Leo van Doeselaar studierte Orgel und Klavier am Amsterdamer Conservatorium, darüber hinaus spezialisierte er sich auf das Hammerklavier. Er trat als Orgelsolist mit verschiedenen Orchestern unter Dirigenten wie Mariss Jansons, Riccardo Chailly, Charles Dutoit, Claus-Peter Flor, Ingo Metzmacher und David Zinman auf. Zum Königlichen Concertgebouworkest unterhält er als Titularorganist des Kön. Concertgebouws enge Beziehungen, musizierte mit dem Spitzenklangkörper an der romantischen Maarschalkerweerd-Orgel und spielte Uraufführungen von Orgelkonzerten von u.a. Sofia Gubaidulina und Wolfgang Rihm.

Als Continuospieler arbeitete er mit unterschiedlichen Barockensembles in Westeuropa zusammen. Grosse Konzerttätigkeit, Jurymitgliederschaft bei zahlreichen Orgelfestivals und Meisterkursen führten ihn durch ganz Europa und Asien. Als Organist der Nederlandse Bachvereniging nimmt er Teil an dem großen Multimediaprojekt AllofBach. Zusammen mit Wyneke Jordans bildet er ein vielseitig auftretendes Klavierduo.

Er hat als Solist und im Ensemble zahlreiche CDs aufgenommen, von denen einige mit Preisen ausgezeichnet wurden. Der Echo-Preisträger (Scheidemann Orgelwerke in Leiden, 2013) war als Professor für künstlerisches Orgelspiel bis 2019 tätig an der Universität der Künste Berlin. Zudem war er bis 2021 Titularorganist der Pieterskerk in Leiden mit ihrer Van Hagerbeer-Orgel und ist seit 2014 Co-Titularorganist der Martinikerk in Groningen an der berühmten Schnitger-Orgel. 2007 wurde ihm der Sweelinckpreis verliehen für seinen großen Verdienst um die niederländische und internationale Orgelkultur.