

Optimalisatie van brandveiligheidsmaatregelen in industriële gebouwen door toepassing van ‘Brandveiligheidseconomie’

Louis Cleef ^{1,2}, Erik van der Heijden ², Jos Lichtenberg ², Genserik Reniers ¹

¹ Safety and Security Science Section, Faculty of Technology, Policy and Management, Delft University of Technology, Jaffalaan 5, 2628BX Delft, The Netherlands

² Stichting Economie van Brandveiligheid, P/A Hannes Kempkensweg 28, 6065 DX Montfort

1. Inleiding

Industriële gebouwen huisvesten vaak complexe productieprocessen en waardevolle activa. Brandincidenten in zulke omgevingen kunnen leiden tot grote economische verliezen en milieuschade. Ondanks de beschikbaarheid van brandveiligheidsmaatregelen in gebouwen – zoals sprinklers, brandvertragende materialen, brandcompartimenten en detectiesystemen – is het nemen van effectieve beslissingen hierover niet vanzelfsprekend. De kosten van deze maatregelen kunnen hoog zijn, terwijl de voordelen in termen van risicovermindering moeilijk te kwantificeren zijn. Bedrijven staan voor de uitdaging om te bepalen welke maatregelen economisch verantwoord zijn en welke niet. Hierin biedt het vakgebied ‘brandveiligheidseconomie’ gebaseerd op vermeden risico een krachtig analytisch kader. Door gebruik te maken van economische modellen kunnen bedrijven risico's en kosten systematisch analyseren, om zo optimale keuzes te maken. Dit artikel bespreekt beknopt hoe micro-economische bedrijfsmodellen toegepast kunnen worden op brandveiligheidsbeslissingen binnen industriële gebouwen, en wat de toegevoegde waarde is van deze aanpak voor zowel de brandveiligheid als de economische efficiëntie.

2. Achtergrond en context

De inhoud, omgeving en samenstelling van industriële gebouwen kenmerken zich vaak door hoge brandrisico's vanwege de aanwezigheid van brandbaar materiaal en soms ontvlambare stoffen. Een zekere mate van brandveiligheid is in deze context uiteraard een wettelijk verplichte verantwoordelijkheid, onder meer vastgelegd in het Bbl (Besluit bouwwerken leefomgeving) [1], de Arbowet, het Arbobesluit, de Arboregeling [2], en bedrijf gerelateerde verzekeringsvoorwaarden. Brandveiligheidsmaatregelen kunnen worden onderverdeeld in passieve maatregelen (zoals brandwerende muren, compartimentering), actieve maatregelen (zoals brandmeldinstallaties en sprinklers) en organisatorische maatregelen (zoals regels voor veilig werken). Hoewel sommige maatregelen wettelijk verplicht zijn, is er vaak ruimte voor aanvullende, vrijwillige investeringen. Bedrijven moeten dan afwegen in hoeverre bovenwettelijke maatregelen lonend zijn. Deze afweging is complex, aangezien het gaat om het reduceren van onzekere toekomstige verliezen in ruil voor zekere, directe investeringskosten.

3. Micro-economische modellen: een overzicht

Micro-economie bestudeert hoe individuen en bedrijven keuzes maken onder schaarse financiële middelen. In het kader van brandveiligheid kan een combinatie van veiligheidsmodellen en economische modellen zoals kosten-batenanalyses, kosteneffectiviteitsanalyses, gebeurtenissenbomen, beslissingsanalysemodellen, vlinderdasmodellen, enz. worden gebruikt.

Sommige van deze modellen zijn eerder succesvol toegepast in domeinen zoals milieubeleid [3], gezondheidszorg [4] en transportveiligheid. Hun toepasbaarheid lijkt ook in het domein brandveiligheid mogelijk en zelfs interessant.

4. Toepassing op brandveiligheidsmaatregelen

4.1. Risicomodellering

De kern van economische besluitvorming over brandveiligheid is de vergelijking tussen de verwachte schade zonder maatregel en de kosten van de maatregel. De verwachte schade wordt berekend als:

$$\text{Verwachte schade} = \text{kans op brand} \times \text{gemiddelde gevolgkosten}$$

Een kenmerk bij brandrisico beoordelingen is dat de kans op brand relatief klein, maar de schade juist groot kan zijn. Bijvoorbeeld: als de kans op een grote brand in een bepaald jaar 0.5% is [5], [6] en de gemiddelde gevolgkosten €5 miljoen bedraagt, dan is de verwachte jaarlijkse schade €25.000. Een maatregel die deze kans halveert, reduceert de verwachte schade naar €12.500. Als deze maatregel €10.000 per jaar kost, dan is hij economisch voordelig. Het hangt echter van het type risico af of deze formulering op basis van gemiddelde gevolgkosten al dan niet als beste toegepast kan worden. Bij risico's op grote branden (dus hele grote branden die leiden tot gigantische schades en/of (vele) menselijke slachtoffers), is het zinvoller om uit te gaan van de meest ongunstigste aannemelijke gevolgkosten in plaats van het uitmiddelen van de gevolgkosten via een verwachtingswaarde. Hier dient een besluitvormer rekening mee te houden.

