

SOLARTHERMIE UND / ODER PHOTOVOLTAIK?

EINE KONZEPTENTSCHEIDUNG?

Hat die Solarthermie gegenüber der Photovoltaik zur dezentralen Energieversorgung von Wohngebäuden bzw. Stadtquartieren noch eine Zukunft? Dies war die Kernfrage der Studie „future:solar – Systemanalyse zur solaren Energieversorgung“ die federführend am Institut für Gebäude – und Solartechnik (IGS) der Technischen Universität Braunschweig im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) durchgeführt wurde. Bereits in der Ausgabe 2/2014 der Sonnenenergie wurden die Projektziele, die Vorgehensweise und erste Ergebnisse vorgestellt.

Motivation und Ziele

Ziel der Untersuchung war es, das technische und wirtschaftliche Potenzial der Solarenergienutzung (thermisch und elektrisch) für einen lokal erzeugten Energieanteil von 50 oder 100 % am jährlichen Gesamtenergiebedarf von Ein- und Mehrfamilienhäusern sowie Stadtquartieren für jeweils Neubau und Sanierung zu untersuchen. In Anlehnung an die BMVBS-Effizienzhaus Plus-Kriterien erfolgt die Festlegung auf den Endenergiebedarf als auch den Primärenergiebedarf, welcher durch das Gebäude selbst gedeckt werden muss. Dabei bezieht sich die Energiebilanz auf ein Jahr, d.h. die 50 oder 100 % werden im Bilanzierungszeitraum nicht durchgängig erreicht. An dieser Stelle wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die 100 % Variante nicht mit „energieautark“ gleichzusetzen ist. Der Gesamtenergiebedarf umfasst in die-





	Einfamilienhaus	Mehrfamilienhaus
Neubau	 140 m ² Wfl. 149 m ² NGF 1 WE, 4 Pers.	 613 m ² Wfl. 631 m ² NGF 8 WE, 17 Pers.
Bestands-sanierung	 140 m ² Wfl. 149 m ² NGF 1 WE, 4 Pers.	 416 m ² Wfl. 429 m ² NGF 6 WE, 12 Pers.

Bild 1: Gebäudetypologie EFH und MFH

ser Studie den Jahresheizenergiebedarf nach der geltenden EnEV 2014 und den Jahresstrombedarf für Beleuchtung und Haushaltsgeräte.

Durch die Einbeziehung des Strombedarfs – ein Ansatz der dem steigenden Stromverbrauch in Haushalten gerecht wird – müssen alle untersuchten Energieversorgungssysteme mit einer Photovoltaikanlage ausgerüstet werden. Der insbesondere im Sommer anfallende überschüssige PV-Strom wird ins öffentliche Stromnetz eingespeist und in der Bilanz gut geschrieben. Die auf Basis der Jahresbilanz 100 % Versorgung durch die Nutzung erneuerbarer Energiequellen entspricht der Zielsetzung der EU-Richtlinie (EPBD, European Performance Building Directive 2010/31/EU) zur Umsetzung von „Nearly-zero energy buildings“ ab 2020 in Europa.

Gebäudetypologien

Für die Gebäudemodellierung wurde aus statistischen Erhebungen und Bestandsdatenbanken ein typisches Ein- (EFH) und Mehrfamilienhaus (MFH) jeweils in einer Variante als Neubau oder sanierter Bestand abgeleitet. Auf diese Weise werden die Gestaltung (Kubatur, Wohnfläche, Dachform, Fensterflächenanteile, Anzahl Wohneinheiten, etc.) und die bauphysikalischen Qualitäten der Gebäudehülle festgelegt. In der gleichen Systematik wurden für weiterführende Simulationen in größerem Maßstab ebenfalls zwei Stadtquartiere angelegt.

