Werte den bodenspezifischen Parametern entsprechend angepasst.

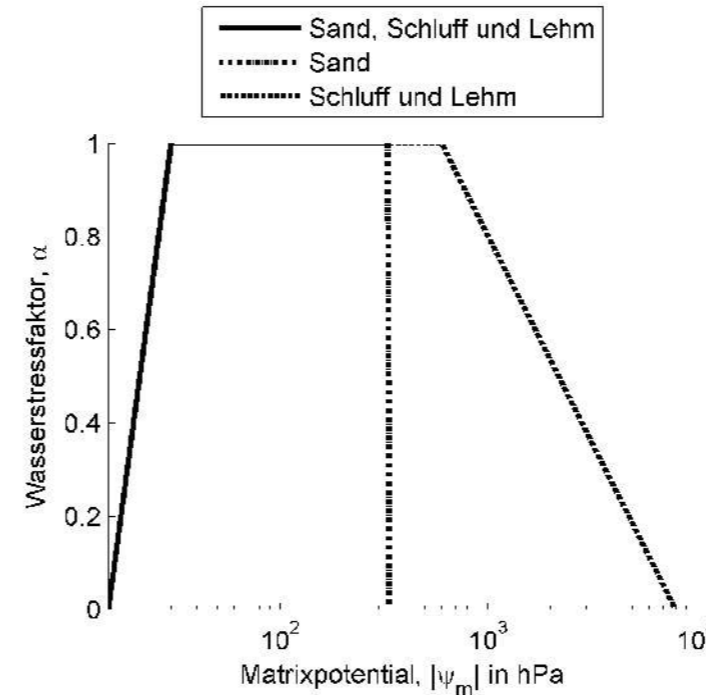


Abbildung 8: Funktionsverlauf der Wasserstressfunktion in Abhängigkeit vom Matrixpotential.

Tabelle 2: Überblick über die Anfangsbedingungen der einzelnen Szenarien für die jeweilige Bodenart.

Bodenart	Sand	Schluff	Lehm
Anfangsbedingungen [hPa]	-60	-167,5	-118
	-340	-800	-800
	-	-800 + 24 h	-800 + 24 h
		WWE	WWE

Die **Wurzelgeometrie**, d.h. der Bereich in welchem eine Wasseraufnahme stattfindet, wurde mit einer Wurzeltiefe von 60 cm und einem Wurzelradius von 30 cm bemessen. Innerhalb der Geometrie nimmt die simulierte Wurzel-dichte, und damit die relative Wasserentzugsrate, von Außen nach Innen zu.

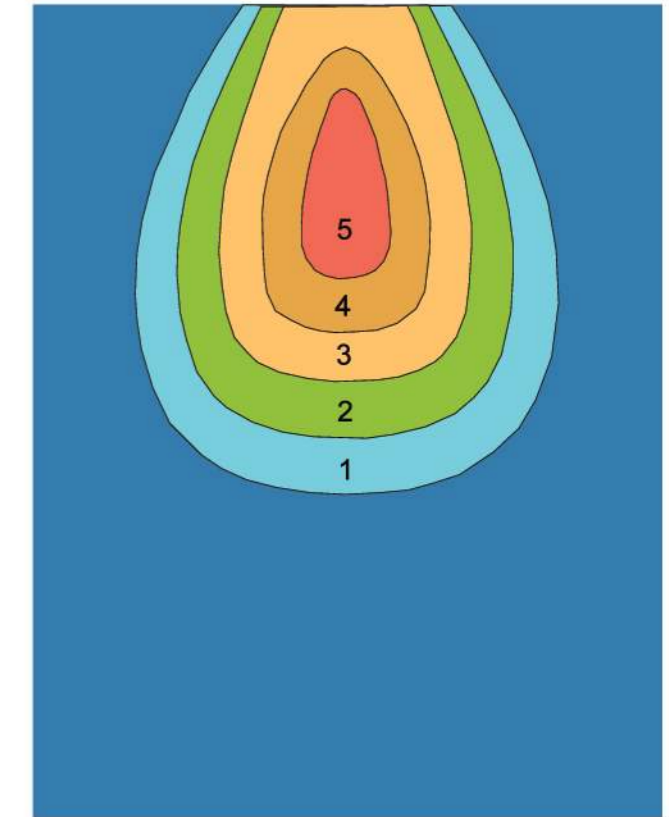


Abbildung 9: Wurzelgeometrie und Dichteverteilung für simulierten Wasserentzug durch die Vegetation.

Tabelle 3: Zusammenfassung der Berechnungsvarianten; bei intervallmäßiger Berechnung sind zwei Abschnitte durch 6 h getrennt.

Rate [mm/h]	Dauer		Menge [mm]
	kontinuierl.	interv.	
10	2 h (4 h)	2 x 1 h (2 x 2 h)	20 (40)
20	1 h (2 h)	2 x 0,5 h (2 x 1 h)	20 (40)
40	0,5 h (1 h)	2 x 0,25 h (2 x 0,5 h)	20 (40)

Literatur:

Feddes, R., Kowalik, P., Zaradny, H., 1978: Simulation of field water use and crop yield. Simulation Monographs Series. John Wiley & Sons Australia, Limited.

Wesseling, J. G., J. A. Elbers, P. Kabat, and B. J. van den Broek, 1991: SWATRE: instructions for input, Internal Note, Winand Staring Centre, Wageningen, the Netherlands.