4.2. Optimalisatie via kosten-batenanalyse

Door verschillende brandscenario's te modelleren, kunnen bedrijven het economisch optimum vinden. Bij deze afwegingen dient rekening te worden gehouden met het gegeven dat in veel gevallen het nemen van meerdere maatregelen kan leiden tot afnemende meeropbrengsten: de eerste maatregel reduceert het risico sterk, maar volgende maatregelen brengen minder risicoreductie. Het risico is immers door de voorgaande maatregelen al gereduceerd. En dat terwijl de kosten van de veiligheidsmaatregelen gewoon optellen. Als gevolg hiervan kan brandveiligheidseconomie worden gebruikt om investeringen te optimaliseren, veiligheidsvoordelen te maximaliseren en verspilling van middelen te voorkomen. Bovendien kan brandveiligheidseconomie een economisch criterium bieden voor het selecteren van brandveiligheidsmaatregelen, door de meest 'winstgevende' of de meest kosteneffectieve strategieën te vinden [7].

4.3. De gevolgen (en kosten) van een brand voorspellen

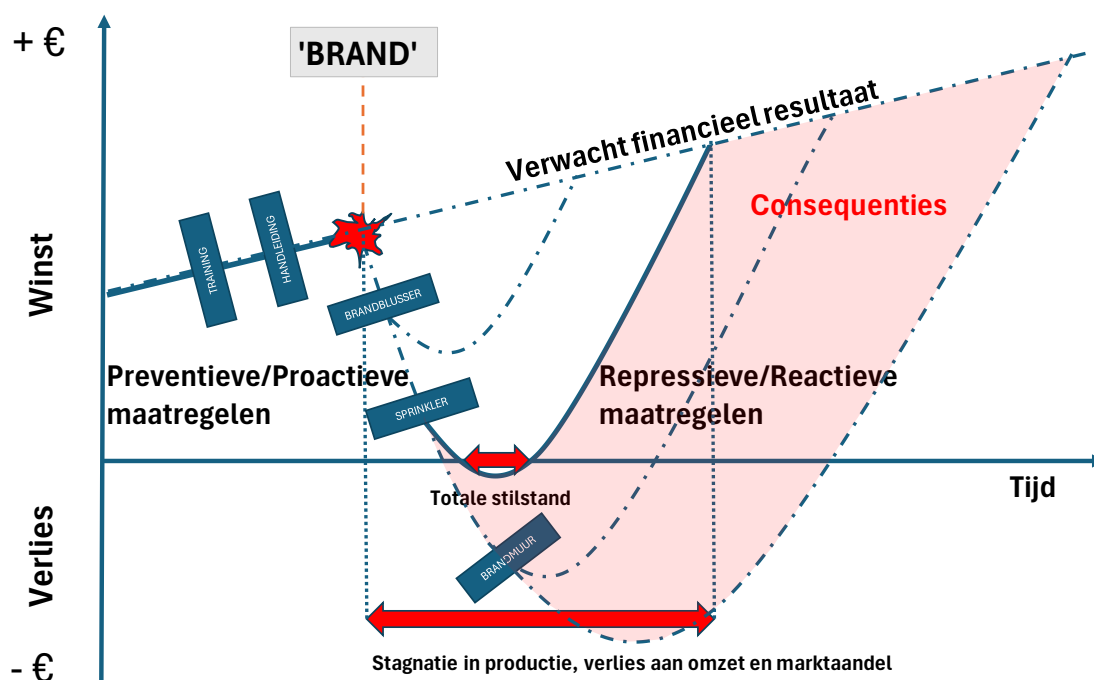
Input voor een dergelijke optimalisatie is het tot op zekere hoogte voorspellen van de gevolgen van een brand. Daarvoor wordt onderstaande 'gevolgen' grafiek (Figuur 1) geïntroduceerd, die de volgende vier hoofdvragen visualiseert:

- (1) Wat kan er misgaan?
- (2) Wat is de waarschijnlijkheid van de gebeurtenis?
- (3) Wat zijn de gevolgen?
- (4) Wat zijn je voorkeuren m.b.t. brandpreventie-opties?