Untersuchungsmethode und Systemvarianten

Über eine Untersuchung der Eignung verschiedener Technikkomponenten erfolgte die Zusammenstellung einer Va-

Neubau	50 % erneuerbar				100 % erneuerbar			
	EFH		MFH		EFH		MFH	
Systemvariante	V1	V2	V1	V2	V1	V2	V1	V2
Kollektorfläche [m ²]	12	-	40	-	40	-	151	-
Wasserspeicher-Volumen [m ³]	0,850	-	3,3	-	10	-	37,5	-
Leistung WP [kW _{th}]	-	6	-	23	-	6	-	23
Erdsonden [m]	-	110	-	430	-	110	-	400
PV-Leistung [kWp]	3,2	3	18,3	16	6	6	34	32

Tabelle 2: Gegenüberstellung der Anlagenparameter im Neubau

riantenmatrix. Dabei handelt es sich um marktnahe Systeme. Lösungen mit experimentellem Charakter sowie Prototypen werden nicht berücksichtigt. Im Forschungsteam wurden insgesamt sechs solare Versorgungsvarianten ausgewählt, dimensioniert und einer intensiven Prüfung unterzogen:

- Variante 1 - Gasbrennwertkessel, Solarthermie (ST) und Photovoltaik (PV)
- Variante 2 - Wärmepumpe und PV
- Variante 3 - Erdgas-BHKW und PV
- Variante 4 - Holzpelletkessel, ST und PV
- Variante 5 - Elektrischer Heizstab, ST und PV
- Variante 6 - Fernwärme und PV.

Im Kontext der Kernfrage der Studie werden im Folgenden Variante 1 (Solarthermie + Gaskessel + PV) und Variante 2 (Wärmepumpe + PV) für den Neubau näher betrachtet, da es sich hier um zwei marktetablierte Systeme aus der Branche handelt. Bei **Systemvariante 1 (V1)** wurde die thermische Kollektorfläche, das Wasserspeichervolumen und die Peak-Leistung der PV-Anlage entsprechend der Zielsetzung einer solaren Deckung von 50 bzw. 100 % jeweils zunächst überschlägig ausgelegt und mittels Simulation iterativ dimensioniert. Für das Ziel „100 % Deckung“ in dieser Variante wird eine 40 m² große Kollektorfläche mit einem 10 m³ Wasserspeicher in Anlehnung an das „Sonnenhaus-Konzept“, um eine PV-Anlage ergänzt, im Einfamilienhaus kombiniert. Systemvariante 2 (V2) setzt sich aus einer monovalenten elektrischen Wärmepumpe mit senkrechten Erdsonden für die Heizung und Trinkwassererwärmung und einer PV-Anlage zusammen. Die Wärmeübergabe an den Raum erfolgt in beiden Systemvarianten durch eine Fußbodenheizung mit niedrigen Vorlauftemperaturen (35 °C bei -12 °C Außentemperatur).

Endenergiebilanz

Bei Systemvariante 1 wird der Wärmebedarf für Heizung und Trinkwassererwärmung zu ca. 30 % (Szenario 50 % EE) bzw. 70 % (Szenario 100 % EE) über die thermische Solaranlage bereitgestellt. Die Deckung des Restwärmebedarfs erfolgt über den Gaskessel. In Bezug auf die PV-Anlage kann im Ein- und Mehrfamilienhaus der erzeugte Strom zwischen 20 bis 35 % selbst genutzt werden. 60 bis 70 % des erzeugten PV-Stroms müssen in das öffentliche Versorgungsnetz eingespeist werden. Mit dem sogenannten „Nur-Stromhaus-Konzept“ (Systemvariante 2) erfolgt die Wärmebereitstellung zu 100 %