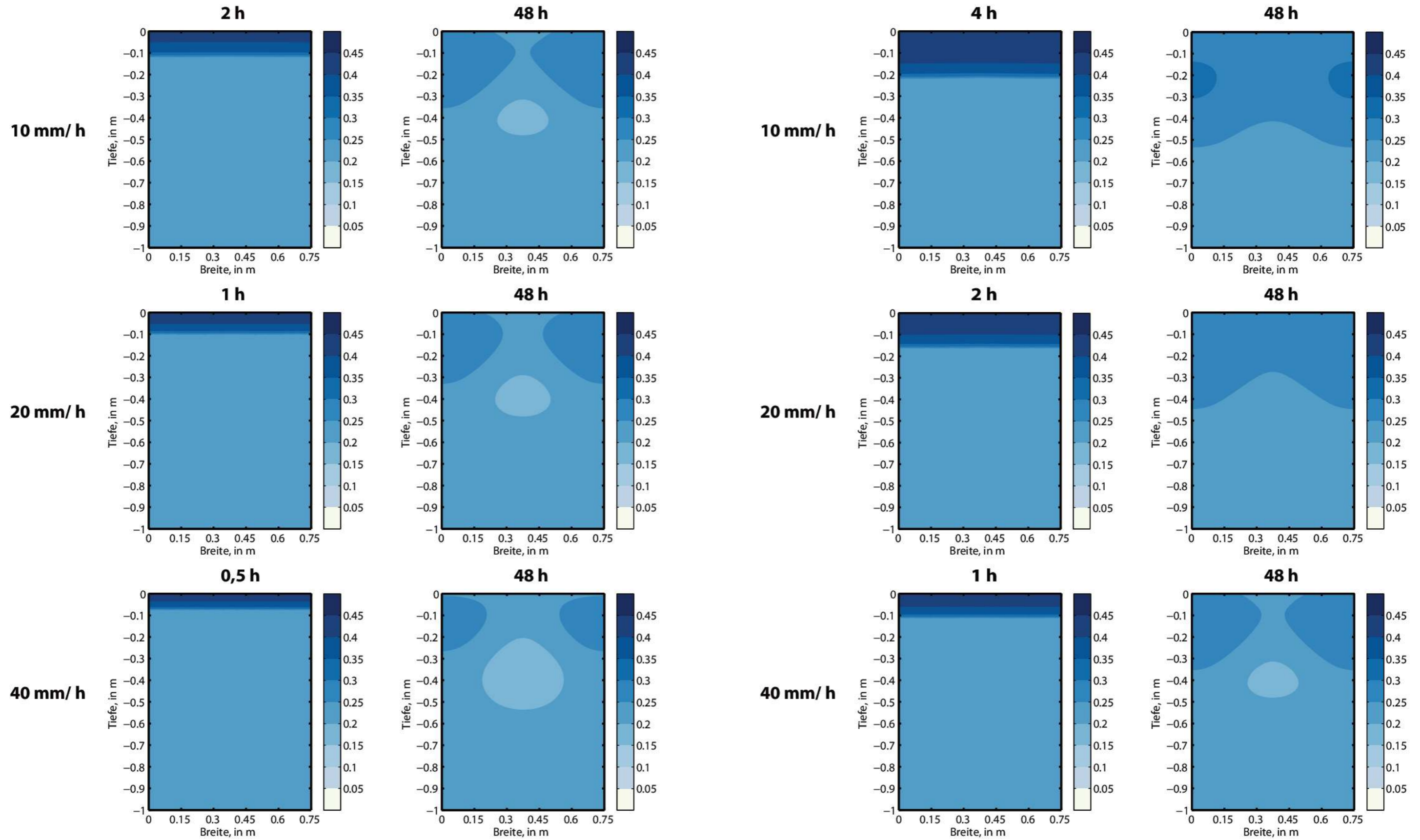
Sand

Lehm

kontinuierliche Bewässerung

Lehm

feucht

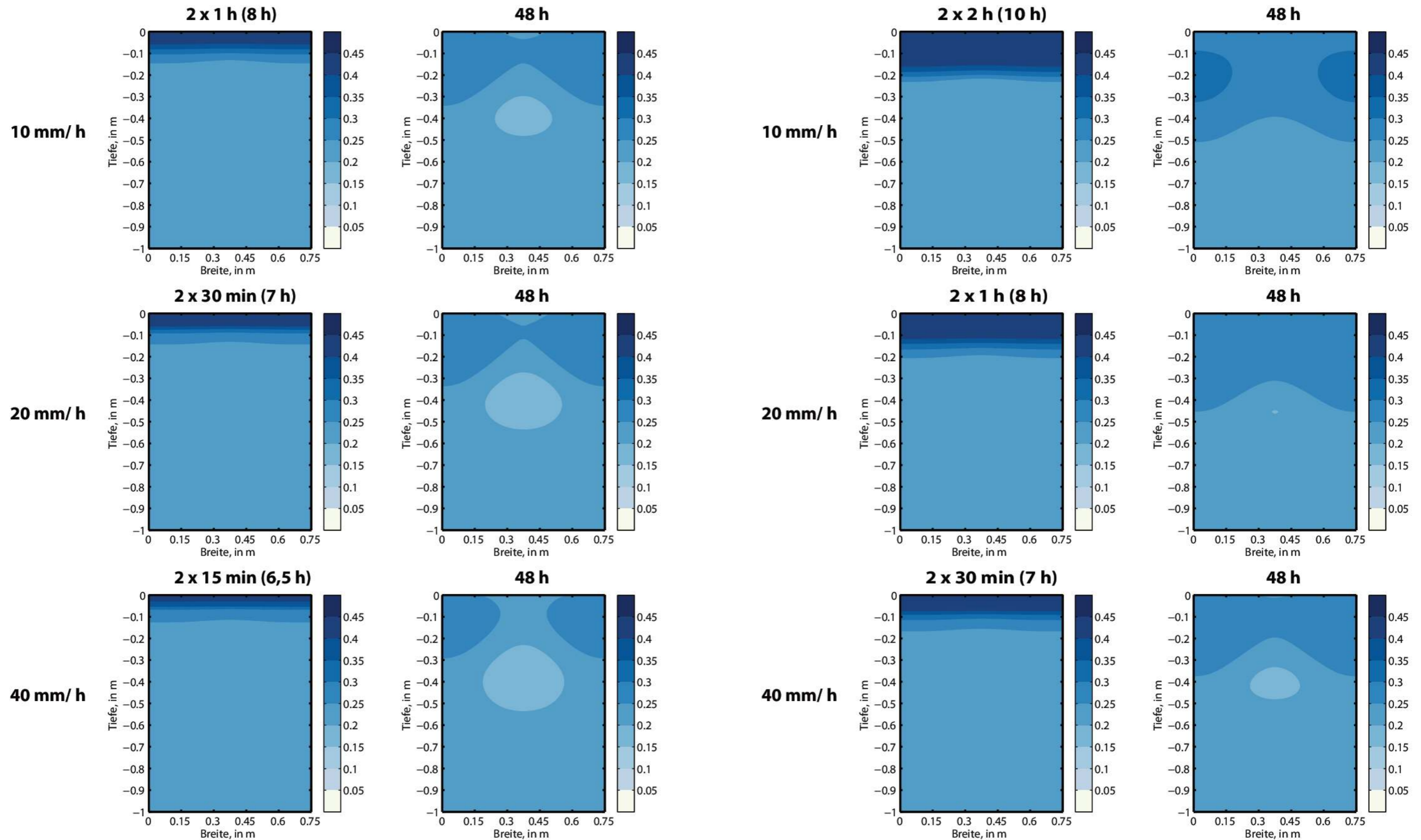


Anfangszustand: Saugspannung homogen bei -118 hPa		Variante	10 mm/ h 2 h	20 mm/ h 1 h	40 mm/ h 0,5 h	10 mm/ h 4 h	20 mm/ h 2 h	40 mm/ h 1 h
Infiltration			20,0 mm	17,5 mm	12,8 mm	40,0 mm	29,1 mm	19,6 mm
Perkolation			0,4 mm	0,4 mm	0,4 mm	0,4 mm	0,4 mm	0,4 mm
Speicherung			5,7 mm	3,2 mm	-1,6 mm	26,1 mm	14,9 mm	5,2 mm
Evaporation			2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm
Transpiration			11,9 mm	12,0 mm	12,0 mm	11,5 mm	11,8 mm	11,9 mm
Abfluss			0 mm	2,5 mm	7,2 mm	0 mm	10,9 mm	20,4 mm