Laatstgenoemde vraag (4) voedt de discussie over de voorkeuren van de besluitvormer met betrekking tot de waarschijnlijke gebeurtenis. Zonder voorkeuren met betrekking tot bijvoorbeeld 'risicobereidheid' als zijnde de mate waarin een organisatie bereid is risico's te nemen bij het nastreven van haar doelstellingen, is de besluitvormer onverschillig over wat er gebeurt, en is er geen risico.

De schade in het geval van een industriële brand betreft veel meer dan de directe schade. Ingrijpender is doorgaans de stagnatie in productie, verlies aan omzet en marktaandeel (Fig. 1). Deze bedrijfsschade, vaak gedefinieerd als vaste lasten + bruto winst, is vaak de grootste schadecomponent. Gerelateerde zaken als verlies van marktaandeel kunnen er zelfs voor zorgen dat een bedrijf ophoudt te bestaan na een grote brand.

Figuur 1 laat het moment zien dat brand uitbreekt ondanks goed getraind personeel en het gebruik van handleidingen als preventieve maatregelen. De brand die ontstaat zorgt voor een stagnerende productie, verlies aan omzet en marktaandeel. De neerwaartse kromme laat zien dat de inzet van een brandblusser de uitbreiding van brand niet heeft kunnen voorkomen. De eerstvolgende barrière die niet faalt en dus resulteert in minder brandgevolgen is de sprinklerinstallatie. Ten opzichte van de groeiklijn, die het verwachte financiële resultaat van een onderneming weergeeft, ontstaat door een werkende sprinklerinstallatie een beperkte 'dip'. De gestippelde krommen rechts daarnaast, tonen de consequenties indien tevens een brandmuur gefaald zou hebben. Het gekleurde oppervlak in de grafiek, geeft de zogenaamde 'hypothetische baten' weer van een werkende sprinklerinstallatie; dit is de verminderde consequentie, als gevolg van een investering, die in de praktijk kan optreden waardoor de totale gevolgschade wordt verminderd. Tevens toont de grafiek ook een kleinere gestippelde kromme, die symboliseert dat er ook nog een hoger veiligheidsniveau (in het voorbeeld een strategisch geplaatste brandblusser) nagestreefd kan worden.



Figuur 1. Gevolgen grafiek aangepast van - referentie 36 in [8]

Bij risicoanalyses wordt onder andere uitgegaan van de kans op het ontstaan van brand (en vervolgens uiteraard op de uitbreiding daarvan). Deze worden in beeld gebracht in schema's, waarbij aan de linkerzijde van de beschouwde mogelijke 'gebeurtenis' de maatregelen in kaart worden gebracht die invloed hebben op de kans dat deze zich voordoet (preventie) en aan de rechterzijde de maatregelen die betrekking hebben op het in de hand houden c.q. beperken van de gevolgen (repressie).

Inherente veiligheid wordt typisch beschouwd als een preventieve beheersmaatregel aan de linkerzijde van de gebeurtenis 'BRAND' en wordt vaak toegepast in de ontwerpfase van een gebouw als zijnde acties om toekomstige gevaarlijke activiteiten in en om het gebouw te vermijden. Vermijden betekent het voorkomen dat de gevaarlijke activiteit leidt tot een gebeurtenis. Bijvoorbeeld, het ontwerpen van processen die geen gebruik maken van gevaarlijke materialen. Dit heeft uiteindelijk ook een effect op het zich voordoen van bepaalde gevolgen.

Aan de rechterzijde van de gebeurtenis 'BRAND' bevinden zich de repressieve maatregelen welke de ernst van de brandgevolgen beperken. Deze maatregelen zijn onderverdeeld in technische en niet-technische maatregelen, die op hun beurt direct of indirect kunnen worden geactiveerd. Een technische maatregel die direct wordt geactiveerd is bijvoorbeeld een sprinklerinstallatie of de inzet van brandblussers. Het omkassen van een processtap is een technische maatregel die indirect wordt geactiveerd. En bij niet-technische maatregelen die direct worden geactiveerd kun je denken aan het opleiden van productiemedewerkers om een brand effectief te blussen of ontruimingsoefeningen. Niet-technische maatregelen die indirect worden geactiveerd zijn bijvoorbeeld het opstellen van een bedrijfsnoodplan waarin procedures zijn vastgelegd voor brandbestrijding en evacuatie, het aanstellen van een BHV-team (bedrijfshulpverlening) en communicatieprotocollen met externe hulpdiensten zoals de brandweer, zodat snel en effectief opgeschaald kan worden.