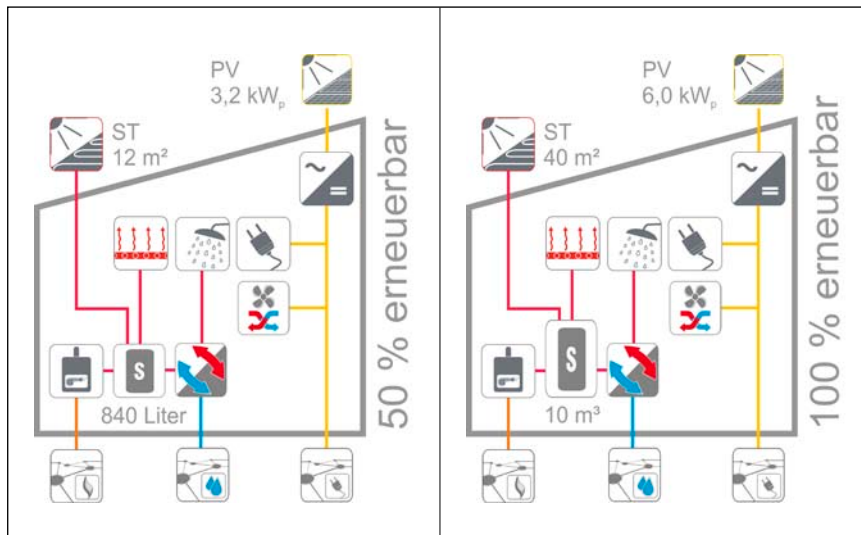


Bild 2: Variante 1 – Solarthermie-Anlage, Gasbrennwertkessel und PV-Anlage (EFH, Neubau)

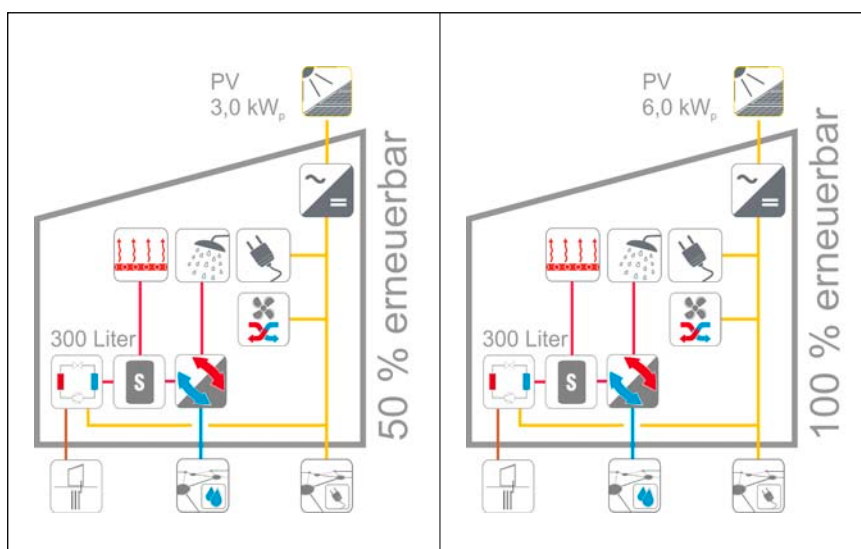


Bild 3: Variante 2 – Elektrische Wärmepumpe mit Erdsonden und PV-Anlage (EFH, Neubau)

über die elektrische Wärmepumpe. Durch den höheren Gesamtstrombedarf erhöht sich auch der Anteil der Eigenstromnutzung des durch die PV-Anlage erzeugten Stroms. Im Ein- und Mehrfamilienhaus liegt daher der Eigenstromnutzungsanteil zwischen 25 und 50 %. Der restliche PV-Strom (ca. 40 bis 70%) wird in das Versorgungsnetz eingespeist.

Monatliche Bilanzierung

Die Zielsetzung einer „100% regenerativen Versorgung“ in der Jahresbilanz ist zwar erfüllt, die monatliche Bilanzierung zeigt jedoch, dass dies keine Volldeckung zu jeder Zeit bedeutet. So steigt der Strombedarf beim System „Wärmepumpe + PV“ im Winter deutlich an. Große Ausbauszenarien von Variante 2 erfordern deshalb dezentrale Strom- und Wärmespeicher („Power-to-Heat“) und ein intelligentes Strom-Lastmanagement zur Steigerung der Eigenstromnutzung sowie den Ausbau des öffentlichen Stromnetzes

zum „Smart Grid“. Im Sommer wird bei beiden Varianten ca. 80 % des erzeugten PV-Stroms in das Stromnetz eingespeist.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Für den ökonomischen Vergleich der Systemvarianten wurden die Investitions- und Betriebskosten der Anlagen zur Wärme- und Stromversorgung ermittelt. Das Verteil- und Wärmeübergabesystem ist dabei nicht berücksichtigt. Im Rahmen einer Kostenschätzung werden die Brutto-Investitionskosten über spezifische Systemkosten ermittelt. Für die PV-Anlagen wird ein spezifischer Preis von 2.140 €/kWp (Stand Anfang 2014) und für die Solarthermieanlagen 780 bis 830 €/m² (Systemkosten inkl. Speicher) angesetzt. Die Berechnung der jährlichen Kapitalkosten erfolgte nach der Annuitätenmethode (Zinssatz 3 %, mittlere Nutzungsdauer 20 Jahre), die Ermittlung der Wartungs- und Instandhaltungskosten nach VDI 2067 Teil 1. Für die Energie-

kosten wurden im Projektteam entsprechende Tarife abgestimmt und angesetzt (Stand Anfang 2014):