Intervallbewässerung

Lehm

feucht

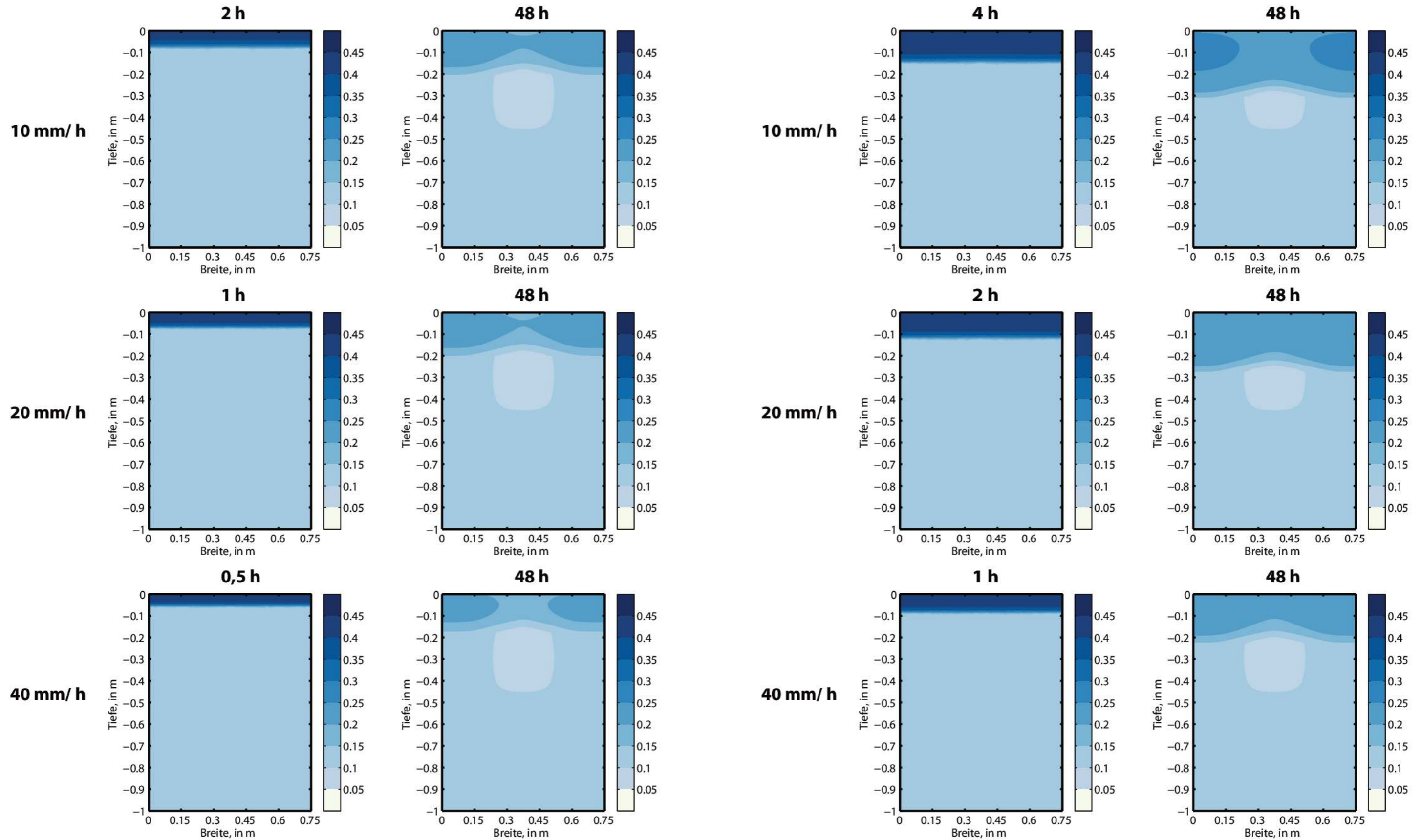


Anfangszustand: Saugspannung homogen bei -118 hPa	Variante	10 mm/h 2 h	20 mm/h 1 h	40 mm/h 0,5 h	10 mm/h 4 h	20 mm/h 2 h	40 mm/h 1 h
		Infiltration	20,0 mm	19,2 mm	15,3 mm	40,0 mm	32,2 mm
Perkolation	0,4 mm	0,4 mm	0,4 mm	0,4 mm	0,4 mm	0,4 mm	
Speicherung	5,6 mm	4,9 mm	0,9 mm	26,1 mm	18,0 mm	8,7 mm	
Evaporation	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	
Transpiration	12,0 mm	12,0 mm	12,0 mm	11,5 mm	11,8 mm	11,9 mm	
Abfluss	0 mm	0,8 mm	4,7 mm	0 mm	7,8 mm	17,0 mm	