Wat betreft de gevolgen van een brand krijgt men te maken met directe schade aan het gebouw en omgeving en indirecte schade zoals stagnatie in productie, omzet en marktaandeel en maatschappelijke/milieu schade. Denk bij dat laatste bijvoorbeeld aan vervuiling door bluswater of vervuiling veroorzaakt door rook en toxische stoffen en/of puin, de ontstane verkeershinder, etc. Maar ook de inzetkosten van de brandweer, de persoonlijke risico's die men tijdens de brandweer inzet loopt en de administratieve kosten van een brandverzekering, vallen in de categorie indirecte schade.

Een belangrijke invloedsfactor is de betrouwbaarheid (onzekerheid) van de toegepaste brandveiligheidsmaatregelen. Welke afhankelijk is van bijvoorbeeld training, monitoring, handhaving en onderhoud, als onderdelen van het managementsysteem. Uit een literatuurstudie [8] blijkt het belang *"om de hele organisatie te stimuleren tot een proactieve, langdurige inzet om de veiligheidscultuur te verbeteren. Communicatie over de voordelen en het belang van deze proactiviteit en betrokkenheid, is hierin essentieel."* De aanbevelingen die volgen uit deze literatuurstudie zijn voorts de volgende: (i) Een grotere betrokkenheid van de financieel verantwoordelijke personen; (ii) Meer aandacht voor preventieve of proactieve beheersmaatregelen is wenselijk; en (iii) Duurzaamheids-onderwerpen met betrekking tot toekomstige veranderingen in gebouwen, multifunctionaliteit, energietransitie en vergrijzing van de bevolking dienen onderdeel te zijn van het besluitvormingsproces.

4.4. Gegevensbron en onzekerheid

Een belangrijke uitdaging is het verkrijgen van betrouwbare data over brandfrequentie en schade. Hierin kunnen historische bedrijfsdata, verzekeringsstatistieken en branchegemiddelden uitkomst bieden [9]. Eventuele onzekerheid kan worden meegenomen in de analyses via probabilistische modellering of Monte Carlo-simulaties [10].

5. Beperkingen en kritische kanttekeningen

Hoewel micro-economische modellen krachtig zijn, zijn ze niet zonder beperkingen:

- **Dataonzekerheid:** Kansen en gevolgkosten zijn vaak moeilijk exact te bepalen. Vandaar dat gevoeligheidsanalyses een belangrijke rol kunnen spelen.
- **Niet-financiële schade:** Reputatieschade, milieueffecten en verlies van leven zijn moeilijk te kwantificeren in euro's.
- **Regelgeving:** Veel bedrijven kiezen ervoor om zich enkel te baseren op publieke minimale regelgeving wat economische optimalisatie moeilijk maakt.
- **Ethiek:** Het idee van "een mensenleven heeft een waarde" ligt gevoelig en kan ethische vragen oproepen [11].

Niettegenstaande de mogelijke bedenkingen en randvoorwaarden, kunnen economische modellen een zeer nuttige aanvulling zijn op juridische en technische overwegingen.

6. ESG en de economie van brandveiligheid

De term 'ESG' (Environmental, Social & Governance) wordt vaak genoemd in dezelfde context als duurzaamheid en maatschappelijk verantwoord ondernemen (MVO) [12]. Waar duurzaamheid en MVO echter meer functioneren als filosofieën of einddoelen, is ESG concreter; het omvat de criteria die nodig zijn om besluitvorming te ondersteunen, zowel voor bedrijven als voor investeerders. In een tijd waarin duurzaamheid en verantwoord ondernemen centraal staan, wordt het belang van ESG steeds duidelijker binnen alle facetten van bedrijfsvoering — ook op het gebied van brandveiligheid. ESG-integratie betekent dat milieu-, sociale en governance-factoren worden meegenomen in investeringsanalyses en besluitvorming. Deze benadering draagt bij aan het identificeren en beheersen van risico's die niet alleen financiële gevolgen kunnen hebben, maar ook de veiligheid van mensen en middelen beïnvloeden.