- Strom: 0,253 €/kWh, Grundpreis 96 €/a
- Erdgas: 0,069 €/kWh, Grundpreis 84 €/a
- Einspeisevergütung PV-Strom: 0,130 €/kWh.

Die Ergebnisse der Investitionsbetrachtung der Einfamilienhäuser (Neubau) zeigen, dass bei 50 % Versorgung aus Erneuerbaren Energien die Investitionskosten mit rd. 28.000 € (ca. 180 €/m²_{NGF}) beider Systemvarianten in etwa gleich groß sind. Dies trifft auch für die Jahresgesamtkosten zu, bei der sich ein spezifischer Kennwert von ca. 20 €/m²_{NGF} pro Jahr ergibt. Für größere EE-Anteile hat das System „Wärmepumpe + PV“ gegenüber Variante „Solarthermie + Gaskessel + PV“ nennenswerte Kostenvorteile. Diese würden noch deutlicher ausfallen, wenn anstatt der Wärmepumpe mit Erdsonden eine kostengünstigere Luft/Wasser-Wärmepumpe (trotz kleinerer Jahresarbeitszahl) für Variante 2 gewählt wird. Bei der Variante „Wärmepumpe + PV“ ergibt sich eine moderate Steigerung der Investitionskosten für den

Zielwert „100 % EE“, die Jahresgesamtkosten sind aber im Vergleich zu „50 % EE“ annähernd gleich. Der Trend geht zu einer höheren Wirtschaftlichkeit der Variante „100 % EE“, wenn einerseits die PV-Systemkosten weiter sinken (ist in 2014 eingetreten, System-Bruttokosten bei kleinen PV-Anlagen rd. 1.800 €/kWp, größere für MFH unter 1.500 €/kWp) und sich die Steigerung der Strompreise weiter fortsetzt.

Die Untersuchungen der Variante Mehrfamilienhaus (Neubau) führt zu ähnlichen Ergebnissen: für den Zielwert „50 % EE“ liegen beide Systemlösungen etwa gleich auf (Investition rd. 165 bis 180 €/m²_{NGF}), Jahresgesamtkosten ca. 19 bis 21 €/m²_{NGF}). Für den Zielwert „100 % EE“ ergeben sich wie beim EFH wirtschaftliche Vorteile für das „Nur-Stromhaus-Konzept“ (Variante 2).

Zusammenfassung Ergebnisse

Durch die Zielsetzung, 50 bzw. 100 % des jährlichen Wärme- und Strombedarfs (inkl. Beleuchtung und Haushaltsgeräte) lokal durch die Nutzung Erneuerbarer Energien zu decken, war die Integration einer PV-Anlage mit entsprechender Leistung in allen untersuchten Systemvarianten zwingend notwendig. Die Ergebnisse für den Neubau zeigen, dass die

Dachflächen der Ein- und Mehrfamilienhäuser zur Montage der Kollektoren und PV-Module für eine 50 %-ige Deckung prinzipiell ausreichen. Die Zielsetzung 100 % kann im EFH Bereich (Neubau) bei optimaler Ausrichtung der Dachfläche (Pultdach) mit beiden Systemvarianten erreicht werden, bei Satteldächern nur mit dem System „Wärmepumpe + PV“. In der Bestandssanierung von Mehrfamilienhäusern kann die 100 % regenerative Versorgung bei Erhalt der bestehenden Satteldachfläche aufgrund des durchschnittlich höheren solaraktiven Flächenbedarfs nicht erreicht werden.