kontinuierliche Bewässerung

Lehm

trocken

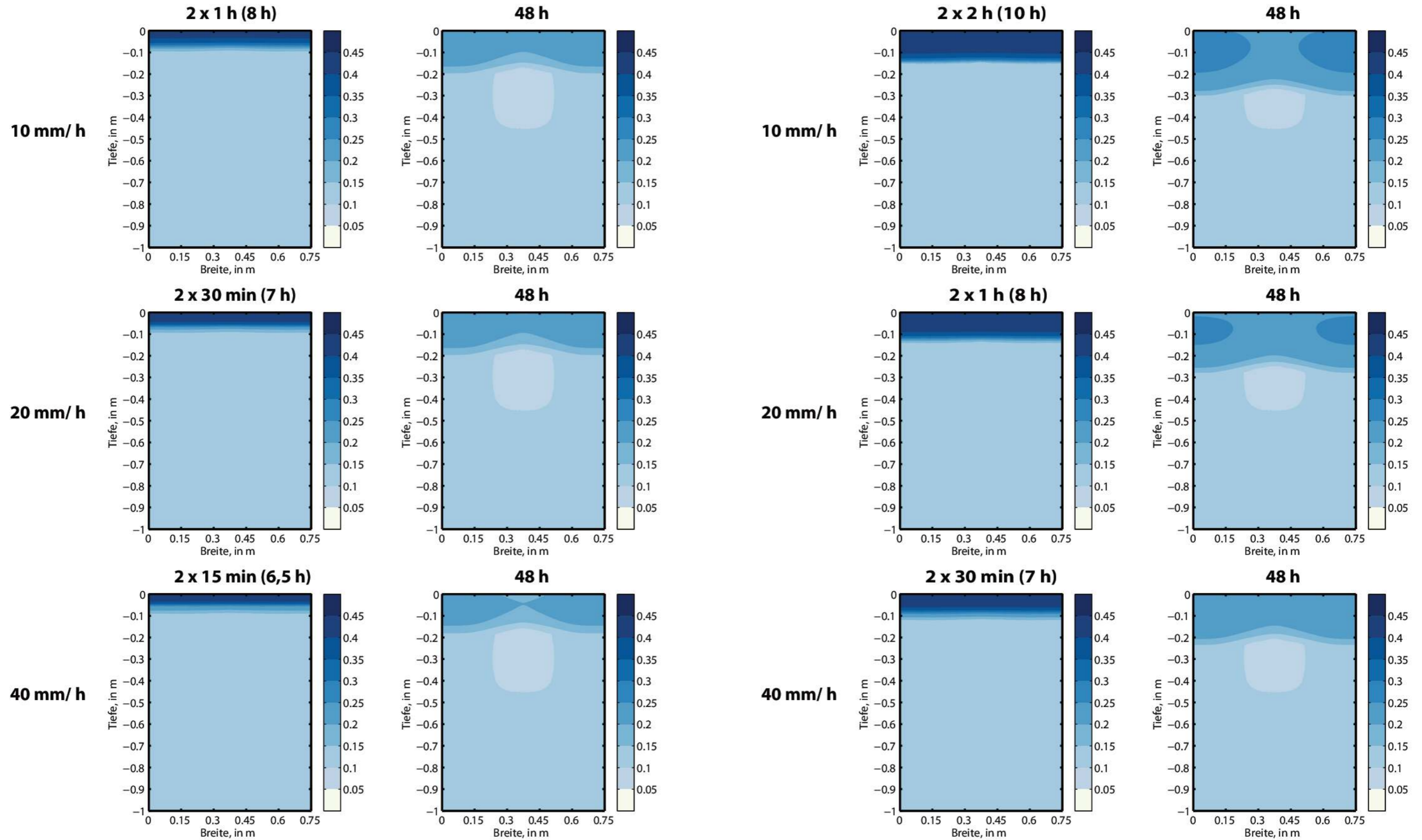


Anfangszustand: Saugspannung homogen bei -800 hPa		Variante	10 mm/ h 2 h	20 mm/ h 1 h	40 mm/ h 0,5 h	10 mm/ h 4 h	20 mm/ h 2 h	40 mm/ h 1 h
		Infiltration	20,0 mm	19,3 mm	15,1 mm	40,0 mm	32,7 mm	23,2 mm
		Perkolation	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
Rate [mm/ h]: 10 20 40 10 20 40		Speicherung	8,2 mm	7,5 mm	3,5 mm	27,6 mm	20,4 mm	11,2 mm
Dauer [h]: 2 1 0,5 4 2 1		Evaporation	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm
Menge [mm]: 20 40		Transpiration	9,8 mm	9,8 mm	9,6 mm	10,4 mm	10,3 mm	10,0 mm
		Abfluss	0 mm	0,7 mm	4,9 mm	0 mm	7,3 mm	16,8 mm

Intervallbewässerung

Lehm

trocken

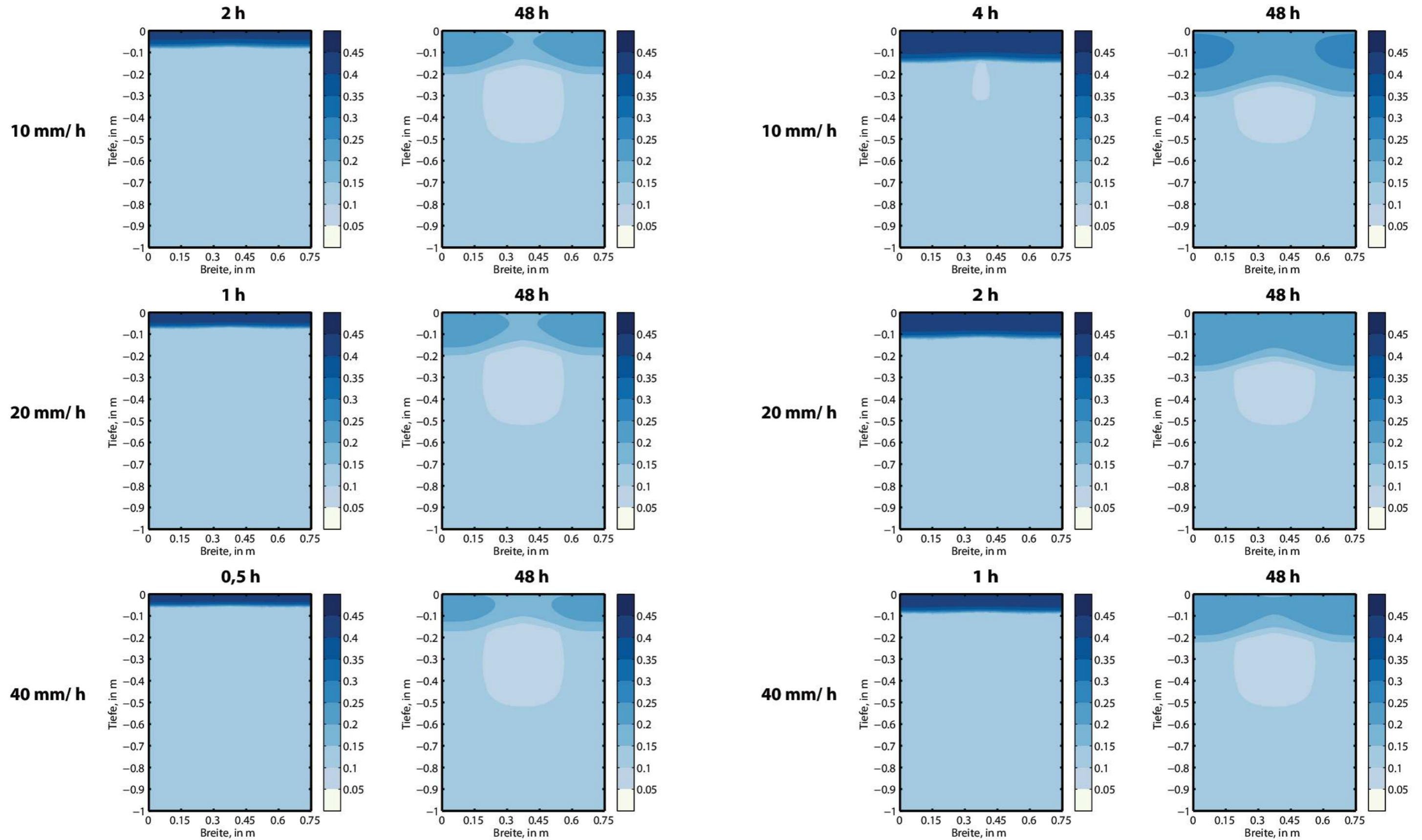


Anfangszustand: Saugspannung homogen bei -800 hPa	Variante		10 mm/h 2 h	20 mm/h 1 h	40 mm/h 0,5 h	10 mm/h 4 h	20 mm/h 2 h	40 mm/h 1 h
	Rate [mm/h]: 10 20 40 10 20 40	Infiltration		20,0 mm	19,9 mm	17,3 mm	40,0 mm	35,2 mm
Dauer [h]: 2 1 0,5 4 2 1	Perkolation		0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
Menge [mm]: 20 40	Speicherung		8,3 mm	8,1 mm	5,6 mm	27,7 mm	22,9 mm	14,4 mm
	Evaporation		2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm
	Transpiration		9,7 mm	9,7 mm	9,7 mm	10,3 mm	10,2 mm	10,0 mm
	Abfluss		0 mm	0,1 mm	2,7 mm	0 mm	4,8 mm	13,6 mm

kontinuierliche Bewässerung

Lehm

trocken (Wurzelraum)