Een veilige werkomgeving begint bij verantwoord gedrag en hoge ethische standaarden. Hoe medewerkers met elkaar omgaan, hoe klanten en partners worden benaderd, en hoe governance-processen zijn ingericht, zijn allemaal factoren die invloed hebben op het veiligheidsniveau binnen een organisatie. ESG-assessments helpen bedrijven om deze aspecten systematisch te evalueren en te verbeteren, wat leidt tot een robuuster veiligheidsbeleid. Door ESG-risico's te analyseren en te koppelen aan operationele risico's zoals brandveiligheid, ontstaat een holistische benadering van risicobeheer. Dit versterkt niet alleen de interne veiligheidscultuur, maar draagt ook bij aan de lange termijn duurzaamheid en veerkracht van organisaties. ESG is daarmee niet slechts een investeringskader, maar een strategisch instrument dat de economie van brandveiligheid ondersteunt en versterkt.

7. Conclusies en aanbevelingen

Micro-economische modellen bieden een systematische en meer objectieve manier om brandveiligheidsmaatregelen in industriële gebouwen te evalueren. Door risico's te kwantificeren

kunnen bedrijven weloverwogen beslissingen nemen, gericht op maximale risicoreductie tegen minimale kosten. In een tijd waarin bedrijven steeds meer aandacht hebben voor ESG (Environmental, Social & Governance) en MVO (Maatschappelijk Verantwoord Ondernemen), is deze aanpak uiterst interessant.

Het is aan te raden dat bedrijven deze modellen integreren in hun risicomanagementpraktijken, eventueel ondersteund door externe adviseurs, brandweer of verzekeraars. Verder onderzoek kan zich richten op het verkrijgen van verfijnde data m.b.t. kansen en gevolgen alsmede op het ontwikkelen van sector-specifieke standaardmodellen, waarin ook moeilijk kwantificeerbare factoren en gevoeligheidsanalyses een plaats krijgen.

Referenties

- [1] "Bbl (Besluit bouwwerken leefomgeving)," Tekst bij inwerkingtreding op 1 januari. Accessed: Jun. 17, 2025. [Online]. Available: <https://iplo.nl/publish/pages/191119/besluit-bouwwerken-leefomgeving-tekst-bij-inwerkingtreding-1.pdf>
- [2] "Arbeidsomstandighedenbeleid." Accessed: Jul. 02, 2025. [Online]. Available: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/arbeidsomstandigheden/arbobeleid>
- [3] A. M. Freeman III, J. A. Herriges, and C. L. Kling, *The Measurement of Environmental and Resource Values*. Routledge, 2014. doi: 10.4324/9781315780917.
- [4] M. E. Drummond, M. J. Sculpher, G. W. Torrance, B. J. O'Brien, and G. L. Stoddart, *Methods for the Economic Evaluation of Health Care Programmes*. Oxford University Press Oxford, 2005. doi: 10.1093/oso/9780198529446.001.0001.
- [5] "Statistieken Nederland (adressen: gebruiksdoelen)." Accessed: Jan. 29, 2024. [Online]. Available: <https://allecijfers.nl/nederland/#gebruiksdoelen>
- [6] "Verbond van Verzekeraars (bedrijfsbranden)." Accessed: Jan. 29, 2024. [Online]. Available: <https://www.verzekeraars.nl/publicaties/actueel/verbond-van-verzekeraars-relatief-veel-bedrijfsbranden-in-coronajaar>
- [7] Chen C., Reniers G., Khakzad N., and Yang M., "Operational safety economics: Foundations, current approaches and paths for future research," *Saf Sci*, vol. 141, p. 105326, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.ssci.2021.105326.
- [8] Cleef L., Yang M., Bouchaut B., and Reniers G., "Fire risk assessment tools for the built environment - An explorative study through a developers' survey," *Fire Saf J*, vol. 146, p. 104169, Jun. 2024, doi: 10.1016/j.firesaf.2024.104169.
- [9] S. Hall, "Fire loss in the United States." Accessed: Jun. 17, 2025. [Online]. Available: <https://www.nfpa.org/education-and-research/research/nfpa-research/fire-statistical-reports/fire-loss-in-the-united-states>
- [10] Salem A.M., "Use of Monte Carlo Simulation to assess uncertainties in fire consequence calculation," *Ocean Engineering*, vol. 117, pp. 411–430, May 2016, doi: 10.1016/j.oceaneng.2016.03.050.

- [11] Cass R. Sunstein, *Risk and Reason: Safety, Law and the Environment*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2002.
- [12] Henrica Westhoeve, “ESG is het nieuwe maatschappelijk verantwoord ondernemen.” Accessed: Jul. 28, 2025. [Online]. Available: <https://www.altares.nl/blog/supply-procurement/esg-is-het-nieuwe-maatschappelijk-verantwoord-ondernemen/>