Die Investitionskosten und Jahresgesamtkosten sind für die Zielsetzung „50 % EE“ für Variante 1 (Solarthermie + Gaskessel + PV) im Vergleich zur Variante 2 (Wärmepumpe + PV) annähernd gleich. Die Investitionskosten liegen bezogen auf die Nettogeschossfläche deutlich unter 200 €/m²_{NGF} und die jährlichen Gesamtkosten bei ca. 20 bis 22 €/m²_{NGF}. Für die bilanzielle Deckung des jährlichen Gesamtenergiebedarfs von 100 % aus Erneuerbaren Energien sind deutliche wirtschaftliche Vorteile der Variante „Wärmepumpe + PV“ festzustellen. Diese begründen sich durch die überproportionale Erhöhung der Kollektorflächen und des Pufferspeichervolumens bei

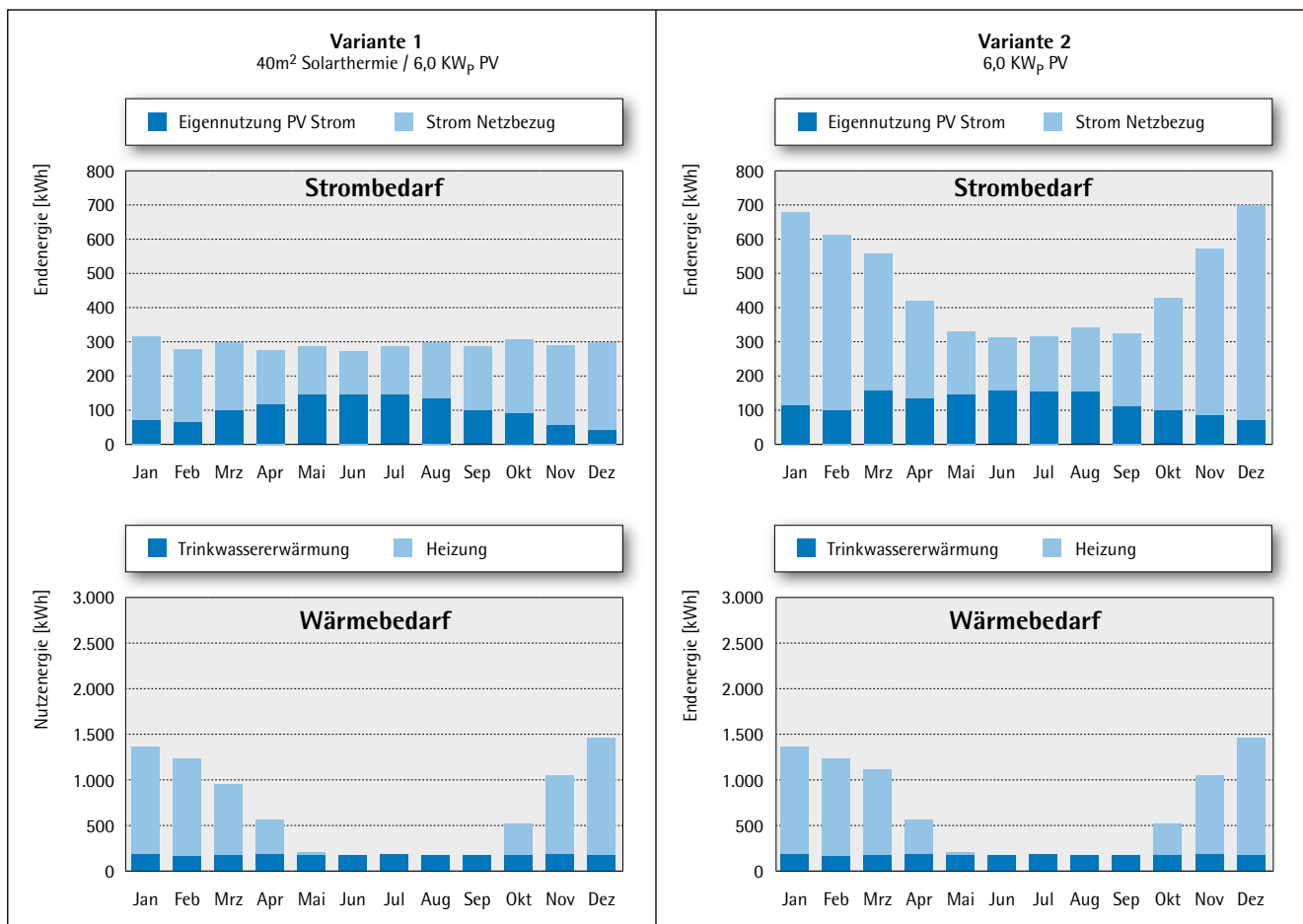


Bild 4: Monatliche Endenergiebilanzen Variante 1 und 2 EFH Neubau „100 % erneuerbar“