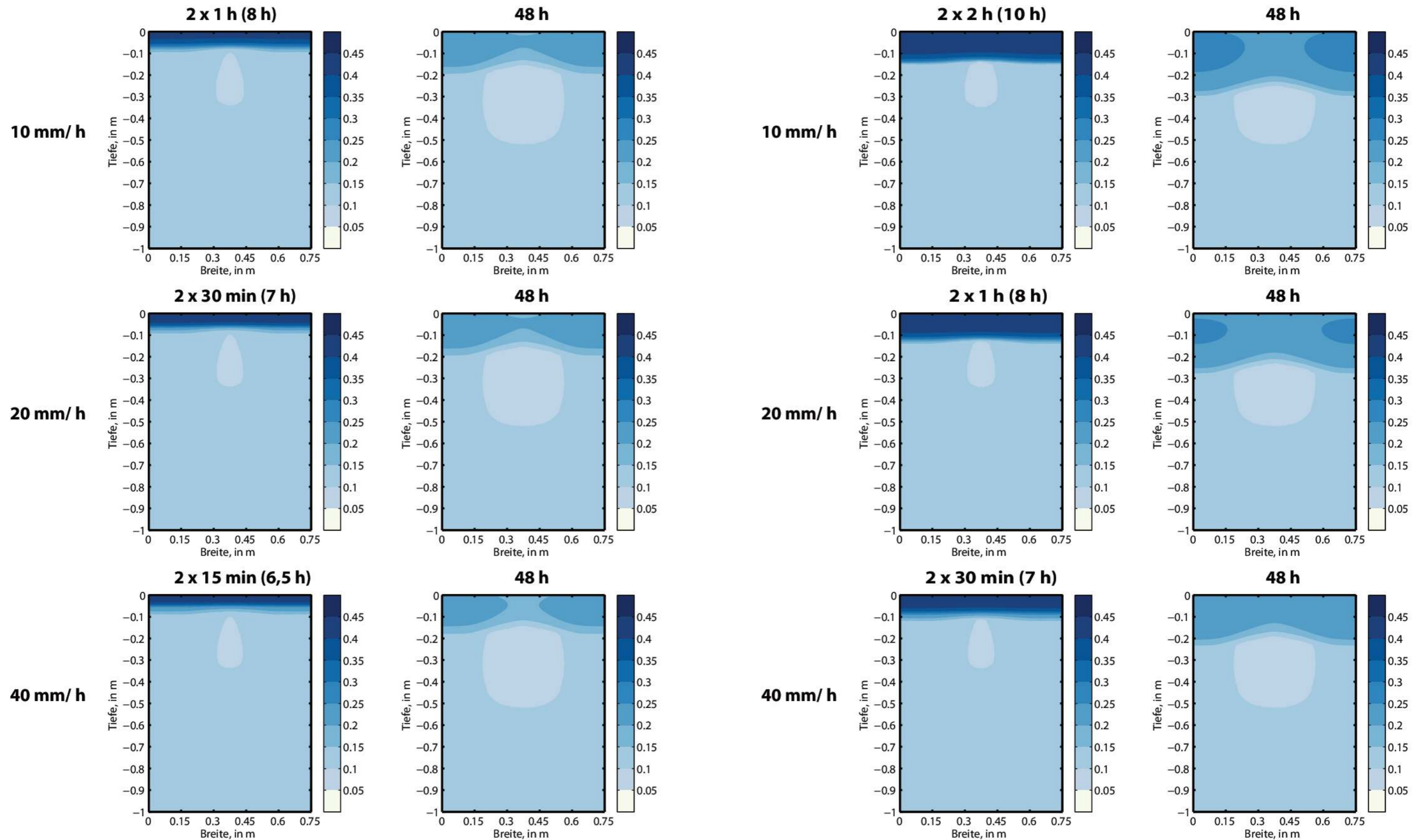
Anfangszustand: Saugspannung homogen bei -800 hPa + 24 h WWE		Variante	10 mm/h 2 h	20 mm/h 1 h	40 mm/h 0,5 h	10 mm/h 4 h	20 mm/h 2 h	40 mm/h 1 h
Infiltration			20,0 mm	19,5 mm	15,4 mm	40,0 mm	33,0 mm	23,5 mm
Perkolation			0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
Speicherung			10,9 mm	10,4 mm	6,6 mm	29,6 mm	22,9 mm	14,1 mm
Evaporation			2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm
Transpiration			7,1 mm	7,1 mm	6,8 mm	8,4 mm	8,1 mm	7,4 mm
Abfluss			0 mm	0,5 mm	4,6 mm	0 mm	7,0 mm	16,5 mm

Rate [mm/h]:	10	20	40	10	20	40
Dauer [h]:	2	1	0,5	4	2	1
Menge [mm]:	20			40		

Intervallbewässerung

Lehm

trocken (Wurzelraum)



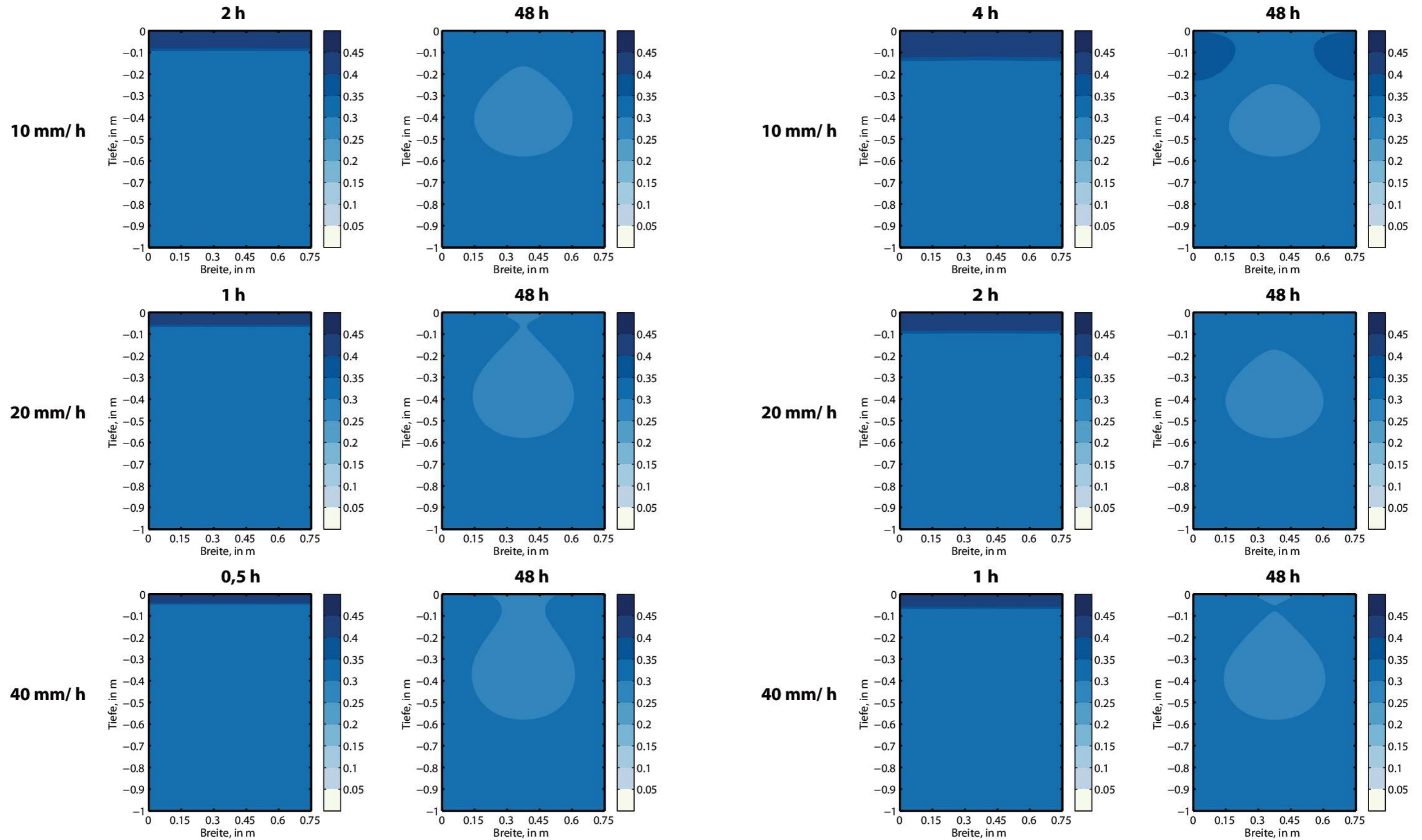
Anfangszustand: Saugspannung homogen bei -800 hPa + 24 h WWE		Variante	10 mm/h 2 h	20 mm/h 1 h	40 mm/h 0,5 h	10 mm/h 4 h	20 mm/h 2 h	40 mm/h 1 h
Rate [mm/h]: 10 20 40 10 20 40		Infiltration	20,0 mm	19,9 mm	17,4 mm	40,0 mm	35,4 mm	26,7 mm
Dauer [h]: 2 1 0,5 4 2 1		Perkolation	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
Menge [mm]: 20 40		Speicherung	11,0 mm	10,9 mm	8,6 mm	29,9 mm	25,4 mm	17,3 mm
		Evaporation	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm
		Transpiration	7,0 mm	7,0 mm	6,8 mm	8,1 mm	8,0 mm	7,4 mm
		Abfluss	0 mm	0,1 mm	2,6 mm	0 mm	4,6 mm	13,3 mm