Variante 1 (Solarthermie + Gaskessel + PV) und damit der Investitionskosten. Im Vergleich zur Variante „50 % EE“ sind die Investitionskosten beim System „Wärmepumpe + PV“ um lediglich ca. 45 €/m²_{NGF} (EFH) bzw. rd. 65 €/m²_{NGF} höher. Die Jahresgesamtkosten sind im Vergleich zur Zielsetzung „50 % EE“ annähernd gleich, was sich durch die höheren Erlöse aus der Stromeinspeisung erklären lässt. Die Zielsetzung „100 % EE“ führt bei Variante „Solarthermie + Gaskessel + PV“ annähernd zur Verdopplung der Investitionskosten und damit zu erheblich höheren Jahresgesamtkosten sowohl im Vergleich zur Zielsetzung „50 % EE“ wie auch zum System „Wärmepumpe + PV“.

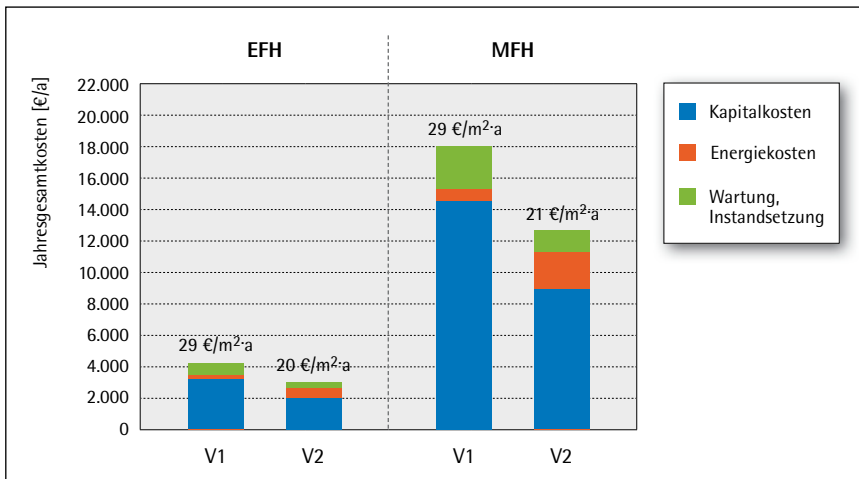


Bild 5: Jahresgesamtkosten für EFH und MFH Neubau „100 % erneuerbar“

Fazit

Bis zu einem Anteil von 50 % EE am Gesamtenergiebedarf sind die Systemvarianten „Solarthermie + Gaskessel + PV“ und „Wärmepumpe + PV“ unter den hier getroffenen Annahmen für Ein- und Mehrfamilienhäuser im Neubau als auch in der Sanierung wirtschaftlich gleichwertig. Bei einer 100 %-Deckung aus EE des jährlichen Wärme- und Strombedarfs zeigt die Systemvariante „Wärmepumpe + PV“ deutliche wirtschaftliche Vorteile in allen untersuchten Bereichen.

Literatur

EnergiePLUS – Gebäude und Quartiere als erneuerbare Energiequellen
 M. Norbert Fisch, Thomas Wilken, Christina Stähr
 IGS, TU Braunschweig, 2013, ISBN 978-300391675
 Abschlussbericht zum F+E-Projekt: future:solar – Systemanalyse zur solaren Energieversorgung
 Förderkennzeichen 0325990 A, Fördergeber: BMWI, IGS, TU Braunschweig, Juni 2015

ZU DEN AUTOREN:

- ▶ *Dipl.-Ing. Mathias Schlosser*
 Leiter der Arbeitsgruppe „Nachhaltige Energieversorgung“ am Institut für Gebäude- und Solartechnik, Technische Universität Braunschweig
- ▶ *Robert Kellner B.Sc.*
- ▶ *Dipl.-Ing. Arch. Thomas Wilken*
- ▶ *Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. N. Fisch*