Schluff

kontinuierliche Bewässerung

Schluff

feucht



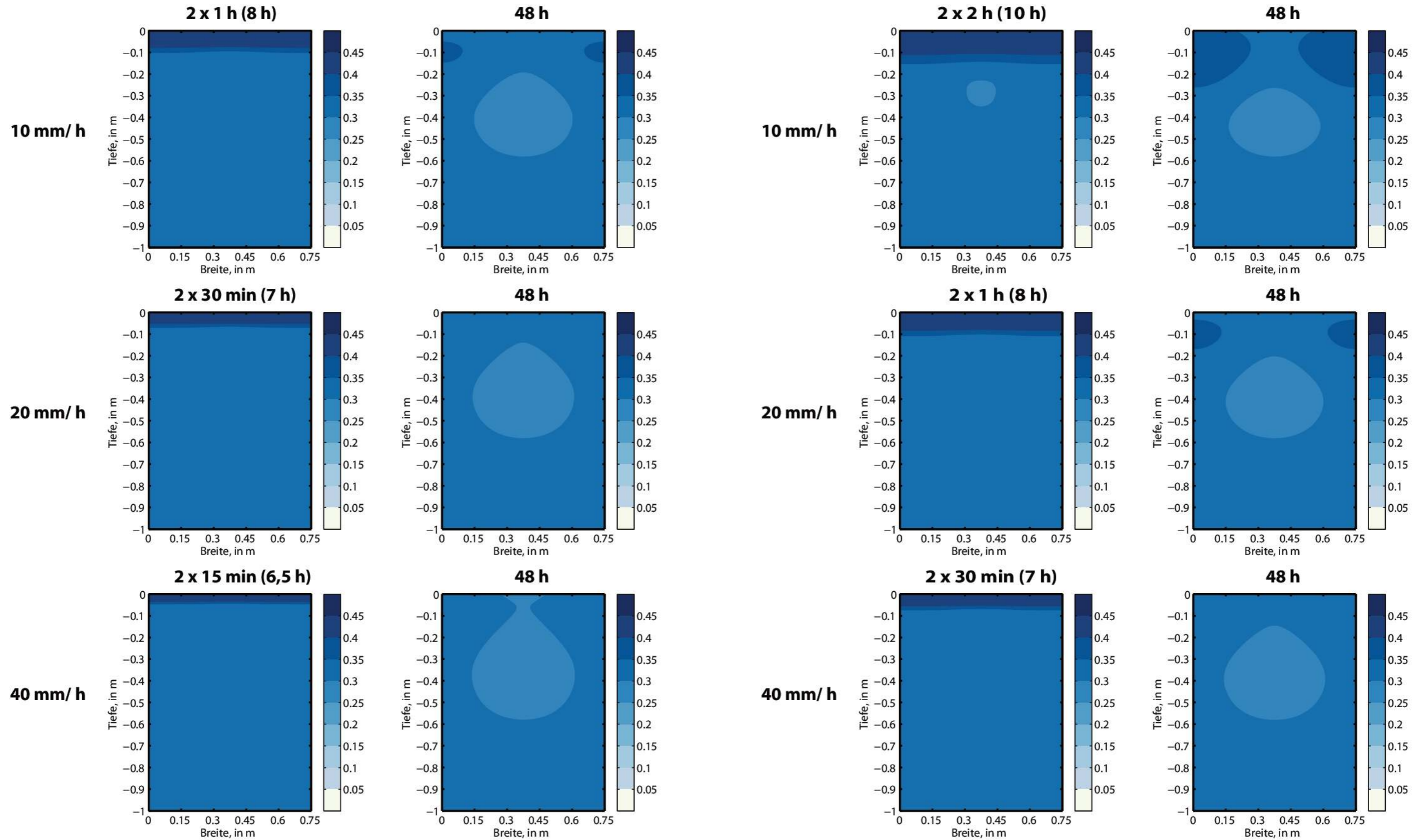
Anfangszustand: Saugspannung homogen bei -167,5 hPa		Variante	10 mm/h 2 h	20 mm/h 1 h	40 mm/h 0,5 h	10 mm/h 4 h	20 mm/h 2 h	40 mm/h 1 h
Infiltration			12,2 mm	8,7 mm	6,2 mm	18,5 mm	12,7 mm	8,9 mm
Perkolation			0,4 mm	0,4 mm	0,4 mm	0,4 mm	0,4 mm	0,4 mm
Speicherung			-2,1 mm	-5,7 mm	-8,2 mm	4,3 mm	-1,6 mm	-5,5 mm
Evaporation			2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm
Transpiration			12,0 mm	12,0 mm	12,0 mm	11,9 mm	12,0 mm	12,0 mm
Abfluss			7,8 mm	11,3 mm	13,8 mm	21,5 mm	27,3 mm	31,1 mm

Rate [mm/h]:	10	20	40	10	20	40
Dauer [h]:	2	1	0,5	4	2	1
Menge [mm]:	20			40		

kontinuierliche Bewässerung

Schluff

feucht

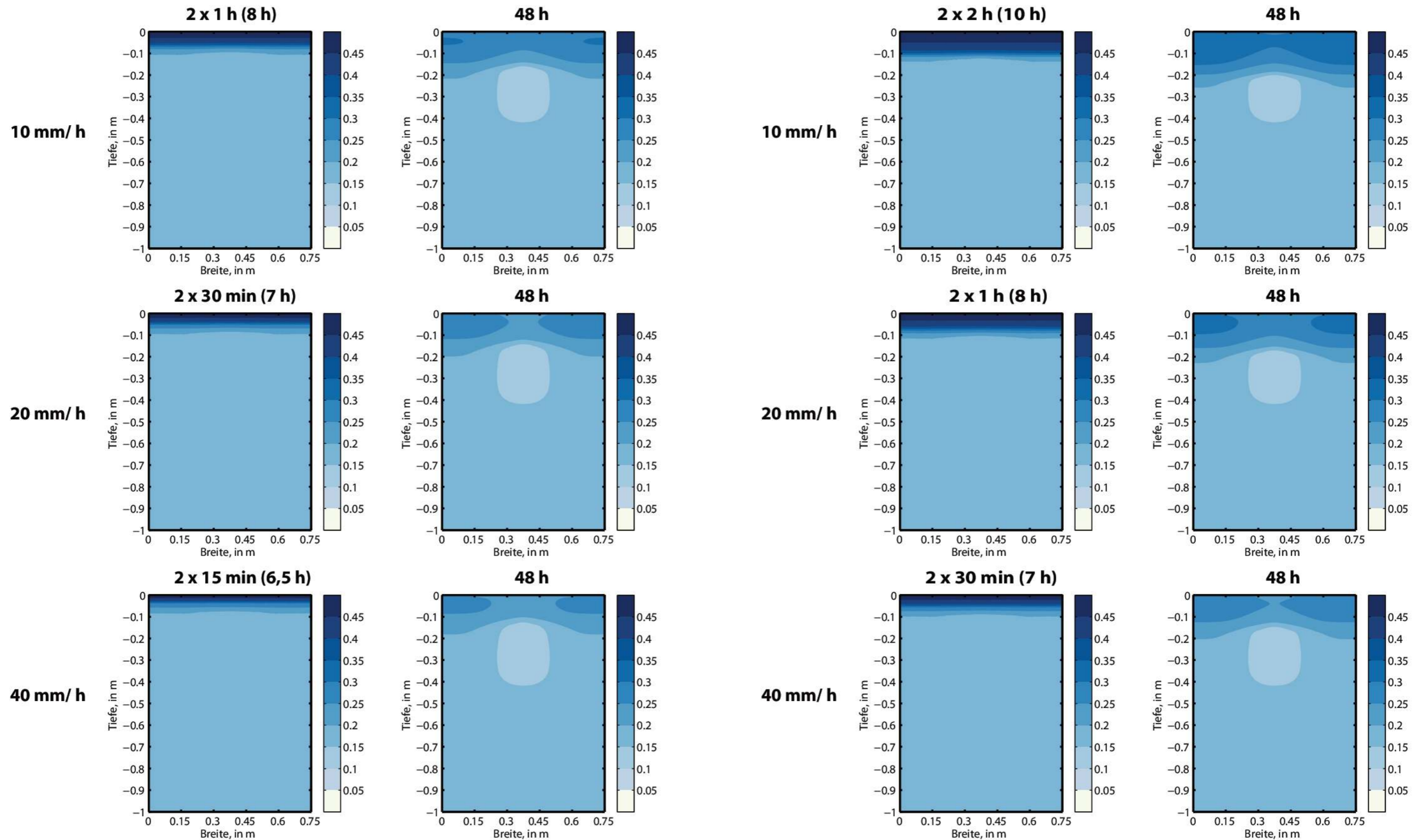


Anfangszustand: Saugspannung homogen bei -167,5 hPa	Variante		10 mm/h 2 h	20 mm/h 1 h	40 mm/h 0,5 h	10 mm/h 4 h	20 mm/h 2 h	40 mm/h 1 h
	Rate [mm/h]: 10 20 40 10 20 40	Infiltration		14,2 mm	10,6 mm	7,9 mm	20,9 mm	15,1 mm
Dauer [h]: 2 1 0,5 4 2 1	Perkolation		0,4 mm	0,4 mm	0,4 mm	0,4 mm	0,4 mm	0,4 mm
Menge [mm]: 20 40	Speicherung		-0,1 mm	-3,7 mm	-6,4 mm	6,7 mm	0,8 mm	-3,4 mm
	Evaporation		2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm
	Transpiration		12,0 mm	12,0 mm	12,0 mm	11,9 mm	12,0 mm	12,0 mm
	Abfluss		5,8 mm	9,4 mm	12,1 mm	19,1 mm	24,9 mm	29,1 mm

Intervallbewässerung

Schluff

trocken

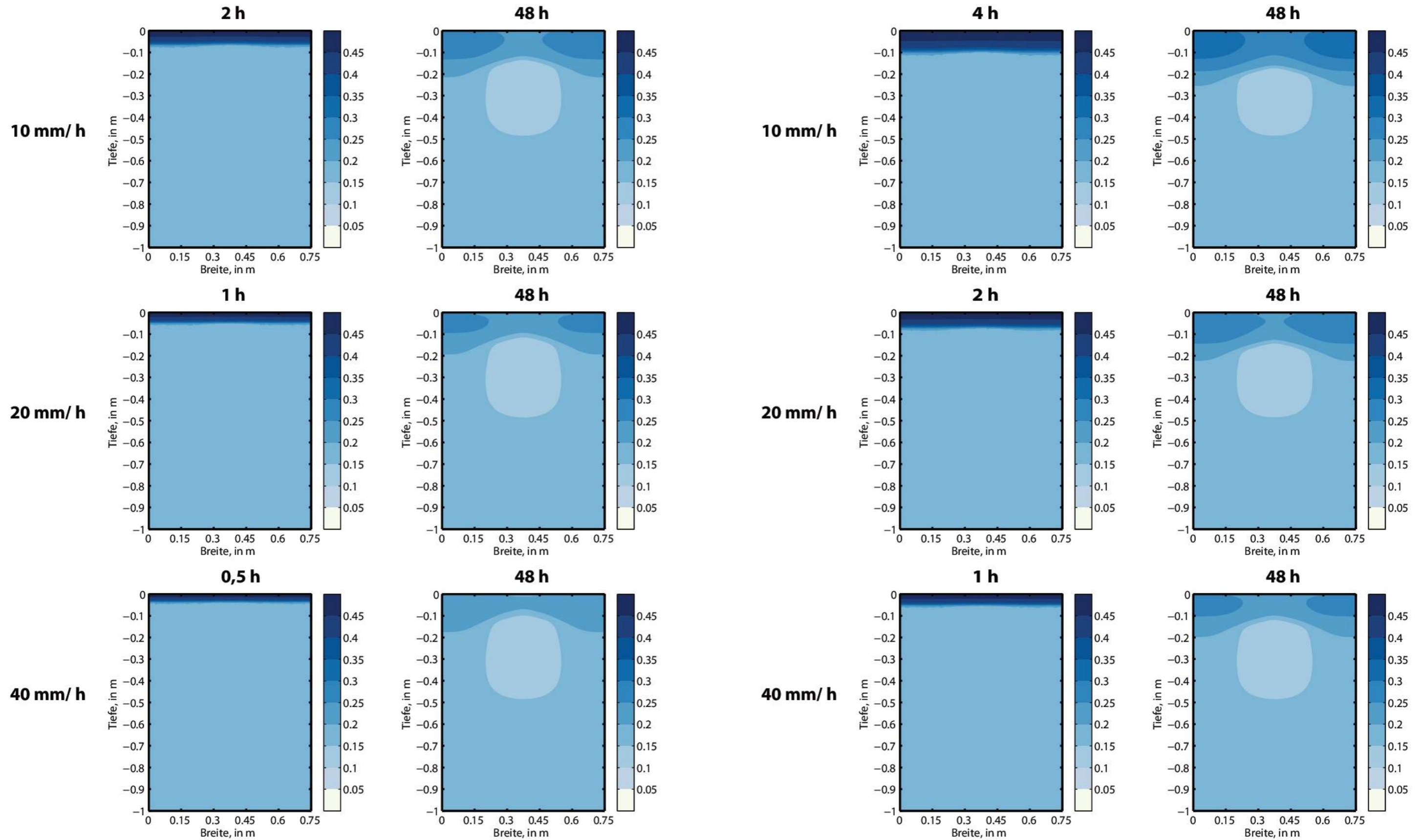


Anfangszustand: Saugspannung homogen bei -800 hPa	Variante		10 mm/h 2 h	20 mm/h 1 h	40 mm/h 0,5 h	10 mm/h 4 h	20 mm/h 2 h	40 mm/h 1 h
	Rate [mm/h]: 10 20 40 10 20 40	Infiltration		17,4 mm	13,7 mm	10,6 mm	26,3 mm	19,5 mm
Dauer [h]: 2 1 0,5 4 2 1	Perkolation		0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
Menge [mm]: 20 40	Speicherung		4,5 mm	0,8 mm	-2,3 mm	13,4 mm	6,6 mm	1,7 mm
	Evaporation		2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm
	Transpiration		10,9 mm	10,9 mm	10,8 mm	11,0 mm	10,9 mm	10,9 mm
	Abfluss		2,6 mm	6,3 mm	9,4 mm	13,7 mm	20,5 mm	25,4 mm

kontinuierliche Bewässerung

Schluff

trocken (Wurzelraum)

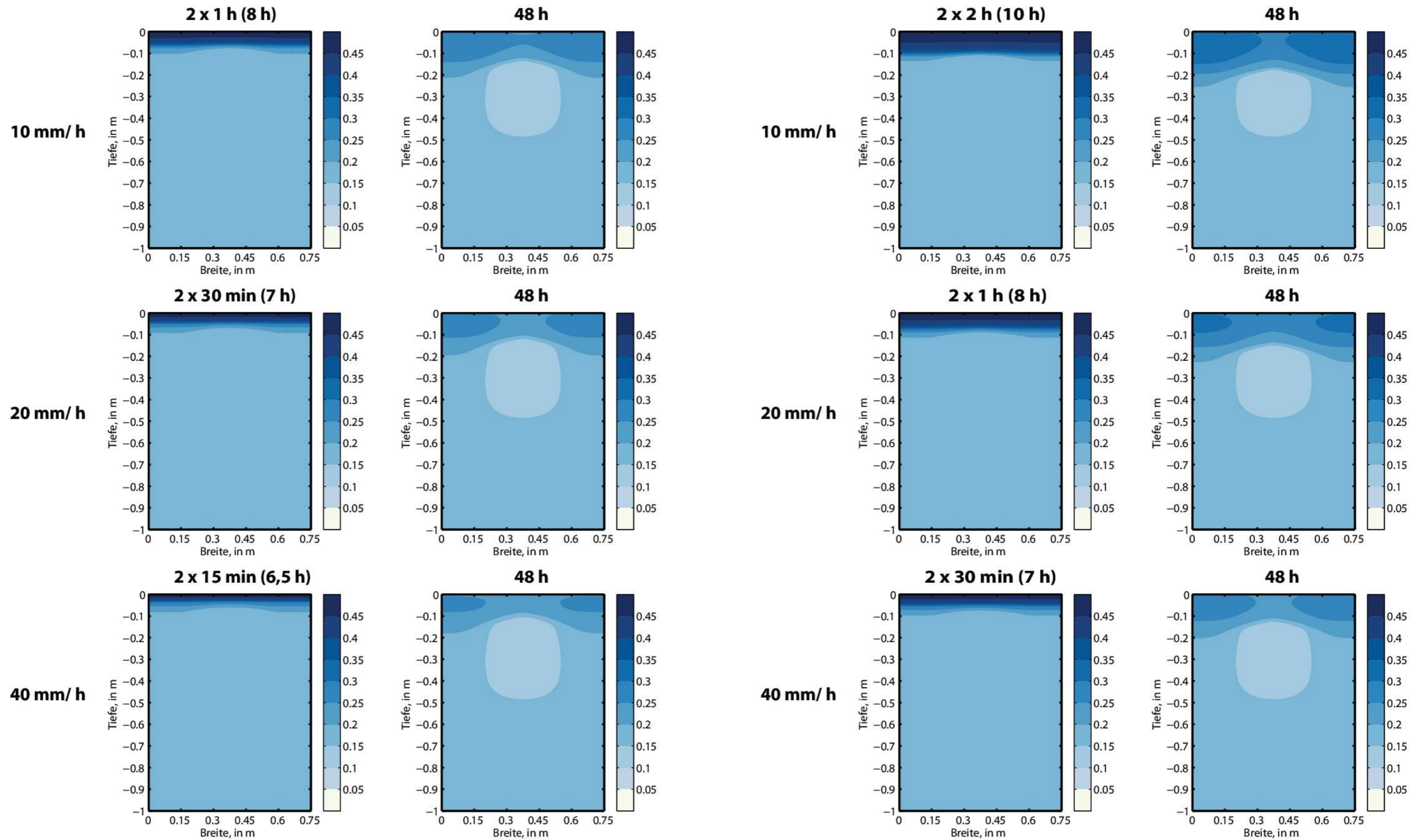


Anfangszustand: Saugspannung homogen bei -800 hPa + 24 h WWE		Variante	10 mm/ h 2 h	20 mm/ h 1 h	40 mm/ h 0,5 h	10 mm/ h 4 h	20 mm/ h 2 h	40 mm/ h 1 h
Infiltration			16,3 mm	12,4 mm	9,3 mm	24,7 mm	17,9 mm	13,1 mm
Perkolation			0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
Speicherung			4,2 mm	0,4 mm	-2,7 mm	12,5 mm	5,8 mm	1,1 mm
Evaporation			2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm
Transpiration			10,1 mm	10,0 mm	10,0 mm	10,2 mm	10,1 mm	10,0 mm
Abfluss			3,7 mm	7,6 mm	10,7 mm	15,3 mm	22,1 mm	26,9 mm

Intervallbewässerung

Schluff

trocken (Wurzelraum)



Anfangszustand: Saugspannung homogen bei -800 hPa + 24 h WWE		Variante	10 mm/ h 2 h	20 mm/ h 1 h	40 mm/ h 0,5 h	10 mm/ h 4 h	20 mm/ h 2 h	40 mm/ h 1 h
Rate [mm/ h]: 10 20 40 10 20 40		Infiltration	17,8 mm	14,3 mm	11,2 mm	27,1 mm	20,4 mm	15,4 mm
Dauer [h]: 2 1 0,5 4 2 1		Perkolation	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
Menge [mm]: 20 40		Speicherung	5,7 mm	2,3 mm	-0,7 mm	14,9 mm	8,2 mm	3,3 mm
		Evaporation	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm	2,0 mm
		Transpiration	10,1 mm	10,0 mm	10,0 mm	10,2 mm	10,1 mm	10,1 mm
		Abfluss	2,2 mm	5,7 mm	8,8 mm	12,9 mm	19,6 mm	24,6 mm